



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS BAJO EL MARCO
DE SOLVENCIA II PARA EL CÁLCULO DEL MEJOR
ESTIMADOR DE LA RESERVA DE SINIESTROS
OCURRIDOS Y NO REPORTADOS PARA EL
SEGURO DE NO VIDA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

ACTUARIO

P R E S E N T A :

OSCAR LÓPEZ FLORES



**DIRECTOR DE TESIS:
M. EN A.O. OSCAR ARANDA MARTÍNEZ
2012**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del Alumno
López
Flores
Oscar
5518516352
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Actuaría
302136625
2. Datos del Tutor
M. en A. O.
Oscar
Aranda
Martínez
3. Datos del Sinodal 1
M en I.
Fernando Eleazar
Vanegas
Chávez
4. Datos del Sinodal 2
Actuario
Eduardo
Peñuelas
Galaz
5. Datos del Sinodal 3
Actuario
José Luis
López
Escorcia
6. Datos del Sinodal 4
Actuario
José Fernando
Soriano
Flores
7. Datos del trabajo escrito
Análisis de metodologías bajo el marco de Solvencia II para el cálculo del mejor estimador
de la reserva de Siniestros Ocurredos y No Reportados para el seguro de no vida
86p
2012

Agradecimientos

Gracias Papas por todo el apoyo que me dieron y por brindarme este magnífico regalo, una carrera universitaria, gracias a ustedes tengo las herramientas necesarias para triunfar en la vida, los quiero muchísimo. ¡Muchas gracias!

Gracias Hermano por ayudarme siempre, por apoyarme con mis estudios en los momentos más difíciles de la familia y ayudarme en la elección de mi carrera.

Gracias Bola por escucharme todas mis quejas y molestias a lo largo del tiempo que nos conocemos.

Gracias Alecci por apoyarme durante toda la carrera, por estar conmigo en los momentos difíciles, por explicarme cuando no entendía, por el apoyo que recibí de tu parte cuando trabajaba y estudiaba y simplemente por acompañarme durante todo ese tiempo.

Gracias Chispita por ayudarme a realizar este trabajo, por presionarme todos los días para concluir con este ciclo, por enseñarme el uso del la coma (jaja) y por todo el apoyo que me has brindado y espero que me lo sigas dando.

Gracias Director y Sinodales pues sin su apoyo y comentarios este trabajo no sería lo que es.

Esta tesis es el fruto del apoyo de muchas personas

¡¡Muchas gracias a todos!!

Oscar López

Análisis de metodologías bajo el marco de Solvencia II para el cálculo del mejor estimador de la reserva de Sinistros Ocurridos y No Reportados para el seguro de no vida

Índice

Introducción	4
Capítulo 1. Marco Conceptual.....	7
1.1. Antecedentes de solvencia	7
1.1.1. Concepto de Solvencia	7
1.1.2. Concepto de Solvencia dinámica	9
1.2. Concepto general de solvencia II	11
1.3. Tres pilares en Solvencia II	14
1.3.1. Pilar I “Requerimientos Cuantitativos”	15
1.3.2. Pilar II “Requerimientos Cualitativos”	20
1.3.3. Pilar III “Requerimientos de Transparencia”	23
1.4. Requerimiento de Capital de Solvencia bajo normativa de Solvencia II.....	24
Capítulo 2. Riesgo de Reserva	27
2. Riesgo de Reserva	27
2.1. Definición de provisiones técnicas de siniestros	27
2.1.1. Reserva de Obligaciones Pendientes por Cumplir (OPC).....	27
2.1.2. Reserva de Sinistros Ocurridos No Reportados (SONR) y Reserva de Sinistros Pendientes de Valuación (SPV).....	29
2.1.3. Reserva de Gastos de Ajuste (GAAS).....	30
2.2. Definición de Riesgo de Reserva	30
2.3. Concepto Mejor estimador para Riesgo de Reserva	31
Capítulo 3. Métodos para el cálculo del Mejor Estimador	33
3.1. Métodos deterministas	33
3.2. Métodos estocásticos.....	34
3.3. Metodología bootstrap para cálculo de mejor estimador para la reserva SONR	35
3.3.1. Bootstrap de montos	36
3.3.2. Bootstrap de factores	45
3.3.3. Bootstrap estandarizado	48
3.3.4 Ventajas y desventajas de los Métodos Bootstrap.....	59
Capítulo 4. Caso práctico	61
4.1. Resultados de simulaciones.....	61
4.2. Pruebas de bondad de ajuste.....	66
4.2.1. Bootstrap montos	66
4.2.2. Bootstrap factores	71
4.2.3. Bootstrap estandarizado	74
Conclusiones	79
Bibliografía.....	81

Introducción

Derivado de los cambios en la regulación bancaria de la Unión Europea (Basilea II) que tuvieron como finalidad asegurar la protección de las instituciones frente a cualquier riesgo operativo, nace el concepto de Solvencia II, cuyo principal objetivo es garantizar la estabilidad financiera de las compañías aseguradoras brindando a los asegurados la confianza de que sus intereses están respaldados ante cualquier riesgo.

Este nuevo esquema implicará la revisión y modificación integral de los lineamientos y métodos bajo los cuales operan en la actualidad las compañías de seguros. Uno de los cambios principales será la adecuación de las metodologías para el cálculo de reservas técnicas, de tal manera que éstas queden alineadas a las especificaciones propias de Solvencia II.

El Objetivo del presente trabajo es realizar un análisis comparativo entre tres metodologías de remuestreo para el cálculo del Mejor Estimador de la provisión de siniestros de No Vida de acuerdo a los lineamientos de Solvencia II.

Bajo los lineamientos de Solvencia II una compañía aseguradora deberá garantizar que sus pasivos estén valuados con metodologías estocásticas que permitan determinar un nivel de reservas óptimo y lo más cercano a la realidad que sea posible.

Esta nueva reglamentación demanda que los métodos bajo los cuales se calculan en la actualidad las reservas sean revisados y modificados, de ser necesario, para adecuarse a los nuevos estatutos.

En el caso concreto de la reserva IBNR de No Vida, se deberán utilizar métodos estocásticos prospectivos en contraposición a los métodos determinísticos retrospectivos tradicionales que se utilizan hoy en día en la mayoría de las compañías de seguros.

Se realizará un análisis comparativo entre tres métodos estocásticos prospectivos más comunes y utilizados en los desarrollos y pruebas europeas realizadas a la fecha.

El principal alcance es determinar las ventajas y desventajas de los tres métodos a fin de determinar cuál de los tres podría reflejar de mejor manera el monto de la provisión a constituir para los ramos de No Vida.

Como segundo punto, se busca que este trabajo sirva como manual de referencia y ayuda al momento de implementar las metodologías descritas.

Las limitaciones principales radican en que no se cuenta con información real de alguna cartera para la aplicación de los métodos, los datos utilizados en el caso práctico corresponden a datos de una cartera ficticia.

Para la realización de este trabajo se utilizaron medios electrónicos, físicos y herramientas tecnológicas. Los medios electrónicos (internet) fueron empleados para obtener parte de la bibliografía, ya que la mayoría de los escritos relativos a estos métodos son documentos de la directiva europea.

En cuanto a los medios físicos se tuvo la consulta de revistas y artículos también con el fin de obtener el material necesario para conformar el marco teórico de la investigación. Por último, las herramientas tecnológicas empleadas fueron el manejador de bases de datos Visual Foxpro en el que se desarrollaron los programas con los métodos descritos, hojas de cálculo para procesar la información de los resultados y realizar los comparativos y aplicación de métodos de análisis financiero, y la herramienta Easyfit para obtener las pruebas de bondad de ajuste y los ajustes gráficos.

Las fuentes de información para el marco teórico serán principalmente artículos, presentaciones, revistas e información extraída de páginas web.

Para el análisis del caso práctico se requerirá la información correspondiente a una cartera de seguros, dado que no es posible obtener información real por motivos de confidencialidad de las

aseguradoras, se creará una cartera de siniestro con datos ficticios similar a la de un ramo de No Vida.

En resumen este trabajo tiene como finalidad describir y realizar un análisis comparativo de algunos de los métodos más utilizados para el cálculo de las provisiones técnicas de siniestros bajo el enfoque estadístico que Solvencia II exige, en concreto, el análisis se enfoca en la reserva de Siniestros Ocurridos pero No Reportados (SONR).

En el capítulo 1 se dará una introducción general sobre los principales conceptos y antecedentes de Solvencia II, cuáles fueron sus orígenes y cuáles son sus finalidades. El capítulo 2 consta del marco teórico y en él se describen los métodos determinísticos más comunes para el cálculo de la reserva de siniestros ocurridos y no reportados, así como el concepto de mejor estimador descrito por Solvencia II y los métodos estocásticos que se proponen para su construcción y cálculo. Por último, en el capítulo 3 se desarrollará un caso práctico en el que se analizan y comparan las ventajas y desventajas de las metodologías estocásticas descritas en el capítulo 2.

Capítulo 1. Marco Conceptual

1.1. Antecedentes de solvencia

Antes de definir el concepto de Solvencia II es necesario comprender conceptos previos, tales como *Solvencia* y *Solvencia dinámica*, a partir de los cuales derivó el concepto mismo de Solvencia II, en los apartados siguientes se hará una descripción de cada uno de ellos.

1.1.1. Concepto de Solvencia

El Diccionario MAPFRE de seguros define el término Solvencia como: *La capacidad para atender el pago de los compromisos económicos mediante el conjunto de recursos que constituyen el patrimonio o activo.*

En el Taller de Solvencia, Calificaciones y Run Off en América Latina (Seminario Latinoamericano de Reaseguro y Seguros, 2003) se definió el concepto de solvencia como: *la existencia de bienes suficientes para hacer frente a obligaciones futuras (solvencia económica) y la capacidad de generar fondos líquidos para hacer frente en forma regular a los compromisos de la aseguradora (solvencia financiera).*

Con base en lo anterior, se entenderá para efectos de este trabajo que la solvencia en una compañía aseguradora es la capacidad para hacer frente a las obligaciones futuras que derivan de un contrato de seguro, garantizando esta capacidad con adecuados niveles de capital y de reservas técnicas calculadas bajo métodos estadísticos.

Una compañía de seguros puede tener problemas de insuficiencia debido a cualquier desviación que exista en los valores que se han estimado y que se esperan en cuanto a los niveles de siniestralidad; aunque se utilicen parámetros conservadores para el cálculo de la prima de riesgo o aunque se manejen técnicas actuariales muy eficientes, resulta complejo predecir la siniestralidad con la mayor precisión posible debido a la naturaleza variante y aleatoria de los riesgos (Criterios Generales de Solvencia, ASSAL 1999).

Con la finalidad de que las desviaciones en la siniestralidad no ocasionen problemas de insuficiencia en una compañía aseguradora, las entidades reguladoras en Latinoamérica piden a las compañías que constituyan una cantidad de recursos patrimoniales llamado Margen de Solvencia o Capital Mínimo de Garantía (Criterios Generales de Solvencia, ASSAL 1999).

El cálculo del margen de solvencia parte del supuesto de que las reservas están calculadas bajo una metodología adecuada a la naturaleza de cada riesgo y son suficientes para cubrir toda la siniestralidad futura esperada; lo que supone que el margen de solvencia sirva únicamente para cubrir pérdidas extraordinarias (Suficiencia de Capital y Solvencia de las Aseguradoras de Vida en México, 2007).

En resumen, se establece que el margen de solvencia es el recurso patrimonial (capital o activo) que debe tener una empresa aseguradora para hacer frente a los compromisos derivados de sus operaciones de seguros; con este margen la compañía garantiza que es capaz de hacer frente a cualquier escenario de siniestralidad que no esté contemplado dentro de la constitución o cálculo suficiente de reservas técnicas conforme a la metodología y estándares actuariales vigentes.

1.1.2. Concepto de Solvencia dinámica

El Diccionario MAPFRE de seguros define el término de Solvencia dinámica como: *La capacidad para cumplir con los compromisos que pudieran aparecer como consecuencia de la actividad futura del asegurador.*

En el Taller de Solvencia, Calificaciones y Run Off en América Latina (Seminario Latinoamericano de Reaseguro y Seguros, 2003) se definió el concepto de solvencia dinámica como: *la reserva técnica complementaria para hacer frente a la naturaleza aleatoria de la actividad, al desarrollo del negocio y fenómenos económicos generales.* Lo que se busca es que la compañía aseguradora cuente con los activos suficientes para hacer frente a los siniestros mediante un “excedente” en su capacidad técnica.

Dado que el comportamiento real de los riesgos en la operación de seguros no es estático, sino dinámico, se han desarrollado modelos que permiten realizar un análisis más certero de dichos riesgos. Estos modelos son llamados modelos de solvencia dinámica y su uso permite a las compañías de seguros realizar una mejor planeación estratégica basada en el análisis de los diversos escenarios que se obtienen como resultado de la aplicación del modelo de solvencia dinámica (Aguilar, 2002).

En la metodología de solvencia dinámica es importante identificar aquellos riesgos que afectan de manera considerable la solvencia de una compañía, por ejemplo, la mala suscripción de negocios, la inflación en los siniestros, la frecuencia y la severidad elevadas, la baja en el producto financiero, la insolvencia de los reaseguradores, etc. Los riesgos anteriores se pueden medir, controlar y cuantificar para efectos de toma de decisiones y de planeación estratégica (Presentación Solvencia Dinámica, Seguros Atlas / AMA /CONAC, 2005).

En la regulación Mexicana, en el capítulo 16.35 de la Circular Única de Seguros, se define la prueba de solvencia dinámica como: *la prueba de solvencia que tiene una compañía aseguradora bajo diferentes escenarios, donde los escenarios son aquellos supuestos que reflejan*

de manera razonable la variación que puede existir en las variables que reflejan el comportamiento de la operación de seguros.

La prueba de solvencia dinámica se realiza con base en el capital mínimo de garantía y tomando en consideración que para la realización de dicha prueba se debe tener como mínimo tres años de información histórica relativa al comportamiento de la operación y la posición financiera de la empresa, en la que se refleja el estado financiero por su naturaleza, por su cantidad y por su composición de activos, capital y pasivos.

La Circular Única de Seguros establece que la prueba de solvencia dinámica busca reflejar el cambio que sufriría la solvencia de una compañía con relación al capital mínimo de garantía bajo múltiples escenarios adversos y factibles; el objetivo principal de esta prueba es mostrar aquellos elementos de riesgos que pongan en peligro la capacidad de la empresa para hacerle frente a las obligaciones contraídas por medio del contrato de seguros, y con base en lo anterior, realizar las actividades pertinentes para evitar los efectos adversos que provocarían problemas de insolvencia; en resumen, se puede decir que la prueba busca detectar de manera preventiva cualquier tipo de riesgo que afecte de manera directa la condición financiera de la compañía.

En la actualidad los modelos de solvencia dinámica son una herramienta que ayudan a tener una correcta toma de decisiones y una visión preventiva más eficiente de los riesgos existentes en la operación de seguros.

Sin embargo, los resultados que arroja el modelo de solvencia dinámica no sirven únicamente para la toma de decisiones, sino que también ayuda a determinar la rentabilidad de una empresa, un ramo e incluso hasta la rentabilidad de un producto, pues proveen información relevante para elaborar mejores criterios de suscripción, así como para tener un mayor control sobre la provisión de siniestros, y para mejorar el diseño de productos y descartar aquellos que

puedan causar problemas de insolvencia (Presentación Solvencia Dinámica, Seguros Atlas / AMA /CONAC, 2005).

En conclusión el proceso de solvencia dinámica tiene los fundamentos matemáticos y actuariales que permiten realizar una toma de decisiones más acertada y completa, ya que en dicho modelo se pueden evaluar los efectos de cada una de las posible alternativas (Presentación Solvencia Dinámica, Seguros Atlas / AMA /CONAC, 2005).

1.2. Concepto general de solvencia II

Solvencia II es un proyecto que nace en la Unión Europea aproximadamente en el 2005 derivado de los conceptos e ideas que fueron expresadas en Basilea II. Basilea II fue una propuesta aplicable al sector bancario que buscaba tener un estándar para medir los riesgos que existen en los bancos y cubrirlos con una correcta asignación de capital, esperando así lograr mayor seguridad en el sistema financiero (Gaceta Basilea II HSBC, 2007).

Solvencia II persigue los mismos objetivos que Basilea II en cuanto a la medición de riesgos pero encauzada al sector asegurador.

La UNESPA (Unión Española de Entidades Aseguradoras y Reaseguradoras y de Capitalización, Asociación de profesionales empresarios de seguros) define en su página web el concepto de Solvencia II de la siguiente manera: *Solvencia II es un proyecto iniciado en el seno de la Unión Europea para que las compañías aseguradoras operen dentro de sus ámbitos de responsabilidad con un nivel de viabilidad (solvencia) adecuado. El objetivo principal consiste en mejorar el control y medición de los riesgos (de mercado, operacionales, de crédito y de liquidez) a los que están expuestos las aseguradoras*

Por otra parte, la Confederación Panamericana de productores de Seguros (2006) define a Solvencia II como un proyecto a gran escala que tiene sus orígenes en el modelo de Basilea II y que al igual que éste, está dirigido a mejorar la seguridad en el sector asegurador al poner especial atención en los controles internos y en los modelos de administración de riesgos.

Ovidio Pilán (2005) habla en su programa de Doctorado en *Economía Financiera, Actuarial y Matemática* acerca de solvencia II y la define de la siguiente manera: *El proyecto Solvencia II surge para dar continuidad al trabajo iniciado en la primera etapa con Solvencia I, teniendo como objetivo, entre otros, establecer un nuevo cuadro global de Solvencia aplicado a las aseguradoras de la Unión Europea... y que permita la identificación adelantada de problemas, proporcionando a las Entidades Supervisoras y a las propias aseguradoras un tiempo de reacción adecuado y suficiente para la implementación de medidas correctivas.*

Con base en lo anterior, se puede entender por Solvencia II al proyecto originado en la Unión Europea que tiene como objetivo crear estabilidad financiera mejorando el control y la correcta medición del riesgo a los que se enfrenta una compañía de seguros, siendo las compañías capaces de implementar acciones correctivas y oportunas en situaciones adversas con la finalidad de evitar un quebranto derivado de un mal manejo de la administración del riesgo.

Solvencia II busca que se desarrolle un sistema que tenga la capacidad de reflejar el capital mínimo patrimonial que una empresa aseguradora debe tener para hacer frente a todos los riesgos inherentes a la operación de seguros. Este sistema o modelo de cálculo debe estar relacionado de manera directa con los perfiles de riesgo que una compañía aseguradora tenga ya que con este sistema se busca mostrar la exposición al riesgo de la empresa (Confederación panamericana de productores de seguros, 2006).

El proyecto de Solvencia II desarrollará también acciones que elevarán la disciplina del mercado basándose en la transparencia de la información relativa a mecanismos de control y seguimiento de los riesgos, políticas de gestión de riesgos, etc.

Por otro lado, los agentes reguladores tendrán un papel más dinámico con las compañías aseguradoras, ya que derivado de la transparencia de la información a la que las compañías estarán obligadas, el regulador tendrá la oportunidad de prever y evitar situaciones en las que los niveles de riesgo asumidos por una compañía crezcan desproporcionadamente comprometiendo los niveles de solvencia de la misma.

