



TESIS DOCTORAL

LA EVALUACIÓN DE RIESGOS COMO COMPONENTE BÁSICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAPITAL ECONÓMICO – APLICACIÓN AL SECTOR ASEGURADOR BAJO EL MARCO DE SOLVENCIA II

MANUEL GRANADO SÁNCHEZ

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA FINANCIERA Y CONTABILIDAD

2015



TESIS DOCTORAL

LA EVALUACIÓN DE RIESGOS COMO COMPONENTE BÁSICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAPITAL ECONÓMICO – APLICACIÓN AL SECTOR ASEGURADOR BAJO EL MARCO DE SOLVENCIA II

MANUEL GRANADO SÁNCHEZ

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA FINANCIERA Y CONTABILIDAD

Conformidad del Director:

Fdo: DR. JOSÉ LUIS COCA PÉREZ

2015

Dedicado a mi familia

AGRADECIMIENTOS:

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PARTE I 22

INTRODUCCIÓN 24

1. PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....26
2. JUSTIFICACION Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN27
3. ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN.....33
4. METODOLOGÍA UTILIZADA37
5. APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN38

PARTE II 40

CAPÍTULO PRIMERO 42

MARCO CONCEPTUAL DE LA GESTIÓN DE RIESGOS 42

1. INTRODUCCIÓN 44
2. CAMPO DE ESTUDIO.47
 - 2.1 FUNDAMENTO ECONÓMICO.47
 - 2.2 FUNDAMENTO FINANCIERO.....50
 - 2.3 FUNDAMENTO ESTOCÁSTICO.51
3. REVISIÓN DE LITERATURA54
4. NORMATIVA SOBRE GESTIÓN DE RIESGOS, EVOLUCIÓN HASTA LA ACTUALIDAD.....57
5. MARCO LEGISLATIVO SOLVENCIA II62

CAPÍTULO SEGUNDO 81

MARCO CONCEPTUAL DE LAS PROVISIONES TÉCNICAS 81

1. INTRODUCCIÓN.....83
2. DIRECTRICES SOBRE PROVISIONES TÉCNICAS DE ENTIDADES ASEGURADORAS.94
3. CALIBRACIÓN DE LA FÓRMULA ESTÁNDAR Y LOS PARÁMETROS UTILIZADOS.....108

CAPÍTULO TERCERO	123
GESTIÓN DE RIESGOS EN EL MARCO DE SOLVENCIA II	123
1. INTRODUCCIÓN	125
2. SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS.....	127
3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA DE MEDICIÓN DEL VALOR EN RIESGO ..	131
CAPÍTULO CUARTO	137
TEORÍA DEL RIESGO TÉCNICO ACTUARIAL O DE SUSCRIPCIÓN	137
1. INTRODUCCIÓN.....	139
2. RIESGO DE SUSCRIPCIÓN NO VIDA	139
2.1 RIESGO DE LA RESERVA	140
2.2 PRINCIPALES METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS DE SINIESTROS	143
2.3 TEORÍA DE REMUESTREO: METODOLOGÍA BOOTSTRAP.....	144
2.4 PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO DE CÁLCULO DEL RIESGO DE RESERVA CON METODOLOGÍA BOOTSTRAP.....	167
2.4.1 MODELO DE REGRESIÓN DE POISSON CON SOBREDISPERSIÓN.....	174
2.4.2 MODELO BINOMIAL NEGATIVA.....	177
2.4.3 MODELO BINOMIAL NEGATIVA CON APROXIMACIÓN A LA NORMAL.....	178
2.4.4 MODELO BASADO EN LA DISTRIBUCIÓN GAMMA.....	180
2.4.5 MODELO BASADO EN LA DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL.....	181
2.5 PLANTEAMIENTO ESTOCÁSTICO DEL MODELO DE ESTIMACIÓN DE PROVISIONES TÉCNICAS	183
PARTE III	189
CAPITULO QUINTO.....	191
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EMPÍRICA	191
1. DISEÑO DEL ESTUDIO DE CAMPO.....	193
1.1 LA POBLACIÓN Y LA MUESTRA	193
1.2 LOS DATOS UTILIZADOS.....	195
2. MÉTODO DE VALORACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LAS PROVISIONES TÉCNICAS CON METODOLOGÍA ESTOCÁSTICA.....	199

2.1 HERRAMIENTA PARA LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS ESTOCÁSTICAS	200
2.2 MODELO BOOTSTRAP PARA LA PREDICCIÓN DE LAS RESERVAS DE SINIESTROS	209
2.3 OTRA ALTERNATIVA ESTOCÁSTICA: MODELO DE MACK	224
2.4 CUANTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DEL RIESGO DE LA RESERVA DE SINIESTROS	243
2.4.1 MÉTODO 1 DEL RIESGO DE RESERVA	243
3. MÉTODO 2 DEL RIESGO DE RESERVA:	249
3.1 CUANTIFICACIÓN A PARTIR DEL MÉTODO 1 DEL RIESGO DE RESERVA ..	254
CAPITULO SEXTO	267
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN EMPÍRICA	267
1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	269
1.1 RESULTADOS MÉTODO 1 – CHAIN LADDER CON ESTIMACIÓN ESTOCÁSTICA BOOTSTRAP	269
1.2 RESULTADOS MÉTODO 2 – CHAIN LADDER CON ESTIMACIÓN ESTOCÁSTICA MACK	273
1.3 ANÁLISIS DE LOS FACTORES RESULTANTES PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO DE RESERVA	275
PARTE IV	279
CAPITULO SÉPTIMO	281
CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	281
1. CONCLUSIONES A LA INVESTIGACIÓN	283
2. LIMITACIONES A LA INVESTIGACIÓN	289
3. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	290
PARTE V	293
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	295
REFERENCIAS	309

NORMATIVAS	309
-------------------------	------------

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1: NÚMERO DE ENTIDADES PARTICIPANTES EN QIS 5.	109
GRÁFICA 2: EVOLUCIÓN DE LOS PAGOS POR SINIESTROS INCREMENTAL.	202
GRÁFICA 3: EVOLUCIÓN DE LOS PAGOS POR SINIESTROS ACUMULADA POR AÑO DE OCURRENCIA.	204
GRÁFICA 4: EVOLUCIÓN DE LOS PAGOS POR SINIESTROS INCREMENTAL.	205
GRÁFICA 5: EXTRAPOLACIÓN LOG-LINEAL.....	206
GRÁFICA 6: PATRÓN DE PAGOS.	208
GRÁFICA 7: HISTOGRAMA DEL TOTAL DE IBNR	216
GRÁFICA 8: FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DEL TOTAL DE IBNR.....	217
GRÁFICA 9: GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LA MEDIA Y SU DISPERSIÓN DE LOS PAGOS TOTALES POR SINIESTROS POR CADA AÑO DE OCURRENCIA.	218
GRÁFICA 10: GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LA MEDIA Y LA DISPERSIÓN DE LOS IBNR POR AÑO DE OCURRENCIA.	219
GRÁFICA 11: HISTOGRAMA OBTENIDO CON BOOTSTRAP ASUMIENDO UNA DISTRIBUCIÓN GAMMA.....	222
GRÁFICA 12: FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN OBTENIDA CON BOOTSTRAP ASUMIENDO UNA DISTRIBUCIÓN GAMMA.	222
GRÁFICA 13: GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LA MEDIA Y SU DISPERSIÓN DE LOS PAGOS TOTALES POR SINIESTROS POR CADA AÑO DE OCURRENCIA ASUMIENDO UNA DISTRIBUCIÓN GAMMA.	223
GRÁFICA 14: GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LA MEDIA Y LA DISPERSIÓN DE LOS IBNR POR AÑO DE OCURRENCIA ASUMIENDO UNA DISTRIBUCIÓN GAMMA.	223
GRÁFICA 15: REPRESENTACIÓN PAGOS POR SINIESTROS TOTALES POR AÑO DE OCURRENCIA.....	241
GRÁFICA 16: REPRESENTACIÓN DE LOS PAGOS POR SINIESTROS POR AÑO DE OCURRENCIA INCLUYENDO EL MARGEN DE RIESGO.	242

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: CUOTA DE MERCADO DE LAS ENTIDADES PARTICIPANTES EN EL QIS 5.	110
TABLA 2: COMPARATIVA VALORACIÓN DE LAS PROVISIONES TÉCNICAS EN EL EJERCICIO QIS5 Y SOLVENCIA I.	111
TABLA 3: MATRIZ DE CORRELACIONES EJERCICIO QIS LTGA.	115
TABLA 4: COMPOSICIÓN DEL SCR PARA CADA SUBRIESGO ESTABLECIDO EN EL QIS 5.	116
TABLA 5: COMPOSICIÓN DEL MÓDULO DE RIESGO NO VIDA.	117
TABLA 6: FONDOS PROPIOS DISPONIBLES SEGÚN CRITERIOS SOLVENCIA II Y SOLVENCIA I, Y COMPARATIVA ENTRE AMBOS.....	118
TABLA 7: COMPARATIVA DE LOS RATIOS DE SOLVENCIA BAJO SOLVENCIA I Y QIS5.	119
TABLA 8: TRIÁNGULO DE DESARROLLO.....	169
TABLA 9: TRIÁNGULO AJUSTADO ACUMULADO.....	183
TABLA 10: TRIÁNGULO AJUSTADO INCREMENTAL.....	184
TABLA 11: TRIÁNGULO DE DESARROLLO INCREMENTAL.....	201
TABLA 12: TRIÁNGULO DE DESARROLLO ACUMULADO.....	203
TABLA 13: FACTORES DE DESARROLLO.....	205
TABLA 14: TRIÁNGULO DE DESARROLLO ACUMULADO COMPLETADO.....	207
TABLA 15: TRIÁNGULO AJUSTADO ACUMULADO.....	209
TABLA 16: TRIÁNGULO AJUSTADO INCREMENTAL.....	210
TABLA 17: RESIDUALES DE PEARSON.....	210
TABLA 18: RESIDUALES DE PEARSON AJUSTADOS.....	211
TABLA 19: RESIDUALES DE PEARSON AJUSTADOS MUESTREADOS.....	211
TABLA 20: NUEVO TRIÁNGULO INCREMENTAL OBTENIDO.....	212
TABLA 21: NUEVO TRIÁNGULO ACUMULADO.....	212
TABLA 22: NUEVOS FACTORES DE DESARROLLO OBTENIDOS.....	213
TABLA 23: ESTIMACIONES PAGOS FUTUROS NUEVO TRIANGULO.....	213
TABLA 24: DATOS OBTENIDOS APLICANDO LA TÉCNICA BOOTSTRAP.....	214
TABLA 25: DATOS OBTENIDOS APLICANDO LA TÉCNICA BOOTSTRAP.....	215
TABLA 26: DATOS OBTENIDOS APLICANDO LA TÉCNICA BOOTSTRAP. TOTALES.	216

TABLA 27: DATOS OBTENIDOS AL APLICAR LA TÉCNICA BOOTSTRAP SIGUIENDO UNA DISTRIBUCIÓN GAMMA	220
TABLA 28: DATOS OBTENIDOS AL APLICAR LA TÉCNICA BOOTSTRAP SIGUIENDO UNA DISTRIBUCIÓN GAMMA	220
TABLA 29: DATOS OBTENIDOS AL APLICAR LA TÉCNICA BOOTSTRAP SIGUIENDO UNA DISTRIBUCIÓN GAMMA. TOTALES	221
TABLA 30: FACTORES DE DESARROLLO.....	225
TABLA 31: CUADRO CON LAS ESTIMACIONES TOTALES DE PAGOS POR SINIESTROS.....	225
TABLA 32: VARIANZAS POR AÑO DE DESARROLLO.....	227
TABLA 33: TOTAL DE VARIANZAS POR AÑO DE DESARROLLO APLICANDO LA PROPUESTA DE MACK.....	229
TABLA 34: TOTAL DE VARIANZAS POR AÑO DE DESARROLLO APLICANDO LA REGRESIÓN LOGLINEAL.....	230
TABLA 35: ERROR CUADRÁTICO MEDIO POR AÑO DE OCURRENCIA SIGUIENDO LA PROPUESTA DE MACK.....	231
TABLA 36: ERROR CUADRÁTICO MEDIO POR AÑO DE OCURRENCIA SIGUIENDO LA REGRESIÓN LOGLINEAL.....	232
TABLA 37: ERROR TÍPICO POR AÑO DE OCURRENCIA SIGUIENDO LA PROPUESTA DE MACK.....	233
TABLA 38: ERROR TÍPICO POR AÑO DE OCURRENCIA SIGUIENDO LA REGRESIÓN LOGLINEAL.....	233
TABLA 39: APORTACIÓN POR AÑO DE OCURRENCIA AL ERROR CUADRÁTICO MEDIO DE LA RESERVA SIGUIENDO LA PROPUESTA DE MACK.....	235
TABLA 40: APORTACIÓN POR AÑO DE OCURRENCIA AL ERROR CUADRÁTICO MEDIO DE LA RESERVA SIGUIENDO LA REGRESIÓN LOGLINEAL.....	235
TABLA 41: RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS CON LA DISTRIBUCIÓN LIBRE DE MACK SIGUIENDO LA PROPUESTA DE MACK PARA LA VARIANZA DE $\hat{\sigma}_{n-1}^2$	237
TABLA 42: RESUMEN DE LOS TOTALES OBTENIDOS CON LA DISTRIBUCIÓN LIBRE DE MACK SIGUIENDO LA PROPUESTA DE MACK PARA LA VARIANZA DE $\hat{\sigma}_{n-1}^2$	237
TABLA 43: RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS CON LA DISTRIBUCIÓN LIBRE DE MACK SIGUIENDO LA REGRESIÓN LOGLINEAL PARA LA VARIANZA DE $\hat{\sigma}_{n-1}^2$	238

TABLA 44: RESUMEN DE LOS TOTALES OBTENIDOS CON LA DISTRIBUCIÓN LIBRE DE MACK SIGUIENDO LA REGRESIÓN LOGLINEAL PARA LA VARIANZA DE $\hat{\sigma}_{n-1}^2$	238
TABLA 45: VALORES PARA LOS DIFERENTES $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$	257
TABLA 46: VALORES DE $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$ PARA EL PERCENTIL 50.	259
TABLA 47: VALORES DE $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$ PARA EL PERCENTIL 75.	261
TABLA 48: VALORES DE $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$ PARA EL PERCENTIL 99,5.	263
TABLA 49: VALORES DE LOS DIFERENTES PERCENTILES OBTENIDOS CON EL BOOTSTRAP.....	272
TABLA 50: DIFERENTES VARIANZAS PARA CADA AÑO DE DESARROLLO.	273

ÍNDICE DE ESQUEMAS

ESQUEMA 1: ESTRUCTURA DE LA TESIS DOCTORAL	36
ESQUEMA 2: LEGISLACIÓN APLICABLE AL SECTOR ASEGURADOR.....	68
ESQUEMA 3: ESTRUCTURA DE LOS PILARES DE SOLVENCIA II	79
ESQUEMA 4: COMPONENTES DE LAS PROVISIONES TÉCNICAS.....	84
ESQUEMA 5: METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LAS PROVISIONES TÉCNICAS.....	87
ESQUEMA 6: ESTRUCTURA DE RIESGOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAPITAL REGULADORIO, “SOLVENCY CAPITAL REQUIRMENT”	112

PARTE I

INTRODUCCIÓN

1. PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

El interés que suscitó la realización de la presente Tesis Doctoral ha sido motivado debido a los grandes cambios que se están produciendo dentro del sector asegurador, derivado fundamentalmente de un cambio normativo que se viene gestando desde la década pasada y que entrará en vigor el próximo año 2016. Este cambio normativo ha suscitado un cambio de mentalidad a lo largo y ancho del sector asegurador europeo, acentuado además por la crisis financiera que hemos atravesado en los últimos años. Este cambio normativo introduce, entre otras cuestiones muy importantes, la gestión de capital-riesgo, que hasta ahora no había sido tenido en cuenta, y por tanto, da una relevancia muy importante a la cuantificación del riesgo al que están expuestas las entidades de seguros y reaseguros, estableciendo la obligación por imperativo legal a tener fondos propios disponibles en función de los riesgos a los que se exponen, y en caso contrario, se exponen a la intervención del supervisor. Hasta la actualidad los requerimientos de capital de solvencia, era más taxativo, no computando determinadas operaciones a efectos de cobertura de sus riesgos, con la introducción de la nueva regulación, las entidades podrán realizar todas las operaciones que consideren oportunas, y ellas mismas deberán cuantificarse el capital necesario para llevarlas a cabo, bien a través de una fórmula estándar derivada de la propia normativa, o bien a través del desarrollo de un modelo propio (modelo interno) que se adapte a los riesgos a los que se expone, y por tanto se deberá desarrollar un modelo estadístico que les permita cuantificarlo. Estos modelos deberán cumplir con un procedimiento establecido en la norma, pero otorgándole a las entidades cierta libertad para implantarlo.

Las diferentes normas analizadas para la realización de este trabajo de investigación hablan de metodología de manera muy general, sin entrar a particularizar, cuáles de las diferentes teorías existentes es la más conveniente para ello, nosotros, en este trabajo nos vamos a centrar en una parte muy concreta, la cuantificación del riesgo de suscripción no vida, y más en particular el derivado de las provisiones técnicas, entendidas estas como las obligaciones asumidas por las entidades de seguros y reaseguros frente a sus asegurados.

Además, un hecho que nos ha motivado la realización de este trabajo, que esperamos sea nuestro principal aporte, tanto a la sociedad, como a la comunidad científica, es que con este trabajo analizamos diferentes teorías para la valoración de las provisiones técnicas (England and Verral 1999), pero somos capaces de comparar diferentes teorías estocásticas Bootstrap (Efrón 1995) y Mack (1991), que como veremos más adelante en el punto de revisión de la literatura, ya han sido trabajadas. Nosotros a partir de todos estos trabajos de investigación, y con nuestra prueba empírica, somos capaces de establecer cuál es el mejor estimador, y cuantificamos el nivel de riesgo a partir de los resultados de estos trabajos. Por tanto, somos capaces de dar a la sociedad en general y a las empresas de seguros y reaseguros, un estimador único y concreto, que va en total consonancia con las normas que regulan la actividad.

2. JUSTIFICACION Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación persigue el análisis de algunos de los conceptos y magnitudes, que los artífices del actual cambio en la normativa contable y en el control y supervisión de las aseguradoras europeas, han barajado en el ámbito de la cuantificación de los riesgos asumidos por las

compañías aseguradoras, DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II), donde se inicia el profundo cambio que está experimentando el sector asegurador europeo, siendo este sector económico uno de los pilares básicos de las economías nacionales, puesto que son sectores que demuestran una gran fortaleza y contribuyen de manera significativa al PIB nacional, siendo por tanto una herramienta para la creación de empleo, sirviendo además como financiador de diferentes subsectores de servicios, contribuyen además a dar estabilidad a las economías particulares y de empresas, prestando servicios de utilidad para el ciudadano y por supuesto, actuando como un importante inversor institucional, pues en los últimos años el sector asegurador se ha convertido en el principal tenedor de la deuda pública emitida por los diferentes gobiernos de los países de la Unión Europea, además estas operaciones de adquisición se han realizado, no con el objetivo de especulación sino de mantenimiento de las mismas, dando por tanto mayor estabilidad a los mercados financieros.

Por ello, el interés de esta investigación se justifica desde dos perspectivas, la primera desde un ámbito teórico-académico, y la segunda desde un ámbito práctico-profesional.

En lo que respecta a la justificación teórica está basada en tres aspectos principales, surgidos a través de nuestra investigación, por las necesidades:

- a) De estudiar los riesgos a los que están expuestas las entidades aseguradoras, y por tanto establecer una clasificación y selección de la parte a trabajar.

- b) De analizar las distintas teorías que tienen influencia sobre la cuantificación de los riesgos, y en particular sobre las provisiones técnicas.
- c) Y por último, de identificar y analizar algunas de las variables que tienen incidencia en la cuantificación del riesgo de las obligaciones de las entidades aseguradoras.

En cuanto a la justificación práctica se manifiesta principalmente por el cambio legislativo que se ha producido recientemente, y que entra en vigor de manera plena el 1 de enero de 2016, este nuevo régimen de solvencia basado en riesgos supondrá cambios en la gestión, gobierno y organización de las entidades aseguradoras y tendrá efectos también en el trabajo del organismo supervisor. Este enfoque de riesgos ya se viene tratando desde los años 80 por parte de las instituciones financieras, pero es en los años 90 cuando surgen cuando evolucionan las metodologías para la gestión de riesgos y reservas, permitiendo a muchas entidades sobrevivir a las diferentes crisis económicas, además de la realización de operaciones financieras más eficientes. A partir de entonces, cada vez ha captado mayor interés técnicas para la disminución de la incertidumbre, como son el Value-At-Risk (VaR) (utilizado por primera vez a finales de los 80' impulsado en 1994 por J.P.Morgan), el Credit-At-Risk (CAR) y el Duration Gap (DGAP), para la medición de riesgos y el Return on Risk Adjusted Capital (RORAC), para analizar el ajuste entre riesgo y rentabilidad, entre otros.

Si además tenemos en cuenta que la economía presenta ciclos, de forma que los escenarios de actuación y toma de decisiones son cambiantes (Schumpeter, 1939), la gestión de riesgos en la compañía debe de tener un enfoque preventivo, es decir, debe contemplar los posibles escenarios

que puedan darse, de forma que debe establecer medidas de impacto para estimaciones en etapas estables, alcistas o bajistas.

En particular, en los últimos años se han realizado estudios sobre la regulación del sector asegurador, y el impacto de las nuevas normas de actuación, desde un punto de vista cuantitativo tanto en lo que se refiere a la cuantificación de las obligaciones de las entidades aseguradoras, como a la cuantificación de los riesgos Rodríguez González, C. (2008), Pozuelo de Gracia, E.(2012), Athié Natividad, J.M. (2010), David S. Graham, Michael C. Hayes, Michel Rochette and Hans J. Wagner. David Hopewell (2010), Albarrán Lozano, I. & Alonso González, P. (2010), Ferri, A (2010), y más desde una óptica cualitativa, analizando los diferentes aspectos de la nueva regulación, Hernández y Martínez Torre-Enciso (2010), Blanco-Morales, Guillén y Domínguez (2011), Pérez Fructuoso (2010), Otero González, Durán Santomil, Fernández López y Vivel Búa (2011). Asimismo se argumenta la necesidad de metodologías concretas y estimadores que ayuden a las empresas a la toma de decisiones, debido a la falta de concreción de la norma respecto a la determinación del best estimate (mejor estimación de las provisiones técnicas, como obligación de las entidades aseguradoras a las que tienen que hacer frente por los compromisos asumidos BEL, por sus siglas en inglés y que tienen una aplicación cotidiana) y cuantificación del riesgo de las mismas, puesto que sobre las primeras la norma no es muy explícita, metodologías actuariales comúnmente utilizadas, y respecto al nivel de riesgo sobre estas establece una fórmula concreta, y unos coeficientes a aplicar sobre las mismas, considerando por tanto que todas las entidades tienen el mismo nivel de exposición al riesgo, no recogiendo esto la realidad de cada una en particular, aunque si es cierto que la norma establece esa flexibilidad, dando herramientas para que cada entidad aplique diferentes aspectos de la norma para que se recojan sus particularidades, bien a través del

modelo interno, o bien a través del uso de parámetros específicos. Lo que en este trabajo planteamos, servirá tanto para uno como para el otro.

Por lo tanto una vez expuesto el problema económico objeto de esta investigación, la presente Tesis tiene como fin último **cuantificar el riesgo de las obligaciones asumidas por las entidades aseguradoras o reaseguradoras, a través del uso y aplicación de un modelo estadístico que permita elegir el mejor estimador de las mismas que tiene incidencia en la determinación del capital económico, estableciendo por tanto la predicción de la máxima variación que se podrá experimentar.**

Para ello se tendrán en cuenta aquellos métodos de valoración utilizados en otros estudios y que sean más adecuados para cuantificar los aspectos relacionados con la determinación de las obligaciones económicas de las entidades aseguradoras por sus compromisos asumidos. Una vez identificado la mejor metodología, deberemos conocer su aplicabilidad y cuáles son los factores a los que se les puede atribuir su variabilidad; de forma que para plantear los métodos seleccionados utilizaremos test de contraste.

Junto con el objetivo principal que abordaremos en la presente Tesis, planteamos una serie de objetivos específicos que pasamos a enumerar:

Objetivo teórico 1: El análisis de la legislación mercado asegurador europeo, cambios normativos, funcionamiento y evolución lo abordaremos en el capítulo primero.

Objetivo teórico 2: Análisis y clasificación de los riesgos. El objetivo principal de esta parte es poder analizar los diferentes riesgos que propone la futura normativa aseguradora, y en particular abordaremos el

análisis de los riesgos y las pruebas de impacto para la calibración de las fórmulas de determinación del capital económico

Objetivo teórico 3: Análisis de las provisiones técnicas. En esta parte analizaremos las provisiones técnicas como cuantificación de las obligaciones de las entidades aseguradoras, profundizando sobre la metodología de cálculo, así como el estudio de la normativa al respecto, y los condicionantes que se establecen para estas. Proponiendo por tanto, un modelo conceptual sobre la cuantificación de la mejor estimación de las obligaciones económicas de las entidades aseguradoras por los compromisos asumidos en los contratos de seguros suscritos a través del análisis de las diferentes metodologías.

Objetivo teórico 4: Analizar las distintas teorías que tienen influencia sobre las provisiones técnicas, y que nos permitirán identificar y valorar de una manera más adecuada como inciden en su impacto económico, mediante el diseño de un modelo como herramienta de estimación de las mismas. Estudiaremos por tanto, los modelos para la cuantificación de las provisiones técnicas de seguros no vida. En este punto analizaremos las metodologías actuales para la cuantificación de las provisiones técnicas, tanto por metodologías estadísticas como diferentes modelos estocásticos, los cuales nos permitirán elegir un modelo óptimo para la cuantificación del riesgo, elegiremos una metodología que permita la gestión eficiente de los diferentes tipos de riesgos que se encuentran las entidades aseguradoras, y en particular las entidades de los denominados seguros no vida, y en concreto un modelo que nos permita estimar la denominada provisión de siniestros, con metodología estocástica, que nos permita definir un modelo sin sesgo, robusto y con calidad y calibración estadística suficiente y necesaria, que nos permita estimar y obtener conclusiones con un diferentes niveles de incertidumbre estadística.

A continuación plantearemos los diferentes objetivos empíricos que perseguimos con esta tesis doctoral.

Objetivo empírico 1: Profundizar en el comportamiento de los diferentes patrones de pagos que caracterizan el desarrollo de los mismos en cada año estudiado, a través de la serie temporal.

Objetivo empírico 2: Aplicar el modelo propuesto sobre las series temporales de pagos de cada año, para analizar su evolución y establecer una predicción de los pagos futuros, hasta la finalización de las obligaciones de las entidades aseguradoras.

Objetivo empírico 3: Determinar el nivel de riesgo implícito en la predicción de las obligaciones económicas de las entidades aseguradoras derivados de los contratos suscritos, y comparación con lo establecido a tal efecto en la futura norma aplicable.

Por las razones expuestas, la consecución de estos objetivos resultará de interés tanto a las entidades aseguradoras y reaseguradoras, como a las Administraciones Públicas, en concreto a las Organismos de Supervisión del Sector Asegurador (Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones), debido a que a las primeras les resultará útil para aplicarlas y a las segundas para controlar que se está haciendo correctamente.

3. ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

Una vez expuestos los argumentos que han motivado esta Tesis Doctoral, a continuación presentaremos la distribución de los contenidos organizados en partes, capítulos y subepígrafes, que siguen la lógica

deductiva que requiere la investigación científica. Por lo que la Tesis se ha estructurado en cuatro partes generales:

Parte I: Un apartado introductorio donde se presenta y justifica la investigación a través del planteamiento de un problema ante la falta de concreción de la norma y las necesidades relacionadas con la toma de decisiones de las entidades aseguradoras y reaseguradoras con metodología concreta. En este apartado se muestran los objetivos, la estructura, metodología y aportaciones de la Tesis.

Parte II: En este apartado se presenta la fundamentación teórica en la que se basa la investigación. Está formado por un total de tres capítulos que se detallan a continuación.

- En el primero de los capítulos se presenta el campo de estudio donde vamos a ubicar nuestro trabajo de investigación. Además se expone la revisión de la literatura llevada a cabo, y la revisión de la normativa aplicable, ya que no debemos olvidarnos de esta último, puesto que nuestro trabajo no tendría validez alguna, si no lo desarrollamos bajo el enfoque de Solvencia II.
- En el segundo capítulo se aborda el marco teórico de la Tesis, en el que se analiza el concepto de provisión técnica, y en concreto de siniestros, los requisitos que establece el marco de Solvencia II para la determinación de las mismas y las directrices que se deben llevar a cabo para que estas sean válidas y consistentes. Por último se hará un análisis de la fórmula estándar para el cálculo del capital económico, como medición de los riesgos a los que se expone una entidad aseguradora. Fórmula establecida en la norma, y a la que todas las entidades deberán acogerse, con independencia o no que se ajusten a ellos, es por ello, por lo que

surgirá la necesidad de realizar estudios individualizados para que reflejen el riesgo real de cada entidad.

- El capítulo tercero presenta la necesidad de realizar enfoques de gestión de riesgo bajo el nuevo contexto de mercado asegurador, así como la presentación de la metodología de medición del valor en riesgo, siempre desde la perspectiva de la nueva normativa europea.
- El capítulo cuarto aborda profundamente la teoría del riesgo técnico o actuarial, abordando las principales metodologías de estimación de reservas de siniestros, bajo un entorno estocástico. En este capítulo analizamos las diferentes distribuciones de probabilidad en las que nos basaremos para aplicar la metodología estocástica, y por último se realiza el planteamiento del modelo estocástico de estimación de las provisiones técnicas.

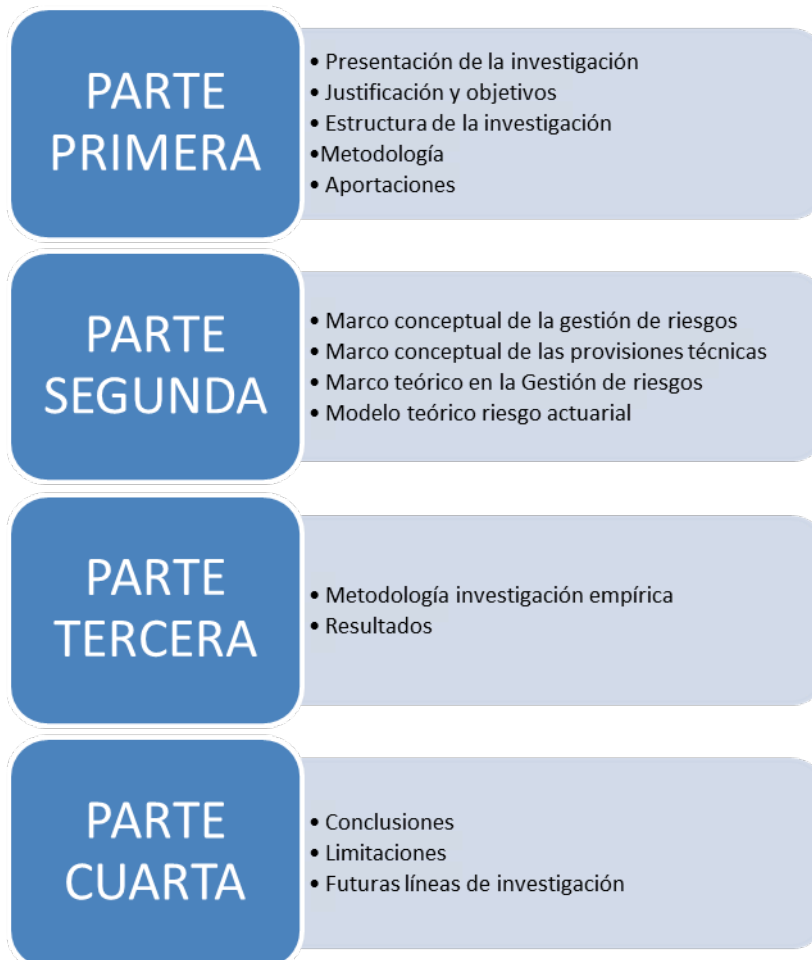
Parte III: Este apartado aborda la parte empírica de la tesis, y está dividido en dos capítulos.

- El capítulo cuarto muestra la metodología de la investigación empírica y está dividido en cuatro subepígrafes. El Primero detalla el diseño del estudio. El segundo describe cada uno de los modelos de predicción de las reservas de siniestros, la herramienta que utilizamos para ello, en el tercero abordo los dos modelos que se presentan para la cuantificación del riesgo de las reservas de siniestros y el cuarto presenta los diferentes estimadores del riesgo de reservas.
- En el capítulo quinto se analizan los resultados obtenidos, detallando paso a paso cada uno de los resultados obtenidos por

cada uno de los modelos planteados, y por último se comparan todos los resultados.

Parte IV: Por último se presentan las conclusiones más relevantes que se han obtenido con la investigación, así como las limitaciones y futuras líneas que puedan surgir del tema tratado en la presente Tesis Doctoral. Para concluir este apartado presentamos la siguiente figura que recoge los contenidos de cada parte de la investigación.

Esquema 1: Estructura de la Tesis Doctoral.



Fuente: Elaboración propia

4. METODOLOGÍA UTILIZADA

En la problemática planteada en esta investigación se ha utilizado un método analítico-sintético, que nos ha permitido analizar previamente aquellos aspectos teóricos y conceptuales relacionados con el tema objeto de análisis, así como su estado del conocimiento. Siguiendo a Sarabia (1999), señalamos la preponderancia del método hipotético-deductivo en las ciencias sociales, de forma que será esta metodología la que marque la estrategia con la que se pretende conseguir el objetivo propuesto.

Los distintos postulados recogidos en el marco teórico nos permitirán justificar la selección de la metodología más oportuna que nos permita realizar las estimaciones más cercanas, mediante el cual se plantearán las hipótesis relacionadas con el comportamiento de los siniestros de las entidades aseguradoras y reaseguradoras. De esta manera y aplicando el método hipotético-deductivo podrán deducirse una serie de conclusiones coherentes con la singularidad de los pagos de siniestros observados.

En la parte tercera de la Tesis se profundizará en la metodología que se ha aplicado, describiéndose en primer lugar las dos metodologías utilizadas para la predicción de las reservas de siniestros, y posteriormente se describen los dos métodos planteados para la cuantificación del riesgo de suscripción por la parte de reservas, que es el objetivo primario de la presente Tesis.

5. APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Para finalizar con esta parte introductoria, queremos señalar algunas de las contribuciones que consideramos puede aportar esta Tesis Doctoral.

Tal y como hemos enunciado, el sector asegurador está inmerso en un profundo cambio, derivado del nuevo enfoque basado en riesgos, y las entidades aseguradoras, en muchos casos, adolecen de medios y recursos para llevar a cabo la implantación de metodologías que les ayude a la optimización de las decisiones sobre la gestión de las mismas.

A través de nuestra investigación, se unifica un cuerpo teórico sobre la determinación de las provisiones técnicas, derivado de la gestión de riesgos en su conjunto, con una importante revisión de literatura, profundizando en los conceptos y las teorías que tienen influencia directa sobre la cuantificación de tales obligaciones, y finalmente, se recopilan las principales metodologías como métodos de valoración adecuados para cuantificar estas obligaciones, desde un punto de vista objetivo, proporcionando como medida el mejor estimador estocástico y proporcionando una metodología para la determinación del riesgo de las provisiones técnicas.

Además, en coherencia con la justificación y los objetivos que hemos planteado, pueden derivarse una serie de aportaciones que a continuación detallamos:

- Un modelo de análisis y predicción de las provisiones técnicas, que podría ser ampliable a cualquier otro campo, a través del análisis de comportamiento mediante series temporales.

Es una investigación aplicada sobre un sector concreto, y en particular sobre un determinado subsector, seguros no vida, por lo que consideramos que puede aportar algunas mejoras en el sector asegurador.

A continuación se iniciará la Parte II de la Tesis Doctoral, con el objeto de presentar el marco conceptual en el que se basa nuestra investigación. Expondremos el contexto en el que se desarrolla, bajo un marco normativo, en primer lugar sobre la gestión de riesgos y posteriormente sobre las provisiones técnicas, que es la parte que buscamos sintetizar ya que esta punto nos proporcionará la medida de volumen del riesgo de reservas. En primer lugar se aborda el marco conceptual de la gestión de riesgos y posteriormente de las provisiones técnicas, para posteriormente concretar la gestión de riesgos en el marco normativo y posteriormente abordar la teoría del riesgo técnico o actuarial.

PARTE II

CAPÍTULO PRIMERO

MARCO CONCEPTUAL DE LA GESTIÓN DE RIESGOS

1. INTRODUCCIÓN.

Para todas las entidades aseguradoras del mundo, la capacidad de identificar y gestionar los riesgos, así como un uso y una asignación de capitales eficiente, es cada vez más importante en un mercado centrado en el riesgo altamente competitivo. La capacidad para gestionar los riesgos y asignar capitales está intrínsecamente relacionada ya que una empresa con una mejor capitalización puede asumir mayores riesgos y, a la inversa, una empresa con una buena gestión de riesgos necesita menos capital para mantener su negocio.

La gestión de riesgos y de capitales es un marco unificado que combina estos aspectos a través del uso de “capital económico¹” como una forma común para medir el riesgo. *El capital económico² es el límite de capital necesario para hacer frente a potenciales pérdidas inherentes a las actividades comerciales (también puede llamarse “capital de riesgo” o “capital basado en el riesgo”).* El hecho de que las entidades aseguradoras se centren en el capital económico forma parte de un movimiento de todo el sector para la utilización de técnicas y prácticas fiables para tomar decisiones estratégicas, medir los riesgos, optimizar la evaluación del rendimiento y, por último, consolidar la rentabilidad a largo plazo y la competencia.

¹ 2010 Valuation Actuary Symposium Sept. 20-21, 2010. Session # 36 TS: Introduction to Economic Capital.

² Gestión integral de Riesgos, ICEA 2010 AREA XXI

El sector asegurador se centra cada vez más en la gestión de riesgos por varios factores importantes:

- Los accionistas y los inversores quieren estar seguros de que las decisiones estratégicas de las entidades aseguradoras están basadas en evaluaciones fiables tanto de los riesgos como de las necesidades de capital.
- Los financieros de los mercados de capitales esperan que las entidades aseguradoras, que intentan utilizar los escasos recursos de forma eficiente, determinen sus requerimientos de capital conforme a una valoración exhaustiva de los riesgos.
- Las agencias de calificación crediticia basan cada vez más sus evaluaciones de las entidades aseguradoras en la forma en la que identifican, agregan y gestionan los riesgos.
- Los organismos reguladores de todo el mundo evalúan cada vez más a las entidades aseguradoras con enfoques basados en el riesgo.

La gestión de capitales y riesgos puede ayudar a las ENTIDADES ASEGURADORAS a conseguir importantes beneficios comerciales:

- Una mejor comprensión de los riesgos y sus costes verdaderos para la organización.
- Traducción de las expectativas de los inversores en un marco de gestión.

- Una cultura empresarial mejorada por una mayor comprensión de los riesgos y una aplicación y definición constante de la tolerancia al riesgo.
- Una mejora en la fijación de precios de los productos que puede producir una calidad mayor de los ingresos.
- Un enfoque ajustado al riesgo para comparar el rendimiento de las unidades comerciales individuales.
- Una asignación de fondos y recursos de gestión dentro de la empresa.
- Una mayor capacidad para que los reguladores y las agencias de calificaciones crediticias cuantifiquen las posiciones de adecuación de capital ajustado al riesgo.

Esta investigación aborda la emergente importancia de la gestión de capitales y riesgos para las entidades aseguradoras. También aborda el riesgo y la medición del mismo, así como la diversificación del riesgo y plantea un marco para la gestión de capitales. Describe como un enfoque global puede ayudar a las entidades aseguradoras a conseguir varios beneficios comerciales y también a satisfacer las necesidades de sus accionistas, las otras partes interesadas y también las autoridades supervisoras.

2. CAMPO DE ESTUDIO.

El objeto de la presente investigación es la cuantificación del valor razonable de los compromisos asumidos por la entidad aseguradora, como consecuencia de los contratos de Seguros no vida suscritos, así como de los recursos propios necesarios para garantizar la solvencia de la misma por este motivo, a través de la determinación del riesgo de reservas o provisiones técnicas.

Así el ámbito de la presente investigación se encuadra en la ciencia actuarial, y cómo tal siguiendo a Nieto y Vegas (1993) tiene una fundamentación interdisciplinar:

2.1 FUNDAMENTO ECONÓMICO.

El origen de la operación de aseguramiento es el contrato de seguro es aquel por el que el asegurador se obliga, mediante el cobro de una prima y para el caso de que se produzca el evento cuyo riesgo es objeto de cobertura, a indemnizar, dentro de los límites pactados, el daño producido al asegurado, a satisfacer un capital, una renta u otras prestaciones convenidas.

La protección que el asegurado promete en el contrato de seguro, una vez ocurrido el siniestro puede ser de tres clases:

- Indemnizar el daño producido al asegurado, para el caso de seguros de daños y patrimoniales.
- Satisfacer un capital o una renta, para el caso de seguros personales
- Otras prestaciones convenidas, para el caso por ejemplo, de seguros de asistencia en viaje, defensa jurídica, decesos, etc.

La Aseguradora constituye una unidad económica cuya misión fundamental es ofrecer la adecuada cobertura frente a un riesgo. Esta labor de intermediación permite que el riesgo al que se hallan sometidas una serie de unidades económicas pueda ser sustituido por una Prima de Seguro.

Para proporcionar esta labor de protección, la Aseguradora se basa en la ley de los grandes números, según la cual cuando un experimento aleatorio se repite un número suficientemente grande de veces, la frecuencia relativa del suceso se aproxima a la probabilidad teórica del suceso.

Así para que la Aseguradora pueda ofrecer esta protección ha de alcanzar un volumen de negocio suficiente, que permita minimizar las desviaciones de la siniestralidad real respecto de la esperada.

Una gran parte de los fondos de una Aseguradora se destina a hacer frente a los compromisos con los Tomadores de la Póliza por prestaciones garantizadas. De este modo cobra una gran importancia el activo de la Aseguradora afecto a Provisiones Técnicas y los fondos propios:

- El primero surge inmediatamente del contrato de Seguro como inversión de las provisiones técnicas, para hacer frente a los compromisos que se derivarán de la Póliza.
- Buena parte del segundo, lo que se conoce como Margen de Solvencia,³ tiene por finalidad garantizar la Solvencia de la Aseguradora en sentido amplio.

Las provisiones técnicas aunque tienen su origen en la base técnica de la Póliza, se determinan según el Real Decreto 2486/1998 de 20 de noviembre por el que se aprueba el Reglamento de Ordenación y Supervisión de Seguros Privados de forma prudente, es decir, de modo que quede adecuadamente cubierto el riesgo técnico de desviación de la siniestralidad real respecto a la esperada. No obstante lo anterior, existe un riesgo técnico igual de importante, que es el de desconocimiento de la prestación esperada, que vendría cubierto al igual que otros riesgos inherentes a la industria aseguradora a través del Margen de Solvencia.

Se pretende garantizar la Solvencia de la entidad aseguradora, entendida como la capacidad para poder hacer frente a sus obligaciones futuras en sentido amplio. Las Aseguradoras se hallan obligadas ⁴por parte de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones (DGSFP) a mantener como mínimo un determinado Margen de Solvencia en función de su negocio asegurador, es decir, la cantidad de fondos propios que

³ Artículo 17 del texto refundido de la Ley de Ordenación y Supervisión de Seguros Privados, aprobado por el Real Decreto Legislativo 6/2004, de 29 de octubre.

⁴ Artículo 18 del texto refundido de la Ley de Ordenación y Supervisión de Seguros Privado, aprobado por el Real Decreto Legislativo 6/2004, de 29 de octubre.

garanticen para cada momento del tiempo, que la compañía pueda hacer frente a los compromisos asumidos.

Tanto las provisiones técnicas cómo el mínimo del Margen de Solvencia son una exigencia de origen legal y objeto de supervisión por parte de la DGSFP.

2.2 FUNDAMENTO FINANCIERO.

Para el Tomador del Seguro, la Entidad Aseguradora supone un vehículo para financiar las necesidades del Beneficiario de la Póliza al vencimiento del Seguro. De lo anterior se deriva que:

- La aseguradora interviene como intermediario financiero.
- De la diferencia de fechas entre el efecto y el vencimiento de la Póliza, surge el principio de rentabilidad.

Asimismo los fondos propios atribuibles a los titulares de la Aseguradora (los propios Tomadores si se trata de una Mutualidad, los accionistas si es una sociedad anónima,...) también han de ser adecuadamente retribuidos, ya que para los propietarios, éstos fondos suponen una inversión.

De cualquier modo, tanto las provisiones técnicas cómo los fondos propios se invierten con el fin de generar una rentabilidad suficiente para retribuir tanto unas como a otros.

La inversión afecta a las provisiones técnicas además de la rentabilidad que proporciona, ha de cumplir unos requisitos de congruencia con éstas, ya que ésta inversión supone:

- La principal fuente de la que manan los flujos de cobros, que permitirán hacer frente a las prestaciones y gastos derivados de la Póliza.
- El activo de la Aseguradora que permite cubrir el pasivo que representan las Provisiones técnicas.

En algunos Seguros de Vida se vincula el activo al pasivo, hasta el punto que el Tomador podrá ejercer su derecho de rescate, materializado en la inversión afecta por la Aseguradora, lo cual no será objeto de estudio en nuestro trabajo.

Debido entre otras cuestiones a lo mencionado en los párrafos precedentes, las Aseguradoras se encuadran dentro del sector financiero, junto con las entidades de crédito (Bancos, Cajas de Ahorro y Cooperativas de Crédito) y otras entidades financieras como son las Agencias y Sociedades de valores, Instituciones de inversión colectiva.

2.3 FUNDAMENTO ESTOCÁSTICO.

Como explica Nieto y Vegas (1993) el aspecto aleatorio se presenta en muy diversos grados en el ámbito actuarial. En Seguros no Vida, la prestación asegurada se produce al ocurrir un siniestro cubierto en póliza,

al ocasionar un daño bien a una tercera persona, o bien de carácter patrimonial. La aleatoriedad de esta prestación, se estudia a través del análisis estadístico de dos componentes, por un lado la probabilidad de ocurrencia de siniestros, denominada “Frecuencia Media de Siniestros”, y por otro lado “la Cuantía Media de Siniestros”. Estas variables se estudian bien a través del análisis probabilístico de los datos reales, o bien a través del uso de distribuciones de probabilidad teóricas, en este trabajo nos centraremos en el estudio de la cuantía del siniestro, planteando un modelo estocástico que nos permita cuantificarlas, tanto en importe como en el momento, siendo ambos conceptos muy importantes, debido al efecto de la actualización financiera, nuestro modelo persigue la cuantificación en términos nominales de dichas cuantías estocásticas, a un nivel de incertidumbre dado, y posteriormente se realizará una actualización financiera a través de una estructura temporal de tipos de interés, que según la normativa vigente en España no está claramente definido, pero con la entrada en vigor de la normativa de Solvencia II con fecha 1 de enero de 2016, se aplicarán curvas de tipos libres de riesgo (EuroSwap) a lo cual se adicionará un volatility adjustment⁵, lo cual se podría justificar para la compensación de los spread de crédito utilizados en la valoración de los activos, y por tanto no producir diferencias valorativas. Este planteamiento del modelo, está en total consonancia con lo establecido en la DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II), puesto que en la misma se establecen unos requisitos de valoración de los compromisos asumidos por las entidades aseguradoras, o normas de valoración, y lo que se pretende llevar a cabo es una mayor armonización mediante la introducción de normas específicas de valoración de los activos y pasivos, incluidas las

⁵ Draft Delegated Acts Solvency II

provisiones técnicas, estableciendo en concreto, en su capítulo VI las normas relativas a la valoración, de Activos y Pasivos, Provisiones Técnicas, Fondos Propios y Capital de Solvencia, y en particular en los artículos 76-86, están las normas relativas a la valoración de las provisiones técnicas.

El modelo que aquí planteamos, se basa en lo establecido en dicha normativa, lo cual difiere bastante a la metodología que se utiliza en la actualidad, y en gran medida, en las entidades aseguradoras no vida, por tanto la aportación más importante que vamos a realizar consistirá precisamente en el planteamiento de un modelo estocástico que nos permita cuantificar las obligaciones futuras de las entidades aseguradoras, que aunque existen diferentes autores que ya han tratado el tema, no se ha realizado en la profundidad y detalle que lo hemos realizado aquí, y la principal aportación es la comparativa de los diferentes modelos estocásticos utilizados a través de diferentes distribuciones de probabilidad.

Sin embargo, en Seguros de Vida la prestación asegurada tiene lugar al acaecer el suceso supervivencia o fallecimiento del Asegurado. La aleatoriedad inherente a esta prestación es abordada por el actuario a través de las tablas de mortalidad⁶ de segundo orden, es decir, mediante la esperanza matemática de las probabilidades condicionadas de supervivencia y fallecimiento ajustadas históricamente, a las cuales se les adiciona un recargo de seguridad que permita cubrir aproximadamente el 95% de las trayectorias estimadas, este punto será una futura línea de

⁶ Las tablas de mortalidad son en esencia, una forma de combinar las tasas de mortalidad en una población a diferentes edades y se utilizan para medir el nivel de mortalidad de una determinada población.

investigación, puesto que en la actualidad no se aplican modelos estocásticos para la determinación de estas obligaciones.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

En los últimos años se han realizado importantes estudios y han sido publicados en diferentes medios, muchos de ellos analizan las causas de la crisis financiera y las consecuencias que esto ha tenido en la nueva normativa del sector asegurador europeo, así, autores como Lozano (2005), analiza las implicaciones que supondrá Solvencia II para el sector, otros analizan Solvencia II derivado de Basilea II, como Alonso (2005), Blanco-Morales, Guillén, Domínguez (2010), llevan a cabo un importante estudio sobre los aspectos cualitativos de Solvencia II en el sector asegurador español, Romera (2011), analiza la oportunidad que supone Solvencia II, entre otros muchos autores, que han analizado todas las implicaciones que supone la norma.

Desde un punto de vista de la gestión del capital basado en riesgos, así autores Pérez Fructuoso (2005) realiza un análisis de los riesgos de las aseguradoras bajo Solvencia II, Pozuelo de Gracia(2008), capital económico en aseguradoras, describe los elementos más exclusivos y específicos para la determinación del capital económico en la industria aseguradora según los principios incluidos en la Directiva sobre Solvencia II, Barros, Torre-Enciso (2010), en la su trabajo La nueva regulación europea de seguros privados: Solvencia II, analiza la nueva regulación de los seguros privados, Solvencia II, sus antecedentes, implicaciones y novedades, para comprender las nuevas posibilidades que se abren en el mercado con la nueva configuración, Otero, Durán, Fernández y Vivel (2011), analizan las necesidades de capital con la fórmula estándar

recogido en el QIS4 y los modelos internos, concluyendo que las entidades que determinan su capital económico por la fórmula estándar están subestimando el riesgo en un entorno de volatilidad alta,

El enfoque de gestión de riesgos, por tanto, se ha acrecentado a raíz de la Directiva Solvencia II (DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio), esta normativa, que entrará en vigor en 2016 ha supuesto una revolución en el área aseguradora entre otras cuestiones, por la unificación de los métodos de gestión de riesgo en está.

Si analizamos los trabajos que se han publicado al respecto de las teorías para la estimación de reservas, estos datan de finales del siglo pasado, así los métodos deterministas como el Grossing-up, Link ratio, Bornhuetter-Ferguson y el Chain Ladder, son los más relevantes en la investigación cuantitativa del riesgo de reservas el método Chain Ladder (Van Eeghen, 1981), este método tiene la ventaja de que obtiene las tasas de variación entre un año y otro como la media de los link ratios, es decir, como la media de las tasas de variación para los diferentes años de ocurrencia de un año de desarrollo a otro, es decir, de un año de liquidación de dichos siniestros a otro. La variabilidad de la reserva incluye posibles variaciones en cada uno de los periodos futuros considerados en la estimación de la reserva, porque cada una de las estimaciones futuras influye en el cálculo de dicha reserva (Athié, 2010).

El método Chain Ladder se aplica sobre el formato triángulo (Taylor y Ashe, 1983), el cual presenta muchas ventajas tanto para el cálculo de provisiones técnicas como por su visualización de los pagos, Nieto de Alba y Vegas (1994), González-Quevedo (1994), Vegas Asensio (1995),

La introducción de la metodología estocástica supuso un gran avance en la cuantificación del riesgo de reserva permitiendo la obtención de una medida del riesgo respecto a las estimaciones de pagos.

El primer método estocástico introducido para la estimación de provisiones técnicas en seguros fue el comúnmente conocido como la distribución libre de Mack o Chain Ladder estocástico (Mack, 1993), este método obtiene el riesgo de las estimaciones con el error cuadrático medio. La imposibilidad de este método resulta de su aplicación en reservas negativas, además de que la distribución de los datos no está totalmente especificada, solo los dos primeros momentos (England, 2002).

Los modelos lineales generalizados fueron introducidos en el ámbito asegurador por Kremer en 1982 y posteriormente por Renshaw en 1989, el cual propone un modelo basado en la lognormal. Mack en 1991 propone el uso de la distribución Gamma y Renshaw y Verral proponen en 1994 la distribución Poisson con sobredispersión la cuál con la función de enlace logarítmica da como resultado el Chain Ladder.

La metodología Bootstrap fue introducida por Efron en 1979, como una alternativa a la técnica de remuestro Jackknife (Tukey, 1950). Quienes introdujeron la metodología Bootstrap para el cálculo de provisiones técnicas fueron England and Verral en 1999, estos introdujeron esta técnica junto con el método Chain Ladder. La técnica Bootstrap tiene sus fundamentos en la técnica Monte Carlo. El Bootstrapping lo aplicamos sobre los residuales de Pearson, debido a que estos tienen la propiedad de distribuirse asintóticamente como una Normal con media 0 y desviación 1 (Álvarez-Jareño y Coll-Serrano, 2012). El método Bootstrapping se utiliza para obtener el error de estimación y se realiza una

simulación para obtener el error de proceso (England, 2002, Albarrán y Alonso (2010). También existen trabajos que realizan análisis sobre herramientas aplicadas, como es Markus, Dan y Wayne (2013), lo hacen a partir de R,

El anexo XVII del reglamento delegado (UE) 2015/35 de la comisión del 10 de octubre de 2014 por el que se completa la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II), nos expone dos métodos posibles a aplicar para obtener los factores del riesgo de la reserva de siniestros cómo una contribución más a la unificación metodológica en el cálculo de reservas.

4. NORMATIVA SOBRE GESTIÓN DE RIESGOS, EVOLUCIÓN HASTA LA ACTUALIDAD.

El artículo 71 de la Ley 30/1995 de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados, permite exigir al Órgano de Control, que las entidades aseguradoras dispongan de una buena organización administrativa y contable, así como de procedimientos de control interno adecuados. En concreto en el apartado 3 se establece:

“3. El Ministerio de Economía y Hacienda exigirá que las entidades aseguradoras sometidas a su control dispongan de una buena organización administrativa y contable y de procedimientos de control interno adecuados.....”

Parece que la referencia anterior podría bastar para el requerimiento de unos mecanismos específicos de control interno contable, que

asegurasen, entre otras cuestiones, la suficiencia de las provisiones, avaladas por ciertos mecanismos de control actuarial de las variables aleatorias utilizadas en los productos aseguradores.

Esta circunstancia por separado o en conjunto con el resto de la normativa de control y supervisión aplicable, puede conducir a la exigencia por parte del Órgano de Supervisión del establecimiento de una metodología para el control de los citados riesgos y la exposición de las aseguradoras a ellos, pudiendo incluso exigir la constitución de provisiones que tengan en cuenta los mismos.

En este sentido, con independencia de la posible exigencia de controles de los riesgos a los que se ve sometida la gestión aseguradora que conduzcan al establecimiento de provisiones técnicas suficientes, el artículo 110.1 del ROSSP de forma explícita establece que:

- “1.Las entidades aseguradoras deberán establecer procedimientos de control interno adecuados a su organización y disponer de la información suficiente para que la dirección de la entidad pueda tener un conocimiento actualizado sobre la evolución de su actividad, el funcionamiento de sus departamentos y redes de distribución, y el comportamiento de las magnitudes económico-actuariales básicas de su negocio.”

En consecuencia, es razonable la exigencia de contar con mecanismos de control y medición, así como el requerimiento de identificar los riesgos básicos a los que se ve sometido su negocio, exhortar al establecimiento de ciertos controles sistemáticos que midan la exposición de la aseguradora a los mismos, y, en definitiva, exigir el establecimiento de mecanismos que permitan a la dirección de la entidad la toma de

decisiones con la información necesaria sobre las consecuencias que pueden tener las mismas en términos de riesgo y solvencia.

Por otra parte, podría ser también razonable la petición, por parte de las aseguradoras, de ciertas compensaciones en los requerimientos de solvencia exigidos en términos generales, en el caso de que se concreten ciertos mecanismos de control interno que aseguren que, difícilmente, se producirán desviaciones no controladas que conduzcan a pérdidas no esperadas, por lo que podría no ser necesaria la inmovilización de recursos propios elevados.

Con fecha 16 de febrero de 2.007, el Consejo de Ministros, aprobó un Real Decreto, por el que se modifica el Reglamento de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados. Uno de los artículos modificados es el expuesto anteriormente, el artículo 110, que de su nueva redacción, se pueden destacar las siguientes ideas:

- Las entidades aseguradoras deberán establecer, documentar y mantener en todo momento procedimientos de control interno adecuados a su organización. El consejo de administración será el responsable último de establecer, mantener y mejorar tales procedimientos de control interno. La dirección de la entidad será responsable de la implementación de los procedimientos de control interno, en línea con las directrices establecidas por el consejo de administración.
- Las entidades aseguradoras deberán disponer de la información suficiente para que el consejo de administración y la dirección de la entidad puedan tener un conocimiento actualizado sobre la evolución de su actividad, el

funcionamiento de sus departamentos y redes de distribución y el comportamiento de las magnitudes económico financieras y actuariales básicas de su negocio.

- Los procedimientos de control interno comprenderán, en todo caso, el desarrollo de una adecuada función de revisión y el establecimiento de sistemas de gestión de riesgos.
- Las entidades aseguradoras establecerán sistemas de gestión de riesgos, adecuados a su organización, que les permitan identificar y evaluar, con regularidad, los riesgos internos y externos a los que están expuestos.
- Los procedimientos de control interno se extenderán, en aquellas entidades que externalicen cualesquiera de sus funciones o actuaciones, a las actividades externalizadas.
- Anualmente la entidad elaborará un informe sobre la efectividad de sus procedimientos de control interno. El informe será suscrito por el consejo de administración de la entidad a la DGS, junto con la documentación estadístico contable anual.

Todo ello se ve refrendado con el artículo 110 bis, al respecto de las políticas de inversión:

- El Consejo de Administración de la compañía será responsable de formular y aprobar la política de inversión estratégica, considerando la relación activo-pasivo, la tolerancia global al riesgo y la liquidez de las posiciones en los distintos escenarios. En particular, deberá asegurarse la identificación, seguimiento, medición, información y control

de los riesgos relacionados con las actividades, procedimientos y políticas de inversión adoptadas. La dirección será responsable de la implementación de tales políticas y medidas.

- 2. La utilización de instrumentos derivados y activos financieros estructurados por parte de las entidades aseguradoras estará sometida al cumplimiento de los requisitos que a tal efecto disponga el Ministro de Economía y Hacienda y, en todo caso, de las condiciones establecidas.

A pesar de que el ambicioso calendario inicial, recientes encuestas entre expertos del sector asegurador situaban en el año 2007 la emisión de la nueva Directiva y en el año 2012, la entrada en vigor de la misma, esta nueva directiva se ha emitido en el año 2009, su entrada en vigor en el año 2016.

Para el cálculo de los requerimientos de capital de solvencia en las entidades aseguradoras, se han realizado diferentes estudios de impacto, con el objetivo de realizar una calibración, tanto de la metodología y componentes como de los factores de riesgo aplicables a cada riesgo en concreto, así en los sucesivos estudios se han modificado componentes del capital económico, y en particular sobre el riesgo de suscripción, se han modificado los factores a aplicar para la cuantificación de dicho riesgo, publicándose de forma definitiva, en el REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2015/35 DE LA COMISIÓN de 10 de octubre de 2014 por el que se completa la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).

5. MARCO LEGISLATIVO SOLVENCIA II

La publicación⁷ en el Official Journal of the European Union de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de Noviembre de 2009 sobre el acceso y ejercicio de la actividad aseguradora y reaseguradora, también conocida como Solvencia II, 2009/138/EC 1, marca el punto de partida oficial en la puesta en marcha de medidas legislativas de control de riesgo en entidades aseguradoras. Solvencia II ha supuesto un cambio legislativo sobre el enfoque que las entidades aseguradoras deben mantener en relación a los riesgos que asumen como consecuencia de su actividad.

El proyecto Solvencia II agrupa una serie de iniciativas⁸ encaminadas a llevar a cabo una revisión de las normas vigentes sobre la valoración de la situación financiera global de las entidades aseguradoras. Su origen tiene lugar en el seno de la Unión Europea, y engloba una serie de actuaciones dirigidas a revisar y unificar la normativa existente para la valoración y supervisión de la situación financiera global de las entidades aseguradoras europeas, así como de las formas de actuación interna de las mismas. Actualmente las instituciones aseguradoras cuentan con un régimen de solvencia retrospectivo y estático, es decir, calculan sus requerimientos de capital en base a primas o siniestros de los últimos ejercicios. Por su parte, los seguros de vida tienen cada vez un componente financiero más importante, al estar sus fondos ligados a productos financieros, lo que hace lógico su adaptación a sistemas tipo Basilea II. Tampoco parece razonable obligar al mismo nivel de margen de solvencia a dos entidades de no vida por el mero hecho de que sus

⁷ Ferri, A (2010), Estructuras de Dependencia Aplicadas a la Gestión de Riesgos en Solvencia II.

⁸ Romera, S (2014) Breve compendio Sobre Solvencia II. AREA XXI.

primas y siniestralidad sean similares si sus perfiles de riesgo difieren en gran medida. Si unimos esto al deseo de armonización con Normas Internacionales de Contabilidad y la necesidad de incorporar nuevos parámetros representativos del perfil de riesgos de la entidad (sistema de control de riesgos establecido, riesgo operacional, riesgo de liquidez, etc.) resulta más que evidente la necesidad de establecer un régimen de solvencia dinámico y prospectivo, que permita cubrir de una forma más adecuada los riesgos a los que se enfrenta la actividad aseguradora puesto que el entorno es cada vez más cambiante.

De tal manera que, mediante Solvencia II se pretende un cambio del sistema actual, donde la solvencia se fija de forma proporcional al volumen de negocio, a un sistema en el cual el nivel de capital requerido estará ligado al perfil del riesgo de cada entidad, y las formas en que cada una de las mismas pueda prevenir y gestionar dichos riesgos.

Para conseguir lo anteriormente citado, se exigen una serie de medidas y requerimientos de solvencia que podemos estructurar básicamente en tres pilares.

Más adelante abordaremos cada Pilar y los diferentes requisitos por separado y con más detalle, pero adelantando consecuencias que se esperan tras Solvencia II podemos clasificar éstas en dos grandes grupos atendiendo a que aspectos afecten:

- a) Sobre las exigencias de capital, teniendo en cuenta que la base metodológica de Solvencia II está ligada al perfil concreto de cada entidad aseguradora, las exigencias de capital serán:

- Un nivel mínimo de solvencia⁹ (MCR, Minimum Capital Requirement) o “límite duro”.

Si la entidad de que se trate se encuentra por debajo del mismo se producirán, de forma automática, las actuaciones de intervención. Las compañías no podrán operar cuando presenten un patrimonio propio no comprometido inferior a dicho límite.

- Un nivel deseable de solvencia¹⁰ (SCR, Solvency Capital Requirement) o “límite blando”.

Refiriéndonos al capital económico necesario para la realización de una operativa aseguradora sin riesgo de quiebra. Si la entidad se encuentra por debajo de este nivel, pero por encima del MCR, no se producirá la intervención automática por parte del supervisor, pero sí una serie de actuaciones inspectoras proporcionales a la carencia patrimonial detectada. Para el cálculo del SCR, se propondrá una fórmula estándar; no obstante se permitirá, al mismo tiempo, la posibilidad que cada compañía desarrolle su propio modelo interno,

⁹ Arts 128-131 DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II) y arts 248 y ss REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2015/35 DE LA COMISIÓN de 10 de octubre de 2014 por el que se completa la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).