Solvencia II integra y fundamenta todos los conceptos anteriores en tres grandes directrices llamadas pilares:

- * **Pilar I** (*Requerimientos Cuantitativos*): Medida de activos, pasivos y capital.
- * **Pilar II** (*Requerimientos Cualitativos*): Estudia los Procesos de Supervisión
- * **Pilar III** (*Requerimientos de Transparencia*): Habla de la Disciplina de mercado

En resumen, Solvencia II promoverá y desarrollará los siguientes cambios en la gestión del sector asegurador:

1. Desarrollará en las empresas un fortalecimiento del gobierno corporativo.
2. Logrará una mejor protección de los asegurados minimizando los casos en los que una compañía no sea capaz de enfrentar los riesgos asumidos.

3. Permitirá a las aseguradoras tener una mejor administración del riesgo y un cálculo de capital apegado al perfil de riesgos de cada compañía.

4. Permitirá al regular una supervisión más puntual de los niveles de capital constituidos por las aseguradoras.

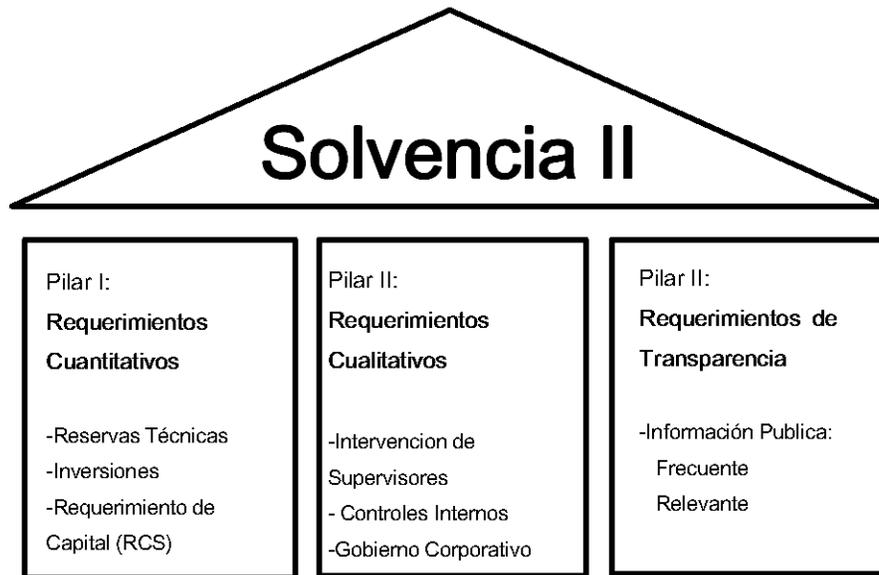
5. Mejorará la eficiencia de los mercados ayudando de manera directa a una sana competencia entre empresas aseguradoras creando una disciplina en el mercado.

6. Permitirá mejorar las técnicas actuariales de cálculo de pasivos y requerimiento de capital.

1.3. Tres pilares en Solvencia II

El enfoque de Solvencia II se basa en tres pilares que fundamentan los lineamientos a seguir por parte de las compañías de seguros.

Cuadro 1. Tres Pilares de Solvencia II



Fuente: Solvencia II Avances y expectativas en la Unión Europea, 2008

Como lo muestra el Cuadro 1 estos pilares comprenden requerimientos cuantitativos, requerimientos cualitativos y exigen cierta disciplina y transparencia en cuanto a la información, a continuación se detalla cada uno de ellos en los apartados siguientes.

1.3.1. Pilar I “Requerimientos Cuantitativos”

El pilar uno comprende la parte de los requerimientos cuantitativos, es decir, de todos los requerimientos relacionados con las inversiones, la valuación de las reservas técnicas y con la determinación del capital.

Mediante los requerimientos establecidos por Solvencia II, se busca que las compañías aseguradoras desarrollen metodologías que les permitan tener una correcta valoración de la posición financiera de la empresa, a través del manejo de técnicas actuariales modernas (Van Hulle, 2010).

Solvencia II propone que la valuación de la reservas técnicas se conforme de la suma de un *Mejor Estimador* de las obligaciones contraídas a través del contrato de seguro, más un margen prudencial o *Margen de Riesgo* que se deberá considerar sobre el mejor estimador. Con base en lo anterior, la fórmula para la valuación de las reservas técnicas bajo este nuevo marco expresada como fórmula, donde cada elemento debe calcularse por separado, queda de la siguiente manera:

$$\text{Reservas Técnicas} = \text{Mejor Estimador} + \text{Margen de Riesgo}$$

Como las reservas constituyen el pasivo más grande de una compañía aseguradora, el Mejor Estimador de la reservas se debe calcular considerando los flujos de entrada y salida que se deriven de la operación misma del seguro, es decir, las primas y los siniestros, mientras que el Margen de Riesgo se calcula sobre el costo de capital requerido disponible. Duque-Santamaría (2008) indica que mediante el proceso anterior, con Solvencia II se diseñará una nueva valoración de los riesgos de manera prospectiva.

En lo que respecta a las inversiones de la compañía, Solvencia II busca que existan limitaciones en función del comportamiento del mercado, que se utilicen instrumentos financieros derivados como medida de protección, y que se haga énfasis en el calce de activos y pasivos.

Algunos autores como Van Hulle (2010) enfatizan la importancia de los objetivos del Pilar I, en el sentido de que éste busca disminuir el riesgo al que están expuestas las compañías aseguradoras mediante un mayor conocimiento de los riesgos a los que se encuentran expuestas, una técnica propuesta por ejemplo, es la correcta diversificación del riesgo.

En lo que corresponde al Capital, Solvencia II propone dos requerimientos: el Requerimiento de Capital Mínimo y el Requerimiento de Capital de Solvencia. Los dos requerimientos anteriores deben ser calculados conforme a los pasivos y activos valuados en el

mercado; tienen por objetivo brindar protección al asegurado y al sector asegurador (Alonso, 2008).

El Requerimiento de Capital de Solvencia tiene por finalidad que una compañía aseguradora opere con una baja probabilidad de ruina, lo que se logra reflejando y cuantificando de una manera correcta los riesgos a los que la empresa se encuentra expuesta (Alonso, 2008).

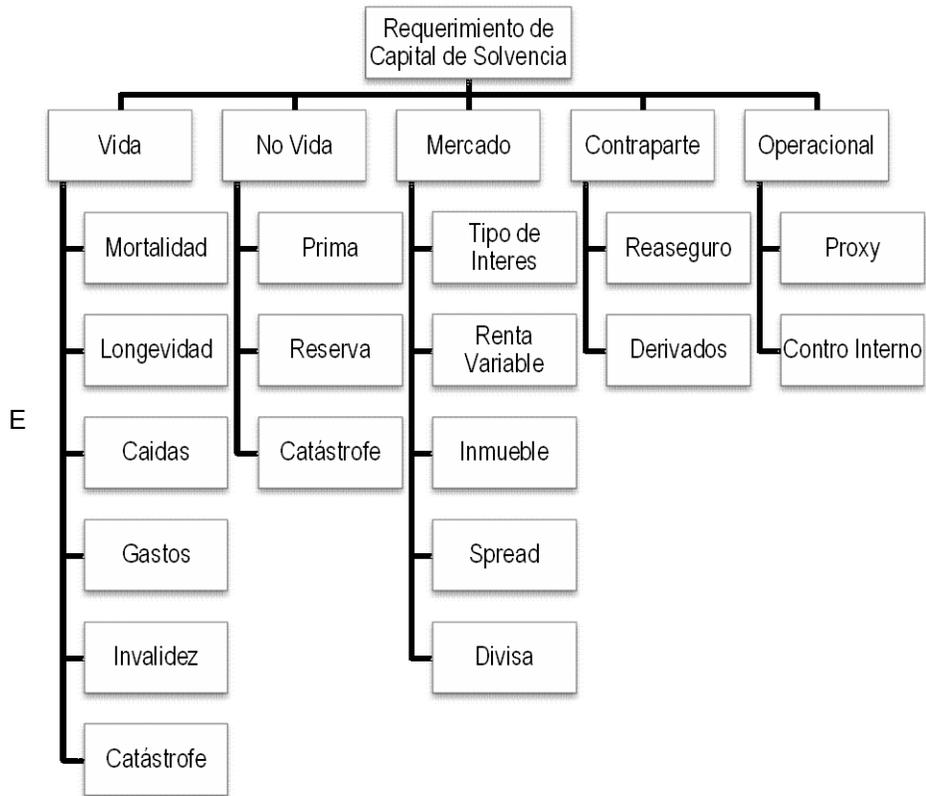
La Unión Europea propone un modelo estándar para realizar el cálculo del requerimiento de capital de solvencia aunque también dejará a las compañías que así lo decidan, utilizar un modelo interno (Alonso, 2008).

En el caso de que una compañía busque calcular su Requerimiento de Capital de Solvencia y diseñe un modelo interno, dicho modelo deberá ser aprobado por la Unión Europea, quien tendrá la flexibilidad para aceptar modelos internos parciales con el fin de una correcta implementación de los mismos.

Algunos documentos (Desafíos clave en la implementación de Solvencia II, Deloitte 2011) resaltan ciertas consideraciones importantes al momento de crear un modelo interno, como la justificación de las hipótesis de comportamiento de cartera en primas y siniestros, ya que el modelo interno se desarrollará sobre estas hipótesis, es necesario tener un adecuado conocimiento de la operación, pues de lo contrario, resultaría un modelo que refleje la realidad de la compañía; otro punto importante a considerar es el nivel de complejidad con que se desarrolle el modelo, pues este modelo será utilizado a lo largo del tiempo y sufrirá cambios conforme a la evolución de la empresa.

El Pilar I busca reflejar el correcto perfil de riesgos considerando todos los riesgos cuantificables (Recaredo Arias, 2011). En el documento del Modelo Español de Solvencia (2007) se realiza cierta clasificación de los riesgos que se expone en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Riesgos considerados en el requerimiento de capital de Solvencia II



Fuente: Modelo Español de Solvencia paso a paso, 2007

De acuerdo al Cuadro 2, los riesgos se clasifican en riesgos de Vida y riesgos de No Vida, para efectos de este trabajo se profundizará únicamente en los riesgos de No Vida.

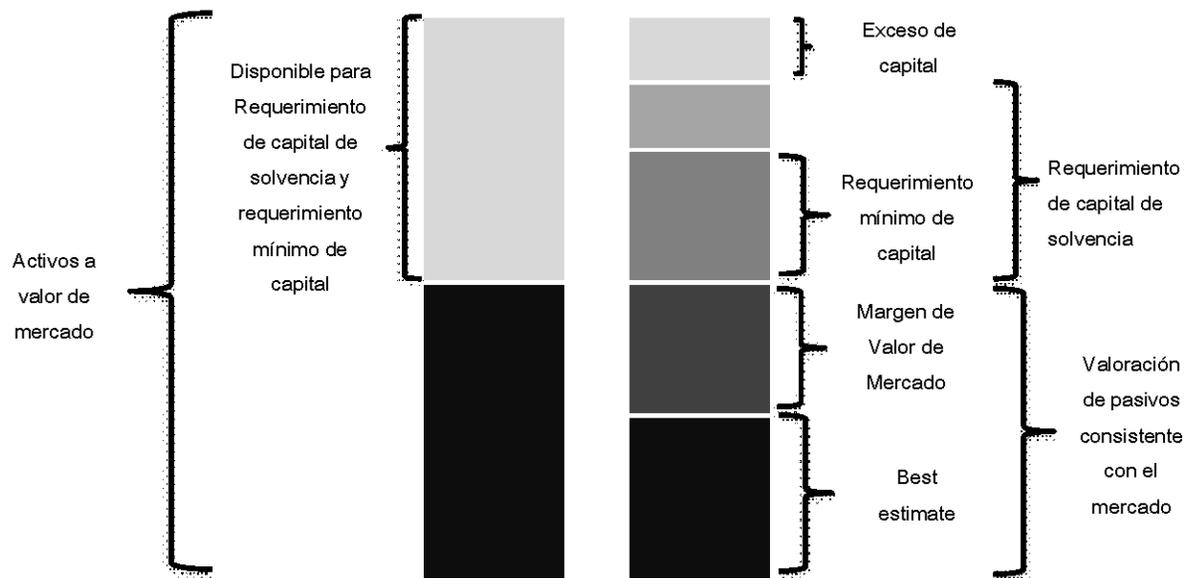
- **Riesgo de Suscripción.** Como su nombre lo indica y de acuerdo al Diccionario MAPFRE (versión online), es el que se deriva de la suscripción de los seguros y toda la actividad relacionada con la operación de los mismos, como por ejemplo, la atención de siniestros. Para los seguros de No Vida, el Riesgo de Suscripción se divide en:

- *Riesgo de prima.* Es el riesgo en el que puede incurrir una compañía aseguradora cuando la prima cobrada en el año de análisis no es suficiente para afrontar los siniestros ocurridos en el mismo año, siendo este riesgo el que hace frente a aquellas obligaciones que tiene la compañía al momento de la valuación (reserva de riesgos en curso).
 - *Riesgo de reserva.* Es aquel que se relaciona directamente con la incertidumbre de que la Reserva de Siniestros Ocurridos No Reportados y la Reserva de Siniestros Pendientes de Valuación sea suficiente hasta la liquidación de los mismos.
 - *Riesgo catastrófico.* Es aquel que se deriva como su nombre lo dice de una catástrofe, como por ejemplo, pandemias, terremotos, etc.
- **Riesgo de Mercado.** Es aquel riesgo al que son vulnerables los activos y los pasivos ya que su valor se puede verse afectado por los cambios en las tasas de interés, por el tipo de cambio, etc.
 - **Riesgo de Contraparte.** Es aquel que se presenta cuando existe algún tipo de incumplimiento o algún fallo en los contratos de cesión o mitigación de riesgo, por ejemplo contratos de reaseguro, productos derivados, etc.
 - **Riesgo Operacional.** Es aquel relacionado con fallas en los procesos operativos, como por ejemplo, errores con sistemas informáticos (riesgos tecnológicos); riesgos derivados de malas decisiones de la fuerza de ventas en cuanto a los canales de distribución; participación en actividades ilícitas (riesgo legal); o actividades que dañen el nombre, la marca o la reputación de la compañía (riesgo de reputación).

Todos estos riesgos calculados de manera independiente se agrupan utilizando una matriz de correlación de riesgo para obtener el requerimiento de capital de solvencia (Recaredo-Arias, 2011).

En resumen, el Pilar I de Solvencia II busca que las compañías aseguradoras tengan una mejor visión del riesgo al que se encuentran expuestas y que utilicen técnicas modernas de valuación evitando con esto que la empresa sea insolvente ante escenarios adversos.

Cuadro 3. Distribución de los activos y pasivos bajo el marco de Solvencia II



Fuente: Lozano-Aragüés, 2007

1.3.2. Pilar II “Requerimientos Cualitativos”

El pilar II comprende los requerimientos cualitativos y de supervisión que debe seguir una compañía aseguradora; tiene como principales objetivos normar y supervisar las actividades que se relacionan de manera directa con las autoridades regulatorias y las que tienen que ver con la práctica dentro de la organización de la compañía (Desafíos clave en la implementación de Solvencia II, Deloitte 2011).

El Pilar II hace énfasis en la supervisión de la correcta gestión del riesgo para fines de toma de decisiones (Recaredo-Arias, 2011), así como en el control interno que deben tener las compañías aseguradoras, exigiendo que sigan reglas que permitan una correcta gestión del riesgo y que faciliten la revisión por parte del regulador (Alonso, 2008).

En el caso de que una compañía opte por utilizar un método interno, el elemento regulador supervisará que se cumplan las políticas de solvencia y tendrá la facultad de solicitar requerimientos adicionales de capital (add-on's), los cuales serán impuestos bajo supuestos claramente definidos, por ejemplo, cuando la compañía tenga ineficiencias en el modelo interno con el que realice el cálculo de Requerimiento de Capital de Solvencia, o cuando existan errores en estrategias y controles que no se puedan corregir de una manera rápida (Lozano-Aragüés, 2007).

El Pilar II también abarca lo referente al gobierno corporativo de las empresas, es decir, al esquema que cada compañía aseguradora deben definir en cuanto a las funciones y responsabilidades de sus áreas, por ejemplo, las funciones concretas del área de auditoría interna, los alcances y responsabilidades del área actuarial, y la injerencia sobre el resto de las áreas de un área de control. Así mismo, se busca que la esquematización del gobierno corporativo permita establecer mecanismos que tengan como resultado una mejor definición de las responsabilidades que deberán tener los funcionarios de las instituciones y el consejo de administración (Aguilera-Verduzco, 2009).

Con el Pilar II se busca implementar un sistema que englobe todos los procedimientos y políticas propias de la compañía que sirvan para controlar, vigilar y administrar los riesgos a los que ésta pueda estar expuesta, tomando en cuenta los límites de aversión al riesgo (Aguilera-Verduzco, 2009).

Un nuevo concepto que introduce Solvencia II es la creación de pruebas propias para evaluar que las necesidades de solvencia estén cubiertas, a estas pruebas se les conoce como pruebas ORSA (*Own Risk and Solvency Assessment*) o, en español, Autoevaluación de los Riesgos y Solvencia Institucional.

Las pruebas ORSA deben de tener un análisis prospectivo de todos los riesgos significativos de la compañía y deben de ser consideradas en la estrategia de negocio de la misma, estas pruebas permiten cuantificar las necesidades de solvencia garantizando su cumplimiento (Seminario de solvencia II, AMIS).

Las pruebas ORSA deben incluir varios elementos para considerar que están abarcando de manera integral la administración de riesgo, algunos de estos elementos son los siguientes:

- Las políticas y procedimientos utilizados en la administración de los riesgos por parte de las áreas operativas.
- Las necesidades de acuerdo al perfil de riesgo incluyendo las políticas de aversión al riesgo y la estrategia de mercado junto con los posibles impactos futuros con base en la prueba de solvencia dinámica.
- El cumplimiento de la normativa referente a reservas técnicas, reaseguro, requerimiento de capital de solvencia, el capital mínimo pagado, etc.
- El perfil de riesgo que no están incluidas en el modelo estándar para el cálculo el requerimiento de capital de solvencia o en su defecto el modelo interno.

- Una propuesta para atender cualquier tipo de carencia de la administración de riesgos en el caso de ser detectada.

El resumen, el Pilar II busca que las compañías implementen un proceso más robusto en lo referente a administración de riesgos, así como que el Consejo de administración y la Dirección general comprendan y se responsabilicen en la importancia de la delimitación y asignación de funciones, así como en la implementación de mecanismos de control.

1.3.3. Pilar III “Requerimientos de Transparencia”

El Pilar III hace alusión a la disciplina del mercado y se basa en la obligación que tienen las compañías de publicar información que consideren relevante para todos los participantes del mercado asegurador, la publicación de estos datos deberá estar avalada por la Dirección general de la empresa y debe ser analizada cuidadosamente antes de ser publicada para evitar hacer públicos datos confidenciales o estrategia corporativas (Recaredo Arias, 2011).

De acuerdo a Van-Hulle (2010), lo anterior tendrá como consecuencia que las compañías expliquen el perfil de riesgos y aversión a los mismos, acorde a su estrategia de negocio, tanto a sus accionistas, como a los analistas y a las empresas encargadas de las calificaciones de riesgos.

El tercer Pilar también busca que las compañías compartan sus experiencia en cuanto a la utilización de modelos internos con otras compañías que estén en situaciones de igualdad (Van Hulle, 2010).

La disciplina que se logre en el mercado permitirá tener una mayor estabilidad en los mercados financieros, ayudará a observar cualquier tipo de anomalía, fallo o desviación de manera oportuna, apoyará a los reguladores en los puntos específicos de control e instará a las empresas a tener una mejor administración (Carrasco-Bahamonde, 2007).