¹⁰ Artículos 103-111 DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II). Y Artículos 83 y siguientes REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2015/35 DE LA COMISIÓN de 10 de octubre de 2014 por el que se completa la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).

siempre que éste recoja de forma más fiable el verdadero perfil de riesgo de la entidad.

b) Sobre el negocio Asegurador, cabe destacar los siguientes:

- La necesidad de que las compañías avancen en sus herramientas de gestión, desarrollando sistemas de gobierno corporativo y sistemas de gestión de la información, dada la gran importancia que van teniendo los temas relacionados con el control interno y su relevancia de cara a las Autoridades de Control.
- A medio plazo, el sector asegurador deberá profundizar sobre los siguientes asuntos:
 - Cálculo de provisiones técnicas sobre bases realistas. Estas provisiones deberán estimarse no sólo desde un punto de vista estimatorio, sino también económico. Este punto, es el que trataremos de resolver en la presente Tesis Doctoral, y lo abordaremos en los capítulos siguientes.
 - Gestión conjunta de los activos y de los pasivos, dada la evidente vinculación e interrelación existente entre el activo y el pasivo de las compañías de seguros.
 - Modelos internos de gestión de riesgos. Como ya se ha señalado, deberá contemplarse la elaboración de modelos internos en las compañías que ajusten el requerimiento general a la situación concreta y a los riesgos asumidos por cada entidad.

- Efectos beneficiosos de la diversificación. La comisión señala que deberán tenerse en cuenta los aspectos beneficiosos de la diversificación de riesgos y los problemas de su concentración.

Para llegar a las medidas propuestas a efectos de cumplir Solvencia II se han venido desarrollando diferentes test y pruebas de impacto de futuras normas:

- En 2009, el Parlamento Europeo aprobó la Directiva de Solvencia II.
- De forma paralela se está trabajando en las medidas de implementación y desarrollo reglamentario de los principios establecidos en la Directiva Marco.
- Dentro de estas medidas destacan los diferentes Quantitative Impact Studies – QIS – acerca de efectuar una parametrización previa a la fórmula definitiva.
- A fecha de hoy se ha aprobado recientemente el régimen de Solvencia por el Trílogo – Parlamento, Consejo y Comisión Europea –

En líneas generales los principales cambios en los requerimientos de Solvencia I a Solvencia II para las entidades aseguradoras se manifiestan en:

- Incremento generalizado en los requerimientos de capital bajo Solvencia II, siendo mayor en las entidades mixtas.

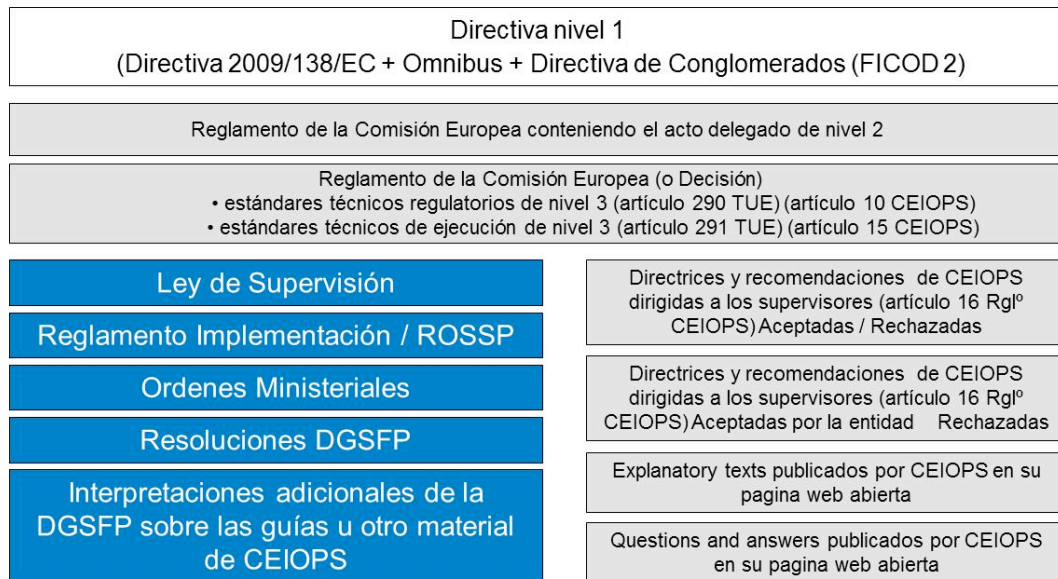
- Por tamaños, las entidades grandes sufren un menor incremento del requerimiento de capital.

- También afectará en el apalancamiento específico y del ahorro, principalmente de las compañías que operan en Vida. Apuntó que Solvencia II condicionará determinados ramos y por ello a algunas entidades, "y prevemos una reducción del apalancamiento del sector". Por último expuso que en todo este entorno "las inversiones del sector podrán sufrir variaciones muy notables de un día para otro".

- Sobre la 'Gestión de inversiones y riesgos', puede ayudar a integrar análisis de retorno, características, riesgos, compliance y rebalanceo de carteras.

- Las Mutuas (mayoritariamente pequeñas de No Vida) sufren un mayor incremento del requerimiento de capital que las S.A., sobre todo por su tipo de actividad – riesgos agravados para dar cobertura a sus mutualistas – y la composición de su cartera de inversión

Esquema 2: Legislación aplicable al sector asegurador.



Fuente 1: Compendio legislativo AREA XXI.

El Pilar I presenta un conjunto de normas que determinan los criterios para la obtención de las necesidades de capital que una entidad debe mantener con un horizonte temporal anual, acordes al riesgo asumido por la entidad, que garantice un nivel de solvencia aceptable mediante la valoración económica, consistente con el mercado, del balance de una entidad. El Pilar I está dirigido a la determinación de los requerimientos financieros mínimos que garanticen en todo momento que los activos de que disponen las entidades son suficientes, en cantidad y en calidad, para hacer frente a los compromisos adquiridos bajo un cierto horizonte temporal.

Para ello, la valoración del balance bajo el Pilar I se debe realizar **siguiendo criterios de mercado**, es decir, tanto la valoración del activo como la del pasivo de una entidad debe ser consistente con aquella que se derivara de la libre interacción de los agentes de mercado.

Por un lado, el activo del balance queda determinado por la valoración de mercado de las inversiones que realiza la entidad. Para aquellos activos que por su carácter poco líquido, o por cualquier otro motivo, no existe valor de mercado, la Directiva establece normas de valoración, en concreto, en su capítulo II - Valoración de activos y pasivos, garantías financieras e inversiones, y en la **Sección 1.ª Valoración de activos y pasivos, y normas sobre provisiones técnicas**.

En concreto, el artículo 68 establece la Valoración de activos y pasivos.

“Las entidades aseguradoras y reaseguradoras valorarán los activos y pasivos de acuerdo con las siguientes normas:

1. Los activos se valorarán por el importe por el cual podrían intercambiarse entre partes interesadas y debidamente informadas que realicen una transacción en condiciones de independencia mutua.

2. Los pasivos se valorarán por el importe por el cual podrían transferirse o liquidarse entre partes interesadas y debidamente informadas que realicen una transacción en condiciones de independencia mutua.

3. Al valorar los pasivos con arreglo al apartado 2, no se realizará ajuste alguno para tener en cuenta la solvencia propia de la entidad aseguradora o reaseguradora.”

La valoración del pasivo, en concreto de las provisiones técnicas de las entidades presenta ciertas dificultades inherentes a la actividad aseguradora puesto que viene determinado por el valor económico de las obligaciones que contraen las entidades con los asegurados, normalmente de carácter incierto en cuantía y/o del momento de su liquidación.

En concreto, en su artículo 69, establece la valoración de las Provisiones técnicas.

“1. Las entidades aseguradoras y reaseguradoras computarán entre sus deudas las provisiones técnicas necesarias para reflejar todas las obligaciones derivadas de contratos de seguro y de reaseguro.

- 1. El valor de las provisiones técnicas se corresponderá con el importe actual que las entidades aseguradoras y reaseguradoras tendrían que pagar si transfirieran sus obligaciones de seguro y reaseguro de manera inmediata a otra entidad aseguradora o reaseguradora.*
- 2. A efectos del cálculo de las provisiones técnicas se utilizará la información facilitada por los mercados financieros y los datos generalmente disponibles sobre riesgos de suscripción, información con la que el citado cálculo habrá de ser coherente.*
- 3. Las provisiones técnicas se valorarán de forma prudente, fiable y objetiva.*
- 4. Reglamentariamente se determinarán las provisiones técnicas a computar y las técnicas, métodos e hipótesis para su cálculo, así como las condiciones de aplicación del ajuste por casamiento a la estructura temporal de tipos de interés sin riesgo y del ajuste por volatilidad a la estructura temporal de tipos de interés sin riesgo.*
- 5. Cuando la entidad aseguradora o reaseguradora desee aplicar el ajuste por casamiento, a que se refiere el apartado anterior, deberá obtener la autorización previa de la Dirección General de Seguros y*

Fondos de Pensiones, en los términos y condiciones que se establezcan por la normativa de la Unión Europea de directa aplicación.

El plazo máximo para resolver el procedimiento de la autorización previa y notificación de la resolución es de seis meses. Transcurrido este plazo sin haberse notificado resolución expresa se entenderá desestimada la solicitud presentada.

Asimismo, el Pilar I también determina la composición de los fondos propios de la entidad, es decir, la estructura de activos en que se respalda dicha parte del balance, además de las cuantías económicas (requerimientos de capital) de carácter legal que la Directiva establece”.

El Pilar 1 introduce unos requerimientos de solvencia más sofisticados para las aseguradoras, para garantizar que éstas tienen el suficiente capital para resistir a eventos adversos. Ayudará, por tanto, a incrementar su solidez financiera. Las exigencias actuales de la UE en materia de solvencia sólo cubren los riesgos de seguro, mientras que en el futuro las aseguradoras tendrán que contar con el capital necesario para cubrir también el riesgo de mercado (por ejemplo, la pérdida de valor de las inversiones), el riesgo de crédito (por ejemplo, cuando se incumplen las obligaciones de pago de deuda) y el riesgo operativo (por ejemplo, los fallos del sistema o malas prácticas). Las nuevas consideraciones que se deberán tener en cuenta, para cumplir con Solvencia II, en el balance de una compañía de seguros.

La mejor estimación del pasivo, consistirá en las estimaciones de los flujos contractuales, esto es de los distintos compromisos adquiridos por el Asegurador a efectos de cubrir sus siniestros, (Actuales, explícitos, probabilizados, consistentes con precios de mercado). Incorpora el valor

temporal del dinero mediante el descuento de flujos. Las hipótesis utilizadas en la proyección de flujos deberán ser recalculadas en cada fecha de reporte, lo cual detallaremos más adelante:

- Hipótesis no económicas: Específicas de cada entidad.
- Hipótesis económicas: Consistentes con el mercado.

Este concepto requeriría el uso de técnicas estocásticas para determinados contratos (aquellos donde los flujos futuros varíen de forma asimétrica en función de los rendimientos futuro), si bien el Exposure Draft da pocos detalles al respecto, por tanto, motivo por el cual la presente Tesis Doctoral queda justificada, ya que abordamos de lleno este problema, planteando en la misma una metodología estocástica, la cual contrastamos con una prueba empírica, y vamos más allá, ya que a partir de aquí, derivamos en los factores de riesgo implícitas en las mismas y que nos servirán para cuantificar el SCR por suscripción, en la parte de reservas.

El SCR puede ser obtenido de dos formas, a partir de la fórmula estándar¹¹ o bien a partir del uso de modelos internos¹², lo cual representaría los dos extremos para su cálculo. En el primero de ellos, tanto la metodología, como factores y matrices de correlaciones son establecida por la normativa¹³, es decir, para cualquier entidad aseguradora o reaseguradora de un país miembro de la Unión Europea, tendrá que calcular el SCR o capital económico

¹¹ Artículos 103 a 111 de la Directiva 2009/138/CE Solvencia II

¹² Artículos 112 a 127 de la Directiva 2009/138/CE Solvencia II

¹³ En el REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2015/35 DE LA COMISIÓN de 10 de octubre de 2014 por el que se completa la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II) se establecen las diferentes metodologías, para los distintos tipos de riesgo, así como las matrices de correlación y los factores a aplicar.

con los mismos criterios, con independencia que se ajuste o no a los riesgos asumidos por cada una de ellas. Ante este hecho, la propia normativa recoge otra forma da obtener el SCR, a partir de la utilización de los Modelos Internos¹⁴, proceso mediante el cual se debe cumplir una serie de requisitos, tanto de calidad estadística, calibración, test de uso, etc, que está perfectamente definido en la normativa. Este punto, abre una línea de investigación muy interesante, ya que aunque la norma establece unas reglas, en los puntos de calidad estadística y calibración, se pueden realizar importantes trabajos de investigación para plantear modelos que determinen dicho riesgo, algunos autores ya están trabajando en dicha línea véase Otero, Durán, Fernández y Vivel (2009) y (2011), Rivas y Pérez Fructuoso (2009), entre otros.

Además, la norma recoge que se puede calcular el SCR de forma mixta, es decir, modificando de la fórmula estándar determinadas factores o parámetros de tal forma que reflejen el riesgo real que afronta una entidad en particular, son los denominados “Parámetros Específicos de la Entidad”¹⁵, donde se determina qué parámetros pueden ser modificados y cuál es el procedimiento para ello.

¹⁴ Artículos 112 a 127 de la Directiva 2009/138/CE y capítulo VI del Reglamento Delegado 2015/35 de la Comisión y REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) 2015/460 DE LA COMISIÓN de 19 de marzo de 2015 por el que se establecen normas técnicas de ejecución en relación con el procedimiento relativo a la aprobación de un modelo interno de conformidad con la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

¹⁵ *Artículo 218 y siguientes del REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2015/35 DE LA COMISIÓN de 10 de octubre de 2014 por el que se completa la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II) y el REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) 2015/498 DE LA COMISIÓN de 24 de marzo de 2015 por el que se establecen normas técnicas de ejecución en lo que respecta al procedimiento de aprobación por las autoridades de supervisión del uso de parámetros específicos de la empresa, conforme a la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.*

La Directiva establece que bajo ciertos requisitos previos y autorización de la autoridad competente, el SCR pueda ser obtenido mediante un Modelo Interno, establecido en la Directiva 2009/138/CE Solvencia II (artículos 112 a 127) y en el Reglamento Delegado 35/2015 en su capítulo VI, y en reglamento de ejecución (UE) 2015/460 de la comisión de 19 de marzo de 2015 por el que se establecen normas técnicas de ejecución en relación con el procedimiento relativo a la aprobación de un modelo interno de conformidad con la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo . Este modelo puede considerar la totalidad o parte de los riesgos a los que la entidad se enfrenta. En este último caso, el modelo es denominado en la Directiva Modelo Interno Parcial.

Los requisitos que debe cumplir un Modelo Interno¹⁶ están relacionados a normas de aplicación y seguimiento, de forma que aquellas entidades que opten por la utilización de un Modelo Interno, total o parcial, para el cálculo de los requerimientos de capital de solvencia deben justificar su utilización y funcionamiento.

El Modelo Estándar¹⁷ es un conjunto de fórmulas y metodologías propuestas por el regulador con las que la entidad aseguradora puede obtener la cuantía correspondiente al SCR. Un Modelo Interno es un procedimiento propuesto por la entidad aseguradora que persigue la misma finalidad y propósitos que el Modelo Estándar, es decir, la obtención de los requerimientos de capital

¹⁶ REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) 2015/460 DE LA COMISIÓN de 19 de marzo de 2015 por el que se establecen normas técnicas de ejecución en relación con el procedimiento relativo a la aprobación de un modelo interno de conformidad con la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

¹⁷ Ferri, A 2010 Estructuras de dependencia aplicadas a la gestión de riesgos en Solvencia II.

mediante un modelo que refleje el perfil de riesgo de la entidad. El SCR, obtenido con cualquiera de los modelos permitidos por el regulador, debe estar calibrado de tal forma que se corresponda con el valor en riesgo (VaR) de los fondos propios de la entidad, a un horizonte temporal anual, calculado con un nivel de confianza del 99,5 %.

El Pilar II describe los requisitos de carácter cualitativo que las entidades deben cumplir y que se traducen en todos aquellos procedimientos de carácter formal y sistemas de gobernanza.

El Pilar II de la Directiva, sección 2 Sistema de Gobernanza¹⁸ concierne a aquellos aspectos referentes a los procedimientos y sistema de gobernanza que las entidades aseguradoras deben llevar en su actividad, de tal forma que se establezca un sistema de control interno, a través del cual se puedan establecer los procedimientos de valoración y control de los riesgos a los que se enfrenta la entidad aseguradora. Definiendo la propia normativa las funciones y sistemas que deben tener las entidades, en concreto:

- Control interno, artículo 46 de la Directiva, *“dicho sistema constará, como mínimo, de procedimientos administrativos y contables, de un marco de control interno, de mecanismos adecuados de información a todos los niveles de la empresa y de una función de verificación del cumplimiento”*.

- Auditoría interna, artículo 47 de la *directiva “La función de auditoría interna abarcará la comprobación de la adecuación y eficacia del*

¹⁸ Artículos 41 a 50 DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II)

sistema de control interno y de otros elementos del sistema de gobernanza.”

- Función Actuarial, artículo 48 de la directiva, *“La función actuarial será desempeñada por personas que tengan conocimientos suficientes de matemática actuarial y financiera, acordes con la naturaleza, el volumen y la complejidad de los riesgos inherentes a la actividad de la empresa de seguros o de reaseguros, y que puedan acreditar la oportuna experiencia en relación con las normas profesionales y de otra índole aplicables.”*

- Externalización de funciones, artículo 49 de la directiva, *“Los Estados miembros velarán por que las empresas de seguros y de reaseguros sigan respondiendo plenamente del cumplimiento de todas las obligaciones que para ellas se derivan de la presente Directiva cuando externalicen funciones o cualquier actividad de seguro o de reaseguro.”*

Estos requisitos incluyen también la obligación, para cualquier entidad, de establecer una función de control de riesgos a los que se somete mediante un modelo de gestión de riesgos, regulado en el artículo 44 de la directiva, tanto riesgos cuantificables como no cuantificables, *“Ese sistema de gestión de riesgos será eficaz y estará debidamente integrado en la estructura organizativa y en el proceso de toma de decisiones de la empresa de seguros o de reaseguros, y tendrá debidamente en cuenta a las personas que de hecho gestionan la empresa o ejercen otras funciones fundamentales.”* Además el Reglamento Delegado 35/2015 de la UE, regula estas funciones claves, en sus artículos 268 y siguientes, y establece de forma general lo siguiente: *“Las empresas de seguros y reaseguros incorporarán a la estructura organizativa las funciones y las correspondientes líneas de rendición de cuentas, de forma que se garantice que ninguna función esté sujeta a influencias que puedan*

comprometer su capacidad para desempeñar sus tareas de modo objetivo, imparcial e independiente. Cada función operará bajo la responsabilidad última del órgano de administración, dirección o supervisión, al que rendirá cuentas, y, cuando proceda, cooperará con las otras funciones en el desempeño de su cometido. Detallando para cada una de las funciones claves definidas las tareas a desempeñar por cada una de ellas.

Por último, en el Pilar III Sección 3 Publicación de la información, artículos 51 a 56 de la Directiva 2009/139 Solvencia II y desarrollada por el Reglamento Delegado 35/2015 en la sección 4 se presentan aquellas medidas que pretenden garantizar la transparencia y la disciplina en el mercado asegurador, a través de un conjunto de normas de comunicación de la información sobre la situación financiera y de solvencia de las entidades de cara al regulador local, así como las normas de comunicación y de transparencia de los reguladores locales de cara al regulador europeo.

El Pilar III establece las acciones a tomar, por parte del regulador y de las entidades, en el caso de que se produzcan desajustes en el cumplimiento de los requerimientos de las normas de valoración del Pilar I y/o de los requisitos establecidos en el Pilar II.

La normativa se centra en la información que trasmite la entidad frente a terceros y la transparencia es punto clave del Plan de Acción de Servicios Financieros en la UE y de Solvencia II.

Pilar III se encuentra estrechamente relacionado con los dos anteriores, PILAR I –Aspectos Cuantitativos- y PILAR II –Aspectos Cualitativos -, puesto que mediante este se comunican y se dan a conocer las decisiones tomadas por los anteriores.

Todo ellos se difundirá por medio de indicadores cuantitativo – QRT's o Quaterly Reporting Templates – o bien mediante cualitativos al mercado – SFCR o Solvency and Financial Condition Report – y al Supervisor – RSR, Regular Supervisory Reporting –

Esta publicación de información tiene el objetivo de dar a conocer al mercado periódicamente de información cuantitativa (importe de riesgo) y cualitativa (políticas, procedimientos) que muestren de una manera objetiva la situación de la entidad, además de promover la eficiencia vía competencia y formación de precios, al permitir tomar decisiones basadas en mejor información, y sobre todo al permitir un mayor grado de comparabilidad entre entidades.

La periodicidad con la que muestre la información al mercado deberá ser, al menos, anual. Pudiendo ser inferior para aquellas entidades globales y con presencia en distintos mercados. Así mismo, la entidad deberá elaborar políticas y procesos específicos asociados al PILAR III en lo que se refiere a:

- Obtención de la información.
- Control y Validación interna.
- Aprobación interna.
- Evaluación de la confidencialidad de la información.
- Frecuencia y lugar de publicación.

Gráficamente podríamos resumir la normativa de Solvencia II en una estructura de tres pilares tal y como se refleja a continuación.

Esquema 3: Estructura de los pilares de Solvencia II



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO SEGUNDO

MARCO CONCEPTUAL DE LAS PROVISIONES TÉCNICAS

1. INTRODUCCIÓN.

Actualmente nos encontramos en la Unión Europea con una profunda reforma en las normas de valoración contables, así como en los conceptos de control y supervisión de las entidades aseguradoras. Ya se ha comentado en el punto anterior las diferentes referencias normativas al respecto de la valoración de las mismas, tanto en lo que se refiere a metodología como establecimiento de hipótesis.

La Comisión Europea decretó que desde el año 2005, las compañías de la Unión Europea cotizadas en bolsa reportarán sus estados financieros consolidados según un único conjunto de normas, desarrolladas por el IASB.

Debido a la complejidad del negocio asegurador, resulta complicado establecer un marco especial para los aspectos contables específicos del seguro. De ahí que en mayo de 2002 el IASB decidió proceder en su Proyecto de Seguros en dos fases. La primera fase abarca la actual NIIF 49, y en un sentido más amplio, la NIC 3210 y la NIC 3911.

Esquema 4: Componentes de las provisiones técnicas.



Fuente: Elaboración propia.

En concreto, en la actualidad las provisiones técnicas están reguladas en la Directiva 2009/139 Solvencia II, artículos 76 a 86, definiendo como provisiones técnicas en el punto 2 del artículo 76 *“El valor de las provisiones técnicas se corresponderá con el importe actual que las empresas de seguros o de reaseguros tendrían que pagar si transfirieran sus obligaciones de seguro y reaseguro de manera inmediata a otra empresa de seguros o de reaseguros.”* Este es, por tanto el principio de valoración de las mismas, es decir, el valor que un tercero estaría dispuesto a pagar por asumir las obligaciones a las que se enfrenta una entidad aseguradora, por tanto, sería en una operación de compra venta de cartera de seguros, por lo que el comprador valoraría tales compromisos, y por ello, percibiría además los activos afectos a tales obligaciones. Para ello se utilizará información financiera derivada de los mercados financieros, y de los propios datos de suscripción de las entidades aseguradoras. Estas provisiones técnicas, se calcularán bajo el principio que sean fiables y prudentes, y se definirán tal y como lo hace el artículo 77 de la Directiva 2009/139 *“El valor de las provisiones técnicas será igual a la suma de la mejor estimación y de un margen de riesgo,”...* *La mejor estimación se corresponderá con la media de los flujos de caja futuros ponderada por su probabilidad, teniendo en cuenta el valor temporal del dinero (valor actual esperado de los flujos de caja futuros) mediante la aplicación de la pertinente estructura temporal de tipos de interés sin riesgo. El cálculo de la mejor estimación se basará en información actualizada y fiable y en hipótesis realistas y se realizará con*

arreglo a métodos actuariales estadísticos que sean adecuados, aplicables y pertinentes.

La proyección de flujos de caja utilizada en el cálculo de la mejor estimación tendrá en cuenta la totalidad de las entradas y salidas de caja necesarias para liquidar las obligaciones de seguro y reaseguro durante todo su período de vigencia.

La mejor estimación se calculará en términos brutos, sin deducir los importes recuperables procedentes de los contratos de reaseguro y de las entidades con cometido especial. Dichos importes se calcularán por separado, de conformidad con el artículo 81.”

El Reglamento Delegado 35/2015 va más allá, estableciendo desde los requisitos de calidad que deben contener los datos en los que se basa el cálculo de las provisiones, en el artículo 19, hasta las futuras decisiones de gestión que aplicará la entidad artículo 23.

El Reglamento Delegado 35/2015 dedica una sección (Sección 3) a los métodos para calcular las provisiones técnicas, en concreto sobre las hipótesis a utilizar¹⁹ para su cálculo establece lo siguiente:

“(a) que las empresas de seguros y reaseguros puedan explicar y justificar cada una de las hipótesis utilizadas, teniendo en cuenta la relevancia de la hipótesis, la incertidumbre que comporta y las hipótesis alternativas pertinentes;

(b) que puedan identificarse claramente las circunstancias en que las hipótesis se considerarían falsas;

¹⁹ Artículo 22 del Reglamento Delegado 35/2015.

(c) que, salvo indicación en contrario en el presente capítulo, las hipótesis se basen en las características de la cartera de obligaciones de seguro y reaseguro, con independencia, en lo posible, de la empresa de seguros o reaseguros que posea la cartera;

(d) que las empresas de seguros y reaseguros utilicen las hipótesis de forma coherente en el tiempo y en líneas de negocio y grupos de riesgo homogéneos, sin cambios arbitrarios;

(e) que las hipótesis reflejen adecuadamente cualquier incertidumbre subyacente a los flujos de caja.”

Además en el artículo 30 del Reglamento Delegado 135/2015 se regula la incertidumbre sobre los flujos de caja, esta incertidumbre es la que va a ser objeto de este trabajo de investigación, proporcionando un modelo, entre las diferentes metodologías existentes que sea robusto y consistente con la normativa establecida al respecto. Este artículo establece que:

“La proyección de flujos de caja utilizada en el cálculo de la mejor estimación tendrá en cuenta, explícita o implícitamente, todas las incertidumbres relativas a los flujos de caja, incluidos todos los siguientes aspectos:

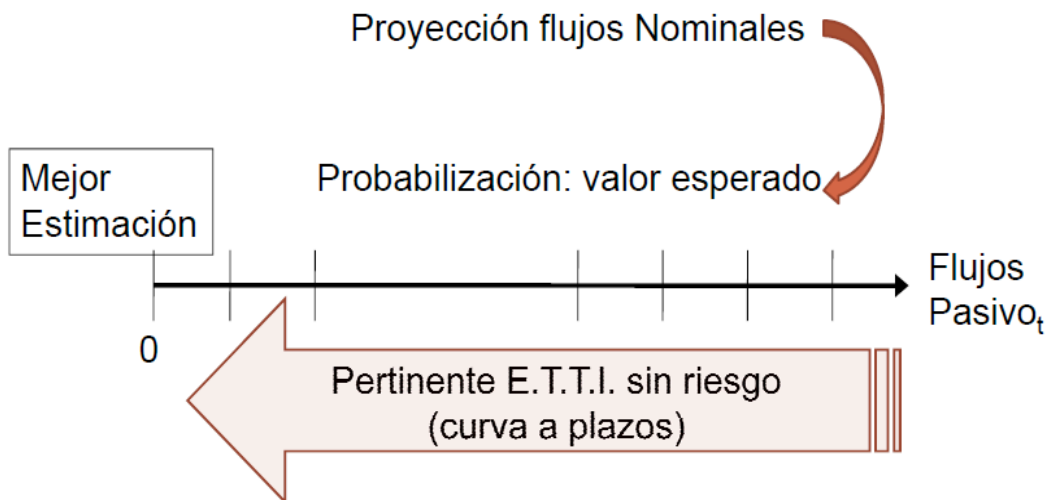
(a) incertidumbre en cuanto al momento de la ocurrencia, la frecuencia y la gravedad de los sucesos asegurados;

(b) incertidumbre en cuanto a los importes de los siniestros, incluida la incertidumbre en cuanto a la inflación de los mismos, y al período necesario para liquidar y pagar los siniestros;”

Por tanto, la metodología planteada en los siguientes epígrafes, resolverá estos puntos concretos, estableciendo un nivel de confianza determinado y pudiendo determinar a nivel probabilístico en qué momento se realizarán los pagos de dichos siniestros.

A continuación se va a detallar el procedimiento a seguir para la determinación de la mejor estimación:

Esquema 5: Metodología de cálculo de las provisiones técnicas.



Fuente: ICEA

En primer lugar se va a definir que se entiende por futuros flujos probabilizados²⁰ (considerando frecuencias, costes, gastos,

²⁰ Especificaciones técnicas QIS V, Unespa

comportamiento de los tomadores). Para su estimación se deben emplear técnicas actuariales, técnicas que analizaremos posteriormente y Brutos de Reaseguro, así como las consideraciones fiscales, por tanto se debe modelizar:

- La incertidumbre en cuanto al tiempo, frecuencia y severidad de los siniestros.
- La incertidumbre en el importe de los gastos.
- La incertidumbre del valor de mercado utilizado para determinar el importe de la prestación.
- Comportamiento del tomador.
- Interdependencias entre variables.

La mejor estimación deberá calcularse por su importe bruto, sin deducir las recuperaciones del reaseguro ni de los vehículos de propósito especial (SPV).

Los flujos de caja futuros deben tomar en cuenta de forma realista los posibles desarrollos de carácter demográfico, legal, médico, tecnológico, social o económico. Además, deben tener en cuenta la inflación y en especial aquellos índices que afectan concretamente los flujos considerados.

En el caso de los pasivos de No Vida, la compañía, si es pertinente, tendrá además que repartir sus gastos entre las provisiones para siniestros y las provisiones para primas.

- Horizonte temporal, el horizonte temporal usado en el cálculo de la mejor estimación deberá cubrir el período entero que cubra todas las entradas y salidas de efectivo necesarias para satisfacer las obligaciones derivadas de los contratos de seguro y reaseguro existentes a la fecha de valoración, conforme a los límites del contrato. En nuestra prueba empírica este horizonte temporal viene determinado por la duración de los flujos de pasivos observados, es decir, por término medio los años que se necesitan para liquidar la totalidad de siniestros ocurridos en un determinado año. Esto se observará a través del análisis del patrón de pagos, y no todos los ramos tienen el mismo comportamiento.
- Flujos de caja de entrada brutos, con el fin de calcular la mejor estimación deben considerarse, entre otros, entradas de efectivo, las primas futuras y las cuentas a cobrar por recuperaciones y subrogaciones. No pueden considerarse como entradas de efectivo, a efectos del cálculo de la mejor estimación, los rendimientos financieros. En nuestro caso y puesto que sólo nos vamos a centrar en la mejor estimación de siniestros, utilizaremos los pagos netos de recobros.
- Flujos de caja de salida brutos, las salidas de caja se pueden subdividir entre:
 - a) Las prestaciones pagaderas a los asegurados y beneficiarios.

Incluyen, entre otras:

- Los pagos por siniestros.
- Los pagos al vencimiento.

- Los pagos por fallecimiento.
- Los pagos por invalidez.
- Las prestaciones pagaderas en caso de rescate.
- Los pagos de rentas.
- Las participaciones en beneficios.

b) Los gastos que se incurrirán en el servicio de los compromisos por seguros y reaseguros. Incluyen, entre otros:

- Los gastos de administración.
- Los gastos de gestión de las inversiones.
- Los gastos de gestión de siniestros.
- Los gastos de adquisición, incluyendo las comisiones que se espera pagar en el futuro.

Esta categoría incluye tanto gastos directamente asignables a siniestros, pólizas o transacciones concretos, como gastos que no pueden asignarse directamente y que incluyen todos los demás gastos para satisfacer compromisos.

Los gastos no directamente asignables se deben repartir entre las líneas de negocio, grupos homogéneos de riesgos o cualquier otro segmento utilizado para el cálculo de las provisiones best estimate utilizando una base económica siguiendo principios realistas y objetivos.

En el caso de los pasivos de No Vida, la compañía, si es pertinente, tendrá además que repartir sus gastos entre las provisiones para siniestros y las provisiones para primas.

Si en la valoración de la mejor estimación se incluyen las primas futuras, entonces deberán considerarse también los gastos que se deriven de las mismas. Las compañías deberán formular las hipótesis apropiadas relativas a los gastos futuros relacionados con compromisos asumidos hasta la fecha de valoración. Las hipótesis de gastos deberán tomar en consideración los posibles incrementos futuros y la inflación.

Para la determinación de las provisiones técnicas, también se tendrán en cuenta las opciones contractuales y garantías financieras, es decir, se deberán modelizar las posibles acciones que puedan realizar por ejemplo los tomadores de seguros en función de lo establecido en el contrato, como puede ser un rescate, anulación, etc. Este punto, a efectos de nuestro trabajo no tiene aplicación, ya que nosotros nos centraremos en la modelización de los siniestros, observando el comportamiento de los mismos y por tanto, no existen opciones contractuales ni garantías financieras, ya que lo que se pretende modelizar es la incertidumbre tanto en plazo como en cuantía de los siniestros de una cartera cerrada.