Pese a todo lo anterior, el Pilar III muestra también algunos peligros en el hecho de publicar información:

- La información es un factor claro en la competitividad de las empresas.
- El costo y el desarrollo tecnológico que implica tener los datos actualizados convirtiéndose en un proyecto que no solo afecte a áreas actuariales o de gestión de riesgo sino a áreas de tecnología de la información.
- Publicar información que pueda empeorar la situación de la compañía en algún sentido, por ejemplo, publicar una situación al borde de quiebra.

En resumen, el Pilar III sienta los precedentes para que las compañías hagan conciencia sobre la importancia de la precisión de los datos que se revelan, en especial en la información relativa al cálculo del mejor estimador, del margen de riesgo, los modelos internos, la política de inversión de la compañía, y los métodos que se lleven a cabo para la dispersión de riesgos (Aguilera Verduzco, 2009).

1.4. Requerimiento de Capital de Solvencia bajo normativa de Solvencia II

Pozuelo de Gracia (2008) define al Requerimiento de Capital de Solvencia (RCS) como: *La cantidad de fondos propios necesarios para anular prácticamente la probabilidad de ruina de la Aseguradora en el plazo de un año. Los planteamientos son el Expected Shortfall (o Tail VaR) al 99% o el VaR al 99,5% de los resultados proyectados dentro de un año, atendiendo a los riesgos a los que la aseguradora esté expuesta, y considerando los activos y pasivos a valor de mercado.*

Por su parte, el diccionario Mapfre de seguros define al capital requerido de solvencia como: *El término acuñado en el marco del proyecto Solvencia II que hace referencia al nivel de fondos propios exigible por parte de las autoridades supervisoras a las empresas de seguros y de*

reaseguros, destinado a absorber pérdidas significativas y ofrecer a los tomadores y beneficiarios de seguros una garantía razonable de que se efectuarán los pagos al vencimiento.

Derivado de lo anterior podemos decir que el Capital Requerido de Solvencia es el nivel de fondos patrimoniales (capital o activos) con los que una compañía aseguradora debe contar para operar con un bajo nivel de probabilidad de ruina durante un año; este nivel se plantea con base en la teoría del “VaR” valuado a un nivel de 99.5%, utilizando la proyección del resultado a lo largo de un año y considerando las responsabilidades asumidas por la compañía aseguradora así como sus activos valuados a valor de mercado.

La Unión Europea ha desarrollado un modelo estándar para el cálculo del requerimiento de capital, aunque deja abierto el camino a la creatividad de las empresas para crear su propio modelo.

El modelo propio o llamado también modelo interno deberá estar aprobado por los reguladores de la unión europea y podría considerarse que refleja de manera más precisa la verdadera exposición al riesgo que tiene una compañía, puesto que la finalidad del modelo estándar es dar un reflejo razonable del perfil de riesgo con base en un comportamiento global del sector, mientras que una compañía que usa el modelo interno tendrá un cálculo del capital más apegado a su verdadero perfil de riesgos (Alonso, 2008).

El capital deberá ser calculado contemplando todos los riesgos a los que una compañía aseguradora puede estar expuesta, con la finalidad de garantizar que la empresa está preparada para afrontar cualquier pérdida considerable e imprevista (Alonso, 2008).

En el cálculo del requerimiento de capital de solvencia es necesario contemplar dos elementos necesarios:

1. Una medida del riesgo. Se entiende por medida de riesgo a la forma matemática en la que se asigna un valor a una función de distribución de probabilidad con la exposición de riesgo

asociada a dicha función de probabilidades (diccionario MAPFRE de seguros). Las medidas más frecuente mente utilizadas son el VaR (*Value at Risk*) y el Tail VaR (*Value at Risk de la cola de la distribución*).

2. Un nivel de confianza. Se entiende por nivel de confianza a la probabilidad de que el parámetro estimado se encuentre dentro del intervalo de confianza.

Dentro de Solvencia II se establece también que el Requerimiento de Capital de Solvencia debe estar calculado bajo políticas y métodos claramente definidos, así como que la empresa debe someter a procesos de auditoría al menos una vez al año al área que se encargue de dicho cálculo y de la gestión de riesgos (Principales hitos en Solvencia II Watson & Wyatt, 2005).

Capítulo 2. Riesgo de Reserva

2. Riesgo de Reserva

Como se expuso en el capítulo 1, el Riesgo de reserva es aquel que se relaciona directamente con la suficiencia o insuficiencia posibles de la Reserva de Siniestros Occurridos No Reportados y de la Reserva de Siniestros Pendientes de Valuación.

En este capítulo se hablará primeramente y a manera de introducción, acerca de los tipos de reservas técnicas relacionadas con los siniestros, posteriormente se dará una definición de Riesgo de Reserva bajo el marco de Solvencia II, y por último, se expondrán diversas metodologías para el cálculo del mejor estimador del Riesgo de Reserva.

2.1. Definición de provisiones técnicas de siniestros

A continuación se darán breves definiciones acerca de la Reserva de Obligaciones Pendientes por Cumplir (OPC), de la Reserva de Siniestros Occurridos No Reportados (SONR), de la Reserva de Siniestros Pendientes de Valuación (SPV) y de la Reserva de Gastos (GAAS).

2.1.1. Reserva de Obligaciones Pendientes por Cumplir (OPC)

La Reserva de Obligaciones Pendientes de Cumplir (OPC), es el pasivo que se constituye para hacerle frente a las obligaciones del pago de siniestros que aún no han sido liquidados por diversas causas (Moreno-Muñoz, 1998).

La Ley General de Instituciones y Sociedades Mutualistas de Seguros en el artículo 50 define la OPC de la siguiente manera:

Las reservas para obligaciones pendientes de cumplir será:

I.- Por pólizas vencidas, por siniestros ocurridos, y por repartos periódicos de utilidades, el importe total de las sumas que deba desembolsar la institución, al verificarse la eventualidad prevista en el contrato, debiendo estimarse conforme a las bases siguientes:

a).- Para las operaciones de vida, las sumas aseguradas en las pólizas respectivas, con los ajustes que procedan, de acuerdo con las condiciones del contrato. En obligaciones pagaderas a plazos, el valor presente de los pagos futuros, calculado al tipo de interés que fije la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Tratándose de rentas, el monto de las que estén vencidas y no se hayan cobrado;

b).- Para las operaciones de daños:

1.- Si se trata de siniestros en los que se ha llegado a un acuerdo por ambas partes, los valores convenidos;

2.- Si se trata de siniestros que han sido valuados en forma distinta por ambas partes, el promedio de esas valuaciones;

3.- Si se trata de siniestros respecto de los cuales los asegurados no han comunicado valuación alguna a las instituciones, la estimación se realizará con métodos actuariales basados en la aplicación de estándares generalmente aceptados. Las instituciones de seguros deberán registrar dichos métodos ante la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas, de acuerdo a las disposiciones de carácter general que al efecto emita la propia Comisión. La Comisión Nacional de Seguros y Fianzas queda facultada, en este caso, para rectificar la estimación hecha por las empresas;

c).- Para las operaciones de accidentes y enfermedades se procederá como en las de vida, cuando se trate de capitales o rentas aseguradas por muerte o por incapacidad y como en las de daños en los demás casos...

Por lo tanto, la reserva OPC se utiliza para hacerle frente a los siniestros ya ocurridos pero que a la fecha de valuación no han sido pagados y siguen pendientes de ser cubiertos.

2.1.2. Reserva de Siniestros Ocurridos No Reportados (SONR) y Reserva de Siniestros Pendientes de Valuación (SPV)

La Reserva de Siniestros Ocurridos No Reportados (SONR) busca cubrir aquellos siniestros que ya ocurrieron pero que no han sido notificados a la compañía aseguradora, tiene como objetivo mantener un nivel de recursos disponibles para hacerle frente a dichos siniestros en el momento que sean reclamados, evitando así que la compañía tenga problemas de liquidez financiera y que reporte ejercicios contables con pérdida cuando no la hay.

Con base en lo anterior, la reserva SONR hace frente a los siniestros que se reportan fuera del periodo en el que ocurren, cabe mencionar que ésta no es la única función de la reserva SONR, también tiene como objetivo evitar una subestimación en la siniestralidad, y por consiguiente, problemas de insuficiencia de primas y de solvencia (Esteva, 1994).

Juan Manuel Martínez (2009) expone que la Reserva de Siniestros Ocurridos No Reportados (SONR) está compuesta por dos provisiones:

1. Reserva SONR Puro. Corresponde exclusivamente a los siniestros que ya ocurrieron pero aún no son del conocimiento de la aseguradora.
2. Reserva SPV (Siniestros Pendientes de Valuación). Corresponde a los siniestros que ya ocurrieron y ya fueron reportados a la aseguradora, pero de los que no se sabe con certeza cuál será el pago final que la compañía deberá realizar. Esta reserva se constituye con la finalidad de mantener un nivel deseable de fondos disponibles, así como para evitar reconocer una utilidad que aún no puede considerarse como tal.

Por otra parte, La Comisión Nacional de Seguros y Fianzas, en su *Circular única de Seguros* y concretamente en el capítulo 7.10, se refiere a la reserva de siniestros pendientes de valuación como: *La Reserva de Siniestros Pendientes de Valuación deberá corresponder al valor esperado de los pagos futuros de siniestros que, habiendo sido reportados en el año en cuestión o en años anteriores, se puedan pagar en el futuro y no se conozca un importe preciso de éstos por no contar con una valuación, o bien, cuando se prevea que puedan existir obligaciones de pago futuras adicionales derivadas de un siniestro previamente valuado.*

Por lo tanto, se concluye que la reserva de siniestros pendientes de valuación tiene como finalidad realizar una provisión de recursos para enfrentar aquellos siniestros que la compañía ya conoce pero por algún motivo carecen de valuación, o de aquellos siniestros que por falta de algún elemento sea imposible determinar el monto exacto de la reclamación.

2.1.3. Reserva de Gastos de Ajuste (GAAS)

Existe también una provisión relativa a los gastos de ajuste asignados al siniestro conocida como la Reserva GAAS, esta reserva tiene su fundamento en el principio de que la compañía aseguradora debe constituir un pasivo con la finalidad de enfrentar los gastos de ajuste que se deriven de siniestros ya ocurridos pero de los que la empresa aún no tiene conocimiento, es decir, de los siniestros ocurrido y no reportados (Esteva, 2008).

La reserva de gastos de ajuste asignados al siniestro hará frente a los gastos necesarios para dar atención a los siniestros ocurridos y no reportados, por ejemplo: honorarios de abogados y de ajustadores externos contratados para tal propósito, grúas, peritos valuadores, etc. (Esteva, 2008)

2.2. Definición de Riesgo de Reserva

En el documento del Modelo español de solvencia (2007) se define al riesgo de reserva de la siguiente manera: *“El riesgo de la reserva está relacionado con la incertidumbre derivada de la variabilidad de la reserva hasta la liquidación de todos los siniestros respecto a su valor esperado (BEL). Mediante el cálculo de la variabilidad de la reserva se cuantifica la probabilidad de que ésta no sea suficiente para cubrir los siniestros en los que se ha incurrido”*.

José Manuel Athié (2010), en la revista del CONAC *Actuarios trabajando* habla del riesgo de reserva como: *“El riesgo de reserva proviene de la incertidumbre en cuanto a la estimación reportada en las reservas técnicas. En específico, el riesgo de reserva se refiere a la incertidumbre en las reservas de obligaciones pendientes por cumplir, especialmente en las reservas de siniestros ocurridos pero no reportados y sus distintas variantes (siniestros pendientes de valuación, SPV, y gastos de ajuste asignados al siniestro, GAAS)”*.

Con base en lo anterior se puede decir que el riesgo de reserva se refiere a la incertidumbre derivada de la posible insuficiencia de las provisiones técnicas creadas para hacer frente a las reclamaciones relacionadas con los siniestros pendientes de valuación y/o siniestros ocurridos pero no reportados, así como de los gastos asociados a los mismos.

Respecto al riesgo de reserva, existen dos posibles situaciones bajo las cuales una compañía puede llegar a niveles de insuficiencia: la primera es que las reservas técnicas estén mal calculadas; y la segunda es que por la naturaleza misma de los riesgos y de los pagos, los montos de estos pagos presenten alguna variación con respecto a la media de las reclamaciones (Alonso y Albarrán 2008).

2.3. Concepto Mejor estimador para Riesgo de Reserva

Bajo el marco de solvencia II diversos autores como Recaredo-Arias (2011), Alonso-Gonzalez (2007) y Álvaro-Camacho (2009) entre otros, así como la Unión Europea en la directiva

de solvencia en su artículo 77, consideran que el mejor estimador de la reserva o provisión técnica debe ser el valor presente de los flujos de caja o flujos futuros proporcionados por dicha reserva, descontados por la curva de interés libre de riesgo, y afectados por el valor del dinero en el tiempo (inflación).

Duque-Santamaría (2008) enuncia ciertas características que el mejor estimador debe tener para garantizar que sea en efecto la mejor estimación posible de la provisión técnica:

1. Debe tomar en cuenta todas las características del riesgo.
2. Debe considerar todas las circunstancias en las que se podría tener una desviación.
3. Debe ser insesgado.

Capítulo 3. Métodos para el cálculo del Mejor Estimador

3.1. Métodos deterministas

Los métodos deterministas realizan el cálculo de las reservas SONR y SPV basándose en la estadística de la empresa aseguradora; midiendo la variación del monto en el intervalo de tiempo existente entre la fecha de ocurrencia del siniestro y la fecha de reporte (Martínez, 2009).

La provisión de la Reserva de Gastos de ajuste asignados al siniestro (GAAS) se puede calcular de la forma anteriormente descrita, o como un porcentaje de la Reserva de Siniestros Ocurredos No Reportados (SONR) en el caso de que la aseguradora no cuente con la información suficiente para realizar el cálculo de manera similar a las otras provisiones (Esteva, 2008).

Algunos de los métodos deterministas más usados para el cálculo de las reservas SONR, SPV y GAAS son:

1. Método Chain Ladder. Esta técnica de cálculo basa su metodología en la idea de que los factores de desarrollo sean consistentes a lo largo del tiempo de cálculo y su proyección está basada en la última evaluación de la siniestralidad. Este método tiene la ventaja de que siempre refleja los datos más actualizados en relación a la siniestralidad además de ser fácil de aplicar, pero la técnica deja de ser consistente si existe algún siniestro atípico, ya que este alteraría por completo los patrones de desarrollo (Esteva 2008).
2. Método Bornhuetter-Ferguson. Este método parte del supuesto de que las reservas dependen de un patrón de pago o un patrón de reporte y de los siniestros esperados, una de las ventajas de este método es que es más estable que otros métodos de desarrollo puesto que no utiliza datos históricos sino que se basa en las proyecciones

del comportamiento esperado de la siniestralidad, sin embargo, esto puede representar al mismo tiempo una desventaja, ya que resulta complejo realizar una estimación de la siniestralidad futura esperada sumamente acertada como para no desviar considerablemente los resultados (Esteva 2009).

3. Método de la razón. Este método es muy similar a la técnica Chain ladder con la salvedad de que el método Chain ladder calcula los factores de desarrollo suavizados para realizar interpolaciones, mientras que el Método de la razón calcula los factores de desarrollo por cada uno de los elementos conjuntándolos en un promedio aritmético, este método no es muy complejo y es de fácil desarrollo, pero es más sensible a cualquier elemento atípico y a la calidad de la información (Aguilar, 2008).

3.2. Métodos estocásticos

Bajo el marco de Solvencia II se busca que el cálculo de las provisiones se realice de una manera estocástica, ya que con este tipo de cálculo se pueden obtener medidas que proporcionen la precisión deseada para el nivel de reservas requerido.

Una ventaja que tienen los cálculos estocásticos sobre los cálculos deterministas es que estos últimos no proporcionan ningún tipo de información acerca de la distribución de los siniestros, mientras que los métodos estocásticos sí lo realizan y además proporcionan una estimación de la variabilidad con base en la estadística de la compañía (Duque-Santamaría, 2008).

Bajo los cálculos con métodos estocásticos y de acuerdo a los lineamientos de Solvencia II dictados por la Comunidad Europea, el Mejor Estimador de la reserva corresponde al valor esperado de la distribución.

Algunos de los métodos estocásticos más usados para el cálculo del Mejor Estimador del Riesgo de Reserva son:

1. Métodos de re-muestreo (también conocidos como métodos bootstrap). Este proceso tiene como base el cálculo de la técnica chain ladder pero con la diferencia de que genera varias muestras para construir intervalos de confianza y así poder estimar medidas de tendencia central y contrastes de hipótesis sobre parámetros que sean de interés para la compañía (Kikuchi, 2010). Este método es muy sensible a la calidad de la información, por lo que es muy importante la forma en que se segmente en grupos homogéneos la cartera, ya que esto se verá reflejado directamente en el resultado de la valuación.
2. Métodos basados en modelos lineales generalizados (utilizan regresiones lineales). Estos métodos se utilizan especialmente para evaluar la relación que existe entre una variable teórica y variable observada, estos métodos se usan normalmente como complemento a algún otro método ya que la técnica de los modelos lineales generalizados se utiliza para el estudio de los residuales (Albarrán Alonso,2010).
3. Método de Mack (se basa en una distribución lognormal de los siniestros). Esta técnica tiene como objetivo obtener una estimación de la desviación estándar del cálculo Chain ladder por medio de una regresión logarítmica, aunque con esta regresión el dato que se obtiene será el error cuadrático medio, dicho error ayudará al cálculo de la estimación de la desviación estándar y con esto saber si él la técnica es estadísticamente significativa.

3.3. Metodología bootstrap para cálculo de mejor estimador para la reserva SONR.

Como se comentó anteriormente, la normativa de Solvencia II indica que el cálculo del mejor estimador debe realizarse con métodos estocásticos, ya que con estos métodos se obtienen medidas que dan la precisión deseada para el nivel de reservas requerido.

A continuación se describen algunas metodologías para el cálculo del mejor estimador.

3.3.1. Bootstrap de montos

A continuación se describe el procedimiento para realizar el cálculo del mejor estimador utilizando el método de Bootstrap de Montos. El método bootstrap de montos consiste en una técnica de remuestreo sobre el triángulo observado, esta técnica tiene como base un método bootstrap y genera diversos escenarios que pudieron haber sucedido con base en el remuestreo de los montos del triángulo y calculando la reserva para cada triángulo nuevo con un cálculo chain ladder. A continuación se dará una explicación detallada del método.

Paso 1.

Se parte del triángulo incremental al que se le llamará *Triángulo Original* y se acumulan los montos para obtener un *Triángulo Original Acumulado*.

Triángulo Original Incremental

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	27,846	15,940	6,872	2,650	1,012	533	246
	2	28,130	19,580	7,113	2,463	1,289	724	
	3	32,057	18,766	9,481	4,012	2,115		
	4	35,960	17,945	8,312	4,788			
	5	38,176	20,013	6,342				
	6	42,946	18,441					
	7	45,281						

Triángulo Original Acumulado

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	27,846	43,786	50,658	53,308	54,320	54,853	55,099
	2	28,130	47,710	54,823	57,286	58,575	59,299	
	3	32,057	50,823	60,304	64,316	66,431		
	4	35,960	53,905	62,217	67,005			
	5	38,176	58,189	64,531				
	6	42,946	61,387					
	7	45,281						

Paso 2.

Se obtienen los factores de desarrollo a partir del Triángulo Original Acumulado mediante el mismo procedimiento que se utiliza para en el método Chain-Ladder.

$$f_k = \frac{\sum_{i=1}^{t-k} C_{i,k+1}}{\sum_{i=1}^{t-k} C_{i,k}}$$

Factores de Desarrollo 1						
1	2	3	4	5	6	7
1.5396	1.1498	1.0610	1.0252	1.0111	1.0045	1.0000

Si se está trabajando un triángulo de pagos, los factores de desarrollo representan las cantidades liquidadas en el año t+1 en relación a las del año anterior.