Siguiendo con la normativa aplicable a las provisiones técnicas, en el artículo 34 del Reglamento Delegado 35/2015 se regulan los métodos de cálculo, en concreto establece lo siguiente:

1. La mejor estimación se calculará de un modo transparente y de forma que se garantice que el método de cálculo y los resultados que se obtengan del mismo puedan ser objeto de examen por parte de un experto cualificado.

2. La elección de métodos actuariales y estadísticos para calcular la mejor estimación se basará en su adecuación para reflejar los riesgos que afectan a los flujos de caja subyacentes y la naturaleza

de las obligaciones de seguro y reaseguro. Los métodos actuariales y estadísticos utilizarán todos los datos pertinentes disponibles para calcular la mejor estimación y serán coherentes con dichos datos.

3. Cuando un método de cálculo se base en datos de pólizas agrupadas, las empresas de seguros y reaseguros garantizarán que el agrupamiento de pólizas cree grupos de riesgo homogéneos que reflejen adecuadamente los riesgos de las pólizas individuales incluidas en tales grupos.

4. Las empresas de seguros y reaseguros analizarán la medida en que el valor actual de los flujos de caja depende tanto del resultado previsto de hechos y circunstancias futuros como de la posible desviación del resultado real respecto del resultado previsto en ciertos escenarios.

5. Cuando el valor actual de los flujos de caja dependa de hechos y circunstancias futuros según lo previsto en el apartado 4, las empresas de seguros y reaseguros utilizarán un método para calcular la mejor estimación de los flujos de caja que refleje tal dependencia.

De conformidad con el artículo 16 del Reglamento (UE) nº 1094/2010²¹, de 24 de noviembre de 2010, (en lo sucesivo, el Reglamento de la

²¹ REGLAMENTO (UE) no 1094/2010 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 24 de noviembre de 2010 por el que se crea una Autoridad Europea de Supervisión (Autoridad Europea de Seguros y Pensiones de Jubilación), se modifica la Decisión no 716/2009/CE y se deroga la Decisión 2009/79/CE de la Comisión (EIOPA)

AESPJ) y con los artículos 76 a 86, así como con el artículo 48 de la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II), tal y como se desarrolla en las Medidas de ejecución y en particular en los artículos 17 a 42 de las normas relacionadas con las provisiones técnicas, la AESPJ procede a emitir Directrices sobre la valoración de las provisiones técnicas²².

Las mencionadas directrices pretenden aumentar la coherencia y la convergencia de la práctica profesional para todas las entidades aseguradoras y reaseguradoras de todos los Estados miembros, y además se pretende apoyarlas en el establecimiento de criterios para el cálculos de sus provisiones técnicas con lo establecido en Solvencia II.

También reconocen la importancia del juicio de expertos como componente clave en el cálculo de las provisiones técnicas, y recomienda que estas deben aplicarse a la hora de establecer las hipótesis que se van a utilizar en la valoración de las provisiones técnicas.

En concreto estas directrices tratan aspectos muy relevantes en el proceso de valoración de las provisiones técnicas, que van desde cómo tratar los datos, en lo que se refiere a la calidad de los datos, y en caso de deficiencias de los mismos estas se traten de manera adecuada. Trata también de los aspectos metodológicos específicos del cálculo de las provisiones técnicas, de cara a la selección de la metodología más adecuada para tales cálculos, así como los criterios y procedimientos para el establecimiento de las hipótesis más consistentes y robustas.

²² EIOPA-BoS-14/166 ES

Además incluye un punto muy importante, a destacar por la aplicación de Solvencia II, que no es otro que el proceso de validación, tanto en la selección del enfoque y proceso de validación, calendario, alcance y documentación, así como la evaluación de los controles que deberían llevar a cabo las entidades aseguradoras para la validación de las provisiones técnicas.

Tales directrices son comunes para todos los estados miembros, y han entrado en vigor con fecha 1 de enero de 2015.

A continuación vamos a tratarlas en los siguientes epígrafes, ya que por la importancia de las mismas, van a ser la base legal, que tenemos que tener en cuenta, para que nuestro modelo planteado en los siguientes capítulos no adolezca de aplicación y por tanto vaya en el mismo sentido y dirección que las marcadas por tales directrices.

2. DIRECTRICES SOBRE PROVISIONES TÉCNICAS DE ENTIDADES ASEGURADORAS.

Siguiendo con la introducción de las directrices²³ sobre la valoración de las provisiones técnicas realizada en el epígrafe anterior, vamos a seguir el orden establecido en las mismas, así, en primer lugar se van a analizar lo referente a la calidad de los datos a utilizar para realizar los cálculos.

Para ello vamos a tratar dos conceptos muy relevantes, **la integridad y adecuación de los datos**, así, en lo que respecta a integridad se deben tener en cuenta varios aspectos:

²³ EIOPA-BoS-14/166

- Deben abarcar un periodo suficientemente amplio de observaciones, de tal forma que muestren la realidad de lo que se está midiendo.
- Debe existir suficiente información histórica, de tal forma que se puedan observar las tendencias actuales del coste total de los siniestros.
- También debe existir información lo suficientemente desagregada, para la identificación de patrones de comportamiento sobre grupos de riesgo homogéneos.

Por lo que respecta al segundo concepto enunciado, cabe destacar lo siguiente:

- Los datos relativos a los diferentes periodos de tiempo son coherentes.
- En caso de ser necesario, las entidades aseguradoras deberán adaptar sus datos históricos, y aumentar así su credibilidad, para que las estimaciones a realizar sean más fiables y se ajusten mejor a la cartera que es objeto de la valoración.

A continuación se van a analizar los puntos referentes al proceso de revisión y validación de la calidad de los datos utilizados para el cálculo de las provisiones técnicas, directrices desde la 3 a la 8.

- Al respecto de los controles de los datos, se establece que se debe evaluar la precisión e integridad de los datos, a través de una serie de controles con el objetivo que cumplan los criterios de integridad y adecuación mencionados anteriormente, y permitan detectar las

posibles deficiencias. Todo ello a un nivel lo suficientemente desagregado.

- Además se deben tener en cuenta las conclusiones de las diferentes revisiones externas.
- Sobre las metodologías a aplicar, se debe tener en cuenta la relación entre las conclusiones del análisis de la calidad de los datos y la selección de las metodologías a aplicar para valorar las provisiones técnicas.
- Analizar en qué medida los datos que se han utilizado son los adecuados para apoyar las asunciones sobre las metodologías a aplicar.
- Considerar si el número de observaciones y la granularidad de los datos son suficientes y adecuados como datos de entradas para aplicar la metodología seleccionada.
- En el proceso de validación de los datos se debe tener en cuenta tanto la fuente como el uso previsto de los datos.
- Complementar cuando sea necesario el juicio de expertos en la evaluación de datos precisos, adecuados y completos para el cálculo de las provisiones técnicas.
- La función actuarial, como función clave en el sistema de gobernanza (enunciado anteriormente), coordinará la evaluación y validación de los datos, para ser utilizados en el proceso de valoración de las provisiones técnicas. Donde la tarea de coordinación incluirá al menos lo siguientes puntos:

- Selección de los datos que se utilizarán para la valoración, teniendo en cuenta todos los puntos anteriores, comprobando las diferencias materiales que se puedan detectar.
- Recomendaciones sobre la aplicación de mejoras a los procedimientos internos para optimizar el cumplimiento de las directrices.
- Identificar aquellos casos en los cuales sea preciso utilizar datos externos.
- Además de la evaluación de estos datos, tal cual la evaluación a los datos internos utilizados, pronunciándose si son necesarios datos de mercado, por la inexistencia de los mismos internos, o bien que deban utilizarse para mejorar la calidad de los datos internos.
- Realizar una evaluación de si es necesario realizar ajustes sobre los datos disponibles, como buena práctica actuarial, y de esta forma mejor la robustez, fiabilidad y bondad del ajuste, y por tanto las estimaciones que se realicen serán más consistentes.
- Registrar todas las etapas y procedimientos que se han llevado a cabo en el proceso de evaluación y validación para ayudar en etapas posteriores.

Por otro lado, si existieran limitaciones a los datos utilizados estas deberán ser tratadas como tal, y a ese respecto estas guías establecen lo siguiente:

- Con el objetivo que los datos sean íntegros, precisos y adecuados, éstos se deben evaluar con el fin de identificar si existe cualquier limitación material de los datos.
- Se debe identificar y evaluar el impacto de las posibles deficiencias que pudieran afectar al cumplimiento de los requisitos de calidad de los datos, para lo cual se debe considerar todo el proceso y procedimientos internos de recopilación, almacenamiento y validación de los datos.
- Si las conclusiones sobre si los datos disponibles presentan deficiencias se debe valorar el impacto de las mismas, y así concluir si los datos disponibles deberían ser utilizados o bien buscar datos alternativos.
- Si existen deficiencias en los datos, se evaluará si puede mejorarse la calidad de los datos, en función del objetivo perseguido, ajustándola o complementándola. Aplicando medidas adecuadas para superar tales limitaciones. Tanto si son datos externos como internos, se debe garantizar que los datos siguen siendo conforme a las Directrices en cuanto a la calidad de los datos, y en caso contrario decidir si es posible ajustar los datos para superar las deficiencias que afectan a su calidad, y los ajustes específicos que deberían introducirse, limitados a lo estrictamente necesario para mejorar el cumplimiento de calidad de los datos, y que no distorsionan la identificación de tendencias, así como cualquier otra

característica relativa a los riesgos subyacentes reflejados en los datos.

- Se deberá recomendar a la dirección de la entidad, sobre los procedimientos que podrían llevarse a cabo con el fin de aumentar la calidad y la cantidad de los datos disponibles. Identificando previamente las fuentes de las limitaciones materiales y proponiendo las posibles soluciones, teniendo en cuenta la eficacia y el tiempo necesario para llevarlas a cabo.
- Además cuando existen limitaciones materiales, se aplicará el juicio de expertos, siempre que no puedan subsanarse sin un alto nivel de complejidad, garantizando que se aplica el juicio de expertos para así superar estas limitaciones y determinar que las provisiones técnicas se calculan de manera apropiada. No viéndose afectadas el cálculo de las provisiones técnicas por datos inexactos o incompletos.
- Todas las posibles limitaciones materiales de los datos deben quedar documentadas, incluyendo lo siguiente:
 - o Descripción de las deficiencias, causas y referencias a cualquier documento donde se hayan detectado.
 - o Impacto de las deficiencias en cuanto a su importancia relativa y a cómo afecta a este proceso.
 - o Descripción de las medidas adoptadas para detectar las deficiencias.

- Descripción de cómo se pueden subsanar, y recomendaciones que deberán aplicarse para mejorar la calidad de los datos en el futuro.

- Respecto a la uso de los datos del mercado (Directriz 15-16), en caso de que la valoración de los pasivos dependan del comportamiento de los mercados financieros, o en caso de ser necesario la entrada de datos de una fuente externa, se debe demostrar que estos datos son más adecuados que los datos internos, garantizando que éstos complementan los datos internos disponibles.

- Se debe tener en cuenta la coherencia y estabilidad del proceso de recopilación y publicación de la información a lo largo del tiempo, de tal manera que se pueda llevar a cabo la evaluación del nivel de precisión, adecuación e integridad de los datos externos.

- Por otro lado, se debe tener en cuenta que todas las hipótesis son realistas y las metodologías aplicadas para determinar los datos, ajustes o simplificaciones aplicadas a los datos sin procesar.

- Se debe medir la calidad de los datos disponibles con respecto a los datos del sector o de mercado, que sean comparables, identificando cualquier desviación material.

Las directrices emanadas de EIOPA²⁴, para los seguros distintos del seguro de vida (No vida), establece unos criterios de segmentación y desagregación de tal forma que los riesgos tratados sean lo más homogéneos posibles, estableciendo una segmentación para el seguro de

²⁴ EIOPA-BoS-14/166 ES

vida según el riesgo biométrico (mortalidad, longevidad, discapacidad o morbilidad), utilizando las técnicas actuariales comunes para evaluar el comportamiento de tales variables. Determinando la idoneidad de un grupo de riesgo homogéneo en función de los siguientes criterios:

- Las hipótesis a utilizar se establecerán para grupos de riesgo homogéneos, comprendiendo esto un conjunto de políticas con características de riesgo similares, logrando un equilibrio adecuado entre la credibilidad de los datos disponibles, de tal forma que puedan realizarse análisis estadísticos fiables y posibilitar la homogeneidad de las características del riesgo, de tal forma que sean razonablemente estables a lo largo del tiempo.
- Para la determinación de los riesgos homogéneos se deberán tener en cuenta los siguientes elementos, para garantizar la coherencia entre los grupos de riesgo homogéneos que se utilizarán para evaluar el importe bruto de las provisiones técnicas.
 - Política de suscripción
 - Patrón de la liquidación de siniestros
 - Perfil de riesgo de los tomadores
 - Características del producto
 - Acciones futuras de gestión

Las Directrices hacen mención especial al establecimiento de hipótesis, estableciendo no los criterios que se deben seguir a la hora del establecimiento de las asunciones utilizadas en la determinación de las provisiones técnicas, si no que estas deberán ser coherentes con las asunciones utilizadas para la determinación de los fondos propios y capital económico. Además se establecen criterios a seguir en lo que se refiere a:

- Las hipótesis para la asignación de gastos, estableciendo que estos se asignarán por grupos de riesgo homogéneos, al igual que la segmentación de las obligaciones utilizadas en los cálculos de las provisiones técnicas.
- Se asignarán los gastos generales de forma realista y objetiva, basándose para ello en los análisis actuales de las operaciones de la empresa, identificando los factores de gastos adecuados y establecimiento de coeficientes de distribución de tales gastos.
- La asignación de los gastos generales se harán de forma constante a lo largo del tiempo, y sólo se cambiarán si existe un nuevo enfoque que refleje mejor la situación actual.
- Se asignarán los gastos en la previsión del flujo de caja para que el calendario de los mismos sea coherente con el calendario de otros flujos de caja entrantes y salientes necesarios para liquidar las obligaciones asumidas, incluidos los gastos futuros derivados, de tal forma que sean adecuados y coherentes con las hipótesis económicas realizadas.
- En caso de basar el modelo de gastos en información de gastos actuales y pasados, se deberán analizar los gastos actuales e históricos, teniendo en cuenta el momento en que se producen los gastos y los factores que influyen en los mismos, se deberá realizar un análisis de proporcionalidad de cómo los gastos están relacionados con el tamaño y la naturaleza de las carteras de seguros. No se aplicarán cuando los gastos hayan cambiado considerablemente.

Se modelizarán las garantías financieras y las opciones contractuales que se reconocen a los tomadores de seguros, garantizando que las hipótesis utilizadas en la valoración de estas sean coherentes con los datos de mercado, la práctica actual de mercado, el tomador y el comportamiento de gestión específico de las características de la actividad de la empresa. Se tendrá en cuenta el impacto de las condiciones y tendencias adversas del mercado, estableciendo un proceso periódico para actualizar y garantizar que las hipótesis son realistas.

Por lo que respecto a las hipótesis sobre el comportamiento del tomador, se deberá garantizar que las hipótesis relacionadas se basan en datos estadísticos y empíricos.

También se deberán tener en cuenta a la hora de la correcta valoración de las provisiones técnicas, las futuras decisiones de gestión, teniendo en cuenta el impacto de estas decisiones asumidas en otras hipótesis dentro de un determinado escenario de valoración. Así se analizará el impacto de las decisiones de gestión en el comportamiento del tomador o en los gastos relacionados.

Las Directrices sobre provisiones técnicas establecen una serie de guías a seguir en lo que respecta a las metodologías a utilizar para el cálculo de las provisiones técnicas, dividiéndose este apartado en varios epígrafes:

- Se evalúa la proporcionalidad, cuyo principio general enuncia que se debe tener en cuenta la fuerte interrelación que existe entre naturaleza, volumen y complejidad de los riesgos, de cara a la selección de la metodología, teniendo en cuenta que esta deberá ser explicada en cualquier momento y la razón por la que se ha seleccionada esta y no otra.

- Para evaluar la naturaleza y complejidad de los riesgos, se tendrán en cuenta una serie de características:
 - Grado de homogeneidad
 - Componentes que integran cada riesgo
 - Grado de correlación entre cada componente de riesgo
 - Nivel de incertidumbre
 - Detalle de la ocurrencia, gravedad y frecuencia
 - Evolución de los pagos a largo plazo
 - Determinación de la pérdida total (cola de los pagos de siniestros)
 - Tipo de actividad donde se originan los riesgos
 - Grado de dependencia entre los diferentes tipos de riesgo
 - Instrumentos para la mitigación del riesgo

- Se debe evaluar la escala de riesgos, esta debe ser una evaluación objetiva y fiable, estableciendo un nivel o tipo de referencia específico que dé lugar a un número de evaluación relativo en lugar de absoluto.

- También se debe analizar la granularidad de la evaluación de la importancia relativa, determinando cuál es el nivel más apropiado en el que se debería llevar a cabo la evaluación de la importancia relativa a efectos del cálculo, podría ser por riesgos homogéneos, líneas de negocio o la actividad en su conjunto. Para evaluar la importancia relativa de un riesgo este no es importante en relación con la actividad conjunta, pudiendo tener un impacto significativo dentro de un segmento más pequeño, y no sólo sobre provisiones técnicas de forma aislada, sino que se tienen en cuenta todos los efectos sobre fondos propios, balance y capital de solvencia obligatorio.

- Llegados a este punto, las Directrices hablan de los Generadores de Escenarios Estocásticos (GEE), modelos sobre los cuales se va a basar esta investigación en los siguientes capítulos, de tal forma que analizaremos diferentes modelos estocásticos, y aportaremos aquel modelo que mejor se ajuste al estudio empírico realizado, contrastándolo con los resultados de los factores que miden el riesgo de volatilidad de las provisiones técnicas. Así se deberá justificar lo siguiente, teniendo en cuenta que estos métodos se comprenden adecuadamente, tanto los modelos como el proceso de calibración, con especial indicación sobre los métodos e hipótesis utilizados, así como sus limitaciones:
 - Modelos matemáticos en que se basan los GEE y la razón de su elección
 - La evaluación de la calidad de los datos
 - El proceso de calibración
 - Los parámetros resultantes de la calibración

Asimismo, se establece los requisitos que se deben seguir para llevar a cabo el proceso de calibración, en lo que respecta a las pruebas a realizar, estas deberán ser capaces de demostrar la precisión, solidez y coherencia con el mercado. Se evaluará la medida de precisión de los GEE a través de un análisis de errores (en nuestro modelo seguimos esta indicación), la solidez se demostrará comprobando la sensibilidad de la valoración al respecto a la variación de algunos de los parámetros, en nuestro modelo realizamos análisis de sensibilidad sobre los diferentes modelos y las distribuciones de probabilidad utilizados, y la coherencia del modelo la contrastaremos a través de pruebas de correlación.

Hasta ahora se han analizado las diferentes directrices, comunes para las provisiones tanto de primas como de siniestros, en los siguientes puntos vamos a analizar lo que respecta a las provisiones de siniestros, ya que estas son las que vamos a tratar en los epígrafes posteriores, de cara a modelizar y analizar, para a partir de los resultados obtenidos podamos concluir con la metodología que más se ajuste a la normativa vigente, y calcular la medida del riesgo que nos sirva para cuantificar el capital económico por este concepto.

En este punto, vamos a tratar de analizar los métodos para calcular las provisiones para siniestros, desglosándose esta en tres agrupaciones:

- Provisión para siniestros declarados pendientes, las cuales representan las obligaciones que deberá asumir la entidad aseguradora a consecuencia de los siniestros que han ocurrido y se han notificado al asegurador. Siendo posible calcular esta provisión por dos métodos:
 - o Consideración del número de siniestros declarados y su coste medio
 - o Estimación caso a caso

- Provisión para siniestros ocurridos y no declarados (*IBNR*, “*Incurred But Not Reported*”, por sus siglas en inglés), se trata de todos aquellos siniestros que han ocurrido a la fecha de valoración de la provisión técnica, pero que aún no se han notificado a la entidad aseguradora, existe por tanto mayor incertidumbre, tanto del momento en que se declararán y número de siniestros como del coste de ellos. Para estimar esta provisión se utilizarán métodos actuariales, técnicas de “*chain ladder*” las cuales

abordaremos posteriormente, teniendo en cuenta que se sostienen las hipótesis que subyacen a la técnica o si se requieren ajustes en los patrones de desarrollo de manera apropiada para reflejar el desarrollo futuro probable.

- Valoración de los gastos de liquidación de siniestros (gastos por ajustes de pérdidas no imputadas), se trata de todos los gastos internos que tendrá que afrontar la entidad para la total liquidación de todos los siniestros que están pendientes a la fecha de valoración. Para ello, se realizarán estimaciones sobre el porcentaje de la provisión de siniestros, en base a la experiencia histórica, siempre que esta proporción sea estable en el tiempo y cuando los gastos se distribuyan de forma uniforme durante el periodo de vigencia de la cartera de siniestros en su conjunto.

El modelo que vamos a plantear incluye, los dos primeros puntos, al analizar las series temporales de pagos de siniestros y modelizar el patrón de pagos, tanto de los siniestros declarados como los no declarados a la fecha de valoración.

Para cumplir con todo lo expuesto anteriormente, vamos a proponer un formulario/encuesta para valorar de forma cualitativa las provisiones técnicas, tal y como se establece la normativa de referencia.

3. CALIBRACIÓN DE LA FÓRMULA ESTÁNDAR Y LOS PARÁMETROS UTILIZADOS.

Desde el año 2006²⁵ el Committee of European Insurance and Occupational Pensions²⁶ (CEIOPS) ha venido desarrollando, junto con diversas modificaciones de la Directiva hasta su versión final de 2009, una serie de informes basados en el impacto que sobre el balance, y más generalmente la valoración de las entidades, tendría la implantación de las distintas medidas propuestas en la Directiva.

Los modelos de cálculo de los requerimientos de capital que se presentaban en cada uno de estos estudios han sido entendidos como el desarrollo del Modelo Estándar al que se refiere Solvencia II²⁷. De este modo desde 2006 se han publicado los resultados de los denominados *Quantitative Impact Studies* (QIS). En estos estudios se han ido trasladando todos los aspectos regulados en la Directiva, modificando y calibrando los parámetros utilizados para el cálculo de los requerimientos de capital de solvencia en cada uno de los sucesivos test,

Hasta 2010 han sido desarrollados cinco estudios para calibrar la fórmula estándar y en el año 2011 se ha desarrollado otro estudio para ver el impacto de las garantías a largo plazo, posteriormente se han desarrollado determinadas pruebas de estrés sobre cuestiones concretas.

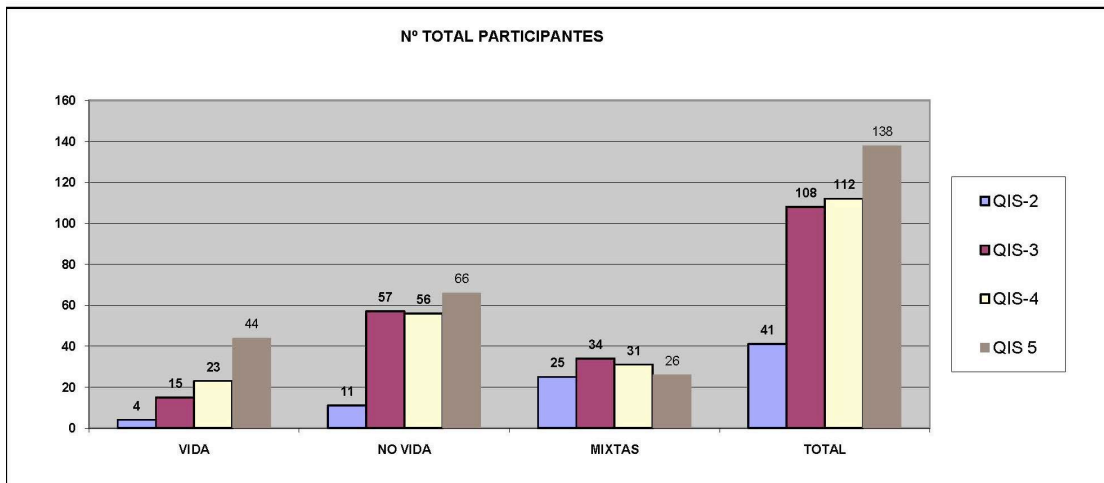
²⁵ Ferri, A Estructuras de dependencia aplicadas a la gestión de riesgos en Solvencia II

²⁶ Desde 1 de Enero de 2011, European Insurance and Occupational Pensions Authority (EIOPA).

²⁷ Artículos 103 a 111 de la DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II)

A continuación mostramos la evolución de los participantes y cuotas de mercado de estas pruebas en el mercado español, arrojando resultados muy destacados, así por ejemplo en el QIS 2 sólo participaron 44 empresas de las más de 280 entidades aseguradoras censadas en España, mientras que en el QIS 5 participaron 136, cifra muy baja, ya que no llega ni al 50%, pero en cuota de mercado veremos posteriormente que es diferente.

Gráfica 1: Número de entidades participantes en QIS 5.



Fuente: Ministerio de Economía y Hacienda. Presentación de resultados QIS5.

A continuación se muestran los % de cuota de mercado, que muestran una entrada muy importante, cercanas al 100%.

Tabla 1: Cuota de mercado de las entidades participantes en el QIS 5.

	CUOTA DE MERCADO TOTAL	de las cuales MIXTAS
VIDA	95,6%	34,0%
NO VIDA	94,7%	38,9%
SALUD	91,4%	25,0%

Fuente: Ministerio de Economía y Hacienda. Presentación de resultados QIS5.

Notable incremento respecto a los datos del QIS4 donde la cuota de mercado se situó en el 69'40% en el negocio de Vida, el 87% en el negocio de No Vida y 69'50% en el negocio de Salud.

En estos informes se han presentado los resultados agregados por países y sectores sobre la situación financiera de las entidades participantes en base a los resultados que obtenían las entidades participantes de los requerimientos de capital acordes a los modelos propuestos en cada uno de los QIS. EIOPA sí ha publicado numerosos documentos donde expresa su opinión acerca de las medidas adoptadas en la implementación del Modelo Estándar, respuestas a cuestiones planteadas por las entidades participantes y sobre implementación de Modelos Internos, entre otros.

Una conclusión muy importante, y que pone de manifiesto la necesidad de cambiar el sistema de cálculo de las provisiones técnicas aplicado en la actualidad sobre la que se regula en la normativa, en concreto sobre las provisiones técnicas no vida, estableciendo un rango entre el 85-89% el nivel de las provisiones técnicas calculadas según los criterios establecidos en las diferentes normas y guías para la implantación de

Solvencia II, al respecto de las calculadas en la actualidad, por tanto el desarrollo y las investigaciones al respecto de este campo en la actualidad así como en los próximos años se prevé sean numerosas.

En el cuadro siguiente se muestran estas diferencias en función del tipo de negocio.

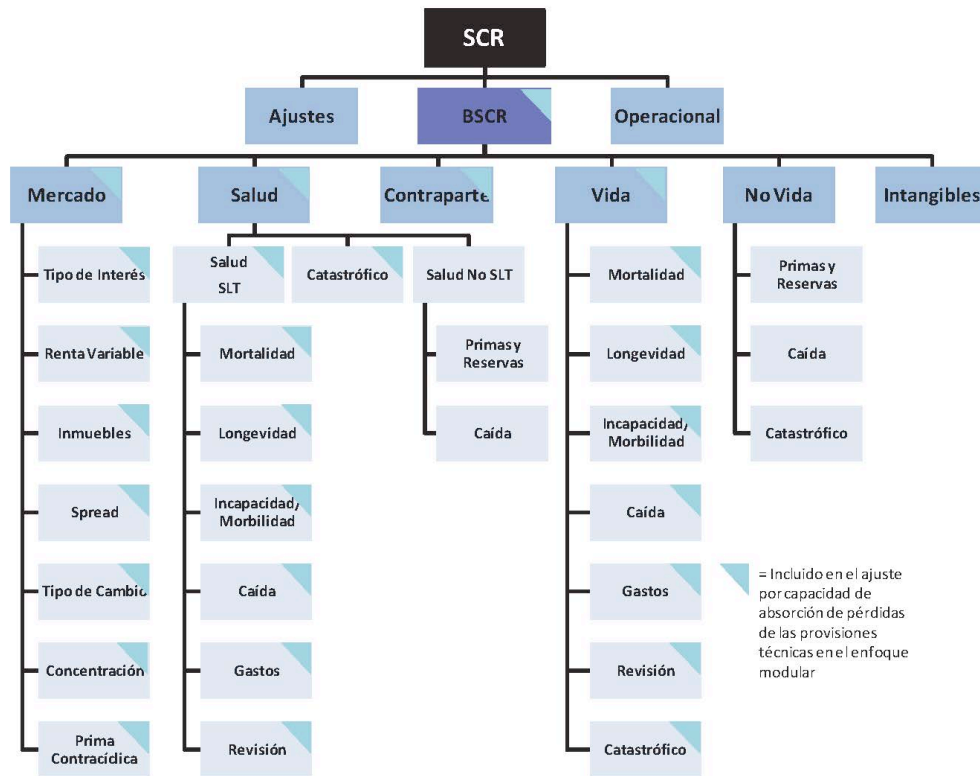
Tabla 2: Comparativa valoración de las provisiones técnicas en el ejercicio QIS5 y Solvencia I.

	Variación valoración Provisiones		
	VIDA	NO VIDA	MIXTAS
PT vida brutas QIS5 /S1	102,05%	-	99,21%
PT unit linked QIS5 /S1	101,55%		95,69%
PT NL brutas QIS5 / S1		84,83%	89,13%
PT salud Qis5 /S1	-	83,13%	92,59%

Fuente: Ministerio de Economía y Hacienda. Presentación de resultados QIS5.

La Directiva propone un nivel de desagregación de riesgos que distingue entre riesgo de suscripción, riesgo de mercado, riesgo de crédito y riesgo operacional, y para cada uno de ellos son tenidos en cuenta distintos subniveles que tratan de reflejar de manera adecuada y genérica el perfil de riesgo de una compañía aseguradora.

Esquema 6: Estructura de riesgos para la determinación del capital regulatorio, “Solvency Capital Requirement”.



Fuente: Especificaciones técnicas QIS LTGA.

La Figura muestra los distintos módulos y subniveles o submódulos que son considerados en la Directiva y el Reglamento Delegado para la obtención del SCR.

El SCR es el resultado de agregar los distintos requerimientos de capital de cada módulo de riesgo considerado en dos pasos. Por un lado deben ser agregados los capitales correspondientes a los distintos subniveles considerados en cada módulo de riesgo principal, teniendo en cuenta la relación que tengan entre sí. Con ello se obtiene el requerimiento

correspondiente a cada módulo de riesgo principal (suscripción, mercado, crédito y operacional). Por otra parte, la agregación de los requerimientos de capital correspondientes a cada módulo de riesgo principal debe llevarse a cabo teniendo en cuenta la relación existente entre ellos, con lo que finalmente se obtiene el requerimiento total de capital de solvencia, el SCR.

En Solvencia II la relación entre los distintos módulos y submódulos para la agregación de los distintos requerimientos queda plasmada a través de las matrices de correlación entre las variables que representan los riesgos de los distintos módulos y submódulos.

El propio documento de EIOPA²⁸ define el SCR como:

“El SCR corresponderá al Value-at-Risk (VaR) de los fondos propios básicos de una aseguradora o reaseguradora, calibrado a un nivel de confianza del 99,5 % con un horizonte temporal de un año. Los parámetros y supuestos utilizados para el cálculo del SCR reflejarán este objetivo de calibración.

Para asegurar que todos los módulos de la fórmula estándar están calibrados de un modo consistente, este objetivo de calibración se aplicará a cada uno de los módulos de riesgos individuales.

Para la agregación de los módulos individuales de riesgo en un SCR global, se aplican técnicas de correlación lineal. El establecimiento de coeficientes de correlación tiene la finalidad de poner de manifiesto las potenciales dependencias en las colas de las distribuciones, así como la estabilidad de los supuestos de correlación en condiciones de estrés.”

²⁸ EIOPA –DOC 13/061 28 de enero de 2013 <https://eiopa.europa.eu>

En el documento de EIOPA²⁹ viene establecida la estructura de cálculo del SCR como:

$$SCR = BSCR + Adj + SCR_{op}$$

Donde:

BSCR: Capital de Solvencia Obligatorio Básico.

SCR_{op}: Capital requerido por riesgo operacional.

Adj: Ajuste por el efecto de la absorción de riesgo de las provisiones técnicas y los impuestos diferidos.

El BSCR se determina como sigue:

$$BSCR = \sqrt{\sum_{i,j} Corr_{i,j} \times SCR_i \times SCR_j} + SCR_{intangible}$$

Donde:

Corr_{i,j} son las entradas de la matriz de correlaciones.