Paso 3.

Con los Factores de desarrollo anteriores se crea un *Triángulo Teórico Acumulado* a partir del *Triángulo Original Acumulado*. La forma de construirlo es la siguiente:

- La diagonal del *Triángulo Original Acumulado* permanece igual en el *Triángulo Teórico Acumulado*.
- A partir de la diagonal se construye renglón a renglón el nuevo triángulo, la primer casilla o posición a la izquierda de la diagonal se calcula como la división de la diagonal entre el factor de desarrollo del año correspondiente. La segunda casilla a la izquierda de la diagonal se calcula la división de la primer casilla a la izquierda de la diagonal entre el

factor de desarrollo del año correspondiente, y así sucesivamente hasta completar todo el renglón.

- c) Por ejemplo, la celda del año de ocurrencia 1 y año de desarrollo 6 (54,853) se construye como $55,099/1.0045$; la celda del año de ocurrencia 5 y año de desarrollo 1 ($36,452$) se construye como $56,122/1.5396$.

El *Triángulo Teórico* se construye para asignarle el mismo comportamiento del año $t+1$ respecto al año t a todas las celdas de cada una de las columnas (año de desarrollo) del triángulo con el fin de homologar la forma en que evolucionan los siniestros a través del tiempo.

Se supone teóricamente que la evolución de los siniestros no debe cambiar de manera significativa a menos de que existan cambios importantes en la gestión operativa de los mismos, o a menos de que se presentan cambios atípicos en el comportamiento de la siniestralidad, sin embargo, dado que la evolución real de los siniestros de un año de ocurrencia a otro puede variar mucho, es decir, puede ser que los siniestros de año de ocurrencia i hayan evolucionado de manera diferente a los siniestros de año de ocurrencia $i+1$, con el procedimiento anteriormente descrito se garantiza que el comportamiento de i y de $i+1$ es el mismo a lo largo de su evolución en el tiempo.

Triángulo Teórico Acumulado

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	28,170	43,371	49,870	52,913	54,249	54,853	55,099
	2	30,453	46,887	53,912	57,202	58,646	59,299	
	3	34,496	53,111	61,069	64,795	66,431		
	4	35,672	54,922	63,151	67,005			
	5	36,452	56,122	64,531				
	6	39,871	61,387					
	7	45,281						

Paso 4.

A partir del *Triángulo Teórico Acumulado* se obtiene el *Triángulo Teórico Incremental* en el que las cifras están “desacumuladas”.

Triángulo Teórico Incremental

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	28,170	15,201	6,499	3,043	1,336	604	246
	2	30,453	16,433	7,025	3,290	1,444	653	
	3	34,496	18,615	7,958	3,726	1,636		
	4	35,672	19,250	8,229	3,854			
	5	36,452	19,670	8,409				
	6	39,871	21,516					
	7	45,281						

Paso 5.

Se obtienen un *Triángulo de Diferencias* restando el *Triángulo Teórico Incremental* menos el *Triángulo Original Incremental*.

Triángulo Diferencias = Triángulo Teórico Incremental - Triángulo Original Incremental

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	324 -	739 -	373	393	324	71	-
	2	2,323 -	3,147 -	88	827	155 -	71	
	3	2,439 -	151 -	1,523 -	286 -	479		
	4	-	288	1,305 -	83 -	934		
	5	-	1,724 -	343	2,067			
	6	-	3,075	3,075				
	7	-						

Al obtener las diferencias lo que se busca es obtener el “error” de la muestra teórica. Utilizando los triángulos incrementales estoy garantizando que cada celda del triángulo no se vea afectada por el error acumulado, obteniendo así el error propio de cada celda.

Paso 6.

Se realiza la técnica de remuestreo (Bootstrap) con el siguiente procedimiento. La finalidad es suavizar el error que se obtuvo con las diferencias acomodando, con la misma probabilidad, cada diferencia del triángulo en cualquier celda.

6.1. Se crea una tabla con cinco columnas y con el número de renglones igual al número total de celdas que contiene el triángulo. En la primera columna se enumeran las celdas.

6.2. En la segunda columna se crea una nueva columna con un *Consecutivo* que se obtiene con la siguiente fórmula: $(\text{Número observación} - 1) / \text{Número total de celdas}$. Por ejemplo, si el triángulo tiene 28 celdas, el primer valor del Consecutivo será $(1-1)/28=0$; el del segundo Consecutivo será $(2-1)/28=0.0357$ y así sucesivamente. Lo anterior es equivalente a una distribución empírica.

6.3. La tercer columna se llena con números aleatorios, puede utilizarse la función de Excel *aleatorio()*.

6.4. En la cuarta columna se crea la muestra mediante una búsqueda del aleatorio de la tercera columna en el consecutivo de la segunda columna y asignando a la muestra el valor de la Diferencia correspondiente al consecutivo elegido, para realizar este proceso se puede utilizar la función *buscarv* de la siguiente manera:

Buscarv(aleatorio, matriz de consecutivo y diferencias, 2, verdadero)

	Consecutivo	Diferencias	Aleatorio	Muestra
1	-	324	0.5301	151.17
2	0.0357	- 739	0.9043	- 3,074.58
3	0.0714	- 373	0.6508	- 287.56
4	0.1071	393	0.9648	-
5	0.1429	324	0.5646	- 1,523.14
6	0.1786	71	0.3350	- 87.72
7	0.2143	-	0.0921	- 373.44
8	0.2500	2,323	0.6518	- 287.56
9	0.2857	- 3,147	0.9169	- 3,074.58
10	0.3214	- 88	0.3245	- 87.72
11	0.3571	827	0.1338	393.13
12	0.3929	155	0.9721	-
13	0.4286	- 71	0.3222	- 87.72
14	0.4643	2,439	0.1814	71.02
15	0.5000	- 151	0.7863	- 1,724.27
16	0.5357	- 1,523	0.1433	323.91
17	0.5714	- 286	0.4868	2,438.92
18	0.6071	- 479	0.2509	2,323.38
19	0.6429	- 288	0.3625	826.79
20	0.6786	1,305	0.9770	-
21	0.7143	- 83	0.0336	324.11
22	0.7500	- 934	0.1836	71.02
23	0.7857	- 1,724	0.8973	- 3,074.58
24	0.8214	- 343	0.8641	2,067.04
25	0.8571	2,067	0.0786	- 373.44
26	0.8929	- 3,075	0.4590	- 71.02
27	0.9286	3,075	0.1433	323.91
28	0.9643	-	0.9975	-

6.5. Después del realizado el paso anterior, se generará un nuevo triángulo de diferencias al que se le llamará *Diferencias (muestra)* formado a partir de la *Muestra* obtenida con el bootstrap, es conveniente colocar estos valores en el mismo orden en el que se “descompuso” o enlistó el primer triángulo de diferencias.

Diferencias (muestra)

		Año Desarrollo									
		1	2	3	4	5	6	7			
Año Ocurrencia	1	-	288	827	324	324	155	827	-	286	
	2	-	1,523	-	739	-	88	-	-	88	2,323
	3	-	88	-	288	-	3,147	-	3,075	-	343
	4		2,439	-	-	3,147	-	2,439			
	5	-	88	-	739	-	343				
	6		71	-	739						
	7	-	88								

6.6. Se crea un nuevo *Triángulo Muestra Incremental* sumando los valores de las *Diferencias (muestra)* al *Triángulo Original Incremental*. Posteriormente este nuevo triángulo se acumula.

Triángulo Muestra Incremental = Diferencias (muestra) + Triángulo Original Incremental

		Año Desarrollo							
		1	2	3	4	5	6	7	
Año Ocurrencia	1	27,558	16,767	7,196	2,974	1,167	1,360	-	40
	2	26,607	18,841	7,025	2,463	1,201	3,047		
	3	31,969	18,478	6,334	937	1,772			
	4	38,399	17,945	5,165	7,227				
	5	38,088	19,274	5,999					
	6	43,017	17,702						
	7	45,193							

Triángulo Muestra Acumulado

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	27,558	44,325	51,521	54,495	55,662	57,022	56,983
	2	26,607	45,448	52,473	54,936	56,138	59,185	
	3	31,969	50,448	56,782	57,720	59,492		
	4	38,399	56,344	61,509	68,736			
	5	38,088	57,363	63,362				
	6	43,017	60,719					
	7	45,193						

6.7. Se obtienen unos nuevos factores de desarrollo a partir del *Triángulo Muestra Acumulado* con el mismo método enunciado en el Paso 2.

Factores de Desarrollo 2						
1	2	3	4	5	6	7
1.5617	1.1369	1.0664	1.0355	1.0038	0.9511	1.0000

6.8. Se completa el *Triángulo Muestra Acumulado* con los *Factores de desarrollo 2* y el método de Chain-Ladder, multiplicando el último monto acumulado de cada celda por el factor de desarrollo correspondiente a ese año de desarrollo.

Triángulo Muestra Acumulado

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	27,558	44,325	51,521	54,495	55,662	57,022	56,983
	2	26,607	45,448	52,473	54,936	56,138	59,185	59,144
	3	31,969	50,448	56,782	57,720	59,492	61,837	61,794
	4	38,399	56,344	61,509	68,736	70,439	73,216	73,165
	5	38,088	57,363	63,362	67,239	68,904	71,621	71,571
	6	43,017	60,719	68,304	72,484	74,279	77,207	77,154
	7	45,193	69,150	77,788	82,548	84,593	87,927	87,866

6.9. Se obtiene la reserva para cada año de ocurrencia a partir de la diferencia de los valores de la columna del último periodo de desarrollo del *Triángulo Original Acumulado* menos los valores de la columna del último periodo de desarrollo del *Triángulo Muestra Acumulado*. La reserva Total será la suma de las reservas de cada año de ocurrencia.

Año	Triángulo Original Acumulado	Triángulo Muestra Acumulado	Reserva
2	59,299	55,083 -	4,216
3	66,431	65,647 -	784
4	67,005	67,402	397
5	64,531	71,762	7,231
6	61,387	77,444	16,057
7	45,281	86,301	41,020
Total			59,705

6.10. Este proceso se repite N veces (N debe ser un número suficientemente grande) para obtener una muestra que se ordena de menor a mayor y con la que se tiene la distribución empírica de la reserva y poder así determinar las medidas de tendencia central y los percentiles requeridos para obtener el valor de la reserva a diferentes niveles de confianza.

En resumen, los errores o diferencias significan cuánto pueden variar los datos originales de los valores que se están suponiendo como teóricos, al estimar la reserva se están considerando esos mismos errores, pero no es lo mismo que los errores se consideren en los periodos finales de desarrollo del triángulo que en los periodos iniciales, como no se cuenta con la estadística suficiente para ver cómo pueden presentarse esta variación, lo que se hace con el bootstrap es generar N escenarios con los que, mediante el remuestreo de los errores, se simula la variación en la posición de los mismos en el triángulo, como N es suficientemente grande se puede garantizar que están incluidos “todos” los posibles escenarios de fluctuación en los errores y con estos

resultados ya es posible determinar la reserva empíricamente con diferentes niveles de confianza utilizando los percentiles y las medidas de tendencia central (media, mediana) de las N simulaciones.

3.3.2. Bootstrap de factores

Este método realiza un remuestreo del triangulo de desarrollo del método chain ladder con base en la selección aleatoria de los factores que se realizan en todo el triángulo de desarrollo para terminar el cálculo conforme a la técnica chain ladder. A continuación se describe el procedimiento del método Bootstrap de Factores.

Este método respeta la distribución por año de desarrollo y año de ocurrencia puesto que no modifica nada del triángulo original.

Paso 1.

Se parte del triángulo incremental al que se le llamará *Triángulo Original* y se acumulan los montos para obtener un *Triángulo Original Acumulado*.

Triángulo Original Incremental

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	27,846	15,940	6,872	2,650	1,012	533	246
	2	28,130	19,580	7,113	2,463	1,289	724	
	3	32,057	18,766	9,481	4,012	2,115		
	4	35,960	17,945	8,312	4,788			
	5	38,176	20,013	6,342				
	6	42,946	18,441					
	7	45,281						

Triángulo Original Acumulado

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	27,846	43,786	50,658	53,308	54,320	54,853	55,099
	2	28,130	47,710	54,823	57,286	58,575	59,299	
	3	32,057	50,823	60,304	64,316	66,431		
	4	35,960	53,905	62,217	67,005			
	5	38,176	58,189	64,531				
	6	42,946	61,387					
	7	45,281						

Paso 2.

Se obtiene un *Triángulo de Factores de desarrollo* utilizando la siguiente fórmula:

$$f_{j,k} = \frac{M_{j,k+1}}{M_{j,k}}; \text{ donde } M_{j,k} \text{ es el monto acumulado en el año de ocurrencia } j$$

y año de desarrollo k .

Triángulo Factores Desarrollo

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1		1.5724	1.1569	1.0523	1.0190	1.0098	1.0045
	2		1.6961	1.1491	1.0449	1.0225	1.0124	
	3		1.5854	1.1865	1.0665	1.0329		
	4		1.4990	1.1542	1.0770			
	5		1.5242	1.1090				
	6		1.4294					
	7							

Paso 3.

En este paso es donde se realiza la técnica de remuestreo (Bootstrap).

3.1. Se completa el *Triángulo Factores Desarrollo* con una búsqueda aleatoria de los datos ya existentes. Los factores se eligen a nivel columna, es decir, los factores de cada

columna son los que se escogen de manera aleatoria para completar las casillas de esa misma columna que faltan. La muestra que se realiza es sin reemplazo, por lo que sólo se consideran para la muestra los factores reales y no se incluyen los nuevos valores obtenidos dentro del proceso de selección aleatorio.

Triángulo Factores Desarrollo (completo)

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1		1.5724	1.1569	1.0523	1.0190	1.0098	1.0045
	2		1.6961	1.1491	1.0449	1.0225	1.0124	1.0045
	3		1.5854	1.1865	1.0665	1.0329	1.0124	1.0045
	4		1.4990	1.1542	1.0770	1.0190	1.0098	1.0045
	5		1.5242	1.1090	1.0665	1.0190	1.0098	1.0045
	6		1.4294	1.1090	1.0523	1.0225	1.0124	1.0045
	7		1.4990	1.1542	1.0449	1.0190	1.0124	1.0045

3.2. Se completa el *Triángulo Original Acumulado (completo)* multiplicándolo por los factores nuevos de desarrollo del *Triángulo Factores Desarrollo (completo)*.

Triángulo Original Acumulado (completo)

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	27,846	43,786	50,658	53,308	54,320	54,853	55,099
	2	28,130	47,710	54,823	57,286	58,575	59,299	59,565
	3	32,057	50,823	60,304	64,316	66,431	67,252	67,554
	4	35,960	53,905	62,217	67,005	68,277	68,947	69,256
	5	38,176	58,189	64,531	68,824	70,131	70,819	71,137
	6	42,946	61,387	68,078	71,639	73,251	74,156	74,489
	7	45,281	67,877	78,344	81,864	83,418	84,449	84,828

3.3. Se obtiene la reserva para cada año de ocurrencia a partir de la diferencia de los valores de la columna del último periodo de desarrollo del *Triángulo Original Acumulado (completo)* menos los valores de la columna del último periodo de desarrollo del *Triángulo*

original Acumulado. La reserva total será la suma de las reservas de cada año de ocurrencia.

Año	Triángulo Original Acumulado	Triángulo Muestra Acumulado	Reserva
2	59,299	59,565	266
3	66,431	67,554	1,123
4	67,005	69,256	2,251
5	64,531	71,137	6,606
6	61,387	74,489	13,102
7	45,281	84,828	39,547
Total			62,895

3.4. Este proceso se repite N veces (N debe ser un número suficientemente grande) para obtener una muestra que se ordena de menor a mayor y con la que se tiene la distribución empírica de la reserva y poder así determinar las medidas de tendencia central y los percentiles requeridos para obtener el valor de la reserva a diferentes niveles de confianza.

3.3.3. Bootstrap estandarizado

Este método fundamenta su cálculo en la técnica de chain ladder para el cálculo de la reserva de siniestros ocurridos no reportados y realiza un remuestreo de montos sobre el triángulo original de igual modo que lo realiza el método bootstrap de montos, con la diferencia que el método estandarizado realiza una estandarización de los residuales con la finalidad de combinar este método con una técnica de modelos lineales generalizados. José Manuel Athié (2010), en la revista del CONAC *Actuarios trabajando* habla acerca del método compuesto para el cálculo del mejor estimador para el riesgo de reserva que se enuncia a continuación:

Paso 1.

Se parte del triángulo incremental al que se le llamará *Triángulo Original* y se acumulan los montos para obtener un *Triángulo Original Acumulado*.

Triángulo Original Incremental

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	27,846	15,940	6,872	2,650	1,012	533	246
	2	28,130	19,580	7,113	2,463	1,289	724	
	3	32,057	18,766	9,481	4,012	2,115		
	4	35,960	17,945	8,312	4,788			
	5	38,176	20,013	6,342				
	6	42,946	18,441					
	7	45,281						

Triángulo Original Acumulado

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	27,846	43,786	50,658	53,308	54,320	54,853	55,099
	2	28,130	47,710	54,823	57,286	58,575	59,299	
	3	32,057	50,823	60,304	64,316	66,431		
	4	35,960	53,905	62,217	67,005			
	5	38,176	58,189	64,531				
	6	42,946	61,387					
	7	45,281						

Paso 2.

Se obtienen los factores de desarrollo a partir del Triángulo Original Acumulado mediante el mismo procedimiento que se utiliza para en el método Chain-Ladder.

$$f_k = \frac{\sum_{i=1}^{l-k} C_{i,k+1}}{\sum_{i=1}^{l-k} C_{i,k}}$$

Factores de Desarrollo 1						
1	2	3	4	5	6	7
1.5396	1.1498	1.0610	1.0252	1.0111	1.0045	1.0000

Si se está trabajando un triángulo de pagos, los factores de desarrollo representan las cantidades liquidadas en el año t+1 en relación a las del año anterior.

Paso 3.

Con los Factores de desarrollo anteriores se crea un *Triángulo Teórico Acumulado* a partir del *Triángulo Original Acumulado*. La forma de construirlo es la siguiente:

- d) La diagonal del *Triángulo Original Acumulado* permanece igual en el *Triángulo Teórico Acumulado*.
- e) A partir de la diagonal se construye renglón a renglón el nuevo triángulo, la primer casilla o posición a la izquierda de la diagonal se calcula como la división de la diagonal entre el factor de desarrollo del año correspondiente. La segunda casilla a la izquierda de la diagonal se calcula la división de la primer casilla a la izquierda de la diagonal entre el factor de desarrollo del año correspondiente, y así sucesivamente hasta completar todo el renglón.
- f) Por ejemplo, la celda del año de ocurrencia 1 y año de desarrollo 6 (54,853) se construye como $55,099/1.0045$; la celda del año de ocurrencia 5 y año de desarrollo 1 (36,452) se construye como $56,122/1.5396$.

El *Triángulo Teórico* se construye para asignarle el mismo comportamiento del año t+1 respecto al año t a todas las celdas de cada una de las columnas (año de desarrollo) del triángulo con el fin de homologar la forma en que evolucionan los siniestros a través del tiempo.

Se supone teóricamente que la evolución de los siniestros no debe cambiar de manera significativa a menos de que existan cambios importantes en la gestión operativa de los mismos, o a menos de que se presenten cambios atípicos en el comportamiento de la siniestralidad, sin embargo, dado que la evolución real de los siniestros de un año de ocurrencia a otro puede variar mucho, es decir, puede ser que los siniestros de año de ocurrencia i hayan evolucionado de manera diferente a los siniestros de año de ocurrencia $i+1$, con el procedimiento anteriormente descrito se garantiza que el comportamiento de i y de $i+1$ es el mismo a lo largo de su evolución en el tiempo.

Triángulo Teórico Acumulado

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	28,170	43,371	49,870	52,913	54,249	54,853	55,099
	2	30,453	46,887	53,912	57,202	58,646	59,299	
	3	34,496	53,111	61,069	64,795	66,431		
	4	35,672	54,922	63,151	67,005			
	5	36,452	56,122	64,531				
	6	39,871	61,387					
	7	45,281						

Paso 4.

A partir del *Triángulo Teórico Acumulado* se obtiene el *Triángulo Teórico Incremental* en el que las cifras están “desacumuladas”.

Triángulo Teórico Incremental

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	28,170	15,201	6,499	3,043	1,336	604	246
	2	30,453	16,433	7,025	3,290	1,444	653	
	3	34,496	18,615	7,958	3,726	1,636		
	4	35,672	19,250	8,229	3,854			
	5	36,452	19,670	8,409				
	6	39,871	21,516					
	7	45,281						

Paso 5.

Se obtienen un *Triángulo de Residuales* restando el *Triángulo Teórico Incremental* menos el *Triángulo Original Incremental*.

Triángulo Residuales = Triángulo Teórico Incremental - Triángulo Original Incremental

		Año Desarrollo										
		1	2	3	4	5	6	7				
Año Ocurrencia	1	-	324	739	373	-	393	-	324	-	71	-
	2	-	2,323	3,147	88	-	827	-	155	71		
	3	-	2,439	151	1,523	286	479					
	4		288	-	1,305	83	934					
	5		1,724	343	-	2,067						
	6		3,075	-	3,075							
	7		-									

La varianza de los residuales del triángulo anterior difiere entre los años de desarrollo (columnas), para arreglar esta variación se calculan para cada columna los residuales estandarizados obteniendo en primer lugar el estimador insesgado de la varianza de los residuales en cada columna (MSres), es decir, lo que se busca es obtener un estimador que no está cargado hacia ningún lado del conjunto de datos. Este estimador es el resultado de la suma de los cuadrados de los residuales dividida entre los grados de libertad de cada columna. A su vez, los

grados de libertad se obtienen como el número de residuales de cada columna menos uno. El procedimiento se realiza columna a columna porque las columnas me indican la forma en que se mueven los flujos, es decir, cómo voy pagando los siniestros a través del tiempo.

Grados de libertad	6	5	4	3	2	1
Cuadrado de los residuales	23,960,333	21,742,592	6,746,624	1,792,774	358,539	10,088
Msres	3,993,389	4,348,518	1,686,656	597,591	179,270	10,088
Raíz (Msres)	1,998	2,085	1,299	773	423	100

Con el estimador de la varianza se construye un nuevo triángulo: *Triángulo Residuales* entre la *Raíz (Msres)* dividiendo cada residual entre la raíz cuadrada del MSres correspondiente a su columna, mediante este procedimiento se obtienen residuales estandarizados con media=0 y varianza=1.

Lo anterior se puede afirmar por la ley de los grandes números en conjunción con el teorema de límite central que establecen que sin importar la distribución subyacente de las variables aleatorias, esta diferencia estandarizada converge a una variable aleatoria normal estándar.

Los residuales estandarizados de los extremos del triángulo deben ser siempre igual a cero puesto que no son variables aleatorias, y por lo tanto, también deben excluirse de la técnica de remuestreo.

Triángulo Residuales Estandarizados

		Año Desarrollo										
		1	2	3	4	5	6	7				
Año Ocurrencia	1	-	0.1622	0.3543	0.2875	-	0.5086	-	0.7650	-	0.7071	-
	2	-	1.1627	1.5089	0.0675	-	1.0695	-	0.3665	-	0.7071	-
	3	-	1.2205	0.0725	1.1728	-	0.3693	-	1.1315	-	-	-
	4	-	0.1439	-	0.6257	-	0.0637	-	1.2088	-	-	-
	5	-	0.8628	-	0.1644	-	1.5916	-	-	-	-	-
	6	-	1.5386	-	1.4744	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Paso 6.

Se realiza la técnica de remuestreo (Bootstrap) con los datos del *Triángulo Residuales Estandarizados* para reacomodarlos.

6.1. Se crea una tabla con cuatro columnas y con el número de renglones igual al número total de celdas que contiene el triángulo menos dos, lo anterior debido a que no se considerarán los extremos del triángulo. En la primera columna se enumeran las celdas con un *Consecutivo*.

6.2. En la segunda columna se colocan los residuales del *Triángulo Residuales Estandarizados*. Los datos se pueden acomodar ya sea por renglones o por columnas.

6.3. La tercer columna se llena con números aleatorios entre 1 y el último número de la columna *Consecutivo*, puede utilizarse la función de Excel *aleatorio ()*.

6.4. En la cuarta columna se crea la muestra mediante una búsqueda del aleatorio de la tercera columna en el consecutivo de la primera columna y asignando a la muestra el valor

del Residual de la segunda columna correspondiente al consecutivo elegido, para realizar este proceso se puede utilizar la función *buscarv* de la siguiente manera:

Buscarv (aleatorio, matriz de consecutivo y residuales, 2, verdadero)

Consecutivo	Residuales	Aleatorio	Muestra
1 -	0.1622	2	0.3543
2	0.3543	13 -	1.2205
3	0.2875	13 -	1.2205
4 -	0.5086	12	0.7071
5 -	0.7650	20	0.0637
6 -	0.7071	6 -	0.7071
7 -	1.1627	10 -	1.0695
8	1.5089	10 -	1.0695
9	0.0675	6 -	0.7071
10 -	1.0695	13 -	1.2205
11 -	0.3665	4 -	0.5086
12	0.7071	23	0.1644
13 -	1.2205	16	0.3693
14	0.0725	24 -	1.5916
15	1.1728	26 -	1.4744
16	0.3693	15	1.1728
17	1.1315	22	0.8628
18	0.1439	17	1.1315
19 -	0.6257	15	1.1728
20	0.0637	19 -	0.6257
21	1.2088	5 -	0.7650
22	0.8628	9	0.0675
23	0.1644	26 -	1.4744
24 -	1.5916	15	1.1728
25	1.5386	21	1.2088
26 -	1.4744	4 -	0.5086

6.5. Después del realizado el paso anterior, se generará un nuevo triángulo de residuales al que se le llamará *Residuales (muestra)* formado a partir de la *Muestra* obtenida con el bootstrap, es conveniente colocar estos valores en el mismo orden en el que se “descompuso” o enlistó el primer triángulo de residuales.

Residuales Estandarizados (muestra)

		Año Desarrollo										
		1	2	3	4	5	6	7				
Año Ocurrencia	1	0.3543	-	1.2205	-	1.2205	0.7071	0.0637	-	0.7071	-	
	2	-	1.0695	-	1.0695	-	0.7071	-	1.2205	-	0.5086	0.1644
	3		0.3693	-	1.5916	-	1.4744		1.1728		0.8628	
	4		1.1315		1.1728	-	0.6257	-	0.7650			
	5		0.0675	-	1.4744		1.1728					
	6		1.2088	-	0.5086							
	7		-									

6.6. Se “desestandariza” el triángulo anterior multiplicándolo por la Raíz (Msres) con la finalidad de “devolver” la varianza a cada columna y que el residual no varíe de manera diferente a lo que le corresponde a la columna en que quedó asignado.

Residuales DESestandarizados (muestra) = Residuales estandarizados (muestra) * Raíz (Msres)

		Año Desarrollo										
		1	2	3	4	5	6	7				
Año Ocurrencia	1	708	-	2,545	-	1,585	547	27	-	71	-	
	2	-	2,137	-	2,230	-	918	-	943	-	215	17
	3		738	-	3,319	-	1,915		907		365	
	4		2,261		2,446	-	813	-	591			
	5		135	-	3,075		1,523					
	6		2,416	-	1,060							
	7		-									

6.7. Se crea un nuevo *Triángulo Muestra Incremental* sumando los valores de los *Residuales DESestandarizados (muestra)* al *Triángulo Teórico Incremental*, en este nuevo triángulo ya está reducida la varianza y en el que se ha quitado peso a las extremos del triángulo. Este triángulo se acumula.

Triángulo Muestra Incremental = Triángulo Teórico Incremental + Residuales DESestandarizados (muestra)

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	28,878	12,656	4,914	3,590	1,363	533	246
	2	28,316	14,203	6,107	2,346	1,229	669	
	3	35,234	15,296	6,043	4,633	2,001		
	4	37,934	21,695	7,417	3,262			
	5	36,587	16,596	9,932				
	6	42,287	20,455					
	7	45,281						

Triángulo Muestra Acumulado

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	28,878	41,534	46,448	50,038	51,400	51,933	52,179
	2	28,316	42,519	48,626	50,972	52,201	52,871	
	3	35,234	50,530	56,573	61,206	63,207		
	4	37,934	59,629	67,046	70,308			
	5	36,587	53,182	63,115				
	6	42,287	62,742					
	7	45,281						

6.8. Se obtienen unos nuevos factores de desarrollo a partir del *Triángulo Muestra Acumulado* con el mismo método enunciado en el Paso 2.

Factores de Desarrollo 2						
1	2	3	4	5	6	7
1.4822	1.1391	1.0632	1.0283	1.0116	1.0047	1.0000

6.9. Se completa el *Triángulo Muestra Acumulado* con los *Factores de desarrollo 2* y el método de Chain-Ladder, multiplicando el último monto acumulado de cada celda por el factor de desarrollo correspondiente a ese año de desarrollo.

Triángulo Muestra Acumulado

		Año Desarrollo						
		1	2	3	4	5	6	7
Año Ocurrencia	1	28,878	41,534	46,448	50,038	51,400	51,933	52,179
	2	28,316	42,519	48,626	50,972	52,201	52,871	53,121
	3	35,234	50,530	56,573	61,206	63,207	63,941	64,244
	4	37,934	59,629	67,046	70,308	72,299	73,138	73,484
	5	36,587	53,182	63,115	67,106	69,006	69,807	70,138
	6	42,287	62,742	71,469	75,990	78,141	79,048	79,422
	7	45,281	67,117	76,453	81,289	83,590	84,560	84,961

6.10. Se obtiene la reserva para cada año de ocurrencia a partir de la diferencia de los valores de la columna del último periodo de desarrollo del *Triángulo Original Acumulado* menos los valores de la columna del último periodo de desarrollo del *Triángulo Muestra Acumulado*. La reserva Total será la suma de las reservas de cada año de ocurrencia.

Año	Triángulo Original Acumulado	Triángulo Muestra Acumulado	Reserva
2	59,299	53,121	6,178
3	66,431	64,244	2,187
4	67,005	73,484	6,479
5	64,531	70,138	5,607
6	61,387	79,422	18,035
7	45,281	84,961	39,680
Total			61,436

6.11. Este proceso se repite N veces (N debe ser un número suficientemente grande) para obtener una muestra que se ordena de menor a mayor y con la que se tiene la distribución empírica de la reserva y poder así determinar las medidas de tendencia central y los percentiles requeridos para obtener el valor de la reserva a diferentes niveles de confianza.

3.3.4 Ventajas y desventajas de los Métodos Bootstrap

Los métodos bootstrap antes explicados tienen como objetivo estimar la desviación estándar del cálculo del mejor estimador para el riesgo de reserva. La técnica de bootstrap de montos es un método poco complejo y de fácil cálculo, sin embargo, tiene la limitante de que realiza la técnica de remuestreo sobre todos los valores del triángulo, lo que ocasiona una elevada desviación estándar provocando que los valores de las colas sean más grandes y pesadas, y cuya principal consecuencia es la sobreestimación de los niveles de reserva.

Derivado de lo anterior, y con base en la experiencia y el juicio de quien valúe las reservas, podría considerarse la posibilidad de quitar los valores atípicos del triángulo de siniestros para evitar cualquier desviación, sin embargo, debe contemplarse también que estos valores atípicos son parte del comportamiento histórico de los siniestros y que derivado la naturaleza de los riesgos puede no haber elementos suficientes que indiquen que esos eventos no se repetirán.

Por otro lado, el método bootstrap de factores es una técnica más sencilla con la cual realizar el cálculo del mejor estimador, además, este método disminuye de una manera considerable la desviación estándar debido a que el remuestreo sólo se realiza por columnas a diferencia de cómo se realiza en el método bootstrap de montos, en el que el remuestreo se realiza sobre todo el triángulo.

Aunque el bootstrap de factores tiene la ventaja de reducir la desviación estándar, ocasiona que la estimación del mejor estimador quede por debajo del nivel óptimo, pues la aleatoriedad se pierde al final de los valores del triángulo al suponer que la siniestralidad se comportará del mismo modo en los periodos finales de la valuación; así mismo, es importante considerar que este método es muy sensible a cualquier cambio en el comportamiento de los siniestros.

Por último, el método bootstrap de varianza estandarizada puede considerarse como una de las técnicas más completas, ya que combina el método estocástico de remuestreo (bootstrap) con un análisis de los residuos que se obtiene a partir de técnicas de modelos lineales generalizados, dando como resultado una disminución de la desviación estándar y una mejor estimación de los niveles de reserva.

Pese a que la técnica del método bootstrap de varianza estandarizada es más compleja de desarrollar en comparación a la técnica del bootstrap de montos y del bootstrap de factores, no tiene la limitante del bootstrap de factores en cuanto a que no resta aleatoriedad a los últimos periodos de desarrollo, y tampoco asigna un peso excesivo a las colas como el bootstrap de montos, por lo tanto, el resultado que se obtiene con esta técnica es un resultado más depurado y preciso.

Capítulo 4. Caso práctico

4.1. Resultados de simulaciones

A continuación se presentarán los resultados de las simulaciones de las tres metodologías descritas en el capítulo anterior; los datos empleados para el cálculo son datos ficticios y simulan una cartera de siniestros de No Vida. Se construyó un triángulo anual histórico con información de 7 años y a ese triángulo se aplicó la metodología de los tres bootstrap. El número de simulaciones ejecutadas para cada método fue de 10,000.

Cuadro 3. Estadística Descriptiva (*Cifras en millones*)

	Bootstrap estandarizado	Bootstrap montos	Bootstrap factores
media	406.36	405.20	403.67
mediana	406.31	408.37	391.18
desv. Est	15.70	107.10	40.02
curtosis	-0.162880	0.123391	-1.138387

Con base en el *Cuadro 3* se observa que los resultados del *Bootstrap factores* se encuentran ubicados entre los resultados de los otros dos métodos, así mismo, la mediana de este método es la que presenta más variación respecto a la media.

En los resultados del *Bootstrap estandarizado* se observa que los datos se encuentran más agrupados en el centro de la distribución empírica puesto que la media y la mediana son muy similares, lo que se confirma con el nivel bajo de desviación estándar que presenta el método en comparación con el de las otras dos metodologías.

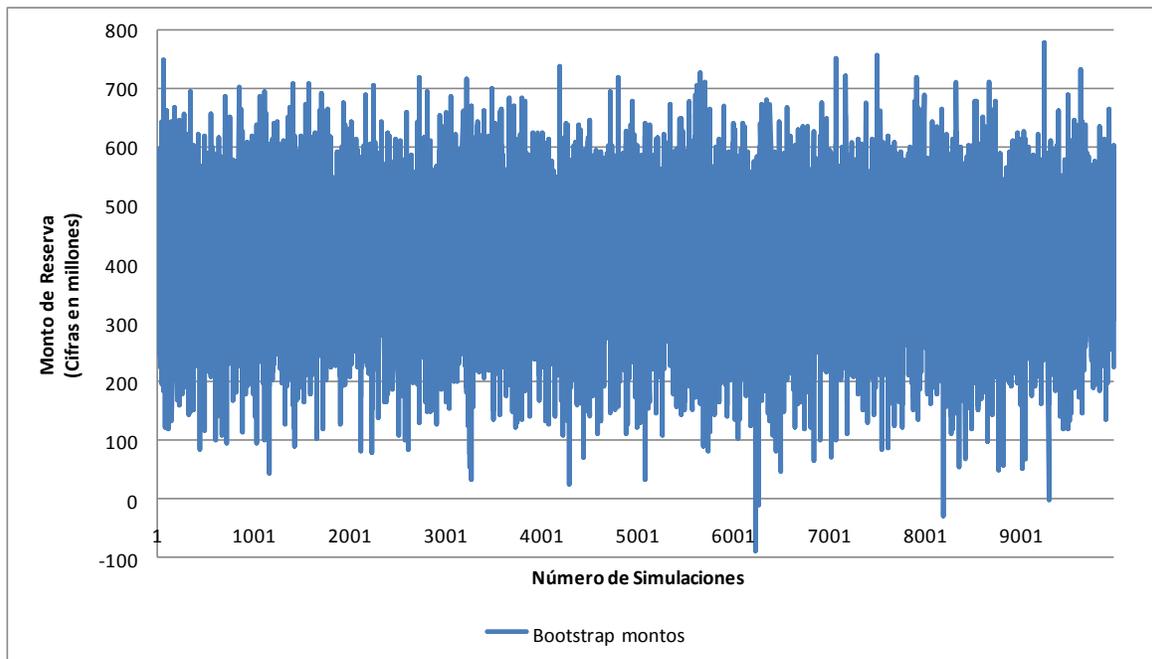
Por otra parte, las medidas de tendencia central del *Bootstrap montos* indican que la distribución empírica tiene una cola muy larga y pesada, ya que el cuantil 99.5% está muy alejado de la mediana.

Respecto al requerimiento de capital de solvencia, se aprecia que el Bootstrap montos es el que tendría el requerimiento más grande, mientras que el Bootstrap estandarizado representaría el menor requerimiento de capital.

En cuanto a los resultados de la curtosis, que es la medida de tendencia central que mide el grado de concentración de la información alrededor de la media, dado que los tres métodos tienen valores menores a 3 se concluye que todos tienen un grado alto de concentración alrededor de la media y que la campana de su distribución no es tan pronunciada (puntiaguda).

Con la finalidad de profundizar en el análisis de los resultados anteriores, a continuación se presentan las gráficas correspondientes a las simulaciones de cada método.