SCR_i, SCR_j, Capital obligatorio para los riesgos individuales del SCR de acuerdo con las filas y columnas de la matriz de correlaciones.

SCR_{intangible}, Capital obligatorio para el riesgo de activos intangibles.

El factor \square Corr_{i,j} corresponde a la celda situada en la fila i, columna j de la matriz de correlaciones siguiente:

²⁹ EIOPA –DOC 13/061 28 de enero de 2013 <https://eiopa.europa.eu>

Tabla 3: Matriz de correlaciones ejercicio QIS LTGA.

i \ j	Mercado	Contraparte	Vida	Salud	No Vida
Mercado	1				
Contraparte	0,25	1			
Vida	0,25	0,25	1		
Salud	0,25	0,25	0,25	1	
No Vida	0,25	0,5	0	0	1

Fuente: Especificaciones técnicas QIS LTGA.

A continuación se muestran los resultados del capital económico obtenido en el QIS 5 en el mercado español, estableciendo la composición del SCR.

Tabla 4: Composición del SCR para cada subriesgo establecido en el QIS

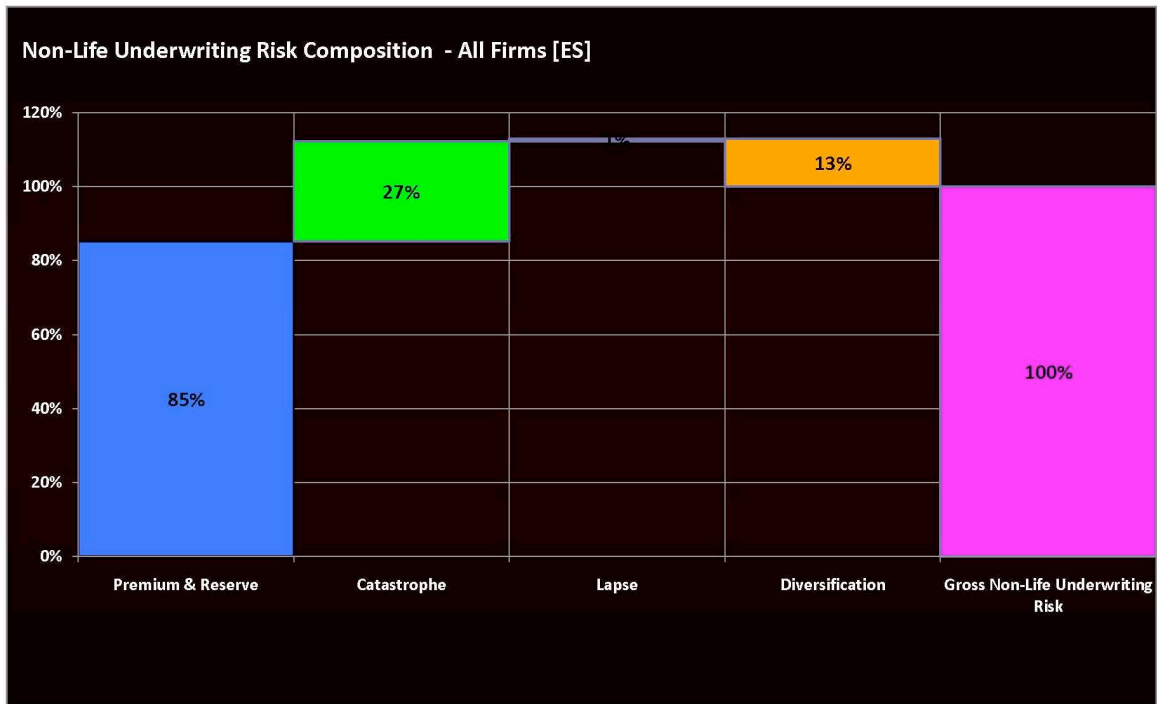
5.

	COMPOSICIÓN DEL SCR			
	Todas	Mixtas	Vida	No vida
Mercado	75,46%	91,00%	93,71%	45,24%
Contraparte	11,68%	9,79%	13,48%	13,24%
Vida	24,00%	22,22%	55,43%	0,00%
Salud	7,17%	4,78%	0,44%	16,82%
No vida	42,03%	37,79%	0,00%	74,39%
Riesgo operacional	12,35%	10,74%	16,24%	11,43%
Intangibles	1,38%	2,42%	0,15%	1,26%
Ajustes PB e impuestos	-37,57%	-37,80%	-45,25%	-29,75%
Diversificación	-36,50%	-40,95%	-34,20%	-32,63%

Fuente: Ministerio de Economía y Hacienda. Presentación de resultados QIS5.

Una vez más, en este cuadro se pone de manifiesto la relevancia de trabajos como el que estamos llevando a cabo, ya que el riesgo de no vida, para entidades no vida se sitúa en más del 74%, y si bajamos un nivel más, en concreto sobre el riesgo de no vida el riesgo de primas y reservas representa el 85% de este.

Tabla 5: Composición del módulo de riesgo no vida.



Fuente: Ministerio de Economía y Hacienda. Presentación de resultados QIS5.

Tanto en las últimas propuestas respecto de la contabilización de las provisiones técnicas, cómo de los conceptos de control y supervisión de entidades aseguradoras, se usan criterios *market consistent* o “tal como lo haría el mercado”. La aplicación de criterios *market consistent*, se complica en el negocio asegurador debido fundamentalmente a la ausencia de un mercado profundo y líquido en el que se negocien activamente instrumentos de Seguro.

Para varios sub-módulos, el cálculo del capital obligatorio se basa en escenarios: el capital obligatorio se determina como el impacto de un escenario específico sobre el nivel de Fondos Propios Básicos (*Basic Own Funds – BOF*).

El nivel de Fondos Propios Básicos se define en la Directiva Solvencia II como la diferencia entre los activos y los pasivos. Los pasivos no deberían incluir el margen de riesgo (*Risk Margin*) de las provisiones técnicas. Además, los pasivos no deberían incluir pasivos subordinados³⁰. El cambio en BOF resultante de la aplicación del escenario, se denomina Δ BOF. El Δ BOF será positivo si el escenario provoca una pérdida del Δ BOF.

En los resultados presentados del ejercicio QIS V, los fondos propios con criterios Solvencia II respecto a los contabilizados, crecían en un 9,78%, fundamentalmente, por la disminución en la valoración de los pasivos no vida, mientras que los de vida crecían ligeramente, y la mayor valoración de determinados activos, fundamentalmente los inmuebles.

Tabla 6: Fondos propios disponibles según criterios Solvencia II y Solvencia I, y comparativa entre ambos.

	OF Solv2	OF Solv1	Ratio OFS2/OFS1
TODAS	29.506.296	26.877.540	109,78%

Fuente: Ministerio de Economía y Hacienda. Presentación de resultados QIS5.

³⁰ BOF=Activos –Pasivos, donde los pasivos subordinados se excluyen de los pasivos. (véase el apartado (3) del artículo 101 de la Directiva Solvencia II, en que se establece que el SCR será igual al VaR de los fondos propios básicos).

Finalmente si analizamos los requerimientos de capital de solvencia con ambos criterios, en concreto el capital disponible sobre los requerimientos de capital se observan importantes diferencias, las cuales se muestran en el cuadro siguiente:

Tabla 7: Comparativa de los ratios de solvencia bajo Solvencia I Y QIS5.

	CAPITAL DISPONIBLE / REQUERIMIENTO CAPITAL			
	TODAS	VIDA	NO VIDA	MIXTAS
Solv. I	261,5%	196,0%	275,7%	304,4%
Qis-5	171,5%	143%*	172,3%	216,5%
Qis-4	177,0%	170.3%	178,0%	176.1%
Qis-3	138,0%	131.1%	136.7%	157.9%

Fuente: Ministerio de Economía y Hacienda. Presentación de resultados QIS5.

Como conclusión de estos resultados por tanto, cabría destacar lo siguiente:

- Mayores fondos propios disponibles como consecuencia de la mayor valoración de los activos, los inmuebles, y menor valoración de los pasivos, fundamentalmente las provisiones técnicas no vida.
- Mayor sofisticación en la valoración del capital de solvencia con Solvencia II, incluyendo todos los riesgos a los que está expuesto

una entidad aseguradora, mientras que en Solvencia I estos requerimientos se hacían en función de muy pocas variables (primas y siniestros para no vida y provisión matemática para vida).

- Disminución del ratio de solvencia, a pesar del incremento del capital disponible para la cobertura del capital de solvencia, las exigencias de capital han incrementado, dando como resultado una disminución del ratio de solvencia, así mientras que en Solvencia I el ratio se situaba a la fecha de cierre 2009, en el 261,5% con criterios de Solvencia II (QIS 5), este ratio se situaba en un 171,5%.

Por tanto los principios contenidos en Solvencia II van a suponer un importante cambio en el sector asegurador por lo que respecta al capital de solvencia como al sistema de gobierno, es por lo que la línea de investigación sobre metodologías estadísticas y calibración en los próximos años va a tener una gran importancia.

CAPÍTULO TERCERO

GESTIÓN DE RIESGOS EN EL MARCO DE SOLVENCIA II

1. INTRODUCCIÓN

El enfoque de gestión de riesgos, abordado por las instituciones financieras para controlar la incertidumbre de estos mercados, tiene un especial auge a partir de la década de los 90, década en la que la evolución de la metodología para la “gestión de riesgos” permitió la mejor adecuación entre riesgos y reservas permitiendo a muchas entidades en estos años sobrevivir a crisis económicas, además de la realización de operaciones financieras más eficientes.

A partir de entonces, cada vez ha captado mayor interés técnicas para la disminución de la incertidumbre, como son el Value-At-Risk (VaR) (utilizado por primera vez a finales de los 80’ impulsado en 1994 por J.P.Morgan), el Credit-At-Risk (CAR) y el Duration Gap (DGAP), para la medición de riesgos y el Return on Risk Adjusted Capital (RORAC), para analizar el ajuste entre riesgo y rentabilidad, entre otros.

La consideración de la gestión de riesgos en la administración de la empresa, significa aceptar la incertidumbre del mercado cómo guía, es decir, orientar las decisiones a los posibles escenarios que puedan darse durante el ejercicio económico, esto se realiza tratando de reducir los riesgos asociados a cada una de las operaciones realizadas en los diferentes departamentos.

Existen diversos tipos de riesgos en el sector asegurador que deben ser analizados, medidos y controlados para el buen ejercicio de estas compañías. Estos riesgos se clasifican en varios conjuntos y subconjuntos, siendo los más importantes: riesgo de crédito, riesgo de mercado, riesgo de suscripción, riesgo de liquidez, riesgo operacional,

riesgo legal y riesgo de reputación. Algunos de ellos definidos en Solvencia II ³¹ en su título I capítulo 1, sección 3, artículo 3:

- **Riesgo de crédito:** *el riesgo de pérdida o de modificación adversa de la situación financiera resultante de fluctuaciones en la solvencia de las emisiones de valores, las contrapartes y cualesquiera deudores al que están expuestas las empresas de seguros, en forma de riesgo de incumplimiento de la contraparte, riesgo de diferencial o concentración de riesgo de diferencial o concentración de riesgo.*

- **Riesgo de mercado:** *el riesgo de pérdida o de modificación adversa de la situación financiera resultante, directa o indirectamente, de fluctuaciones en el nivel y en la volatilidad de los precios de mercado de los activos, pasivos e instrumentos financieros.*

- **Riesgo de suscripción:** *el riesgo de pérdida o de modificación adversa del valor de los compromisos contraídos en virtud de los seguros, debido a la inadecuación de las hipótesis de tarificación y constitución de provisiones.*

- **Riesgo de liquidez:** *el riesgo de que las empresas de seguros y de reaseguros no puedan realizar las inversiones y demás activos a fin de hacer frente a sus obligaciones financieras al vencimiento.*

³¹ DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).

- **Riesgo operacional:** *el riesgo de pérdida derivado de la inadecuación o de la disfunción de procesos internos, del personal o de los sistemas, o de sucesos externos.”*

El riesgo legal y el riesgo de reputación, no están definidos en dicha normativa cómo tal, se deducen del Título I, capítulo VI, Sección 4, subsección 1, incluyendo dicha normativa ambos dentro del riesgo operacional cómo sucesos externos, no siendo en este caso obligatorio el riesgo de reputación para el establecimiento del capital de solvencia obligatorio.

El riesgo legal se refiere a las pérdidas reales o potenciales de ganancias debido al incumplimiento de normativas o al cambio de estas.

El riesgo de reputación está referido al riesgo que afecta negativamente a las expectativas de sus grupos de interés de manera que pueda perjudicar la reputación corporativa, con la consiguiente disminución de ingresos.

2. SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS

En el ejercicio de la actividad aseguradora, el riesgo es el concepto fundamental a tener en cuenta debido a que cambios adversos en el entorno pueden llevar a obtener pérdidas y a que se produzca una disminución en el valor económico de su patrimonio, pudiendo llevar a una situación de inestabilidad y perjudicando a su viabilidad financiera.

Gestionar los riesgos quiere decir que la empresa realiza acciones para evitar o disminuir las posibles consecuencias negativas derivadas de los cambios producidos en diversos factores. No llevar a cabo tales acciones, puede llevar a que se produzca una situación de insolvencia o quiebra en la que el valor de los activos disminuya por encima del valor de los pasivos pudiendo llegar a tener un patrimonio neto negativo.

La gestión de los riesgos debe determinar las probabilidades de que puedan ocurrir cambios adversos para adaptarse a estos y así reducir posibles pérdidas.

Respecto a esto, se han desarrollado varios parámetros generales como base para la instauración de sistemas específicos de gestión de riesgos, dentro de un sistema global que deben ser utilizados durante el desarrollo de sus actividades.

Para poder gestionar el riesgo de manera eficaz la empresa debe implantar políticas específicas para administrar los riesgos, procedimientos para gestionarlos, metodologías para su medición y procedimientos para su posterior control.

Las políticas específicas para la administración de los riesgos deben tener en cuenta por tanto:

- Sistemas de medición de riesgos.
- Determinar la exposición y los límites de tolerancia de estos riesgos.
- Mecanismos de cobertura o de los riesgos o disminución de su influencia.

- Mecanismos para la absorción de pérdidas.
- Realizar estimaciones de niveles de capital económico teniendo en cuenta el riesgo.
- Sistemas de información actualizados.

Los procedimientos para gestionar el riesgo deben:

- Identificar los riesgos que le puedan afectar a la entidad en cualquiera de sus operaciones.
- Cuantificar las pérdidas esperadas por los riesgos identificados.
- Revisar la evolución de su exposición a los riesgos de manera permanente.
- Controlar los niveles de exposición mediante mecanismos de cobertura de los riesgos o reducción de estos, además de aplicar las medidas correctoras necesarias.
- Divulgar información adecuada acerca de la gestión de los riesgos a los accionistas, directivos, inversionistas y público en general.

Estos procedimientos deben formalizarse por escrito, reflejando claramente las funciones y responsabilidades de cada órgano interviniente.

En cuanto al control de las medidas adoptadas, el sistema de control debe cumplir lo siguiente:

- Realizar exámenes periódicos al sistema de gestión de riesgos para verificar su viabilidad y efectuar las recomendaciones pertinentes a la junta directiva y a la alta gerencia.
- Velar por la correcta implementación de las metodologías y procedimientos adoptados, y el cumplimiento de los límites y controles marcados por la junta directiva.
- Asegurarse de que la información oportuna llegue a la junta directiva y a la alta gerencia.
- Verificar el control por las diferentes áreas de la organización de los límites, políticas y procedimientos preestablecidos.
- Comprobar la consistencia y suficiencia de los sistemas de procesamiento de la información dedicados al análisis y reporte de los riesgos.
- Verificar la precisión, consistencia e integridad de los datos y bases de datos empleadas para la medición de riesgos.
- Controlar la efectividad de las tareas en virtud de las cuales el personal de las unidades de negocios, de operaciones y de gestión de riesgo toman sus respectivas decisiones.

3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA DE MEDICIÓN DEL VALOR EN RIESGO

Las metodologías para la medición de riesgos deben de ser acordes a las reglas de buenas prácticas y actuar con criterios objetivos, teniendo en cuenta la diversidad de modelos de negocios y segmentos, además de adaptarse a las prácticas y estándares internacionales. Estos requisitos los podemos observar en la normativa Solvencia II³², cuya misión principal es unificar los criterios de funcionamiento de este tipo de empresas a nivel europeo, además dicta que la metodología a utilizar debe utilizar criterios objetivos para la medición de estos, además de velar por la transparencia de sus acciones y establece la división por áreas de actuación.

La metodología a aplicar debe considerar estándares cuantitativos, realizando estimaciones estadísticas durante un periodo de observación razonable y un intervalo de confianza mínimo de forma que permita al modelo establecido conseguir resultados sobre la exposición de la compañía al riesgo en forma diaria.

El modelo, además, debe tener la capacidad de medir posibles escenarios extremos “stress testing³³”, situaciones extremas en los diferentes factores de riesgo, debiendo para ello detectar claramente cuáles son estos factores. Además, debe tener en cuenta la correlación entre factores para obtener el valor en riesgo:

³² DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).

³³ Article 80 NLUR1. (Art. 105(2) of Directive 2009/138/EC). Draft Delegated Acts Solvency II.

- Correlación = 0, se suman aritméticamente los valores en riesgo elevados al cuadrado para cada factor, y se realiza la raíz cuadrada de esta suma obteniendo el valor en riesgo.
- Correlación \neq 0, la metodología debe buscar la agregación de valores en riesgo de cada factor mediante la suma de los valores en riesgo originados por cada uno de los factores de riesgo e incluyendo la correlación existente entre ellos.

Debe realizarse un seguimiento continuo a las pruebas de desempeño para verificar la calidad de los resultados obtenidos con el modelo³⁴ teniendo en cuenta los principios de buenas prácticas. Estas pruebas se denominan “back testing³⁵”, y su función es determinar la consistencia, precisión y confiabilidad de los valores en riesgo estimados, realizando una comparativa de estos con los resultados de la empresa.

Aplicado el “back testing”, se procede, en caso necesario, a aplicar factores de ajuste a los valores en riesgo de forma que podamos corregir las desviaciones encontradas y se pueda reflejar el verdadero valor en riesgo de las entidades.

Todas las metodologías empleadas, así como los resultados obtenidos deben estar correctamente documentados.

Por último, un aspecto importante a considerar por las entidades es la diversificación del portafolio, teniendo en cuenta que este está afectado por la volatilidad individual de cada factor y por sus correlaciones

³⁴ Guideline 49 – Testing against experience. Final Report on Public Consultation No. 14/017 on Guidelines on system of governance.

³⁵ Guideline 54 – Documentation when using alternative valuation methods. Final Report on Public Consultation No. 14/017 on Guidelines on system of governance.

existentes, para una buena gestión de los riesgos, este debe conseguir que su riesgo agregado sea inferior a la suma de los riesgos de cada factor. Por tanto, teniendo en cuenta que las correlaciones ayudan diversificar el riesgo de un portafolio, el valor en riesgo obtenido utilizando las correlaciones, es decir, diversificado, debe ser menor que la suma de los valores de riesgo individuales.

La gestión de riesgos, por tanto, permite la identificación y el análisis de los riesgos a los que está expuesta una compañía en sus decisiones estratégicas, además, teniendo en cuenta que las empresas evolucionan con el tiempo, es decir, que presentan una situación dinámica, la gestión de riesgos precisa de constantes revisiones y actualizaciones de manera periódica para controlar el riesgo.

Si además tenemos en cuenta que la economía presenta ciclos, de forma que los escenarios de actuación y toma de decisiones son cambiantes (Schumpeter, 1939), la gestión de riesgos en la compañía debe tener un enfoque preventivo, es decir, debe contemplar los posibles escenarios que puedan darse, de forma que debe establecer medidas de impacto para estimaciones en etapas estables, alcistas o bajistas.

Teniendo en cuenta que el sector al que nos dirigimos es el sector asegurador, el riesgo al que prestamos una especial atención es al riesgo de suscripción definido anteriormente.

En un mercado centrado en el riesgo altamente competitivo, cada vez es más importante la capacidad de identificación y gestión de los riesgos, así como una eficiente utilización de los capitales, estos conceptos están intrínsecamente relacionados ya que en una empresa el riesgo y el capital se relacionan de manera que a mayores riesgos mayores necesidades de capital.

La gestión de riesgos y la gestión de capitales se unifican en el concepto de “capital económico³⁶”, entendido este como el límite de capital necesario para hacer frente a potenciales pérdidas inherentes a las actividades comerciales.

Cada vez más, las compañías aseguradoras se centran más en el concepto de capital económico, por ello, estas apuestan en mayor medida por la utilización de técnicas y prácticas fiables para la toma de decisiones estratégicas, que consigan la mejor medición del riesgo y una óptima evaluación del rendimiento para así consolidar la rentabilidad a largo plazo y la competencia.

El capital económico, también conocido como Solvency Capital Requirement (SCR)³⁷, traducido como Capital de Solvencia Obligatorio, viene explicado en la Directiva Solvencia II³⁸, en la que exige que este se calcule partiendo del principio de continuidad del negocio de la empresa y teniendo en cuenta el efecto de las técnicas de reducción de riesgo, siempre que el riesgo de crédito y otros riesgos derivados del uso de tales técnicas se reflejen debidamente. Además, esta normativa establece que el Capital de Solvencia Obligatorio será igual al valor en riesgo de los fondos propios básicos de la empresa con un nivel de confianza del 99,5%³⁹, a un horizonte de un año.

³⁶ 2010 Valuation Actuary Symposium Sept. 20-21, 2010. Session # 36 TS: Introduction to Economic Capital.

³⁷ DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).

³⁸ Arts 100 y ss DIRECTIVA 2009/138/CE

³⁹ Art 101 DIRECTIVA 2009/138/CE.

El SCR, está compuesto por los requisitos mínimos de capital (MCR)⁴⁰, que consiste en la cantidad de recursos propios por debajo de los cuales no se puede operar acrecentados hasta conseguir el riesgo global asumido por la aseguradora y de su comparación con el capital disponible determinado en base al balance económico, se obtiene el exceso de capital disponible.

⁴⁰ Arts 128 y ss DIRECTIVA 2009/138/CE

CAPÍTULO CUARTO

TEORÍA DEL RIESGO TÉCNICO ACTUARIAL O DE SUSCRIPCIÓN

1. INTRODUCCIÓN.

El riesgo técnico⁴¹ es el riesgo de seguro específico que se origina en las pólizas de seguros. Se refiere a la incertidumbre acerca de los resultados de la suscripción de seguros por parte de la aseguradora. Aquí queda incluida la incertidumbre sobre:

- El importe y el momento de la eventual liquidación de siniestros en relación con obligaciones existentes;
- El volumen de pólizas que se suscribirán y las tarifas de las primas a las que se suscribirán; y
- Las primas que serían necesarias para cubrir las obligaciones originadas por las pólizas suscritas.

2. RIESGO DE SUSCRIPCIÓN NO VIDA

El riesgo de suscripción no vida⁴² se subdivide en:

- Riesgo de insuficiencia de la reserva

⁴¹ EIOPA (EIOPA-DOC-13/061).

⁴² EIOPA (EIOPA-DOC-13/061)

- Riesgo de insuficiencia de la prima, este riesgo no lo vamos a tratar en la presente Tesis Doctoral, dejando este punto como futura línea de investigación, ya que consideramos que la comunidad académica podrá aportar importantes avances en la determinación de esto.

2.1 RIESGO DE LA RESERVA

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 (BEL⁴³). 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 (UNESPA, 2007).

Este riesgo se calcula mediante técnicas de proyección de siniestros, hasta su liquidación total, basándose, entre otros formatos, en los triángulos de desarrollo de la siniestralidad. Nuestro modelo se basa en el análisis de estos triángulos, y por tanto, vamos a realizar una prueba empírica para determinar la variabilidad que se produce al aplicar metodología estocástica en la determinación de las provisiones técnicas.

En base a la Directiva Solvencia II⁴⁴, se están desarrollando métodos que permitan para los ramos de cola larga la proyección de la siniestralidad a un año, de manera que las provisiones técnicas a constituir reflejen el

⁴³ BEL=Valor actual consistente con el mercado, de los flujos proyectados como *best estimate* descontados al tipo de interés libre de riesgo a la fecha de valoración.

⁴⁴ DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).

valor del importe actual que las empresas de seguros o de reaseguros tendrían que pagar si transfirieran sus obligaciones de seguro y reaseguro de manera inmediata a otra empresa de seguros o de reaseguros (título 1, capítulo 6, sección 2, artículo 76).

Para la estimación de las provisiones técnicas, existe metodología determinista y estocástica, está última sobre la que trabajaremos, debido a que presenta la ventaja de establecer medidas de precisión sobre las estimaciones de las provisiones, de manera que se puede obtener una estimación de la incertidumbre ligada a estos procesos.

La metodología estocástica permite estimar el error de estimación y el error de proceso, por lo que el error de predicción es el siguiente (González, 1992):

$$y_{T+s} - y_{T+s/T(\widehat{\psi})} = [y_{T+s} - y_{T+s/T(\psi)}] + [y_{T+s/T(\psi)} - y_{T+s/T(\widehat{\psi})}]$$

Es decir:

$$\text{Error de Predicción} = \text{Error de Proceso} + \text{Error de Estimación}$$

Por un lado, el error de proceso describe las fluctuaciones aleatorias que puedan surgir en el desarrollo de los siniestros, de manera que refleja las diferencias entre la evolución producida en los siniestros en años anteriores con la evolución posible futura.

El error de estimación, en cambio, hace referencia a la incertidumbre en la determinación de los parámetros del modelo, es decir, a la posibilidad de que los parámetros utilizados sean erróneos para la estimación de la

siniestralidad futura. Hasta el momento, los parámetros utilizados han sido los factores de desarrollo y los siniestros acumulados.

El riesgo de la reserva resulta de la diferencia entre la situación más desfavorable y el Best Estimate.

La situación más desfavorable se establece con el percentil 99,5 de la función de distribución.

El Best Estimate está definida en la Directiva Solvencia II (título 1, capítulo VI, sección 2, artículo 77)⁴⁵ cómo: “la mejor estimación se corresponderá con la media de los flujos de caja futuros ponderados por su probabilidad, teniendo en cuenta el valor temporal del dinero (valor actual esperado de los flujos de caja futuros) mediante la aplicación de la pertinente estructura temporal de tipos de interés sin riesgo”.

Existe diversa metodología para el cálculo del riesgo de la reserva, para generar una distribución predictiva de la reserva se utilizan los métodos estocásticos.

⁴⁵ DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).

2.2 PRINCIPALES METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS DE SINIESTROS

Entre los principales métodos destacan:

- **Thomas Mack**⁴⁶, que define como hipótesis los dos primeros momentos: media y desviación típica. Este modelo está fundamentalmente vinculado al modelo de Chain Ladder, es uno de los primeros modelos estocásticos que reproduce Chain Ladder, estimaciones y suposiciones que lo hizo limitado en cuanto a la distribución de los datos subyacentes, prefiriendo este simplemente para especificar los dos primeros momentos solamente. Mack produce estimadores de los parámetros desconocidos media y la varianza, y hace suposiciones más limitadas, tanto para el error de predicción de los pagos previstos y las estimaciones de reservas.
- **Modelo lineal generalizado**: Extrae la relación lineal entre la variable endógena y las variables explicativas. El error de predicción obtenido con este se corresponde con el error cuadrático medio. Trabaja con cuantías no acumuladas. Es un complemento a la aplicación Bootstrap. Un caso específico del modelo lineal generalizado es el Chain Ladder, en la que el modelo lineal generalizado sigue una distribución Poisson con sobredispersión junto con la función de enlace canónica logarítmica (Boj y Costa, 2014).
- **Bootstrap**⁴⁷: es un método que ha ganado popularidad debido a su sencillez y que genera la distribución predictiva completa de la

⁴⁶ Measuring the Variability of Chain Ladder Reserve Estimates by Thomas Mack. Submitted to the 1993 CAS Prize Paper Competition on 'Variability of Loss Reserves'

⁴⁷ The over-dispersed Poisson bootstrapping (England & Verall 1999 and 2001)

reserva. La técnica Bootstrap (Efron, 1979) trata básicamente de sustituir la aplicación de complejas expresiones analíticas, por la aplicación de un algoritmo. Esto se realiza realizando un muestreo con reemplazamiento sobre el triángulo de pagos con el objeto de crear un determinado número de combinaciones de pseudodatos consistentes con la distribución original.

2.3 TEORÍA DE REMUESTREO: METODOLOGÍA BOOTSTRAP.

La metodología Bootstrap ha supuesto uno de los avances más importantes de la estadística moderna (Efron, 1995), siendo en 1999 cuando se comenzó a aplicar al contexto de la estimación de las provisiones técnicas, en la obra “Analytic and bootstrap estimates of prediction errors in claims reserving” de P. England & R.Verrall.

La metodología Bootstrap se encuadra dentro de las técnicas de remuestreo, consistentes en generar un número determinado de muestras con el que estudiar determinados estadísticos que permitan resolver problemas relacionados con procedimientos inferenciales como modelos de regresión, datos censurados, construcción de intervalos de confianza, estimación de parámetros...

La técnica Bootstrap nos permite extrapolar la relación de dependencia de un número relativamente bajo de observaciones a un número mayor con el que poder extraer información relevante, esto actualmente se realiza fácilmente debido a la eliminación de los obstáculos con la aplicación de procedimientos iterativos de manera informatizada.

Profundizaremos en los fundamentos de esta metodología basándonos en las obras de Efron (1979, 1982), Hall (1992), Efron y Tibshirani (1993),

Mooney y Duval (1993), Shao y Tu (1995), Davison y Hinkley (1997) y Chemick (1999).

Suponiendo que las variables a estudiar se distribuyan bajo una distribución normal, o teniendo en cuenta el Teorema Central del Límite que establece que en una muestra suficientemente elevada ($n \geq 30$) la función de distribución se aproxima a una distribución normal $N(\mu, S/\sqrt{n})$, utilizamos esta para la estimación de los parámetros poblacionales y los contrastes de hipótesis. La distribución muestral de otros estadísticos puede seguir también modelos como la T de Student, la F de Snedecor o la Chi-Cuadrado, de los que disponemos de fórmulas para obtener la media y desviación típica de tales estadísticos.

La utilidad principal de la técnica Bootstrap es la construcción de un modelo de distribución para determinados estadísticos de interés a partir de una muestra dada, pero la manera de obtener el modelo difiere de la de los métodos estadísticos clásicos:

- Métodos estadísticos Clásicos: se basan en realizar inferencias sobre la población suponiendo una distribución muestral teórica para los estadísticos, con los que estimamos los parámetros.
- Metodología Bootstrap: la metodología Bootstrap simula un número elevado de muestras aleatorias siguiendo la relación de la muestra de partida, con las que estimar la forma de la distribución muestral de los estadísticos.

La metodología Bootstrap se basa principalmente en la técnica Monte Carlo, consistente en extraer un número elevado de muestras aleatorias de una población conocida para calcular a partir de ellas el valor del estadístico cuya distribución muestral pretende ser estimada (Money,

1997), podríamos decir que simular tiene como objetivo duplicar características y comportamientos propios de un sistema real (Rodríguez-Aragón, 2011). En el caso de aplicar las técnicas Monte Carlo sobre muestras extraídas de la población y no sobre la población en sí, muy habitual debido a la imposibilidad en muchas ocasiones de conocer esta, denominamos a estas técnicas, “técnicas de remuestreo”.

Existen diversos métodos de remuestreo, destacando la técnica Jackknife⁴⁸ y la técnica Bootstrap. La técnica Jackknife estudia la precisión de una estimación (Miller, 1974) extrayendo muestras construidas al suprimir cada vez un solo elemento de la muestra original para valorar el efecto sobre determinados estadísticos (Quenouille, 1949; Tukey, 1958; Miller, 1974). La técnica Jackknife calcula el sesgo y el error estándar para un estadístico pero no para un intervalo de confianza (Efron, 1982), motivo por el que esta técnica no es nuestro objeto de estudio, a pesar de que esta técnica presenta ventajas sobre la técnica Bootstrap, debido a que requiere menos computación y a parte no requiere, no incluye componente aleatorio (Badii, Castillo, Wong & Landeros; 2006). Efron consideró la técnica Bootstrap como una explicación o ampliación de la técnica Jackknife.

La técnica Bootstrap se desarrolla en los siguientes pasos:

1. Siendo $e(F)$ un parámetro dependiente de una función de distribución desconocida F , y X_1, X_2, \dots, X_n , las variables aleatorias, tales que: $X_1, X_2, \dots, X_n \sim F$, se representará una muestra $[X_1, X_2, \dots, X_n]$ correspondiente a las variables aleatorias, teniendo en cuenta

⁴⁸ Maurice Quenouille, en 1949, inicio el estudio no paramétrico del error estadístico, desarrollando esta técnica, siendo John W. Tukey quien en 1950 la perfeccionaría y la denominaría Jackknife.

que los valores de dicha muestra nos permite obtener la distribución empírica \hat{F}_n , siendo esta la estimación no paramétrica de máxima verosimilitud de F.