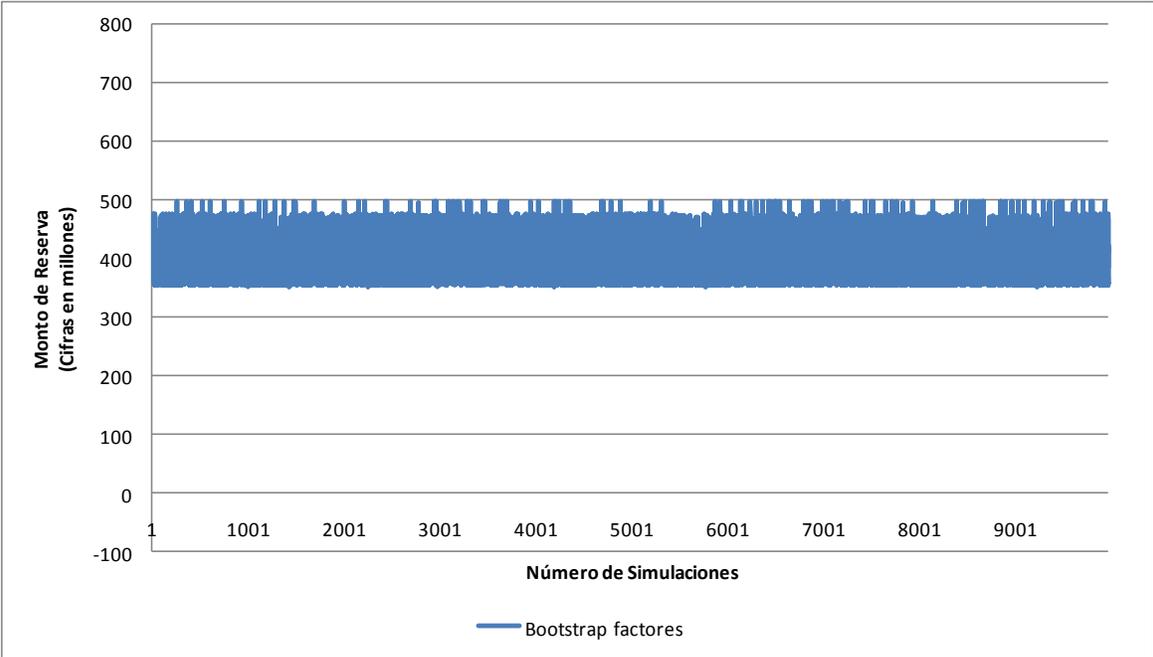
Gráfica 1. Simulaciones - Bootstrap montos



En la *Gráfica 1* se observa la serie original de las 10,000 simulaciones realizadas utilizando el método bootstrap montos. La gráfica muestra la existencia de una variación considerable entre los resultados de las simulaciones, lo anterior se debe a que el método genera mucha aleatoriedad

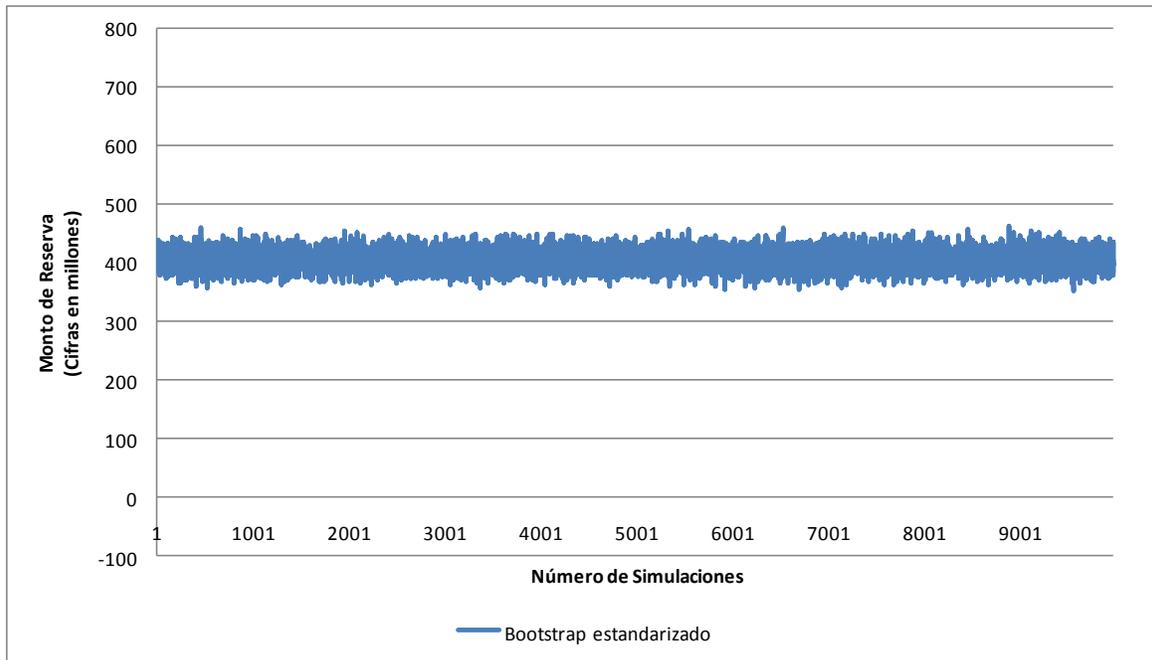
en el proceso de completar el triángulo presentando escenarios cuya probabilidad de ocurrencia sería extremadamente baja, por ejemplo, reservas negativas.

Gráfica 2. Simulaciones - Bootstrap de factores



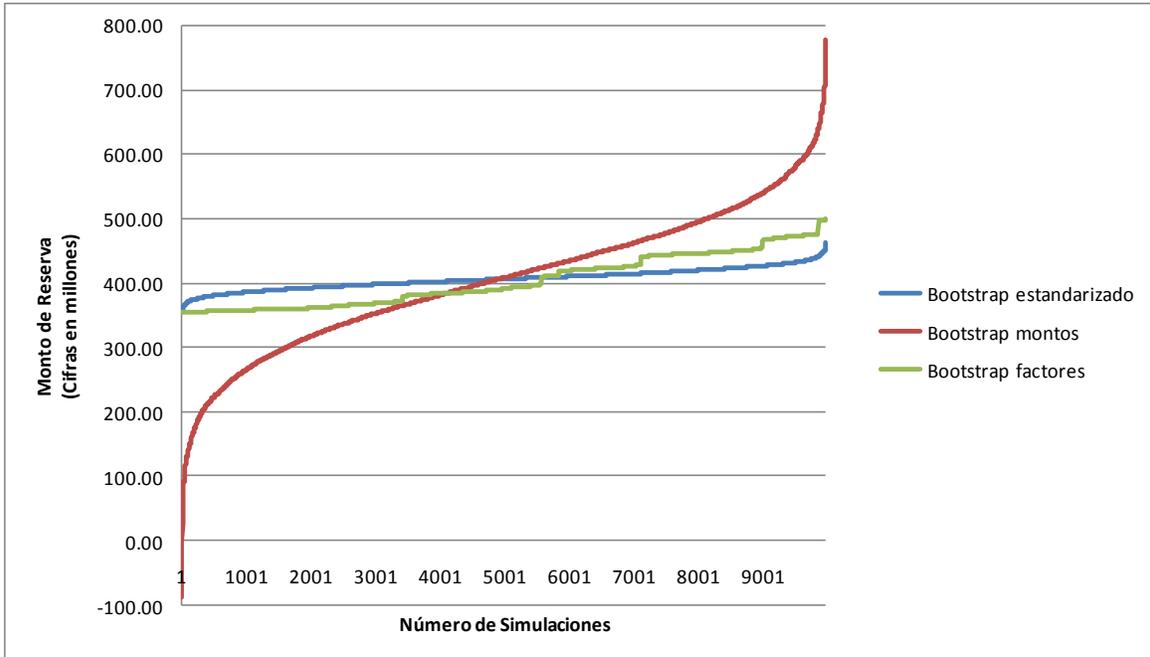
En la *Gráfica 2* se observa la serie original de las 10,000 simulaciones realizadas utilizando el método bootstrap factores. La gráfica muestra que existe poca variación entre las simulaciones aunque esto se debe a la poca aleatoriedad que existe en el método, pues en los últimos años de desarrollo hay poca información para realizar un remuestreo más completo. La poca variación tiene como consecuencia la pérdida de aleatoriedad, situación que se aprecia en los valores “acotados” de la gráfica.

Gráfica 3. Simulaciones - Bootstrap estandarizado



En la *Gráfica 3* se observa la serie original de las 10,000 simulaciones realizadas utilizando el método bootstrap estandarizado. La gráfica muestra que existe poca variación entre las simulaciones, lo que implica que los datos estén más concentrados alrededor del valor de la media. En este método no se pierde la aleatoriedad a diferencia del *Bootstrap de factores*, puesto que se observa que las simulaciones no están acotadas.

Gráfica 4. Comparativo de gráficas de simulaciones



En la *Gráfica 4* se puede observar el nivel de variabilidad, los valores extremos y el nivel de concentración de los resultados. Para el *Bootstrap de montos* se observa una gran volatilidad, poca concentración de los datos (en comparación con las otras dos técnicas de remuestreo) y valores extremos muy separados del valor medio, lo que implicaría un Requerimiento de Capital demasiado elevado debido a la incertidumbre que ocasionan los escenarios situados en las colas de la distribución.

Para el *Bootstrap de factores* se observan valores extremos menos alejados de la media, esto se debe a la forma en que está diseñado el método, puesto que para todos los años de ocurrencia (renglones del triángulo), el escenario de siniestralidad del último año de desarrollo (última columna del triángulo) estará siempre condicionado por el único valor real con el que se

cuenta para realizar la estimación, lo que provoca que los valores extremos estén sujetos al comportamiento de la última observación de la siniestralidad.

Para el *Bootstrap estandarizado* los datos tienen valores extremos poco alejados del valor medio, lo que ocasiona que no exista mucha incertidumbre en cuanto a cómo será la siniestralidad final. Dado que la mayoría de los resultados están concentrados en el centro de la distribución, se tiene como resultado una baja volatilidad, es decir, una desviación estándar pequeña, la ventaja de este método, es que no se reducen en ningún momento el número de escenarios posibles.

4.2. Pruebas de bondad de ajuste

En esta sección se desglosarán los resultados de las pruebas de bondad de ajuste realizadas a las simulaciones obtenidas con cada método de remuestreo.

Las pruebas de bondad de ajuste se realizaron con la prueba de Kolmogorov-Smirnov ya que esta prueba tiene mucha sensibilidad en los puntos medios de la distribución además de ser muy conocida y utilizada en los estudios estadísticos.

4.2.1. Bootstrap montos

Con base en el *Cuadro 4* podemos observar que la muestra de los resultados de las simulaciones obtenidas con el *Bootstrap montos* se ajusta a las tres distribuciones (normal, beta y lognormal) a un nivel de confianza del 99%, sin embargo, a medida que el nivel de confianza disminuye, se aprecia que los resultados de la simulación se ajustan únicamente a una distribución normal.

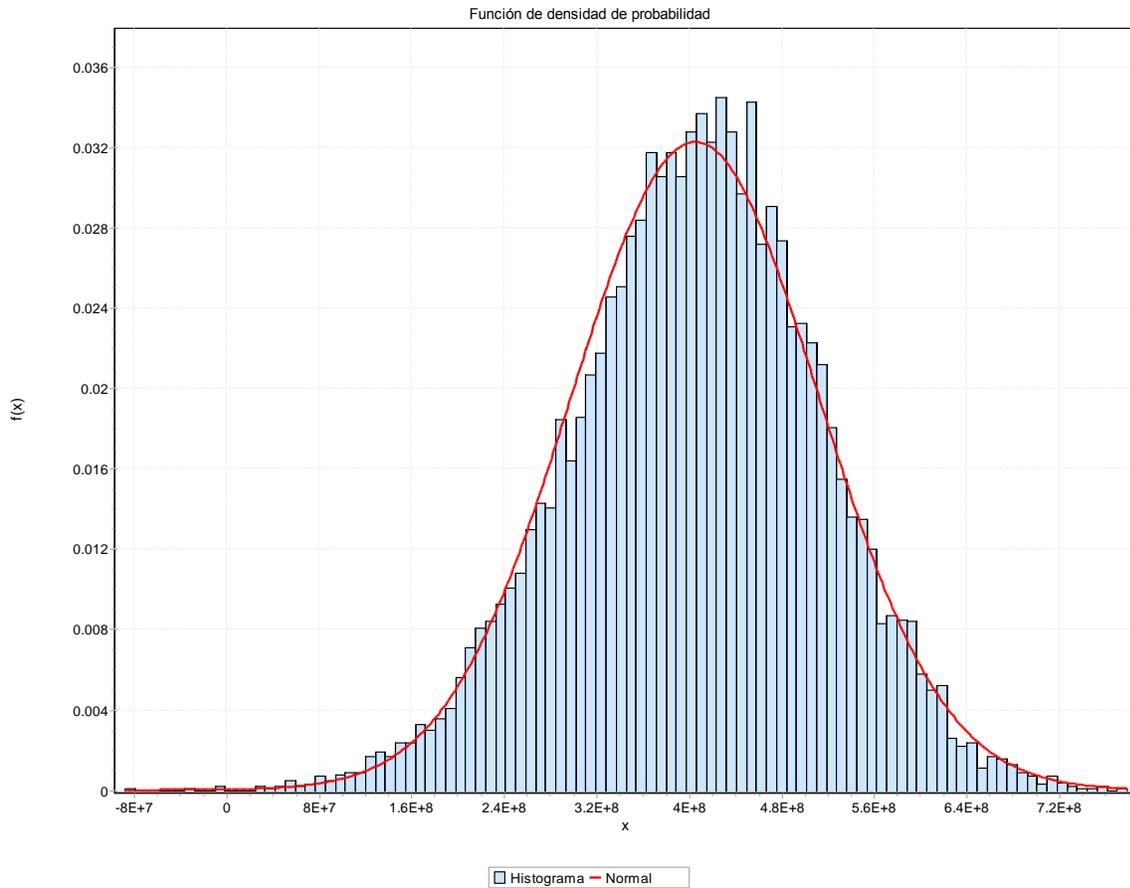
Cuadro 4. Pruebas de bondad de ajuste - Bootstrap montos

Ajuste a una distribución Normal			
Kolmogorov-Smirnov			
Tamaño de la muestra	10,000		
Estadística	0.01350		
Valor P	0.05183		
a	0.1	0.05	0.01
Valor crítico	0.01223	0.01358	0.01629
Rechazar?	Sí	No	No

Ajuste a una distribución Beta			
Kolmogorov-Smirnov			
Tamaño de la muestra	10,000		
Estadística	0.01558		
Valor P	0.01539		
a	0.1	0.05	0.01
Valor crítico	0.01223	0.01358	0.01629
Rechazar?	Sí	Sí	No

Ajuste a una distribución Lognormal			
Kolmogorov-Smirnov			
Tamaño de la muestra	10,000		
Estadística	0.01566		
Valor P	0.01464		
a	0.1	0.05	0.01
Valor crítico	0.01223	0.01358	0.01629
Rechazar?	Sí	Sí	No

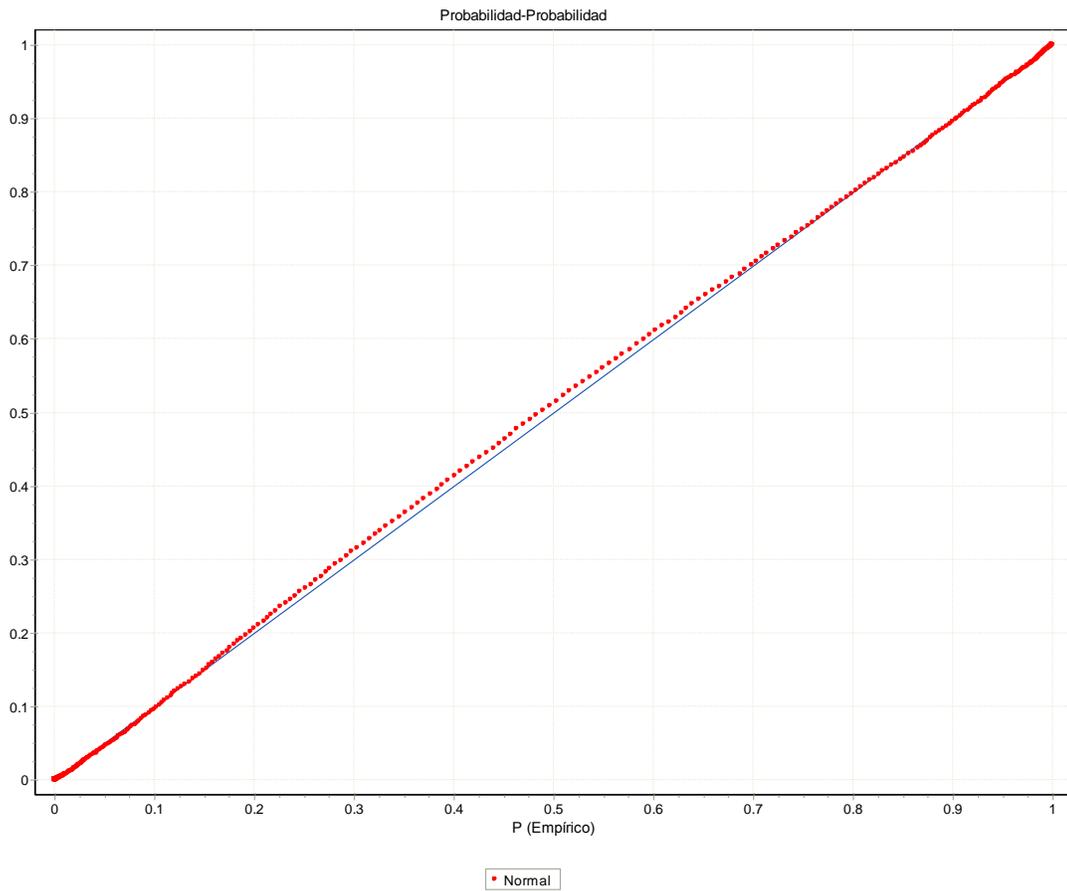
Gráfica 5. Ajuste de distribución empírica - Bootstrap montos



En la *Gráfica 5* se comprueba que los resultados del método *Bootstrap montos* se asemejan a una distribución normal tal como lo mostró el resultado de la prueba Kolmogorov-Smirnov, aunque algunas franjas de la simulación real son mayores que la curva de la normal en la media.

En la *Gráfica 6* se muestra la probabilidad empírica empatada con la distribución normal, aquí se observa el efecto antes mencionado en cuanto a la ligera separación de ambas rectas en la media, este efecto da como consecuencia que la asignación de probabilidad varíe un poco para los elementos centrales de la distribución, dejando muy similares la probabilidades en los elementos extremos de la misma.

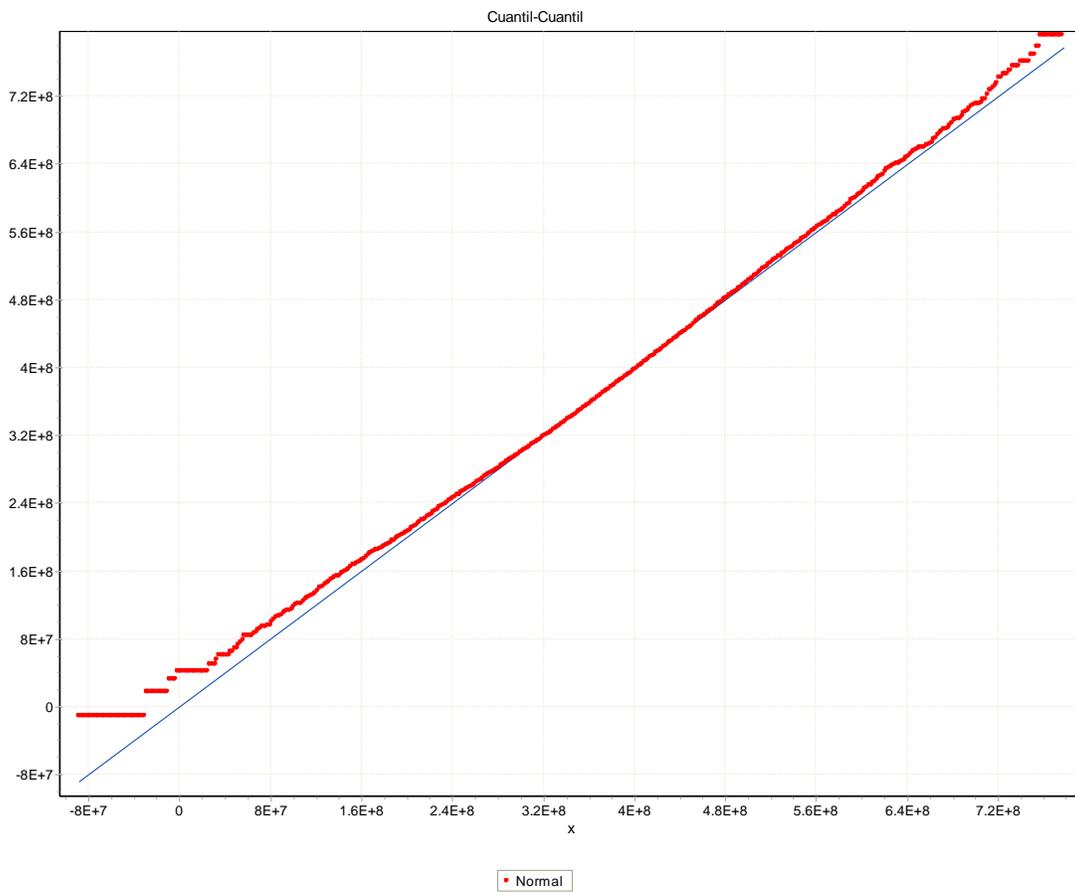
Gráfica 6. Probabilidad empírica (*Bootstrap montos*) vs. Distribución Normal



En la siguiente gráfica (*Gráfica 7*) están representados los cuantiles, que miden el grado de concentración, aquí se observa que en los datos centrales existe el mismo nivel de concentración para el distribución empírica que para la distribución normal; por otra parte, en las colas podemos

observar diferencias considerables entre la distribución empírica y la distribución normal, ya que en la cola izquierda por ejemplo, existe un desajuste entre ambas curvas que se origina porque la probabilidad de que existan resultados negativos, es decir, reserva negativa, es muy baja.

Gráfica 7. Cuantiles (*bootstrap montos*) vs. Distribución Normal



4.2.2. Bootstrap factores

Con base en el *Cuadro 5* podemos observar que la muestra de los resultados de las simulaciones obtenidas con el *Bootstrap factores* se ajusta sólo a las distribuciones gamma y lognormal para cualquier nivel de confianza, mientras que la prueba se rechaza para la distribución beta en todos los niveles de confianza mostrados.

Sin embargo, se tiene un mejor ajuste para la distribución gamma que para la distribución lognormal debido a que la distribución gamma tiene un “p-value” (estadístico cuya funcionalidad es saber si la hipótesis de la que se está partiendo se acepta o rechaza) más grande que el de la distribución lognormal.

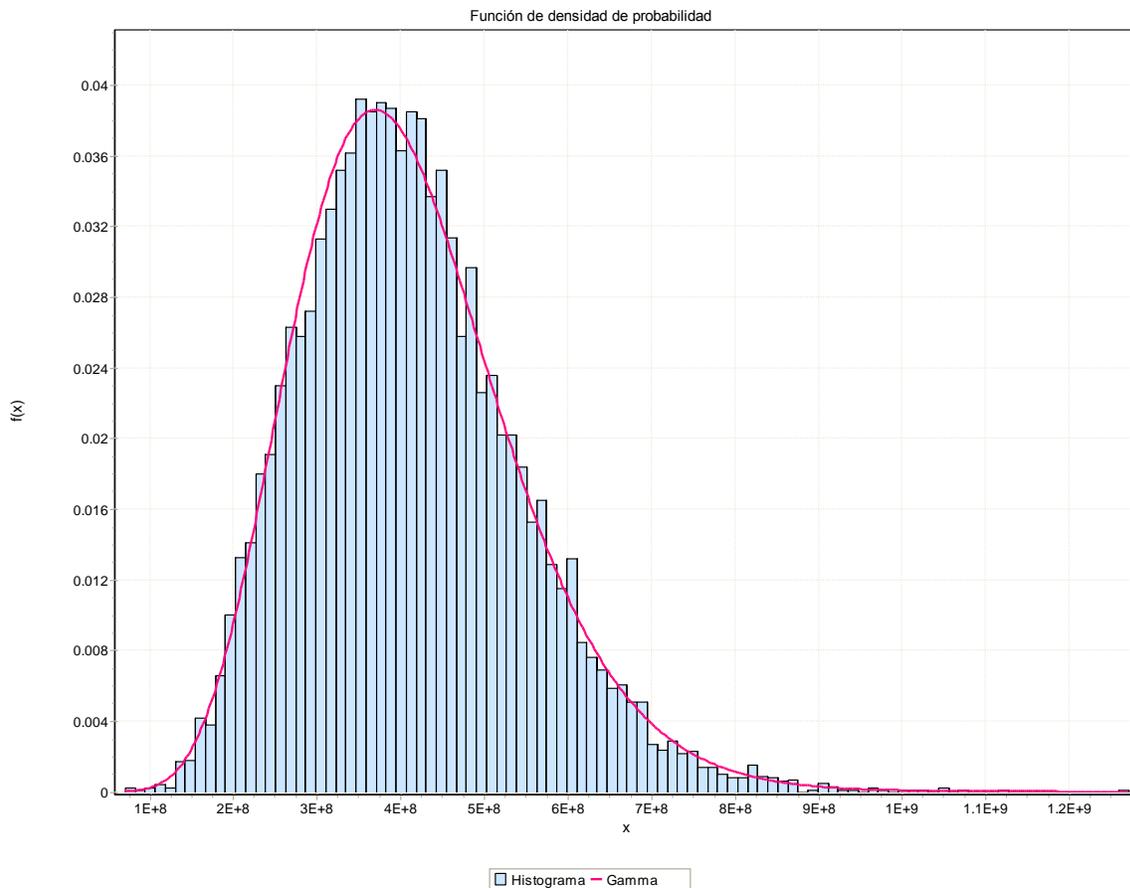
Cuadro 5. Pruebas de bondad de ajuste - Bootstrap factores

Ajuste a una distribución Gamma			
Kolmogorov-Smirnov			
Tamaño de la muestra	10,000		
Estadística	0.00715		
Valor P	0.68285		
a	0.1	0.05	0.01
Valor crítico	0.01223	0.01358	0.01629
Rechazar?	No	No	No

Ajuste a una distribución Lognormal			
Kolmogorov-Smirnov			
Tamaño de la muestra	10,000		
Estadística	0.00764		
Valor P	0.60098		
a	0.1	0.05	0.01
Valor crítico	0.01223	0.01358	0.01629
Rechazar?	No	No	No

Ajuste a una distribución Beta			
Kolmogorov-Smirnov			
Tamaño de la muestra	10,000		
Estadística	0.01663		
Valor P	0.00781		
a	0.1	0.05	0.01
Valor crítico	0.01223	0.01358	0.01629
Rechazar?	Sí	Sí	Sí

Gráfica 8. Ajuste de distribución empírica - Bootstrap factores

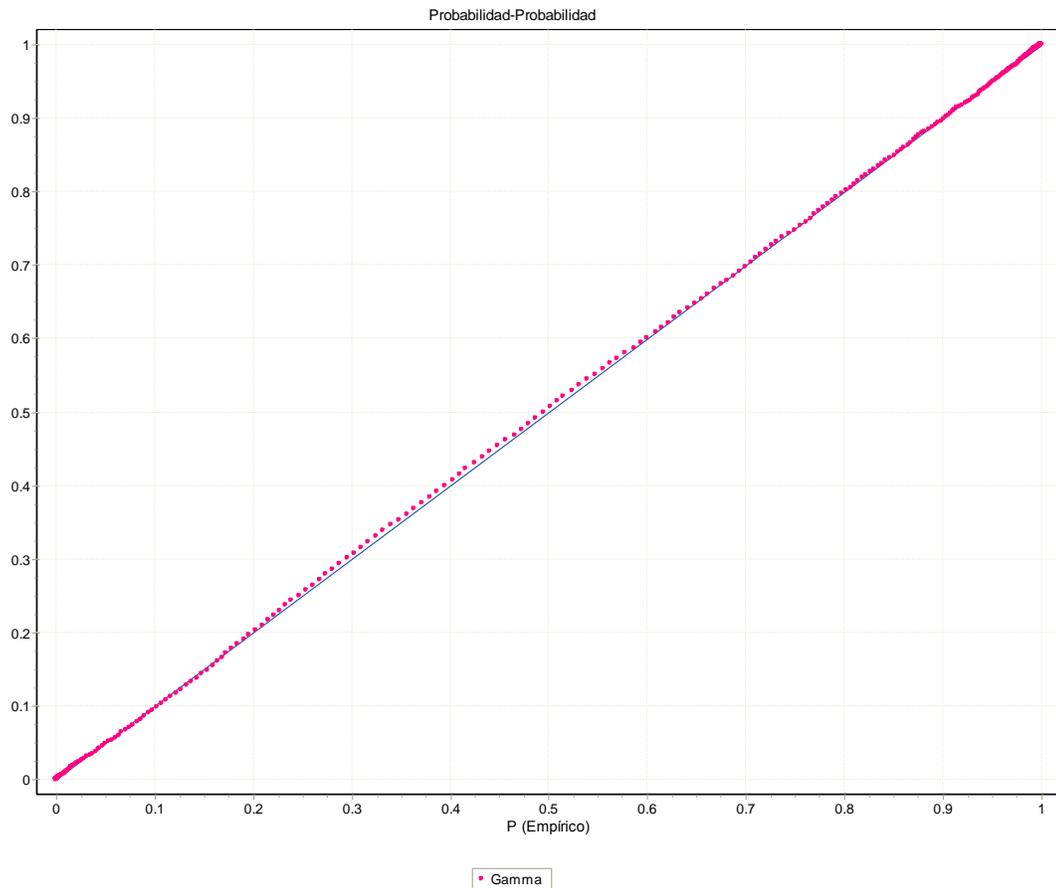


En la gráfica (*Gráfica 8*) se puede observar como el ajuste que se realiza a los resultados del *bootstrap de factores* son muy similares a la curva de una distribución gamma conforme al resultado de la prueba de bondad de ajuste del *cuadro 5*, en la gráfica se aprecia también que algunas barras del histograma se ubican por debajo en la parte central de la distribución, aunque esto no es muy significativo.

La gráfica siguiente (*Gráfica 9*) muestra la probabilidad empírica del *Bootstrap factores* empatada con la distribución gamma, y se observa que, como se había mencionado anteriormente, la probabilidad varía muy poco para los elementos centrales de la distribución, siendo esta

variación muy poco significativa; por otra parte, la probabilidad de los extremos de la distribución empírica es muy similar a la de los extremos de la distribución gamma.

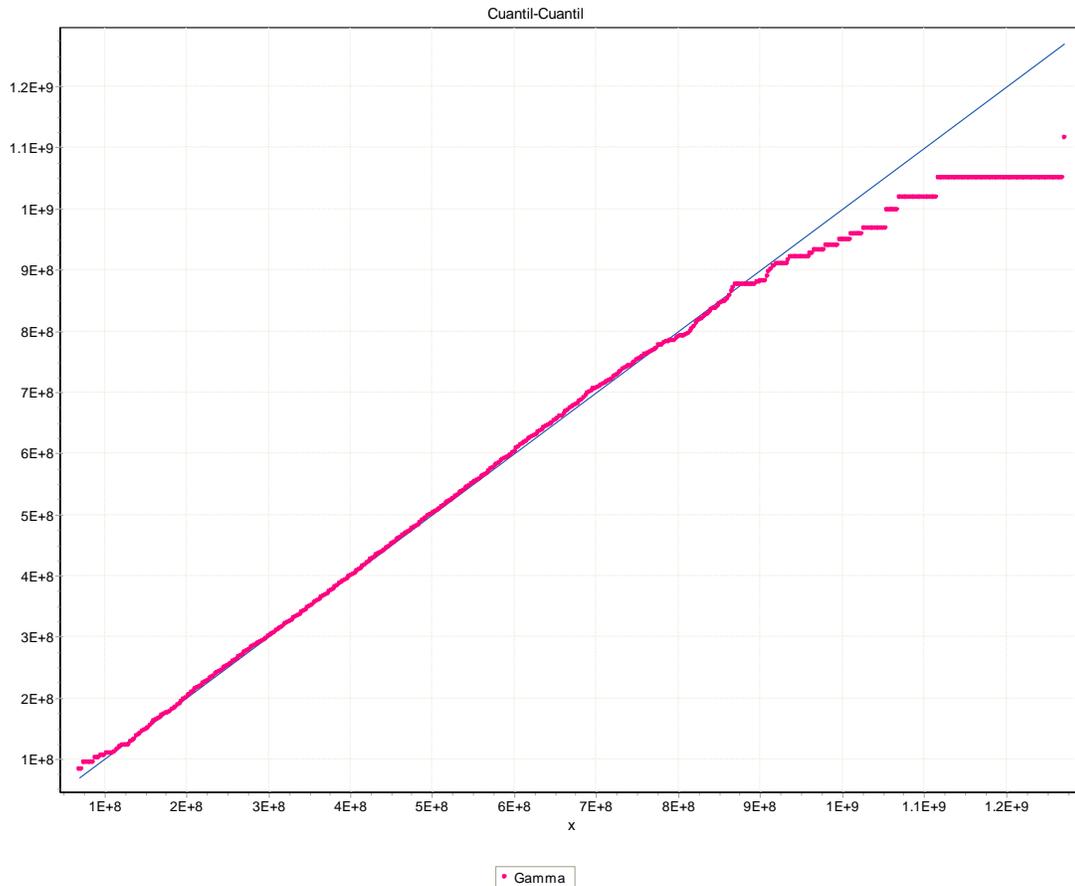
Gráfica 9. Probabilidad empírica (*Bootstrap factores*) vs. Distribución Gamma



Por último, en la *Gráfica 10* se observa que en los datos centrales del *Bootstrap factores* e incluso en la cola izquierda existe el mismo nivel de concentración para el distribución empírica que para la distribución gamma; por otra parte, en la cola de la derecha se observan diferencias muy significativas, esto se debe a que existe poca aleatoriedad en el diseño de la metodología, lo que

da como consecuencia que las simulaciones estén acotados y que haya pocos resultados en los valores extremos de la derecha.

Gráfica 10. Cuantiles (*bootstrap factores*) vs. Distribución Gamma



4.2.3. Bootstrap estandarizado

Con base en el *Cuadro 6* podemos observar que la muestra de los resultados de las simulaciones obtenidas con el *Bootstrap estandarizado* se ajusta a las tres distribuciones (normal, gamma y lognormal) para cualquier nivel de confianza, sin embargo, el mejor ajuste que se tiene

corresponde a la distribución normal debido a que ésta tiene un “p-value” mayor que el de las otras distribuciones.

Cuadro 6. Pruebas de bondad de ajuste - Bootstrap estandarizado

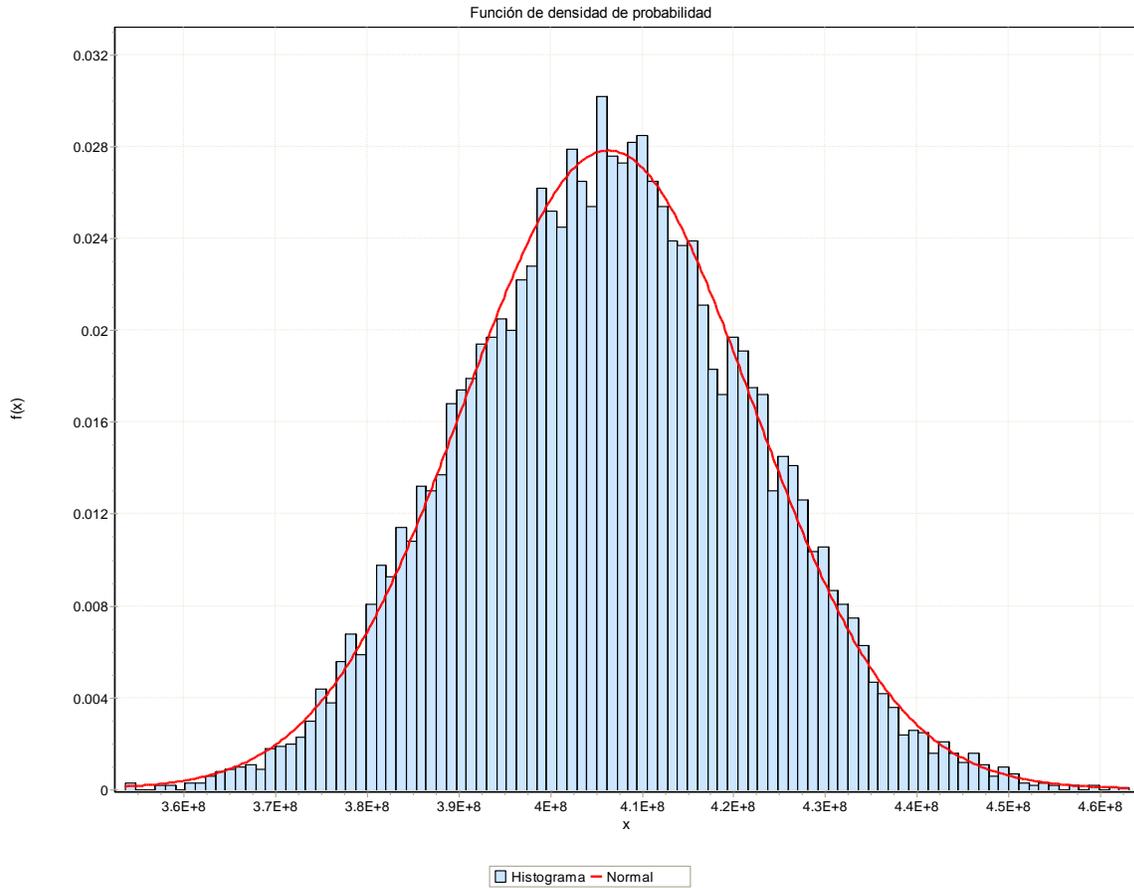
Ajuste a una distribución Normal				
Kolmogorov-Smirnov				
Tamaño de la muestra	10,000			
Estadística	0.00853			
Valor P	0.45759			
a	0.1	0.05	0.01	
Valor crítico	0.01223	0.01358	0.01629	
Rechazar?	No	No	No	

Ajuste a una distribución Gamma				
Kolmogorov-Smirnov				
Tamaño de la muestra	10,000			
Estadística	0.00976			
Valor P	0.29481			
a	0.1	0.05	0.01	
Valor crítico	0.01223	0.01358	0.01629	
Rechazar?	No	No	No	

Ajuste a una distribución Lognormal				
Kolmogorov-Smirnov				
Tamaño de la muestra	10,000			
Estadística	0.010130			
Valor P	0.25505			
a	0.1	0.05	0.01	
Valor crítico	0.01223	0.01358	0.01629	
Rechazar?	No	No	No	

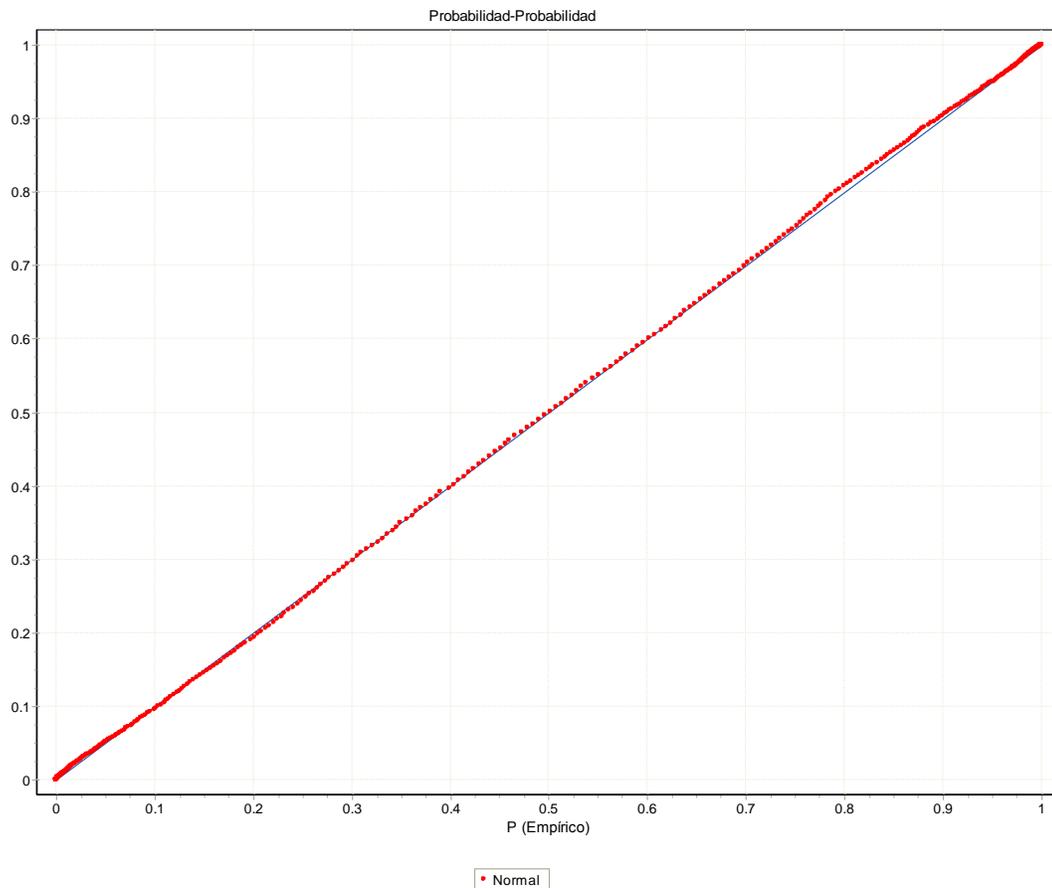
En la siguiente gráfica (*Gráfica 11*) se puede observar el ajuste de los resultados del *bootstrap estandarizado* contra una distribución normal, se aprecia que algunas franjas del histograma están un poco por debajo de la curva de la normal en la parte central de la misma, mientras que algunas otras se encuentra por arriba, debido a que estas diferencias no son significativas, se considera que el ajuste es bueno.