2. A partir de la muestra $[X_1, X_2, \dots, X_n]$, extraemos una nueva muestra $[X'_1, X'_2, \dots, X'_n]$, por medio de muestreo con reposición, es decir, tras la extracción de un primer elemento, éste se repone en la muestra original, por lo que cada observación individual X_i tiene una probabilidad de ser elegida $1/n$, por lo que el número de muestras diferentes que se pueden extraer sería: $\binom{2n-1}{n} = \frac{(2n-1)!}{n!(n-1)!}$.
3. Para la muestra obtenida $[X'_1, X'_2, \dots, X'_n]$, se calcula el valor de un determinado estadístico $\hat{\Theta}$ que se utiliza como estimador del parámetro poblacional Θ para poder obtener conclusiones de este en la población.
4. En base al número de muestras que queramos obtener, repetimos los dos pasos anteriores, un número determinado de veces para obtener un número determinado de $\hat{\Theta}$. Teniendo en cuenta la necesidad de aleatoriedad en la obtención de las muestras, es indispensable la utilización de herramientas informáticas, además de para esta función, también nos facilita la estimación de los parámetros en números elevados de muestras.
5. Con los estimadores obtenidos de las diferentes muestras se construye una distribución empírica del estadístico $\hat{\Theta}$, de modo que obtenemos la distribución muestral de un estadístico sin realizar suposiciones sobre la distribución teórica a la que se ajusta como ocurre con el método Jackknife, y sin manejar fórmulas analíticas para determinar los correspondientes parámetros de la distribución.

Es importante que la muestra original contenga la información básica sobre la población para que pueda extrapolarse a las muestras obtenidas a partir de esta, por tanto, cuánto más representativa sea la muestra original de la población, más se adecuarán los estadísticos estimados a los estadísticos de la población. Hay que tener en cuenta que a mayor tamaño de la muestra menor riesgo asumimos de error pero a la vez tenemos un mayor rango de valores con los que trabajar. Autores como Bickel y Krieger (1989), determinan que la metodología Bootstrap ofrece buenos resultados incluso con muestras pequeñas, entre 10 y 20 casos; otro autor que hace referencia al tamaño de la muestra a obtener para la aplicación del Bootstrap es Chernick (1999), que establece que muestras inferiores a 5 casos no producen resultados adecuados.

Debido a que el sustento teórico matemático-estadístico del Bootstrap es bastante complejo, hasta finales de la década de los 80' del siglo pasado, la eficiencia del método era probada de manera empírica, es decir, en el terreno de la práctica, (Fernández, 1999), el desarrollo de la informática hizo posible realizar la simulación de un número elevado de muestras de forma aleatoria. A finales de esta década, la utilización del método Bootstrap para el contraste de hipótesis empezaba a ser considerada una alternativa a los tests paramétricos y no paramétricos convencionales (Noreen, 1989).

La idea básica del Bootstrap es que en ausencia de otra información sobre la población, la distribución de una muestra aleatoria es la mejor guía para determinar la distribución de la población; por lo tanto, remuestrear la muestra con reemplazamiento nos aproxima a lo que sucedería si se remuestrea la población (Manly, 1997), en cuanto a los estadísticos, el método Bootstrap no representa un estadístico en sí

mismo, sino un enfoque sobre cómo usar los estadísticos de cara a hacer inferencias acerca de los parámetros (Mooney y Duval, 1993).

Es característico que el Bootstrap se presente combinado con otras técnicas estadísticas, como son los métodos de estimación, ajuste de curvas, contrastes de hipótesis, modelos de regresión, análisis y clasificación de variables, representados en el libro “An Introduction to the Bootstrap”, de Bradley Efron y Robert J. Tibshirani, de 1993, también se ha aplicado junto a coeficientes de correlación (Hans y Kolem, 1988; Knapp, Noblitt y Viragoontavan, 2000), análisis factorial (Ichikawa y Konishi, 1995), series temporales (Romo, 1994) o a los modelos de ecuaciones estructurales (Hancock y Nevitt, 1999; Nevitt y Hancock, 2001; Raykov, 2001), todas estas aplicadas a una gran diversidad de ramas del conocimiento.

Los métodos Bootstrap han ganado popularidad y han llegado a ser considerados una herramienta general para el trabajo estadístico (Young, 1994). Esto se refleja en el importante número de trabajos que abordan esta metodología.

Una de las aplicaciones del Bootstrap más extendida es la estimación de intervalos de predicción en series temporales cuando las hipótesis usuales de los métodos clásicos no son sostenidas por los datos, o cuando el tamaño muestral no es suficientemente elevado (Miguel y Olave, 2000). La técnica Bootstrap, en este caso, estima la distribución del término error a partir de la estimación de la distribución Bootstrap del componente residual (Solanas y Sierra, 1992).

Destacan 3 metodologías de aplicación del Bootstrap de manera generalizada:

- **Bootstrap Paramétrico:** Este método se utiliza si conocemos la distribución poblacional de F , de modo que para aplicar la técnica Bootstrap, bastaría con construir un estadístico utilizando la función de distribución a la que pertenece F , donde $\hat{\Theta}$ es un estimador de θ , es decir, generamos muestras desde F usando los parámetros estimados.
- **Bootstrap suavizado:** se aplica cuando sabemos que la distribución poblacional es continua, de manera que utilizamos una perspectiva más general utilizando técnicas no paramétricas. El estadístico sería construido utilizando como función de distribución: $\hat{F}_n = F_n * K_h$, donde F_n es la función de distribución empírica construida a partir de la muestra, K_h es una función Kernel, siendo esta la estimación de la función de densidad (Cuevas y Romo, 1997); y denotando * la convolución entre ambas funciones, por lo que la función determinante del modelo es: $\hat{F}(u) = F_n * K_h(u) = \int K_h(x - u) F_n(du)$. Esto es equivalente a extraer aleatoriamente una observación a partir F_n y añadirle h veces una cantidad aleatoria extraída a partir de la densidad k (Miguel y Olave, 2000).
- **Bootstrap no paramétrico:** No conocemos la forma de F y la estimamos con \hat{F} obtenida a partir de los datos. El Bootstrap no paramétrico remuestrea m muestras con reemplazo de tamaño n desde F_n . Las muestras Bootstrap y'_1, y'_2, \dots, y'_m , siendo y' cada muestra obtenida, son usados para calcular (replicadamente) los estadísticos $\hat{\Theta}_{n1}, \hat{\Theta}_{n2}, \dots, \hat{\Theta}_{nm}$, y la distribución Bootstrap aproximada es la función de distribución empírica: $\hat{G}_n(\tau, F_n) = m^{-1} \sum_{i=1}^m I(\hat{\Theta}_{ni} \leq \tau)$. Con esta distribución es posible formar estimadores o realizar inferencia de la misma forma que realizaríamos con el Bootstrap paramétrico.

En base a que la materia objeto de nuestro estudio es el análisis del riesgo en el sector asegurador, en base a los datos a tratar la técnica Bootstrap a utilizar será el Bootstrap no paramétrico, en el que nos vamos a basar en un análisis de series temporales heterocedásticas debido a que la varianza de las estimaciones aumenta con el paso de los años. Dentro del análisis de series temporales heterocedásticas, destaca en los estudios financieros los modelos heterocedásticos condicionados autorregresivos, cuyo acrónimo es ARCH (Engle, 1983).

La importancia de los ARCH en el análisis de series temporales en el ámbito financiero viene dado por el establecimiento por este modelo, de la volatilidad variable a lo largo del tiempo, es decir, la experiencia empírica nos lleva a contrastar periodos de amplia varianza de error, seguidos de otros de varianza más pequeña (De Arce, 1998), por tanto las estimaciones futuras deben prever esta situación.

La metodología clásica se basa en modelos matemáticos de naturaleza estocástica, cuyos inconvenientes principales son, por un lado, los complejos desarrollos analíticos difícilmente aplicables a determinadas áreas de estudio, además, muchas veces estos desarrollos se basan en hipótesis que no son soportados por los datos, y por último, determinar que muchas veces los resultados obtenidos no son válidos cuando el tamaño muestral no es suficientemente elevado.

La metodología Bootstrap suple estos inconvenientes, permitiendo aproximar la distribución de los datos de una forma fácil y rápida sin necesidad de realizar una estimación paramétrica, ni supuestos acerca de los datos (Athié, 2010). La prueba fundamental de la técnica Bootstrap consiste en que se comporte con precisión ante una variedad de situaciones, motivo por el cual es práctica habitual contrastar la estrategia

Bootstrap en diversas condiciones y realizar análisis comparativos con otras técnicas (Solanas y Sierra, 1992).

Cómo ya comentamos la metodología Bootstrap reproduce los datos originales de modo que, de existir dependencia en la estructura de los datos en la muestra original, está se reflejará en las nuevas muestras conseguidas con el remuestreo, por lo que los métodos variarán en función de la estructura temporal existente.

La validez de la metodología Bootstrap, consiste fundamentalmente en la consistencia de esta, está comprobada debido a que alguna distancia entre la distribución Bootstrap de \hat{F} y la distribución de F tiende a cero cuando el tamaño de la muestra tiende a infinito. Esto hace referencia al Error Cuadrático Medio (ECM), cuya fórmula es la siguiente:

$$ECM(F) = E(h(X_1, X_2, \dots, X_n) - \theta_F)^2$$

Debido a que no conocemos la función de distribución de F , utilizamos la función de distribución empírica F_n , debido a que cuando n es grande se espera que se aproxime a F , ($E(F_n) = F$).

$$ECM(F_n) = E(h(X'_1, X'_2, \dots, X'_n) - \theta_{F_n})^2$$

De forma que determinando que el estimador \hat{F}_n es insesgado, $ECM(F_n) = \text{Var}(F_n)$, la distancia entre la distribución Bootstrap \hat{F} y la distribución de F sería 0.

Para determinar la validez de esta metodología, resulta conveniente estudiar, además, la velocidad de convergencia, es decir, aplicado a la metodología Bootstrap, el número de remuestreos necesarios para poder llegar al valor real del parámetro objeto de estudio.

Cabe mencionar que, a partir de muestras de poblaciones finitas, el número de remuestras posibles a realizar crece exponencialmente.

Esto imposibilita que se puedan calcular todos los posibles valores para los estadísticos a estimar, por lo que esto nos impide en muchas ocasiones obtener la distribución teórica de la distribución empírica. Esta problemática podemos aminorarla aproximando la distribución empírica a una distribución teórica utilizando el método Monte Carlo.

La distribución teórica la obtenemos realizando remuestreos un número n suficientemente elevado de veces, teniendo en cuenta el coste de estos, con lo que obtenemos n valores del estadístico a estimar, los cuales utilizamos para conseguir una aproximación a una distribución teórica.

La metodología Bootstrap aplicada a las series de tiempo y modelos de regresión dinámicos fue iniciado por Freedman en 1984, en su obra “Bootstrapping a regression equation: Some empirical results”, y desarrollado ampliamente durante el siglo XXI para el análisis de series temporales.

El objetivo del análisis de series temporales es predecir el valor futuro de un proceso estocástico a un horizonte s , de forma que nos permite obtener una aproximación puntual de dicho valor, o bien calcular intervalos de predicción.

Algunos enfoques del Bootstrap han sido propuestos como alternativa para calcular intervalos de predicción, Stine (1987) propone el método Bootstrap para la estimación del ECM como predictor lineal clásico de un $AR(p)$, es decir, de un modelo autorregresivo de orden p , donde p es conocido asumiendo que la distribución del error es simétrica y con

segundos momentos. Con este método Stine obtiene la función de distribución empírica de los errores centrados, y repitiendo el proceso un número suficientemente elevado de veces podemos aproximar el ECM de la predicción puntual. El procedimiento sería el siguiente (Cao, Febrero-Bande, González-Manteiga, Prada-Sánchez y García-Jurado, 1997)

1. En primer lugar, construimos un vector Bootstrap $(\hat{Y}_{-p+1}, \hat{Y}_{-p+2}, \dots, \hat{Y}_0)$ esto se hace elaborando con equiprobabilidad los t-p posibles valores.
2. Extraemos los valores \hat{a}_s , con reemplazamiento desde la función distribución empírica corregida de los residuales.
3. Construimos nuevas observaciones Bootstrap utilizando la ecuación:

$$\hat{Y}_s = \hat{\delta} + \hat{\vartheta}_1 \hat{Y}_{s-1} + \dots + \hat{\vartheta}_p \hat{Y}_{s-p} + \hat{a}_s, \quad s=1,2, \dots,t.$$

4. Calculamos $\hat{\delta}'$ y $\hat{\vartheta}'_j$, $j = 1, 2, \dots, p$, los mínimos cuadrados de los parámetros de las estimadores $(\hat{Y}_1, \hat{Y}_2, \dots, \hat{Y}_t)$.
5. Calculamos el valor \hat{Y}'_{t+k} de la misma manera que \hat{Y}_{t+k} pero reemplazando los valores basados en el ejemplo por los análogos Bootstrap.

Thombs y Schucany (1990) posteriormente proponen otro método de análisis de series temporales aplicando el Bootstrap, en primer lugar proponen un retroceso para posteriormente utilizar el método Bootstrap con el que obtener los intervalos de predicción de los h periodos siguientes, este proceso puede dividirse en las siguientes etapas (Cao,

Febrero-Bande, González-Manteiga, Prada-Sánchez y García-Jurado, 1997):

1. Definimos los últimos valores, p de las series y construimos los residuales centrados y escalados backward:

$$\hat{e}'_i = \left[\frac{n-p}{n-2p} \right]^{1/2} \left(\hat{e}_i - \frac{1}{n-p} \sum_{j=i}^{n-p} \hat{e}_j \right),$$

Donde:

$$\hat{e}_i = Y_i - \hat{\delta} - \hat{\vartheta}_1 Y_{i+1} - \dots - \hat{\vartheta}_p Y_{i+p}, \quad i = 1, 2, \dots, t-p.$$

2. Construimos réplicas Bootstrap backward:

$$(\hat{Y}_1, \dots, \hat{Y}_{t-p}, \hat{Y}_{t-p+1}, \dots, \hat{Y}_t),$$

$$\hat{Y}_j = Y_j \quad j = n-p+1, \dots, t.$$

$$\hat{Y}_j = \hat{\delta} + \hat{\vartheta}_1 Y_{j+1} + \dots + \hat{\vartheta}_p Y_{j+p} + \hat{e}'^*_j, \quad j = 1, 2, \dots, t-p.$$

Donde \hat{e}'^*_j son los valores artificiales obtenidos de la distribución empírica de los residuales backward: $\hat{e}'_j, j=1, 2, \dots, t-p$.

3. Introducimos las réplicas de las series en el modelo AR(p) y estimamos los parámetros.
4. Estimamos los errores Bootstrap forward \hat{a}'^*_j , cuya distribución empírica de los errores forward centrados y reescalados es:

$$\hat{\alpha}'_i = \left[\frac{n-p}{n-2p} \right]^{1/2} \left(\hat{\alpha}_i - \frac{1}{n-p} \sum_{j=i}^{n-p} \hat{\alpha}_j \right),$$

Donde:

$$\hat{\alpha}_i = Y_i - \hat{\delta} - \hat{\varnothing}_1 Y_{i-1} - \dots - \hat{\varnothing}_p Y_{i-p}, \quad i=p+1, p+2, \dots, t.$$

5. Con esto construimos las estimaciones Bootstrap forward \hat{Y}_{t+1} , \hat{Y}_{t+2} , ..., \hat{Y}_{t+p} basándonos en los errores Bootstrap y las estimaciones de los parámetros Bootstrap:

$$\hat{Y}_{t+j} = \hat{\delta} + \hat{\varnothing}_1 Y_{t+j-1} + \dots + \hat{\varnothing}_p Y_{t+j-p} + \hat{\alpha}^*_{t+j}, \quad j=1,2, \dots, k.$$

Otro autor, McCullough (1994), trabaja sobre el trabajo de Thombs and Schucany (1990), aplicando este método a datos reales e implementando el Bootstrap propuesto por Efron corrigiendo el sesgo, corrige la asimetría de la distribución Bootstrap. McCullough va más allá empleando el método de Breidt (1992) para los backwards residuales, afectando todas estas cuestiones al intervalo de predicción. Siguiendo el método los siguientes pasos (McCullough, 1994):

1. Cómo la idea es obtener Y_{t+i} basándonos en las observaciones e incluyendo y_t , siendo y_t la realización de Y_t , cuyo estimador es $\hat{y}_t(i)$, y debido a que Y_{t+i} es una variable aleatoria, debemos determinar la distribución de probabilidad condicional que es:

$$P(y < Y_{t+i} < y + dy \mid y_t, y_{t-1}, y_{t-2}, \dots) = f(Y_{t+i} \mid y^t_{-\infty})$$

Donde $y^t_{-\infty} = (y_t, y_{t-1}, y_{t-2}, \dots)$, sabiendo que la mejor estimación viene dada en términos de Error Cuadrático Medio por la media de la distribución condicional:

$$y_t(i) = E(Y_{t+i} | y^t_{-\infty})$$

- Obtenemos el error de pronóstico para poder determinar los límites de confianza para el intervalo:

$$e_t(i) = y_{t+i} - \hat{y}_t(i)$$

- Debido a que no conocemos la distribución condicional, se basa en el supuesto de que se distribuye normalmente el error de predicción, por tanto, bajo este supuesto, un intervalo de predicción con un $100(1-2\alpha)\%$ de confianza para $y_t(i)$, viene dado por la función de probabilidad:

$$P \{ \hat{y}_t(i) - z_\alpha \sigma(i) \leq Y_{t+i} \leq \hat{y}_t(i) + z_\alpha \sigma(i) \} = (1-2\alpha)$$

- Siendo y_t generado por AR(p), hacia adelante a partir de los términos obtenidos hacia atrás:

$$y_t = \phi_0 + \phi_1 B y_t + \dots + \phi_p B^p y_t + \varepsilon_t$$

Por tanto el estimador $\hat{y}_t(i)$ será:

$$\hat{y}_t(i) = \hat{\phi}_0 + \hat{\phi}_1 y_{t-i+1} + \dots + \hat{\phi}_p y_{t+i-p+i}$$

- Con estos datos podemos determinar el intervalo de confianza de $y_t(i)$:

$$IC(y_t(i)) = \hat{y}_t(i) \pm z_{\alpha/2} \left(1 + \sum_{j=1}^{i-1} \hat{\psi}_j^2\right)^{1/2} Se$$

$$\text{Siendo: } Se = \sqrt{e'e|T} \text{ and } \hat{\psi}_j = \hat{\theta}_1 \hat{\psi}_{j-1} + \hat{\theta}_2 \hat{\psi}_{j-2} + \dots + \hat{\theta}_p \hat{\psi}_{j-p}$$

Con posterioridad se acepta la validez asintótica del método de Thombs y Schucany para modelos ARI (Modelos autorregresivos integrados). Los encargados de demostrar dicha validez fueron García-Jurado, González-Manteiga, Prada-Sánchez, Febrero-Bande y Cao(1995), en su obra, “Predicting using Box-Jenkins, nonparametric and Bootstrap techniques”.

El gran inconveniente de aplicar el método de Thombs y Schucany consiste en la representación backward de la serie, tanto por el coste del proceso cómo por la dificultad de realizarlo cuando los procesos no tienen una distribución normal, asumida en el método Box-Jenkins (1976).

Cao, Febrero-Bande, González-Manteiga, Prada-Sánchez y Garcia-Jurado en 1997, mediante su obra, “Saving computer time in constructing consistent Bootstrap prediction intervals for autoregressive processes”, proponen una alternativa para ahorrar tiempo en la computación y para validar los resultados obtenidos con distribuciones no gaussianas. Su método difiere del método de Thombs y Schucany en el enfoque del remuestreo Backward, no incluyen dicho remuestreo por lo que no incluyen la variabilidad procedente de la estimación de parámetros.

El método propuesto por estos autores sigue los siguientes pasos (Cao, Febrero-Bande, González-Manteiga, Prada-Sánchez y García-Jurado, 1997):

1. Se nos da un vector de datos (y_1, y_2, \dots, y_t) , consistente en t observaciones consecutivas de un proceso AR(p):

$$Y_s = \delta + \phi_1 Y_{s-1} + \dots + \phi_p Y_{s-p} + a_s, \quad s = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$$

2. Denotamos $H_k(x)$ a la función de distribución incondicional de la variable aleatoria $Y_{t+k} - \hat{Y}_{t+k}$, asumiendo que $H_k(x)$ es conocida, entonces el intervalo de predicción teórica en el momento $t+k$ será:

$$\left(\hat{Y}_{t+k} + H_k^{-1} \left(\frac{\beta}{2} \right), \hat{Y}_{t+k} + H_k^{-1} \left(1 - \frac{\beta}{2} \right) \right)$$

Siendo: $H_k^{-1}(p) = \inf\{x \mid H_k(x) \geq p\}$

3. Estimamos los parámetros del modelo usando los estimadores mínimos cuadrados según Stine (1987), y construimos la función de distribución empírica de los residuales \hat{F}_a , es decir, usamos el estimador de F_a .
4. Obtenemos los errores Bootstrap \hat{a}_s , $s=t+1, \dots, t+k$ de manera independiente y con reemplazamiento desde \hat{F}_a .
5. Definimos $\hat{Y}_s = Y_s$ para cada $s = t-p+1, \dots, t$ y estimamos las futuras observaciones Bootstrap usando la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}_s = \hat{\delta} + \hat{\phi}_1 \hat{Y}_{s-1} + \dots + \hat{\phi}_p \hat{Y}_{s-p} + \hat{a}_s, \quad s=t+1, \dots, t+k.$$

6. La distribución Bootstrap de \hat{Y}_{t+k} lo utilizamos para aproximar la distribución desconocida de Y_{t+k} . Por tanto, los intervalos de predicción Bootstrap se encuentran basándonos en la distribución Bootstrap.

Demostraron la consistencia de este método aplicándolo tanto al Bootstrap no paramétrico cómo al Bootstrap suavizado.

Posteriormente, Pascual, Romo y Ruíz (1998), proponen un método de remuestreo simple para estimar la distribución condicional de Y_{t+k} directamente, incorporando la variabilidad debida a la estimación de los parámetros. Estos autores eliminan la representación backward, por lo que este modelo Bootstrap puede extenderse fácilmente a modelos generales. El procedimiento a seguir en este método sería el siguiente (Pascual, Romo y Ruíz, 1998)

1. Siendo $\mathbf{y}_T = \{y_1, y_2, \dots, y_T\}$ una secuencia de T observaciones generadas por un proceso AR(p) dado por:

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + a_t, \quad t = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots,$$

2. Con la distribución condicional $\mathbf{Y}_T = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_T\}$, el estimador del mínimo error cuadrático medio de Y_{T+k} , viene dado por la media condicional de Y_{T+k} ,

$$\hat{Y}_{T+k} = \phi_0 + \phi_1 \hat{Y}_{T+k-1} + \phi_2 \hat{Y}_{T+k-2} + \dots + \phi_p \hat{Y}_{T+k-p},$$

Donde $\hat{Y}_{T+k} = Y_{T+k}$ para $k \leq 0$.

3. El estimador del error es una combinación de los futuros valores a_{T+k} , $k=1, 2, \dots, k$, dado por:

$$\hat{e}_{T+k} = Y_{T+k} - \hat{Y}_{T+k}$$

4. Cuando los parámetros son desconocidos, las estimaciones de \hat{Y}_{T+k} , vienen dadas por:

$$\hat{Y}_{T+k} = \hat{\phi}_0 + \hat{\phi}_1 \hat{Y}_{T+k-1} + \hat{\phi}_2 \hat{Y}_{T+k-2} + \dots + \hat{\phi}_p \hat{Y}_{T+k-p}$$

5. Por tanto, el intervalo de predicción será el siguiente:

$$\left\{ \hat{Y}_{T+k} - Z_{\alpha/2} \left(\hat{\sigma}_a^2 \sum_{j=0}^{k-1} \hat{\psi}_j^2 \right)^{1/2}, \hat{Y}_{T+k} + Z_{\alpha/2} \left(\hat{\sigma}_a^2 \sum_{j=0}^{k-1} \hat{\psi}_j^2 \right)^{1/2} \right\}$$

Cabe destacar que estos autores además de demostrar la validez asintótica de este método para modelos AR(p), también lo hacen para los procesos ARIMA⁴⁹.

Otro autor destacable en cuanto al estudio de intervalos de predicción en modelos autorregresivos es Kim (2001) en el que propone el uso de estimadores de los parámetros con media asintóticamente imparcial cuando los intervalos de predicción Bootstrap se construyen para modelos AR (p). Este suple el problema de la parcialidad de las estimaciones de los parámetros en muestras pequeñas. El proceso que sigue es el siguiente:

1. Dados los n valores (Y_1, Y_2, \dots, Y_n) del modelo AR (p) cuya forma es: $Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + e_t$, calculamos $\hat{\phi}$ y $\tilde{\phi}$ utilizando los mínimos cuadrados.
2. Generamos el conjunto de pseudo-datos basándonos en la forma backward basándose de Thombs y Schucany (1990):

⁴⁹ Un proceso ARIMA (p, d, q) es un modelo ARMA (p, q) aplicado a una serie integrada de orden d, es decir, a la que ha sido necesario diferenciar d veces para eliminar la tendencia.

$$Y'_t = \tilde{\theta}_0^a + \tilde{\theta}_1^a Y'_{t+1} + \tilde{\theta}_p^a Y'_{t+p'} + a'_p$$

Donde los p' valores iniciales se fijan igual a los últimos valores de p' de la serie original.

3. Las réplicas Bootstrap de la estimación AR (p) para Y_{n+h} en un periodo n son generadas de forma recursiva como:

$$Y'_n(h) = \hat{\theta}_0^a + \hat{\theta}_1^a Y'_n(h-1) + \dots + \hat{\theta}_{p'}^a Y'_n(h-p') + e'_{n+h}$$

Donde $Y'_n(j) = Y'_{n+j} = Y_{n+j}$ siendo $j \leq 0$.

4. El intervalo de predicción para Y_{n+h} basado en el método de los percentiles con un nivel de confianza $100(1-\alpha)\%$ está definido por tanto cómo:

$$[Y'_n(h; \tau), Y'_n(h; 1-\tau)], \text{ donde } \tau = 0,5\alpha$$

Todos estos métodos tienen su base en la metodología Box-Jenkins (Box and Jenkins, 1970), permitiendo que los datos temporales de la variable a estudiar nos indiquen las características de la estructura probabilística subyacente (De Arce, 2001).

Como ya comentamos, nuestro análisis se centra en modelos de heterocedasticidad autorregresivos, mientras que todos los métodos comentados hasta el momento siguen un modelo homocedástico.

Para el análisis de series financieras, como ya comentamos, destacan los modelos ARCH y sus generalizaciones. La importancia de estos modelos

se debe, a que además de determinar una estructura temporal a la media, también la realiza sobre la varianza condicional.

Un hallazgo común en gran parte de la literatura empírica utilizando datos financieros de alta frecuencia se refiere a la persistencia implícita aparente en las estimaciones de las funciones de la varianza condicional (Bollerslev, Chou and Kroner, 1992). Las propiedades de los procesos ARCH están formalmente caracterizados por la descripción de los momentos incondicionales (Bera and Higgins, 1993). Bollerslev (1986) generaliza los modelos ARCH al proponer los modelos GARCH en los cuales la varianza condicional depende no solo de los cuadrados de las perturbaciones, como propone Engle, sino además, de las varianzas condicionales de periodos anteriores (Casas y Cepeda, 2008). Los modelos EGARCH (Nelson, 1991) se basan en los modelos GARCH con la excepción de que en los modelos EGARCH la varianza condicional no se comporta de manera simétrica para perturbaciones positivas y negativas, por lo que expresa otro rasgo de la volatilidad.

La validez asintótica de un método Bootstrap cuando analizamos una serie que sigue un proceso ARMA (p,q) y cuyos errores vienen dados según un modelo ARCH(r) fue demostrado por los autores Miguel y Olave en su publicación "Boostrapping forecast intervals in ARCH models"(1999):

$$y_t = \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q \vartheta_i \xi_{t-i} + \xi_t$$

$$\xi_t = z_t \sigma_t$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^r \alpha_i \xi_{t-i}^2$$

$$z_t \approx \text{i.i.f. } F(0,1)$$

Este proceso lo desarrollo basándose en el planteado por Cao, Febrero-Bande, González-Manteiga, Prada-Sánchez y García-Jurado, en 1997 pero aplicado sobre modelos ARCH, cuyo procedimiento es el siguiente (Miguel y Olave, 2000):

1. Obtenemos los residuos estandarizados del modelo:

$$\hat{z}_j = \frac{\hat{\xi}_j}{\hat{\sigma}_j} = \frac{1}{\hat{\sigma}_j} \sum_{i=0}^{j-1} \hat{\beta}_i (y_{j-i} - \sum_{n=1}^p \hat{\theta}_n y_{j-i-n})$$

Donde los coeficientes $\hat{\beta}_k$ se obtienen de la siguiente forma:

$$\sum_{k=0}^{\infty} \hat{\beta}_k z^k = (1 + \sum_{i=1}^q \vartheta_i z^i)^{-1}$$

2. Extraemos una muestra aleatoria, $\{Z'_{t+j}\}_{j=1}^s$ a partir de la distribución empírica de los residuos estandarizados y centrados.
3. Construimos los valores Bootstrap futuros tanto de la media condicional como de la varianza condicional.

$$y'_{t+j} = \sum_{i=1}^p \hat{\theta}_i y'_{t+j-i} + \sum_{i=1}^q \hat{\vartheta}_i z'_{t+j-i} \sigma'_{t+j-i} + z'_{t+j} \sigma'_{t+j}$$

$$\sigma'^2_{t+j} = \hat{\omega} \sum_{i=1}^r \hat{\alpha}_i z'^2_{t+j-i} \sigma'^2_{t+j-i} \quad \text{con } j=1, 2, \dots, s$$

Teniendo en cuenta:

$$y'_{t+j}=y_{t+j}, \quad z'_{t+j}=\hat{z}_{t+j}, \quad \text{si } j \leq 0 \text{ y} \quad \sigma'^2_{t+j}=\hat{\sigma}^2_{t+j}, \quad \text{si } j \leq 1$$

4. Repetimos las etapas 2 y 3 un número elevado de veces para aproximar la distribución Bootstrap del valor Y'_{t+s} .

Para obtener el intervalo de predicción utilizamos los percentiles muestrales para el nivel de confianza deseado. Para la obtención de los residuos estandarizados, utilizamos el método de estimación de máxima cuasiverosimilitud, con el que simplificamos el procedimiento permitiéndonos obtener los residuos estandarizados sin necesidad de imponer hipótesis paramétricas sobre la distribución del error condicional.

Este método también lo utilizamos para los casos en los que la varianza condicional siga un modelo GARCH (1,1) (Taylor, 1986), es decir, cuando viene dada por:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \xi_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

Estos mismos autores realizaron posteriormente un estudio de simulación donde comprobaron que los intervalos Bootstrap de predicción obtenidos eran competitivos.

Debido a que nuestro estudio va referido a las series de pagos por siniestros, en el análisis de las relaciones rentabilidad-riesgo tendremos que utilizar modelos ARCH-M, es decir, en el modelo multivariante, además de incluirse la varianza del error, se incluyen otras variables explicativas de la variable endógena. Por tanto, los intervalos de predicción clásicos no son válidos (Miguel y Olave, 2000).

Miguel y Olave (2000), proponen un método Bootstrap para este modelo que sigue las siguientes etapas (Miguel y Olave, 2000):

1. Obtenemos los residuos estandarizados:

$$\hat{z}_t = \frac{\hat{\varepsilon}_j}{\hat{\sigma}_j} = \frac{1}{\hat{\sigma}_j} \sum_{i=0}^{t-1} \hat{\varphi}_i (y_{t-i} - \hat{\mu} - \hat{\delta} \hat{\sigma}_{t-i} - \sum_{j=1}^p \hat{\varphi}_j y_{t-i-j})$$

2. Extraemos una muestra aleatoria, $\{Z'_{t+j}\}_{j=1}^s$, a partir de la distribución empírica de los residuos estandarizados y centrados.
3. Construimos los valores Bootstrap futuros tanto de la media como de la varianza condicional:

$$y'_{t+s} = \hat{\mu} + \hat{\delta} \sigma'^2_{t+s} + \sum_{i=1}^p \hat{\varphi}_i y'_{t+s-1} + \sum_{i=1}^q \hat{\theta}_i \varepsilon'_{t+s-i} \varepsilon'_{t+s}$$

$$\varepsilon'_{t+j} = z'_{t+s} \sigma'_{t+s} \quad \text{con} \quad \sigma'^2_{t+s} = \hat{\omega} + (\hat{\alpha}'^2_{t+s-1} + \hat{\beta}) \sigma'^2_{t+s-1}$$

Donde:

$$y'_{t+s-j} = y_{t+s-j}, \quad z'_{t+s-j} = \hat{z}_{t+s-j}, \quad \text{si } j \geq s \text{ y } \sigma'^2_{t+s-j} = \hat{\sigma}^2_{t+s-j},$$

si $j \geq s-1$

4. Repetimos las etapas 2 y 3 un número elevado de veces para aproximar la distribución Bootstrap del valor futuro Y'_{t+s} .