Gráfica 11. Probabilidad empírica (*Bootstrap Estandarizado*) vs. Distribución Normal



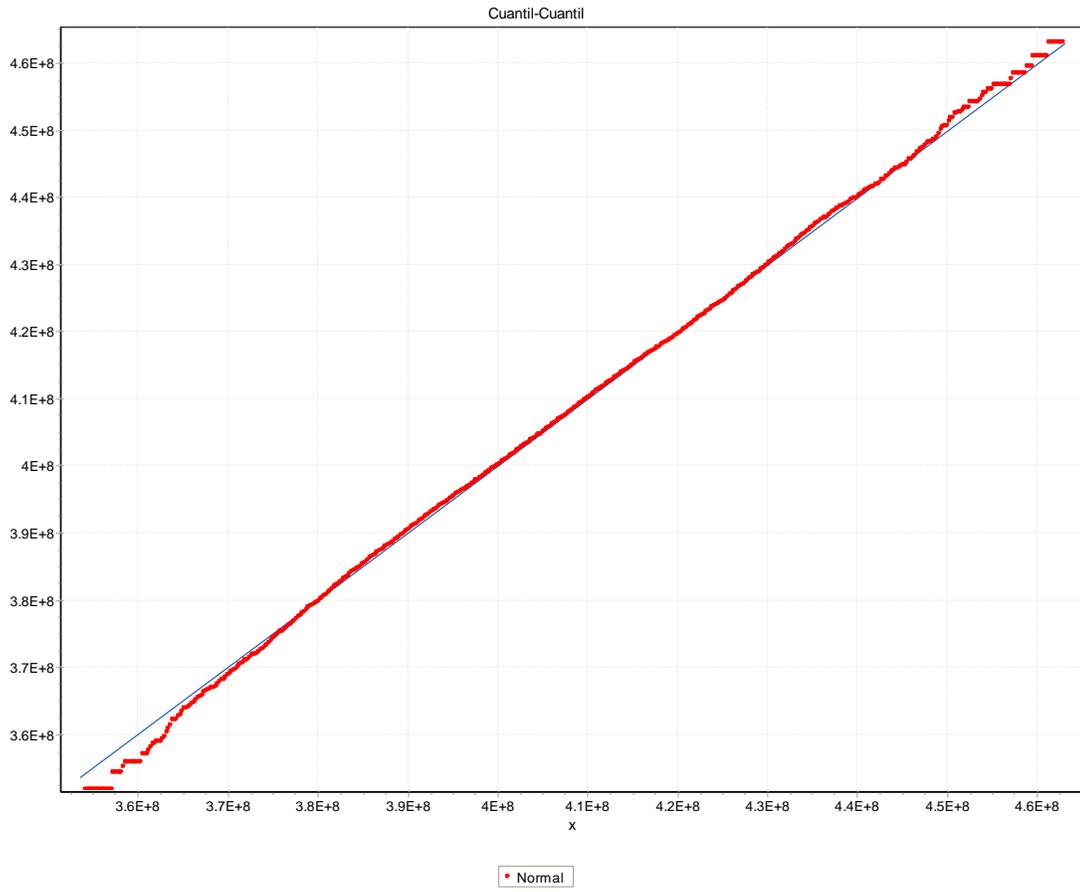
En la *Gráfica 12* se muestra que la probabilidad empírica empata con la distribución normal en la mayoría de los puntos, a pesar de que existen algunas protuberancias que indican que las curvas no empatan de manera exacta, estos puntos no representan un desajuste importante.

Gráfica 12. Probabilidad empírica (*Bootstrap estandarizado*) vs. Distribución Normal



En la siguiente gráfica (*Gráfica 13*) se observa que en los datos centrales e incluso en la cola derecha existe un nivel de concentración muy similar para el distribución empírica que para la distribución normal; por otra parte, en la cola de la izquierda se observan diferencias no muy significativas entre la distribución empírica y la distribución normal, esto se debe a que la distribución normal tiene una cola larga, esto en el lado izquierdo de la distribución representa elementos negativos, que como se había mencionado anteriormente son muy poco probables en un ambiente real, aunque este des ajuste no es muy significativo.

Gráfica 13. Cuantiles (*bootstrap estandarizado*) vs. Distribución Normal



Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en el capítulo 3 se observa que las tres metodologías analizadas tienen particularidades definidas que se reflejan de manera directa en el resultado del monto de reserva correspondiente al mejor estimador, así como en el resultado del requerimiento de capital.

Las metodologías *bootstrap montos* y *bootstrap factores* son metodologías de fácil desarrollo y construcción, la metodología *bootstrap estandarizado* es una técnica un poco más compleja en comparación a las otras dos ya que basa su desarrollo en modelos lineales generalizados, lo anterior con la finalidad de tener menos desviaciones en las valuaciones y de lograr una estimación más cercano al comportamiento real de los siniestros de una cartera de seguros de no vida.

La técnica *bootstrap montos* presenta mucha variabilidad en los resultados, mostrando en ocasiones escenarios cuya probabilidad real de ocurrencia es muy baja, esto tiene como consecuencia que las colas de los resultados de las simulaciones sean muy largas y pesadas.

Por otro lado, la variabilidad en los resultados de la metodología *bootstrap factores* es baja ya que el remuestreo se realiza por columnas, este efecto se puede observar en la varianza tan pequeña y en las colas ligeras de los resultados, sin embargo, este tipo de remuestreo es muy sensible a la última observación del triángulo puesto que así cómo se comporte esta última observación, se comportará la última observación de todas las simulaciones realizadas.

Por su parte, el método *bootstrap estandarizado* de manera similar al método de *bootstrap factores*, tiene poca variación en los resultados, aunque la principal diferencia entre ambos consiste en que el remuestreo se realiza sobre todo el triángulo lo que permite disminuir el nivel de dependencia de la última observación de manera considerable.

La variabilidad en los resultados es un elemento muy importante para la valuación del requerimiento de capital de solvencia pues depende de manera directa de la variabilidad, es decir, a mayor variabilidad en los resultados, se tendrán colas más largas de la distribución y más requerimiento de capital.

Por lo anterior se puede concluir que de las tres metodologías revisadas para el cálculo de la provisión técnica de siniestros ocurridos pero no reportados, la técnica *bootstrap estandarizado* es la que provee el resultado más apegado al comportamiento real de los siniestros futuros sin pérdida de la aleatoriedad y evitando escenarios que sean poco probables; así mismo, es la que disminuye en mayor grado la desviación estándar permitiendo que los resultados estén más cercanos a la media y logrando por consiguiente un menor requerimiento de capital teniendo certeza de que los siniestros están cubiertos de manera adecuada.

Con base en lo anterior el presente trabajo permite al lector, contar con un manual cuya finalidad es mostrar las formas más utilizadas para el cálculo de pasivos garantizando que los pasivos de una estén valuados con metodologías estocásticas que permitan determinar un nivel de reservas óptimo y lo más cercano a la realidad que sea posible, bajo el enfoque estadístico que Solvencia II exige.

Bibliografía

Capítulo 1:

- Fundación Mapfre, 2001. *Diccionario Mapfre de seguros*.
<http://www.mapfre.com/wdiccionario/general/diccionario-mapfre-seguros.shtml>
- Pérez Raffo, Hernán, 2003. *Solvencia, Calificaciones y Run Off en América Latina*. <http://www.mercadoasegurador.com.ar/25aniversario/sumario.asp>
- Asociación de Superintendentes de Seguros de América Latina, 1999. *Criterios Generales de Solvencia*.
http://www.assalweb.org/documentos/documentos_ASSAL/estandares_ASSAL/GES_02_Criterio_Margen_de_Solvencia.pdf
- Aguilera Verduzco, Manuel, 2007. *Prestación Suficiencia de Capital y Solvencia de las Aseguradoras de Vida en México*.
<http://www.actuaries.org/LIFE/Events/Mexico/Presentations/Aguilera.pdf>
- Aguilar Beltran, Pedro, 2002. *Modelo de Solvencia Dinámica*.
[http://www.svs.cl/sitio/publicaciones/doc/iaais/2002/Dynamics_Solvency_Testing_Models/Paper_de_Solvencia_Dinamica_\(espanol\).doc](http://www.svs.cl/sitio/publicaciones/doc/iaais/2002/Dynamics_Solvency_Testing_Models/Paper_de_Solvencia_Dinamica_(espanol).doc)
- Seguros Atlas/AMA/CONAC, 2005. *Presentación Solvencia Dinámica Usos estratégicos del seguro de daños*.
<http://www.ama.org.mx/Solvencia/SolvenciaDinamica-AMA-CONCAC.pdf>
- CNSF, 2011. *Circular única de seguros*.
[http://www.cnsf.gob.mx/Normativa/CUS2011/Circular%20Única%20Seguros%20compulsada%20sin%20anexos%20\(23%20Septiembre%202011\).pdf](http://www.cnsf.gob.mx/Normativa/CUS2011/Circular%20Única%20Seguros%20compulsada%20sin%20anexos%20(23%20Septiembre%202011).pdf)

- HSBC, 2007. *Gaceta Basilea II*.
http://www.hsbc.com.mx/1/PA_1_1_S5/content/grupo_hsbc/sustentabilidad/archivos/gestion_riesgos/gaceta_basilea_n1_introduccion_a_basilea.pdf
- UNESPA, 2007. *¿Qué es solvencia II?*
<http://www.unespa.es/frontend/unespa/Que-Es-Solvencia-II-vn2783-vst16>
- COPAPROSE, 2007. *¿Qué es solvencia II?*
http://www.copaprose.org/index.php?option=com_content&task=view&id=174&Itemid=192
- Pilan Canorea, Ovidio, 2005. *Reforma del Control de la Solvencia de la Empresa de Seguros en la U.E.: Solvencia II*.
http://mural.uv.es/opica/Presentacion_Solvencia%20II.ppt.
- Ernst and Young, 2002, *Presentación Solvencia II: Visión general*.
<http://lab.raona.com/uoc/UOCTrainingGame/UOCTrainingGameServices/Files/6b926920-a1ed-4f3c-ad6d-cd1f8fbf141a.pdf>
- Abraham, Marcela, 2008. *Presentación Solvencia II Avances y expectativas en la Unión Europea*.
http://www.amis.org.mx/InformaWeb/Documentos/Archivos/Solvencia_II_v5.pdf
- Van Hulle, Karel, 2010. *Solvencia II: Administración de Riesgos*.
<http://www.cnsf.gob.mx/Eventos/Seminarios/2010/Karel%20Van%20Hulle-Administraci%C3%B3n%20de%20riesgos.pdf>
- Duque Santamaría, Ruth, 2008. *Valoración de Pasivos: Reservas Técnicas y Margen de Riesgo*.
<http://www.cnsf.gob.mx/Eventos/Ponencias/Ruth%20Duque%20Santamar%C3>

[%ADa%20Valuaci%C3%B3n%20de%20Pasivos%20Y%20Reservas%20T%C3%A9cnicas.pdf](#)

- Alonso, Alberto, 2008. Solvencia II para Aseguradores no-vida. Gerencia de riesgos y seguros.
http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/gerencia/n102/estud_01.html
- Deloitte, 2011. *Desafíos clave en la implementación de Solvencia II Marcando el rumbo.* [http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Mexico/Local%20Assets/Documents/mx\(es-mx\)Desaf%3ADos%20clave%20en%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20Solvencia%20II-2.pdf](http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Mexico/Local%20Assets/Documents/mx(es-mx)Desaf%3ADos%20clave%20en%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20Solvencia%20II-2.pdf)
- Arias, Recaredo, 2011. *Solvencia II.*
<http://www.escueladeseguros.cl/content/bin/89/rarias.pdf>
- UNESPA, 2007. *Modelo Español de Solvencia paso a paso.*
http://www.actuarios.org/espa/servicios_colegiados/info-interes/unespa/Modelo%20espa%C3%B1ol%20de%20solvencia%20nov-2007.pdf
- Lozano-Aragüés, Ricardo, 2007. *Disciplina y supervisión de entidades aseguradoras bajo solvencia II.*
[http://www.camaraseg.org/archivos/evento/Solvencia_II_\(Modo_de_compatibilidad\).pdf](http://www.camaraseg.org/archivos/evento/Solvencia_II_(Modo_de_compatibilidad).pdf)
- AMIS. *Seminario de solvencia II Impacto de Solvencia II en la gestión de los riesgos en las compañías de seguros.*
http://www.amis.org.mx/InformaWeb/Documentos/Archivos/Impacto_de_Solvencia_II_1.pdf

- Carrasco Bahamonde, Francisco, 2007. *Solvencia II pilar III*.
https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:VKBmO7fLvrMJ:www.dgsfp.meh.es/sector/Sol2_Qis3/Pilar%2520IIImarzo07.ppt+solvencia+2+pilar+3&hl=es&gl=mx&pid=bl&srcid=ADGEESiSrMqd0ZICYMJXwy2PUOe--ISK57Nye79IRmCHK3LwSvfjdzqtnQcEwVx20CHqsiJ9eFERIOihPtW5ZgJjesjIFMRZc55KJ9hg9LwN2eYE_8_EDsGB01CZ8sugwPXlhTG30rJd&sig=AHIEtbQMm97jFnTXDi1GlvG57qjj-2M7PA
- Pozuelo de Gracia, Emiliano, 2008. *Solvencia II: Capital Económico en Aseguradoras*. http://www.aefin.es/AEFIN_data/articulos/pdf/C16-4_818995.pdf
- Watson & Wyatt, 2005. *Principales hitos en Solvencia II*.
https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:arMc48XY34wJ:www.actuarios.org/Privado/solvencia/jornada%252024-11-2005/Principales%2520hitos%2520en%2520solvencia%2520II.ppt+scr+solvencia+ii&hl=es&pid=bl&srcid=ADGEESinAAEgZAip-bebeyAhv7oCkrFRuhWpVOUFQZdk0Af2zk7MoobOLAjyAWx5cLQc85C7HUoQ1kmem0WUouFnCd_iYtZv5e9HxcumLniLYRvdhldn3NP0xtXvNmQFPY8INKC9GLar&sig=AHIEtbS3vQfl2bG19vqUuRQSfJcs5nV8Vw

Capitulo 2

- Moreno Muñoz, María Teresa, 1998. *Predicador Bayesiano de la Reserva para Obligaciones Pendientes de Cumplir por Siniestros Ocurridos y No Reportados*.

<http://www.cnsf.gob.mx/Eventos/Premios/1998/1998%20primer%20lugar%20v%20f.pdf>

- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Ley General De Instituciones Y Sociedades Mutualistas De Seguros*.
<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/138.pdf>
- Esteva, Eduardo, 1994. *Reserva De Siniestros Ocurridos Pero No Reportados*, CNSF # 36.
<http://www.cnsf.gob.mx/Difusion/Otraspublicaciones/Documentos%20de%20Trabajo/DdT36conimag%20BV%20ok.pdf>
- Martínez, Juan Manuel, 2009. *Valuación de Reservas*.
<http://www.ama.org.mx/pags/XXIVCongreso/JuanManuelMartinez-ValuacionDeReservas.pdf>
- CNSF, 2011. *Circular única de seguros*.
[http://www.cnsf.gob.mx/Normativa/CUS2011/Circular%20Única%20Seguros%20compulsada%20sin%20anexos%20\(23%20Septiembre%202011\).pdf](http://www.cnsf.gob.mx/Normativa/CUS2011/Circular%20Única%20Seguros%20compulsada%20sin%20anexos%20(23%20Septiembre%202011).pdf)
- Esteva, Eduardo, 2008. *Seminario de Notas Técnicas y Reservas*.
<http://www.ama.org.mx/pags/eventos/AnalisisReservasSiniestros.pdf>
- UNESPA, 2007. *Modelo Español de Solvencia paso a paso*.
http://www.actuarios.org/espa/servicios_colegiados/info-interes/unespa/Modelo%20espa%C3%B1ol%20de%20solvencia%20nov-2007.pdf
- Athié, José Manuel, 2010, *Actuarios trabajando*, num. 5.
http://www.conac.org.mx/revista_actuarios/ActuariosTrabajando_2010Num5.pdf

f

- Abarran, Irene. Alonso, Pablo, 2008, *Métodos Estocásticos de Estimación en las Provisiones Técnicas en el Marco de Solvencia II*.
http://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/fundacion/cs-seguro/libros/Metodos_estocasticos_de_estimacion_de_las_provisiones_tecnicas_en_el_marco_de_Solvencia_II.pdf
- Arias, Recaredo, 2011. *Solvencia II*.
<http://www.escueladeseguros.cl/content/bin/89/rarias.pdf>
- Camacho, Álvaro, 2009. *Solvencia II: supervisión basada en riesgo de entidades aseguradoras en el marco de la Unión Europea*.
<http://www3.bcu.gub.uy/autoriza/peiees/jor/2009/iees03j3441009.pdf>
- Duque Santamaría, Ruth, 2008. *Valoración de Pasivos: Reservas Técnicas y Margen de Riesgo*.
<http://www.cnsf.gob.mx/Eventos/Ponencias/Ruth%20Duque%20Santamar%C3%ADa%20Valuaci%C3%B3n%20de%20Pasivos%20Y%20Reservas%20T%C3%A9cnicas.pdf>
- Kikuchi, Masashi 2010, *Actuarios trabajando*, num. 5.
http://www.conac.org.mx/revista_actuarios/ActuariosTrabajando_2010Num5.pdf

f