El intervalo de predicción lo construimos con los cuantiles empíricos de la distribución anterior.

En base, a esto procederemos a plantear la técnica Bootstrap aplicada a la estimación de provisiones técnicas en el sector asegurador.

2.4 PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO DE CÁLCULO DEL RIESGO DE RESERVA CON METODOLOGÍA BOOTSTRAP.

Para cumplir con el objetivo primario de este trabajo, consistente en el estudio y análisis de una cartera de siniestros de seguros, para analizar un modelo que nos permita realizar una estimación sobre la variabilidad de las reservas en las compañías aseguradoras pudiendo determinar el nivel de incertidumbre asumido en dichas estimaciones, utilizamos la técnica Bootstrap planteada por los autores England and Verrall (1999) y England (2001).

La técnica Bootstrapping es una técnica muy útil y fácil de aplicar para la obtención de distribuciones de probabilidad de los parámetros, consistiendo en la creación de nuevos conjuntos de datos de los parámetros estimados. Este método consigue obtener la variabilidad de las reservas realizando numerosas simulaciones aleatorias a partir de la información histórica (UNESPA, 2007).

Con la técnica Bootstrap suponemos que los datos son independientes y están idénticamente distribuidos, en muchas ocasiones, a pesar de suponer su independencia, estos no están distribuidos de forma idéntica lo que nos ocasiona problemas de regresión. De hecho, las medias suelen diferir en cada posible observación. Este problema lo solventamos utilizando los residuos, debido a que suelen ser independientes y estar

idénticamente distribuidos. Por tanto, podemos solventar los problemas de regresión modelizando el Bootstrap sobre los residuos, con lo que conseguimos estudiar la precisión asociada a determinados estadísticos. En base a esto, y teniendo en cuenta que la varianza de los residuos y su media son valores finitos podemos decir en función del teorema central del límite que los residuos tienden a una normal.

La metodología Bootstrap aplicada al riesgo de reservas la asociamos comúnmente a la aplicación previa de la metodología Chain Ladder (Van Eeghen, 1981).

El método Chain Ladder es uno de los muchos métodos utilizados para la estimación de las reservas y las dotaciones para las provisiones de siniestros. Este método se basa en la utilización de la información histórica de los pagos por siniestros para realizar una proyección futura de estos, se trata por tanto, de un análisis de series temporales, donde se toma como base el año en el que se ha producido el siniestro, y se analiza periódicamente, cada año, para ver cuál es su comportamiento y con ello, tras el análisis de estas series temporales, vamos a poder determinar el comportamiento futuro de los siniestros que están en años observados más próximos al año en que ha ocurrido. Para ello, se ha realizado un análisis previo de diferentes variables que definen el comportamiento del seguro, y por tanto, implícitamente se define la probabilidad de ocurrencia del siniestro, desechando que estas variables definen el comportamiento futuro de las provisiones técnicas, ya que si trabajamos con la hipótesis que la entidad aseguradora no va a modificar su política de suscripción de riesgos (normativa de contratación), estas variables van a determinar el número de siniestros que van a ocurrir en un determinado periodo de tiempo, pero este no es el objetivo de este trabajo, sino que nos centramos, en una vez ocurrido el siniestro determinar su variabilidad dado un nivel de incertidumbre, como futuras

líneas de investigación quedaríamos abierto este punto, lo cual resultaría muy interesante desde un punto de vista académico y práctico para el sector asegurador, puesto que supondría plantear modelos multivariantes a partir del análisis de datos.

La información histórica se presenta ordenada en el formato triángulo o triángulo de desarrollo (Taylor y Ashe, 1983), este formato, además de ser el más útil para la aplicación del Chain Ladder y el método Bootstrap, permite una clara visión de la siniestralidad tanto por pagos por siniestros ocurridos en un año, los pagos por siniestros en cada año de desarrollo, como por los pagos por siniestros por año contable (Paule, 2015).

Tabla 8: Triángulo de desarrollo.

Origen	Años de desarrollo						
Año	1	2	...	J	...	n-1	N
1	D_{11}	D_{12}	...	D_{1j}	...	$D_{1,n-1}$	$D_{1,n}$
2	D_{21}	D_{22}	...	D_{2j}	...	$D_{2,n-1}$	
...		
l	D_{l1}	D_{l2}	...	D_{lj}			
...					
n-1	$D_{n-1,1}$	$D_{n-1,2}$					
N	$D_{n,1}$						

Fuente: Elaboración propia en base al artículo de Álvarez-Jareño y Coll-Serrano (2012)

Podemos trabajar en el triángulo tanto con datos acumulados como incrementales. Debido a que nuestro objetivo es utilizarlo para aplicar el Chain Ladder, utilizamos el triángulo con los datos acumulados, por tanto:

$$D_{i,j} = \sum_{h=1}^j C_{i,h} \quad j= 1, 2, \dots, n \quad j \leq i$$

Siendo $C_{i,h}$ la cuantía pagada por siniestros en el año h correspondiente a siniestros ocurridos en el año i.

Cada diagonal del triángulo de pagos es un ejercicio económico. La información correspondiente a los elementos del triángulo situados a la derecha de la diagonal principal (año n) son, en estos momentos, desconocidos (Vegas, 1995).

El método Chain Ladder trata de estimar el número total de pagos por siniestros por año de ocurrencia, multiplicando el total de pagos acumulados en un determinado año de ocurrencia por un factor (R_{ij}) que representa el incremento esperado en porcentaje.

El factor (R_{ij}) lo calculamos utilizando la media ponderada de los link ratios⁵⁰, por lo que la fórmula de R_{ij} es:

$$R_{ij} = \frac{D_{i,j+1}}{D_{i,j}} \quad i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n.$$

De este modo obtendríamos la variación de un año de desarrollo a otro pero teniendo en cuenta que esta tasa de variación se mantiene a lo largo del tiempo, por lo que, para introducir la variación en el tiempo obtendremos la medias ponderadas de cada año de desarrollo para todos los años de ocurrencia de los que poseemos información. Por tanto, si

⁵⁰ Ratio que enlaza una columna de un año de desarrollo con la siguiente para los siniestros ocurridos en un mismo año de ocurrencia.

denominamos a esta última tasa de variación como factor de desarrollo R_j , la fórmula de R_j sería la siguiente:

$$R_j = \frac{\sum_{t=j}^{I-j-1} D_{t,j} * R_{t,j}}{\sum_{t=j}^{I-j-1} D_{t,j}}$$

Esta fórmula puede simplificarse de la siguiente manera:

$$R_j = \frac{\sum_{t=j}^{I-j-1} D_{t,j} * \frac{D_{t,j+1}}{D_{t,j}}}{\sum_{t=j}^{I-j-1} D_{t,j}}$$

$$R_j = \frac{\sum_{t=j}^{I-j-1} D_{t,j+1}}{\sum_{t=j}^{I-j-1} D_{t,j}}$$

Además, a partir de los factores de desarrollo podemos obtener los factores de proyección (F_k):

$$F_k = \prod_{j=k}^n R_j \quad k=1,2,\dots, n.$$

Con estos factores estimamos los pagos por siniestros totales para cada año de ocurrencia analizado hasta completar el rectángulo, lo que podemos expresar de la siguiente forma:

$$\widehat{D}_{i,n} = D_{i,g} * F_g$$

Siendo $D_{i,g}$ el valor correspondiente a cada año de ocurrencia de la diagonal principal.

La provisión para cada año se obtiene de la diferencia entre el último valor estimado y el valor correspondiente de la diagonal principal para ese año:

$$\text{Provisiones año } i = \widehat{D}_{i,n} - D_{i,g}$$

El método Chain Ladder lo utilizamos primordialmente para obtener las estimaciones “ultimate” de siniestros, refiriéndonos con este término a las estimaciones de pagos por siniestros incurridos totales de cada año de ocurrencia. Esta estimación la realizamos utilizando un modelo lineal logarítmico⁵¹.

Este modelo adquiere la siguiente forma (Verrall, 1994):

$$Y = X\beta + e.$$

Donde:

Y: vector de reservas incrementales.

X: matriz de observaciones.

β : vector de parámetros.

e: vector de errores.

De forma que, para aplicar el modelo lineal logarítmico al Chain Ladder, en primer lugar trazamos una nube de puntos utilizando la siguiente expresión para cada valor:

$$Y_i = \ln(R_j - 1)$$

Posteriormente, obtenemos los estimadores mínimo cuadrático ordinarios del modelo de modo que el factor ultimate lo obtendremos siguiendo la

⁵¹Es un modelo matemático que toma la forma de una función cuyo logaritmo es una combinación lineal de los parámetros del modelo, lo que hace posible la aplicación de regresión lineal.

recta de regresión lineal trazada, por lo que siguiendo \hat{Y}_i , el factor ultimate será el R_j resultante de sustituir \hat{Y}_i por el límite de la recta, en este caso, debido a que esta recta presenta una pendiente negativa, el factor ultimate se situará en el momento en que cesen los pagos.

Hay que tener en cuenta que el factor ultimate determina un único resultado lo que, desde un punto de vista estadístico, no es muy aconsejable, debido a que es más conveniente realizar estimaciones sobre la variabilidad del resultado obtenido para poder evaluar las reservas necesarias bajo criterios de prudencia, observando las diferencias sobre los valores previstos.

La utilización del Chain Ladder y el Bootstrap está justificada porque, por un lado, el método Chain Ladder tiene en consideración la variación que presenta la siniestralidad en los periodos futuros considerados debido a los cambios en la información o mayores siniestros, y el método Bootstrap una de las ventajas que presenta, es que permite aproximar la distribución de alguna estadística de los datos de una forma fácil y rápida sin necesidad de realizar una estimación paramétrica, ni supuestos acerca de la distribución de los datos (Athié, 2010), con los datos obtenidos obtenemos el error estándar por regeneración (Paule, 2015).

El modelo planteado por tanto, trata de obtener el error de predicción, que como ya comentamos, se divide en dos etapas: error de estimación y error de proceso. Por tanto, en primer lugar analizaremos el error de estimación y posteriormente, simularemos el proceso para obtener el error de proceso. Se trata por tanto de proporcionar la distribución de predicción en lugar de obtener únicamente la media y la varianza.

El método Bootstrap sobre el Chain Ladder se divide en las siguientes fases:

- Aplicamos la metodología Chain Ladder sobre los datos que disponemos como mencionamos anteriormente.
- Para la obtención de las estimaciones de los errores, es fundamental desarrollar un modelo estadístico que recoja las hipótesis sobre los datos. Los valores previstos deben ser los mismos que los obtenidos en la aplicación del Chain Ladder, de manera que el modelo estocástico sea análogo a la técnica Chain Ladder.

Los posibles modelos estadísticos a aplicar para las estimaciones de los errores son los siguientes:

2.4.1 Modelo de regresión de Poisson con sobredispersión.

En este trabajo nos hemos decantado por la aplicación de este modelo, debido a su facilidad para realizar predicciones.

El modelo de regresión de Poisson es un tipo de regresión que se caracteriza porque su variable dependiente se ajusta a una distribución Poisson la cual tiene un único parámetro λ , que coincide con la esperanza y la varianza de la distribución.

El modelo de regresión de Poisson con sobredispersión es una generalización del modelo anterior, ocurre comúnmente cuando no se incluyen en el análisis algunas variables explicativas importantes o cuando no existe dependencia entre los C_{ij} de diferentes años, caso particular en nuestro

estudio. El término sobredispersión indica que la varianza de la variable dependiente excede de la varianza de Poisson, es decir:

$$\text{Var} [C_{ij}] > E [C_{ij}]$$

Siendo C_{ij} los siniestros incrementales.

La varianza en el caso de sobredispersión es equivalente a la media incrementada por un parámetro desconocido ϕ , siendo este mayor a 1. Por tanto la media y la varianza del modelo son (England and Verrall, 2002):

$$E [C_{ij}] = m_{ij} = x_i y_j$$

$$\text{Var} [C_{ij}] = \phi x_i y_j$$

Donde:

$$\sum_{k=1}^n y_k = 1$$

x_i : son los últimos siniestros esperados

y_j : es la proporción de la estimación de siniestros en cada año de desarrollo.

La proporción y_j recoge la variación (o error), y debe tomar valores positivos, por tanto, la suma de los siniestros incrementales en las columnas j debe ser positiva, aunque se permite algunos incrementos negativos, debido a que un

factor de desarrollo inferior a 1 ocasionaría una varianza negativa.

En el modelo, la media tiene una estructura multiplicativa, resultante del producto del efecto recogido por filas y por columnas. Sin embargo, la parametrización del modelo es frecuentemente aplicada con el objetivo de que la estimación de la media sea de forma lineal. Si se asume que \emptyset es una constante, la estimación del resto de parámetros del modelo podría hacerse utilizando terminología GLM⁵² (generalised linear models o modelos lineales generalizados) (England and Verrall, 2002):

$$\log(m_{ij}) = c + \alpha_i + \beta_j \quad \alpha_1 = \beta_1 = 0$$

Siendo (Boj, Costa y Espejo, 2014):

α_i : El factor correspondiente a los años de ocurrencia.

β_j : El factor correspondiente a los años de desarrollo.

c : término correspondiente al año de ocurrencia y desarrollo 0.

Denominamos η_{ij} a $\log(m_{ij})$ siendo este el estimador lineal, cuya estructura es muy similar a la del Chain Ladder. De

⁵² Los modelos lineales generalizados fueron formulados por Robert W. M. Wedderburn y John A. Nelder (1972) y desarrollados posteriormente por McCullagh y Nelder (1983 y 1989) como manera de unificar varios modelos estadísticos incluyendo la regresión lineal, regresión logística y la regresión de Poisson bajo un solo marco teórico.

forma que para realizar las estimaciones m_{ij} que necesitamos la expresión a utilizar sería la siguiente:

$$m_{ij} = \exp(c + \alpha_i + \beta_j)$$

Por tanto la ventaja principal de utilizar este modelo se debe a su facilidad para realizar predicciones y la posibilidad de realizarlo aplicando herramientas informáticas que facilitan el trabajo sobre estos.

2.4.2 Modelo Binomial negativa.

El modelo de la binomial negativa es una derivación del modelo de Poisson con sobredispersión utilizando diferentes parámetros. Verral (2000) propuso este modelo debido a que parece más intuitivo para la aplicación de la técnica Chain Ladder, adaptando mejor los parámetros al factor de desarrollo obtenido anteriormente, además este modelo nos permite estimar los errores tanto utilizando los siniestros incrementales como acumulativos. En este enfoque recursivo, las demandas incrementales tienen una distribución binomial negativa, con media y varianza (Verrall, 2004):

$$E [C_{ij}] = (\lambda_j - 1)D_{i,j-1}$$

$$\text{Var} [C_{ij}] = \phi \lambda_j (\lambda_j - 1) D_{i,j-1}$$

Donde:

λ_j : es análogo al factor de desarrollo de Chain Ladder.

$D_{i,j-1}$: Los pagos por siniestros acumulados, siendo:

$$D_{i,j} = D_{i,j-1} + C_{ij}.$$

Los pagos por siniestros acumulados $D_{i,j}$ tienen una distribución binomial negativa con sobredispersión, cuya media y varianza son (England and Verrall, 2002):

$$E [D_{i,j}] = \lambda_j D_{i,j-1}$$

$$\text{Var} [D_{i,j}] = \emptyset \lambda_j (\lambda_j - 1) D_{i,j-1}$$

Aquí podemos observar la similitud con la técnica Chain Ladder, en la que las estimaciones para un año posterior se obtienen multiplicando las del año actual por el factor de desarrollo correspondiente.

Desde la derivación hacia la binomial negativa desde el modelo de Poisson propuesta por Verrall (2000), la predicción de las distribuciones son similares, dando idénticos valores previstos (England and Verrall, 2002).

2.4.3 Modelo binomial negativa con aproximación a la normal

Cómo ya comentamos, en los modelos anteriores la suma de los pagos por cada año de desarrollo no pueden ser negativas debido a que produciría una varianza negativa.

Para suplir este problema, es necesario utilizar una distribución que nos permita trabajar con valores negativos, por ello utilizamos la distribución normal. Como primer paso, podemos reemplazar la binomial negativa por una distribución normal, cuya media es inalterable pero cuya varianza se altera en los casos en los que $\lambda_j < 1$. Usando una aproximación normal para la distribución de los siniestros incrementales C_{ij} se distribuye normalmente, con media y varianza (England and Verrall, 2002):

$$E [C_{i,j}] = (\lambda_j - 1)D_{i,j-1}$$

$$\text{Var} [C_{i,j}] = \phi D_{i,j-1}$$

La equivalencia de $D_{i,j}$ distribuida normalmente tendrá los siguientes parámetros (England and Verrall, 2002):

$$E [D_{ij}] = \lambda_j D_{i,j-1}$$

$$\text{Var} [D_{ij}] = \phi_j D_{i,j-1}$$

Siendo $D_{i,j-1}$ conocido, y existiendo una aproximación recurrente, necesitamos estimar los parámetros desconocidos ϕ_j para estimar los siniestros acumulados futuros.

Los parámetros desconocidos ϕ_j pueden ser estimados usando un procedimiento de estimación iterativo conocido

como “joint modelling”⁵³ lo que implica estimar los parámetros para la media y la varianza.

En este modelo la distribución de probabilidad es determinada a partir de los datos ordenados.

2.4.4 Modelo basado en la distribución Gamma.

Mack (1991), propuso la utilización de este modelo para la estimación de reservas. La obtención de las estimaciones y los errores de estimación para el modelo Gamma se obtienen realizando una modificación sutil en el modelo de Poisson con sobredispersión (England and Verrall, 2002):

$$E [C_{i,j}] = m_{ij}$$

$$\text{Var} [C_{i,j}] = \phi m_{ij}^2$$

Es decir, la varianza es proporcional a la media al cuadrado, en lugar de proporcional a la media. Este método se utiliza para el caso incremental únicamente.

La distribución Gamma es una de las más importantes, desde el punto de vista actuarial como distribución de la cuantía de los siniestros, por ser una de las que mejor se ajustan, en múltiples casos, a la distribución empírica de la cuantía de los siniestros (Cid, 2000), siendo además muy

⁵³ Una descripción exacta de esta modelización nos la proporciona Renshaw (1994).

adecuado en casos en los que el coeficiente de variación permanece constante, es decir, la varianza aumenta con el aumento de la media. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las reservas estimadas, se encuentran cerca pero no son similares a las obtenidas con el método Chain Ladder, y además el error de predicción global es mayor que en la Poisson con sobredispersión o las binomiales negativas, dando un mayor peso a los valores obtenidos en las colas.

2.4.5 Modelo basado en la distribución lognormal.

Autores como Kremer (1982), Verrall (1991, 1994) y Doray (1996) han considerado la aplicación del modelo lognormal para la predicción de intervalos de confianza en la estimación de reservas.

En el modelo log-normal, los pagos por siniestros siguen una distribución de este tipo, es decir, los logaritmos de los pagos por siniestros tienen una distribución normal (De Alba y Bonilla, 2002).

Con el modelo Lognormal, el primer paso es transformar los pagos por siniestros incrementales usando su logaritmo natural. Por tanto, el modelo se ajusta a los valores transformados mediante el análisis de regresión de mínimos cuadrados ordinarios. Adoptando el estimador Chain Ladder, entonces (England and Verrall, 2002):

$$Y_{ij} = \log(C_{ij}) = \eta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$$\eta_{ij} = c + \alpha_i + \beta_j \quad \text{y} \quad \varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2).$$

La media y varianza de C_{ij} son:

$$E [C_{ij}] = m_{ij} = \eta_{ij}$$

$$\text{Var} [C_{ij}] = 0$$

La varianza de C_{ij} es igual a 0, debido a que el parámetro σ en este modelo es igual a 0.

Una limitación de este modelo, es la necesidad de trabajar con los valores incrementales positivos, con estos se puede utilizar una distribución lognormal de dos parámetros y estimarlos con el método de máxima verosimilitud, realizándose esta mediante regresión lineal.

De estos modelos, el que vamos a utilizar para determinar el error de estimación es el modelo Poisson con Sobredispersión sobre los valores acumulados, debido a que nos permite trabajar sobre estos y a su facilidad de realización con herramientas informáticas, además esta distribución es la que obtiene las estimaciones más similares a las obtenidas con la metodología Chain Ladder.

2.5 PLANTEAMIENTO ESTOCÁSTICO DEL MODELO DE ESTIMACIÓN DE PROVISIONES TÉCNICAS

En este punto, se va a plantear el modelo estocástico para la determinación de las provisiones técnicas en entidades aseguradoras, en riesgos definidos no vida, para lo cual se va a ir planteando a partir de la literatura previa, e implementando en una herramienta informática, R, paquete estadístico de software libre, comúnmente utilizado en el contexto académico, tanto por su accesibilidad como por su facilidad de uso. Para ello, el primer objetivo es obtener el error del proceso, para lo cual procedemos a obtener los residuales de Pearson⁵⁴:

1. En primer lugar, debemos transformar el triángulo de desarrollo en uno nuevo que denominaremos triángulo ajustado acumulado, que obtendremos aplicando los factores de desarrollo obtenidos anteriormente hacia atrás:

Tabla 9: Triángulo ajustado acumulado.

Años de origen	Años de desarrollo						
	1	2	...	j	...	n-1	n
1	$M_{11} = M_{12}/R_1$	$M_{12} = M_{13}/R_2$	...	$M_{1j} = M_{1,j+1}/R_j$	...	$M_{1,n-1} = M_{1n}/R_{n-1}$	$M_{1n} = D_{1,n}$
2	$M_{21} = M_{22}/R_1$	$M_{22} = M_{23}/R_2$	...	$M_{2j} = M_{2,j+1}/R_j$	...	$M_{2,n-1} = D_{2,n-1}$	
...		
l	$M_{l1} = M_{l2}/R_1$	$M_{l2} = M_{l3}/R_2$	...	$M_{lj} = D_{lj}$			
...					
n-1	$M_{n-1,1} = M_{12}/R_1$	$M_{n-1,2} = D_{n-1,2}$					
N	$M_{n1} = D_{n,1}$						

⁵⁴ Karl Pearson(1900)

Fuente II: Elaboración propia en base a la información del artículo de England and Verrall (1999).

2. Ahora procedemos a pasar este triángulo ajustado acumulado a incremental:

Tabla 10: Triángulo ajustado incremental

Origen	Años de desarrollo						
Año	1	2	...	j	...	n-1	N
1	$m_{11} = M_{11}$	$m_{12} = M_{12} - M_{11}$	...	$m_{1j} = M_{1j} - M_{1,j-1}$	...	$m_{1,n-1} = M_{1,n-1} - M_{1,n-2}$	$m_{1n} = M_{1n} - M_{1,n-1}$
2	$m_{21} = M_{21}$	$m_{22} = M_{22} - M_{21}$	...	$m_{2j} = M_{2j} - M_{2,j-1}$	...	$m_{2,n-1} = M_{2,n-1} - M_{2,n-2}$	
...		
l	$m_{l1} = M_{l1}$	$m_{l2} = M_{l2} - M_{l1}$	...	$m_{lj} = M_{lj} - M_{l,j-1}$...		
...		
n-1	$m_{n-1,1} = M_{n-1,1}$	$m_{n-1,2} = M_{n-1,2} - M_{n-1,1}$	...		...
N	$m_{n1} = M_{n1}$						

Fuente III: Elaboración propia en base a la información del artículo England and Verrall (1999).

3. Ahora procedemos a obtener los residuos de Pearson sin escala aplicando la siguiente formula:

$$r_{ij} = \frac{G_{ij} - m_{ij}}{\sqrt{m_{ij}}}$$

Son sin escala en el sentido de que no incluye el parámetro de escala ϕ , debido a que no es necesario para aplicar el Bootstrap, pero si lo es para considerar el error de proceso (England, 2002). Una estimación del parámetro ϕ_{ij} sería:

$$\phi_{ij} = \frac{\sum r_{ij}^2}{n-p}$$

Donde:

$$n = t * (t+1)/2 \quad p = 2*t-1$$

Siendo t el número de periodos estudiados.

4. Para tener en cuenta los grados de libertad, England and Verrall (1999) proponen un ajuste a los residuales:

$$r'_{ij} = \sqrt{\frac{n}{n-p}} * \frac{C_{ij} - m_{ij}}{\sqrt{m_{ij}}}$$

5. En este momento realizamos el muestreo aleatorio con reemplazamiento sobre los residuales de Pearson ajustados.

6. Obtenemos un nuevo triángulo de pagos de forma que obtenemos los valores \hat{C}_{ij} con la siguiente formula:

$$\hat{C}_{ij} = r'_{ij}(\text{muestreado}) * \sqrt{m_{ij}} + m_{ij}$$

7. Acumulamos los valores de este triángulo con los \hat{C}_{ij} obteniendo los \hat{D}_{ij} .
8. Obtenemos los factores de desarrollo de este triángulo con los que obtenemos las estimaciones de reservas.

Este proceso se realiza un número preferiblemente elevado de veces con lo que obtendremos el error de proceso de las reservas.

La fórmula con la que obtenemos el error de predicción de las reservas viene dado por (England and Verrall, 1999):

$$PE_{bs}(I) = \sqrt{\phi_{ij}I + (SE_{bs}(I))^2}$$

Donde I es un año de origen o reserva total, $SE_{bs}(I)$ es el error de estándar de las reservas estimadas, y $\phi_{ij}I$ es la varianza del proceso.

PARTE III

CAPITULO QUINTO

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EMPÍRICA

1. DISEÑO DEL ESTUDIO DE CAMPO

En la parte de introducción de la Tesis Doctoral, se presentaba la metodología que se va a seguir para llevar a cabo el proceso de investigación, el cual consiste fundamentalmente en, tras una revisión profunda de las diferentes teorías y modelos de cálculo de las provisiones técnicas de siniestros, entendidas estas como las obligaciones que tienen las entidades aseguradoras y reaseguradoras derivadas de los contratos de seguros que han suscrito con sus asegurados, y siempre bajo el contexto normativo que establece determinadas premisas para calcular estas provisiones o reservas. En los próximos epígrafes se mostrará el proceso que se ha seguido para contrastar estos métodos, y elegir aquél que más se ajuste, teniendo en cuenta para ello diferentes indicadores estadísticos.

Para ello, es importante contar con información que presente unos mínimos de calidad, que en el capítulo de marco conceptual de las provisiones técnicas ya se han puesto de manifiesto, en nuestro caso, los datos utilizados cumplen con dichos estándares.

1.1 LA POBLACIÓN Y LA MUESTRA

En el proceso llevado a cabo para la investigación empírica, hemos trabajado con una muestra, esta muestra representa a los siniestros pagados para un ramo concreto, de Responsabilidad Civil del Ramo de

Automóviles, entre los años 2003 y 2011. Cabe destacar que hemos seleccionado este ramo en concreto, por diferentes factores:

- Se trata de un tipo de seguro de masa, es decir, nos podemos encontrar con riesgos muy heterogéneos, esto dependerá de la política de suscripción que aplique la entidad aseguradora a la hora de la suscripción de sus riesgos, en nuestro caso nos hemos decantado por la utilización de los datos de siniestros pagados de una entidad en concreto, para dicho horizonte temporal considerado, y así eliminamos el efecto de la normativa de suscripción, por tanto, la muestra seleccionada tenderá a mayor homogeneidad. Este punto, puede ser una futura línea de investigación, ya que en base a los riesgos suscritos, podremos establecer diferentes modelos basados en modelos de frecuencias y costes medios, realizando un estudio de investigación sobre las variables que afectan, y por tanto establecer un análisis multivariante que nos explique el comportamiento ante determinados sucesos.
- Por otro lado se trata de siniestros denominados de “cola larga”, es decir, tardan en cerrarse la totalidad de siniestros ocurridos en un determinado periodo, por tanto, existe mayor incertidumbre de cuál será el coste total de estos siniestros, unido además a las posibles demandas judiciales que se pueden presentar, lo cual dilatará aún más el desarrollo de los pagos.

1.2 LOS DATOS UTILIZADOS

Los datos disponibles son fundamentales para las proyecciones o modelos a realizar, hasta tal punto que la utilización de un método u otro no es tan importante como la utilización de datos razonablemente correctos. En cualquier caso, la elección del método a utilizar para la proyección de las provisiones estará condicionada por el tipo de datos disponible. Por ejemplo, no podremos utilizar métodos basados en tasas de siniestralidad si no contamos con información adecuada sobre las primas.

Es por ello que la eficacia del sistema de provisiones dependerá de la fiabilidad de los datos.

Para ello se debe analizar algunos puntos fundamentales:

- Proyección de la experiencia, la idea básica de todos los métodos es hacer una proyección de la experiencia ocurrida para prever el futuro, por tanto toda evolución estará sujeta a error, así será necesario conocer el grado de error, para tener fiabilidad en los estudios.

Además es necesario un método de proyección de los datos, con el fin de utilizarlo para proyectar la experiencia al futuro.

Dado que la premisa de estos estudios es que el futuro será hijo del pasado, en la medida en que se disponga de datos correctos sobre el pasado, se podrán realizar estimaciones para el futuro.

- Datos necesarios, es preciso detectar los problemas en la información antes de aplicar el modelo, puesto que la aplicación del

modelo a unos datos erróneos, puede llevar a conclusiones igualmente erróneas, al basarse estas en dichos datos.

Algunos de los principales problemas en la información que pueden aparecer, son los siguientes:

- Identificación de los criterios con los que se han agrupado los datos, esto es:
 - Fechas consideradas
 - Ocurrencia, Comunicación o Suscripción
 - Intervalos de periodicidad
 - Conceptos incluidos en pagos
 - Gastos de peritación
 - Recuperaciones o extornos
 - Netos o brutos de reaseguro
 - Unidades de moneda y tipos de cambio

- Coherencia de datos técnicos y contables, ya que se pueden producir desviaciones por haberse recopilado por fuentes distintas.

- Carencia de datos sobre la experiencia de la entidad. Se deberán reconstruir en base a la información que se posee, bien por datos sectoriales, o por otras estimaciones, considerando el margen de error que podemos cometer.

- Cambios en los criterios de clasificación, los cambios en el criterio de agrupación de los siniestros nos distorsionarán la evolución, y por tanto deberemos tener en cuenta la naturaleza de los cambios de criterio de clasificación.

- Grandes pérdidas por causa común, esto es, siniestros generados por una misma causa en el mismo momento del tiempo, deberemos tener identificados tales siniestros para evitar distorsiones en la evolución.

- Errores u Omisiones, las omisiones pueden ser corregidas por interpolación o ajuste con otros datos de características similares. Los errores plantean peor solución, recurriendo a técnicas de muestreo u otras, lo importante es tener identificados al menos los más importantes.

- Inconsistencia del negocio neto y bruto, cuando se pone de manifiesto la inconsistencia entre siniestros brutos y cobertura de reaseguro es importante analizar la clasificación por ramo de negocio, y comparar con las coberturas de los contratos. De otra forma nuestras estimaciones serían incorrectas. Este problema puede ser muy grave en reaseguro no proporcional, ya que dependiendo del momento de cobertura, la evolución puede ser totalmente distinta, por tanto deberemos disponer de datos brutos y posteriormente analizar las coberturas de reaseguro.

- Cambios en el sistema de provisión de siniestros, si existen cambios en la manera de provisión siniestros por el método individual, esto producirá distorsiones en la evolución, no tanto es un problema de si esta sobre o infravalorado, sino más bien en la consistencia del sistema de provisión a lo largo de los años de suscripción.

El concepto fundamental es el denominado formato de triángulo de datos, el cual permitirá analizar la evolución de los siniestros, provisiones, pagos, etc, estableciendo el comportamiento de los mismos, en base a los años de origen, pudiendo considerar como origen no solo la ocurrencia, sino la fecha de suscripción o la de declaración.

Para ello se utiliza el formato triángulo, esto es, tener el desarrollo de los datos en función del punto de origen y del momento de desarrollo. Es por tanto, una forma de presentación de los datos de forma agregada, que nos midan el comportamiento agregado en los pagos de siniestros, poniendo en conocimiento del investigador el patrón de comportamiento de los pagos de siniestros. Estos datos agregados se obtienen de las bases de datos de las entidades aseguradoras, en nuestro caso, hemos trabajado con datos de una entidad aseguradora, que por política de privacidad no facilitaremos nombre alguno, pero a modo de resumen, estos triángulos aglutinan aproximadamente unos 65.000 registros, que hemos tratado de la siguiente forma para poder trabajar con ellos.

En primer lugar es necesario fijar la periodicidad del punto de origen y del desarrollo que podrá ser anual, semestral, trimestral, etc, dependiendo del tipo de negocio que se esté analizando y de los datos disponibles.

A continuación se debe definir el origen, generalmente pueden ser tres momentos distintos, el de suscripción, el de ocurrencia o el de la declaración.

Lo normal es utilizar el de ocurrencia, si bien por ejemplo para reaseguro podrá ser más útil el de suscripción.

Para obtener el formato triángulo más habitual, se colocan los datos correspondientes a la diagonal inferior, que corresponden a los pagos

realizados en el primer periodo de desarrollo para cada año de ocurrencia, en la primera columna. Los datos de la diagonal anterior, que corresponden a los pagos realizados en el segundo periodo de desarrollo, se colocan en la segunda columna, y así sucesivamente. De esta forma se construye el “triángulo de desarrollo de siniestros”.

Con un suficiente número de periodos de desarrollo (mayor que el número mostrado en el triángulo anterior) un análisis de la evolución en cada fila aporta información sobre el empeoramiento (o viceversa) de las estimaciones de la siniestralidad. Después de dos o tres años, estos empeoramientos de siniestralidad normalmente representan una insuficiencia en las reservas para siniestros comunicados (IBNER), y no la notificación de siniestros ocurridos pero no notificados hasta ahora (dado que la mayoría de los IBNR o IBNYR han sido notificados después de tres años).

También sirve para conocer mejor los datos. Un análisis de la coherencia de las cifras en cada columna (es decir, en cada periodo de desarrollo) puede indicar si hay siniestros grandes que se deben excluir en el momento de hacer las proyecciones estadísticas, o incluso si hay errores en los datos.

2. MÉTODO DE VALORACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LAS PROVISIONES TÉCNICAS CON METODOLOGÍA ESTOCÁSTICA.

En este apartado estudiaremos de manera práctica la variabilidad de las reservas de siniestros, para ello utilizaremos el programa estadístico R.

2.1 HERRAMIENTA PARA LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS ESTOCÁSTICAS

El software R es un programa cada vez más utilizado en el área actuarial, debido a que es uno de los programas estadísticos más flexibles, potentes y profesionales del mercado, además este programa cuenta en su librería con un paquete específico del Chain Ladder que será el que utilizaremos para realizar el estudio.

Comenzaremos el estudio determinando la cuantía de reservas de siniestros a mantener en la empresa para cumplir las exigencias de Solvencia II, esto lo realizaremos mediante el Chain Ladder, por tanto desde un punto de vista determinista, y posteriormente aplicaremos técnicas estocásticas con las que poder estudiar el error de predicción, y establecer rangos de valores estableciendo un determinado nivel de confianza.

Un número suficiente de periodos de desarrollo, se puede realizar un análisis de la evolución de estos, teniendo en cuenta que después de dos o tres años el aumento de pagos por siniestros significa normalmente una insuficiencia en las reservas para siniestros conocidos

Los datos que vamos a utilizar para realizar la prueba empírica han sido extraídos de una cartera de seguros real correspondiente al ramo de autos y para el periodo comprendido entre el año 2003 y 2011. Estos datos se presentan de forma acumulada en el triángulo de desarrollo, el cual nos permitirá analizar la evolución de los siniestros, provisiones, pagos, etc.

El triángulo de desarrollo, además, sirve para conocer mejor los datos, los cuales conviene revisar para poder excluir de estos errores en los datos, o incluso minorar la cantidad en los años en que se produce un repunte de siniestros demasiado elevado, pudiendo llegar a distorsionar los resultados obteniendo unas provisiones a constituir irreales o poco posibles.

Para comenzar a aplicar la metodología planteada, es necesario fijar en primer lugar la periodicidad de los datos tanto en su momento de ocurrencia, como en la periodicidad de la evolución de los pagos de los siniestros ocurridos a lo largo del tiempo, en nuestro estudio ambos anuales.

Teniendo los datos de los pagos por siniestros construimos el siguiente triángulo con los pagos realizados en cada año, donde por filas se presentan los pagos por siniestros ocurridos en diferentes años, y por columnas los pagos realizados en diferentes años de desarrollo:

Tabla 11: Triángulo de desarrollo incremental.

Años de ocurrencia	Años de desarrollo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003	10.046.091	8.964.010	3.014.747	870.170	1.977.004	337.211	144.256	186.037	60.622
2004	11.415.084	7.554.212	2.226.188	940.475	734.576	146.556	193.103	35.181	
2005	11.574.464	9.024.219	3.185.006	2.214.043	209.089	535.623	21.977		
2006	9.138.516	7.545.236	2.282.924	655.068	168.278	318.009			
2007	10.916.767	8.406.245	1.910.995	692.152	669.352				
2008	10.532.658	8.026.614	2.102.621	576.020					
2009	9.587.254	6.573.305	1.827.563						
2010	10.773.442	7.792.595							
2011	9.358.683								

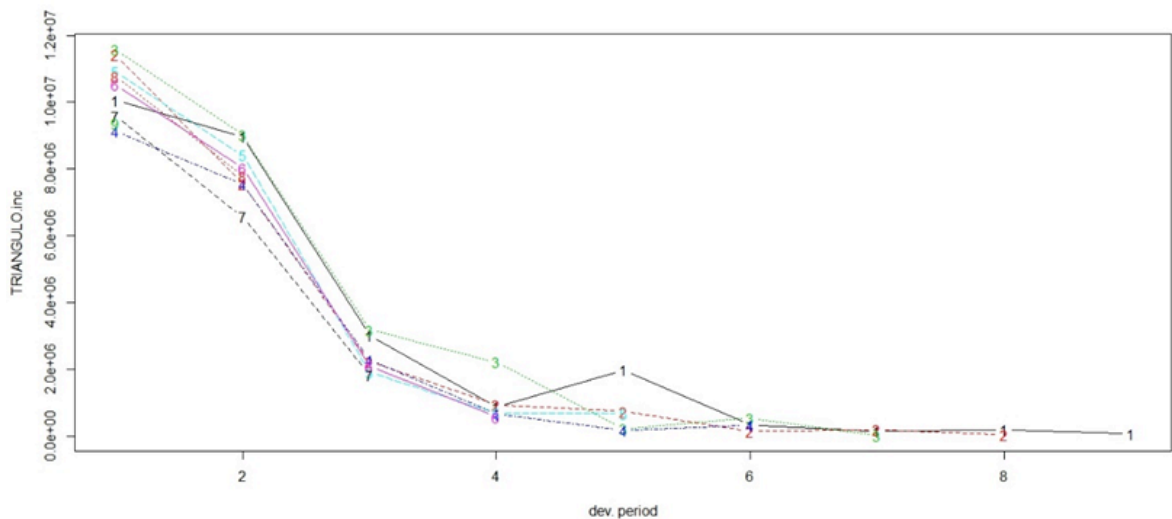
Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con el programa R.

Este triángulo es posible analizarlo de varias formas:

- Por columnas: se pueden analizar los pagos por siniestros en los años de desarrollo en función del año de origen de los siniestros.
- Por filas: la tendencia en base al año de ocurrencia.
- Por diagonales: los pagos en cada año contable por siniestros ocurridos en años distintos.

Este triángulo, también denominado triángulo de desarrollo incremental podemos verlo gráficamente, donde se compara el comportamiento histórico de cada serie temporal analizada, por cada año de ocurrencia:

Gráfica 2: Evolución de los pagos por siniestros incremental.



Fuente IV: Programa R

Podemos observar cómo los pagos se reducen en cuantía de manera exponencial con el paso de los años, produciéndose algunos repuntes en algunos años como es el caso de los pagos producidos en el quinto año de desarrollo de siniestros ocurridos en 2003.

No obstante, para aplicar la metodología Chain Ladder necesitamos tener el triángulo de desarrollo en su forma acumulada:

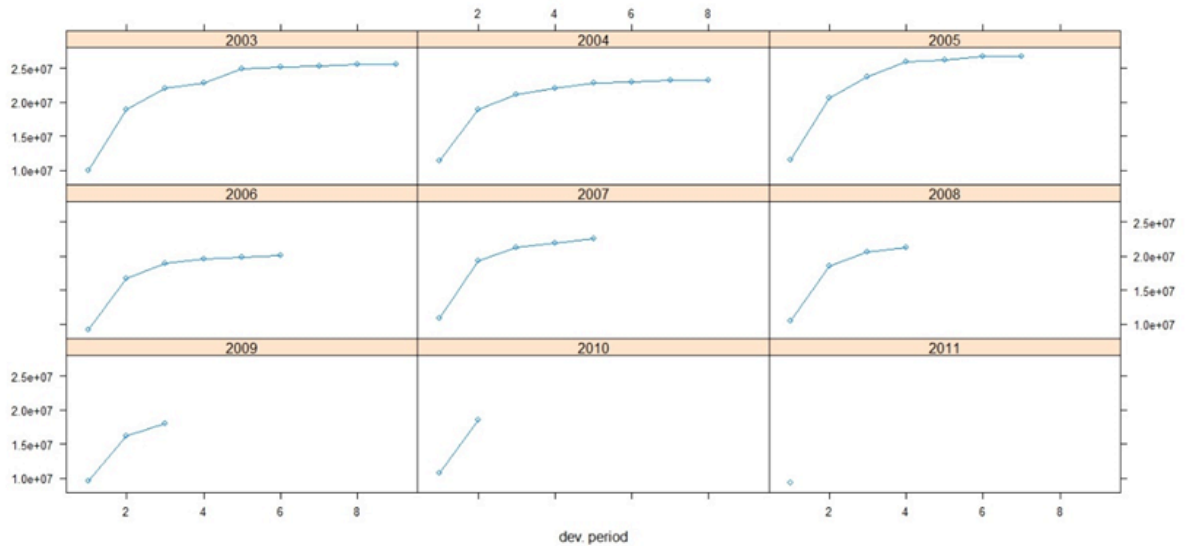
Tabla 12: Triángulo de desarrollo acumulado.

Años de ocurrencia	Años de desarrollo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003	10.046.091	19.010.101	22.024.848	22.895.018	24.872.022	25.209.233	25.353.489	25.539.526	25.600.148
2004	11.415.084	18.969.296	21.195.484	22.135.959	22.870.535	23.017.091	23.210.194	23.245.375	
2005	11.574.464	20.598.683	23.783.689	25.997.732	26.206.821	26.742.444	26.764.421		
2006	9.138.516	16.683.752	18.966.676	19.621.744	19.790.022	20.108.031			
2007	10.916.767	19.323.012	21.234.007	21.926.159	22.595.511				
2008	10.532.658	18.559.272	20.661.893	21.237.913					
2009	9.587.254	16.160.559	17.988.122						
2010	10.773.442	18.566.037							
2011	9.358.683								

Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar la evolución producida año a año de los pagos por siniestros de forma acumulada en la siguiente gráfica, es decir, podemos comparar el patrón de pagos que experimenta cada serie temporal analizada, así como el número de observaciones de cada serie temporal:

Gráfica 3: Evolución de los pagos por siniestros acumulada por año de ocurrencia.

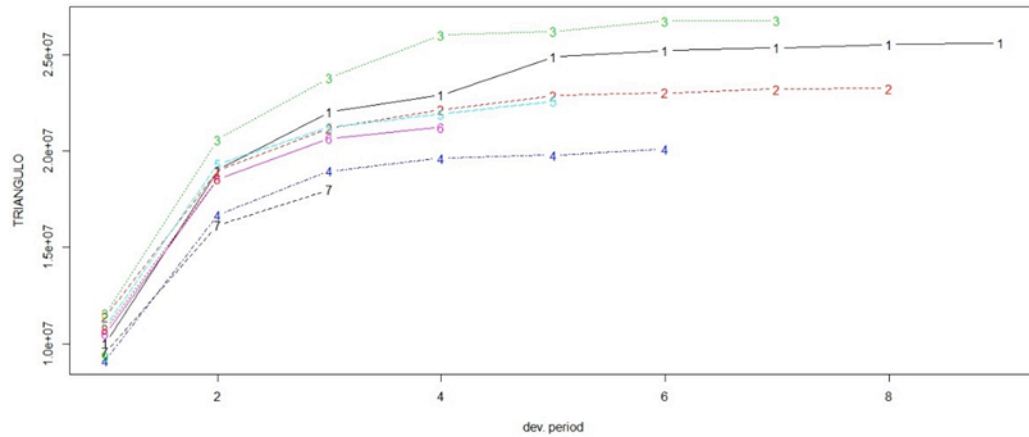


Fuente: Elaboración propia mediante el programa R.

La evolución seguida de los pagos por siniestros difiere bastante en siniestros ocurridos en diferentes años, variando su velocidad de crecimiento y produciéndose en algunos casos estancamientos en dichos pagos.

Para comparar dicho patrón de comportamiento a través de la evolución de los siniestros los agregamos en un mismo gráfico, y por tanto, a nivel agregado podemos observar un comportamiento histórico con cierta homogeneidad, y por tanto es un buen punto de partida del modelo para poder realizar estimaciones futuras de comportamiento:

Gráfica 4: Evolución de los pagos por siniestros incremental.



Fuente: Elaboración propia con el programa R.

Se puede apreciar cómo, en términos generales, la evolución de los pagos por siniestros ocurridos en un determinado año son muy similares a los producidos en el resto. Todos ellos presentan el mayor crecimiento en el segundo año de desarrollo para posteriormente crecer de manera más pausada.

Una vez analizados los datos de partida, procedemos a obtener los factores de desarrollo explicados en el punto anterior:

Tabla 13: Factores de desarrollo.

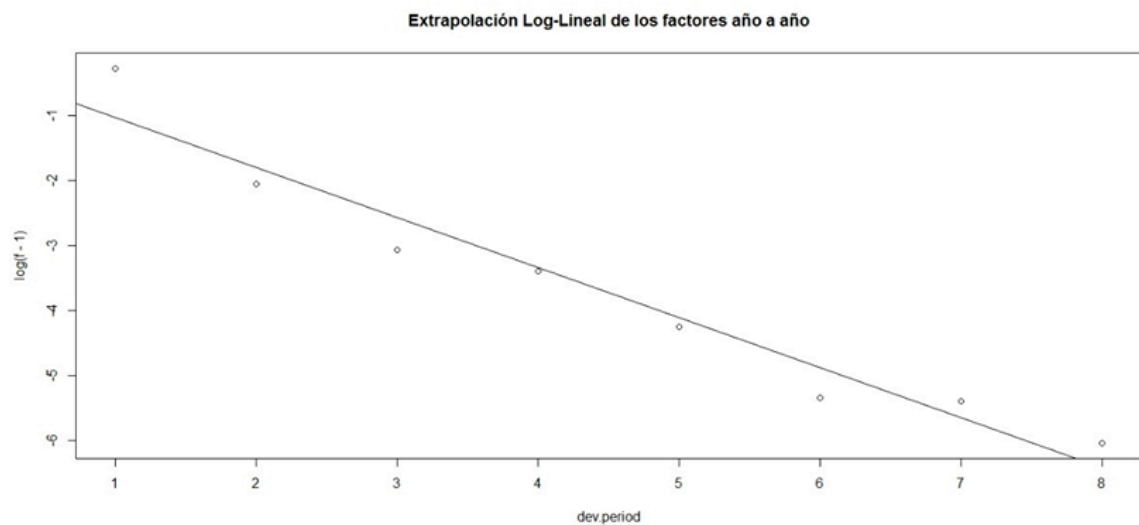
	1	2	3	4	5	6	7	8
Rj	1,760695	1,127993	1,046517	1,033384	1,014267	1,004793	1,004555	1,002374

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con el programa R.

Estos son los factores con los que obtendremos las estimaciones de pagos futuros por siniestros, estos se obtienen para realizar una proyección retrospectiva a partir de la situación actual y así obtener las estimaciones de pagos por siniestros futuros.

Los factores de desarrollo, por norma general, van reduciéndose a lo largo de los años tendiéndose a un límite en el que cesarán los pagos, dicho límite siempre desconocido. Para poder obtener el factor que determine la totalidad de pagos por siniestros ocurridos en un determinado año, utilizamos la extrapolación Log-lineal:

Gráfica 5: Extrapolación Log-Lineal.



Fuente: Elaboración propia con el programa R.

Podemos observar cómo los logaritmos neperianos de los factores menos uno de los diferentes años de desarrollo siguen una tendencia clara, esto nos aporta al estudio mayor seguridad en cuanto a los resultados.

El límite obtenido utilizando la extrapolación log-lineal es el siguiente: **1.000646**, es decir, los pagos producidos con posterioridad al 9 año de desarrollo son mínimos.

Con estos datos ya podemos obtener los pagos totales por siniestros para siniestros ocurridos en el periodo 2003-2011:

Tabla 14: Triángulo de desarrollo acumulado completado.

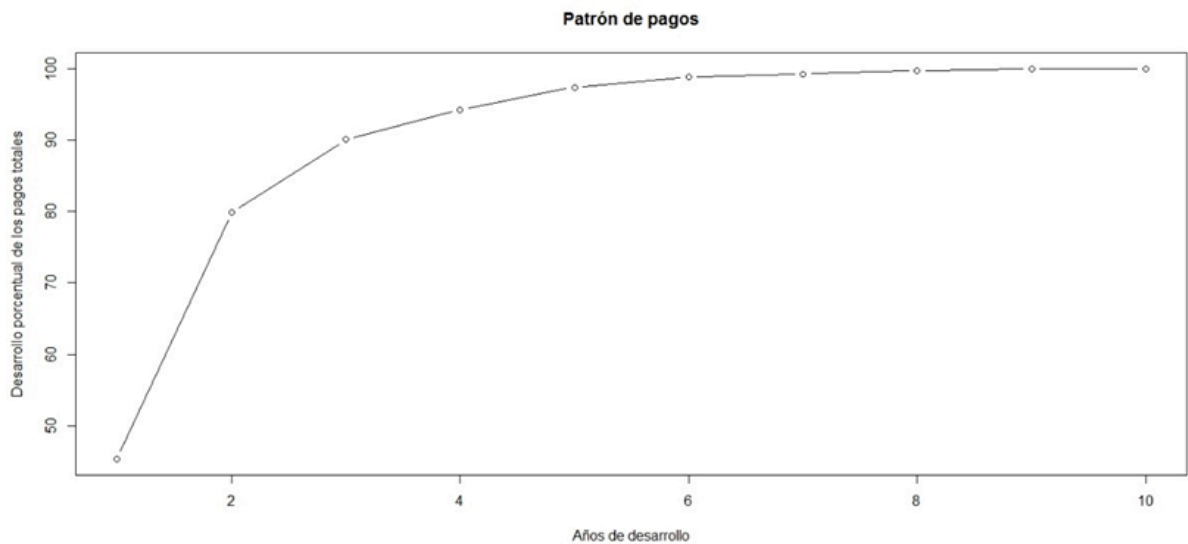
Años de ocurrencia	Años de desarrollo									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ult.
2003	10.046.091	19.010.101	22.024.848	22.895.018	24.872.022	25.209.233	25.353.489	25.539.526	25.600.148	25.616.682
2004	11.415.084	18.969.296	21.195.484	22.135.959	22.870.535	23.017.091	23.210.194	23.245.375	23.300.551	23.315.600
2005	11.574.464	20.598.683	23.783.689	25.997.732	26.206.821	26.742.444	26.764.421	26.886.339	26.950.158	26.967.563
2006	9.138.516	16.683.752	18.966.676	19.621.744	19.790.022	20.108.031	20.204.412	20.296.447	20.344.624	20.357.763
2007	10.916.767	19.323.012	21.234.007	21.926.159	22.595.511	22.917.886	23.027.734	23.132.631	23.187.540	23.202.515
2008	10.532.658	18.559.272	20.661.893	21.237.913	21.946.927	22.260.049	22.366.744	22.468.629	22.521.962	22.536.508
2009	9.587.254	16.160.559	17.988.122	18.824.869	19.453.326	19.730.870	19.825.443	19.915.752	19.915.752	19.963.026
2010	10.773.442	18.566.037	20.942.353	21.916.521	22.648.190	22.971.317	23.081.421	23.186.562	23.241.599	23.256.610
2011	9.358.683	16.477.788	18.586.824	19.451.421	20.100.794	20.387.576	20.485.297	20.578.612	20.627.458	20.640.780

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos en R.

En base a estos datos, las estimaciones de pagos totales por siniestros para siniestros ocurridos en el período 2003-2011 son de 205.869.940 euros. Por tanto, las estimaciones de pagos por siniestros ocurridos durante este periodo, según el método Chain Ladder, serán de 20.405.699 euros.

Podemos representar la evolución media que presenta la distribución de pagos por siniestros mediante el patrón de pagos acumulados:

Gráfica 6: Patrón de Pagos.



Fuente: Elaboración propia con el programa R.

El patrón de pagos nos representa el porcentaje del total de pagos producido en cada año, podemos observar que su curvatura no presenta anomalías, estas producidas cuando se producen recobros.

En esta gráfica podemos ver cómo el 80% de los pagos se producen en los dos primeros años de desarrollo y cómo va reduciéndose el crecimiento a partir de ese momento hasta estabilizarse.

Hasta este momento, la metodología aplicada ha sido la metodología determinista, es decir, hemos trabajado con valores ciertos. A continuación, para poder establecer intervalos de confianza y poder cuantificar el error de predicción incluimos técnicas estocásticas en las que se incluye la aleatoriedad de los resultados teniendo en cuenta su probabilidad de ocurrencia.

El proceso elegido es el remuestreo, mediante la técnica Bootstrap con la que podemos trabajar con intervalos de confianza, y la que nos permite aproximar la función de distribución sin su conocimiento previo.

2.2 MODELO BOOTSTRAP PARA LA PREDICCIÓN DE LAS RESERVAS DE SINIESTROS

Procedemos a aplicar la metodología Bootstrap siguiendo los siguientes pasos:

1. Obtenemos un nuevo triángulo a partir del triángulo de desarrollo original aplicando los factores de desarrollo obtenidos con el Chain Ladder hacía atrás, de forma que obtenemos el siguiente triángulo:

Tabla 15: Triángulo ajustado acumulado.

Años de ocurrencia	Años de desarrollo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003	11.614.794	20.450.109	23.067.580	24.140.615	24.946.525	25.302.437	25.423.712	25.539.517	25.600.148
2004	10.571.470	18.613.134	20.995.485	21.972.132	22.705.650	23.029.591	23.139.972	23.245.375	
2005	12.227.295	21.528.538	24.284.040	25.413.661	26.262.071	26.636.752	26.764.421		
2006	9.230.361	16.251.850	18.331.973	19.184.722	19.825.185	20.108.031			
2007	10.520.190	18.522.847	20.893.641	21.865.551	22.595.511				
2008	10.218.215	17.991.159	20.293.902	21.237.913					
2009	9.057.228	15.947.015	17.988.122						
2010	10.544.720	18.566.037							
2011	9.358.683								

Fuente: Elaboración propia.

2. Este triángulo lo desacumulamos, y denominamos a este nuevo triángulo, triángulo ajustado incremental:

Tabla 16: Triángulo ajustado incremental.

Años de ocurrencia	Años de desarrollo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003	11.614.794	8.835.316	2.617.471	1.073.035	805.910	355.912	121.275	115.805	60.631
2004	10.571.470	8.041.664	2.382.351	976.647	733.518	323.942	110.381	105.403	
2005	12.227.295	9.301.243	2.755.502	1.129.621	848.410	374.681	127.670		
2006	9.230.361	7.021.489	2.080.123	852.748	640.463	282.846			
2007	10.520.190	8.002.656	2.370.795	971.910	729.960				
2008	10.218.215	7.772.945	2.302.742	944.011					
2009	9.057.228	6.889.788	2.041.106						
2010	10.544.720	8.021.316							
2011	9.358.683								

Fuente: Elaboración propia.

- Obtenemos los residuales de Pearson aplicando la siguiente fórmula en la cual comparamos los datos de la muestra original (triángulo incremental) y los datos de la muestra obtenida a partir de esta (triángulo ajustado incremental):

$$r_{ij} = \frac{c_{ij} - m_{ij}}{\sqrt{m_{ij}}}$$

Tabla 17: Residuales de Pearson.

Años de ocurrencia	Años de desarrollo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003	-460	43	246	-196	1.305	-31	66	206	0
2004	259	-172	-101	-37	1	-312	249	-216	
2005	-187	-91	259	1.020	-694	263	-296		
2006	-30	198	141	-214	-590	66			
2007	122	143	-299	-284	-71				
2008	98	91	-132	-379					
2009	176	-121	-149						
2010	70	-81							
2011	0								

Fuente: Elaboración propia.

- Para tener en cuenta los grados de libertad aplicamos un ajuste a estos residuales:

$$r'_{ij} = \sqrt{\frac{n}{n-p}} * r_{ij}$$

Tabla 18: Residuales de Pearson ajustados.

Años de ocurrencia	Años de desarrollo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003	-584	55	311	-248	1.654	-40	84	262	0
2004	329	-218	-128	-46	2	-395	316	-274	
2005	-237	-115	328	1.293	-880	333	-375		
2006	-38	251	178	-271	-748	84			
2007	155	181	-379	-360	-90				
2008	125	115	-167	-480					
2009	223	-153	-189						
2010	89	-102							
2011	0								

Fuente: Elaboración propia.

- En este momento, procedemos a realizar el muestreo aleatorio con reemplazamiento sobre los residuales ajustados, este necesariamente mediante medios informáticos. Un ejemplo sería el siguiente:

Tabla 19: Residuales de Pearson ajustados muestreados.

Años de ocurrencia	Años de desarrollo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003	89	181	-102	329	178	84	-584	0	-748
2004	1.293	115	262	89	1.294	55	-189	-271	
2005	181	-40	2	311	-128	-218	-189		
2006	-748	-274	2	-189	-248	-153			
2007	115	223	-584	-128	262				
2008	0	-46	-274	-237					
2009	-237	89	316						
2010	181	-189							
2011	125								

Fuente: Elaboración propia.

- A partir de los residuales muestreados obtenemos un nuevo triángulo de pagos multiplicando estos residuales por la raíz del valor

correspondiente en el triángulo ajustado incremental y sumándole este:

$$\hat{C}_{ij} = r'_{ij}(\text{muestreado}) * \sqrt{m_{ij}} + m_{ij}$$

Tabla 20: Nuevo triángulo incremental obtenido.

Años de ocurrencia	Años de desarrollo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003	11.919.109	9.372.914	2.451.828	1.413.757	965.953	405.916	-81.936	115.810	-123.545
2004	14.777.105	8.368.751	2.786.134	1.064.884	1.841.352	355.186	47.430	17.302	
2005	12.859.720	9.180.015	2.758.076	1.460.478	730.281	241.297	59.969		
2006	6.957.853	6.294.871	2.082.361	677.766	441.787	201.556			
2007	10.894.306	8.634.261	1.472.308	845.460	953.482				
2008	10.218.220	7.643.610	1.886.621	714.047					
2009	8.344.936	7.124.172	2.492.033						
2010	11.132.023	7.484.665							
2011	9.740.172								

Fuente: Elaboración propia.

- Este nuevo triángulo lo acumulamos de manera que tenemos otro triángulo sobre el que realizar las estimaciones:

Tabla 21: Nuevo triángulo acumulado.

Años de ocurrencia	Años de desarrollo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003	11.919.109	21.292.023	23.743.851	25.157.608	26.123.560	26.529.477	26.447.541	26.563.351	26.439.806
2004	14.777.105	23.145.856	25.931.990	26.996.874	28.838.226	29.193.411	29.240.841	29.258.143	
2005	12.859.720	22.039.735	24.797.811	26.258.289	26.988.571	27.229.868	27.289.837		
2006	6.957.853	13.252.724	15.335.085	16.012.851	16.454.637	16.656.194			
2007	10.894.306	19.528.567	21.000.875	21.846.335	22.799.817				
2008	10.218.220	17.861.830	19.748.451	20.462.498					
2009	8.344.936	15.469.108	17.961.141						
2010	11.132.023	18.616.688							
2011	9.740.172								

Fuente: Elaboración propia.

8. Obtenemos los factores de desarrollo sobre el anterior triángulo aplicando el Chain Ladder:

$$R_j = \frac{\sum_{t=j}^{I-j-1} D_{t,j+1}}{\sum_{t=j}^{I-j-1} D_{t,j}}$$

Tabla 22: Nuevos factores de desarrollo obtenidos.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Rj	1,7359455	1,12014013	1,04730762	1,0424251	1,01223469	1,000307	1,0023903	0,9953490

Fuente: Elaboración propia

9. Con estos factores obtenidos ya procedemos a obtener otras nuevas provisiones a constituir:

Tabla 23: Estimaciones pagos futuros nuevo triángulo.

Años de ocurrencia	Años de desarrollo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003	11.919.109	21.292.023	23.743.851	25.157.608	26.123.560	26.529.477	26.447.541	26.563.351	26.439.80
2004	14.777.105	23.145.856	25.931.990	26.996.874	28.838.226	29.193.411	29.240.841	29.258.143	29.122.06
2005	12.859.720	22.039.735	24.797.811	26.258.289	26.988.571	27.229.868	27.289.837	27.355.068	27.227.84
2006	6.957.853	13.252.724	15.335.085	16.012.851	16.454.637	16.656.194	16.661.306	16.701.132	16.623.45
2007	10.894.306	19.528.567	21.000.875	21.846.335	22.799.817	23.078.766	23.085.850	23.141.032	23.033.40
2008	10.218.220	17.861.830	19.748.451	20.462.498	21.330.622	21.591.596	21.598.224	21.649.850	21.549.15
2009	8.344.936	15.469.108	17.961.141	18.810.840	19.608.892	19.848.801	19.854.894	19.902.353	19.809.78
2010	11.132.023	18.616.688	20.853.299	21.839.819	22.766.377	23.044.916	23.051.990	23.107.092	22.999.62
2011	9.740.172	16.908.408	18.939.786	19.835.782	20.677.318	20.930.299	20.936.723	20.986.768	20.889.16

Fuente: Elaboración propia.

10. Repetimos este proceso un número suficientemente elevado de veces, para obtener el error de muestro, en el caso planteado trabajaremos sobre 10000 muestras.

Los datos obtenidos aplicando este proceso con el programa R son los siguientes:

Tabla 24: Datos obtenidos aplicando la técnica Bootstrap.

Años de ocurrencia	Latest	Mean Ultimate	Mean IBNR	SD IBNR
2003	25.600.148	25.600.148	0	0
2004	23.245.375	23.300.849	55.474,28	157.587,7
2005	26.764.421	26.949.913	185.491,66	253.410,6
2006	20.108.031	20.340.823	232.791,60	254.515,3
2007	22.595.511	23.188.956	593.445,26	396.404,4
2008	21.237.913	22.517.846	1.279.932,79	557.709,3
2009	17.988.122	19.950.485	1.962.363,14	687.938,7
2010	18.566.037	23.227.561	4.661.523,76	1.111.068
2011	9.358.683	20.629.905	11.271.222,38	2.251.998,4

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

Los datos que nos representa esta tabla son los siguientes:

- Latest: representa los valores actuales para cada año de ocurrencia, es decir, los pagos por siniestros realizados hasta el año actual.
- Mean Ultimate: representa la media de pagos totales hasta el noveno año de desarrollo previstos por cada año de ocurrencia.
- Mean IBNR: representa la media de pagos por siniestros ocurridos pero no notificados previstos por año de ocurrencia, es decir, la media de pagos por siniestros estimados y no pagados hasta el momento.
- SD IBNR: representa la desviación típica producida en las estimaciones de los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados.

En base a los resultados, podemos determinar que los pagos por siniestros no se encuentran muy dispersos respecto a su media, representando, en proporción a su media, una mayor dispersión en los siniestros ocurridos en años más lejanos, aun cuando en valores absolutos la desviación producida en los futuros pagos por siniestros va incrementándose para siniestros ocurridos en años más recientes.

Tabla 25: Datos obtenidos aplicando la técnica Bootstrap.

Años de ocurrencia	IBNR 50%	IBNR 75%	IBNR 95%	IBNR 99%	IBNR 99,5%
2003	0	0	0	0	0
2004	4.485	67.399	340.448	685.497	847.581
2005	111.957	285.455	699.116	1.030.663	1.154.665
2006	167.251	345.137	731.489	1.083.574	1.209.709
2007	50.279	800.061	1.347.035	1.818.504	2.036.629
2008	1.211.576	1.618.356	2.279.611	2.867.045	3.073.876
2009	1.889.309	2.369.482	3.204.702	3.913.719	4.155.999
2010	4.590.367	5.337.191	6.613.872	7.669.727	8.051.329
2011	11.083.037	12.468.627	15.304.529	18.331.239	19.198.853

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

En esta tabla están presentados los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados teniendo en cuenta diferentes percentiles, para los siniestros ocurridos en diferentes años.

Podemos observar en los valores obtenidos cómo la dispersión producida en las muestras no es muy elevada, debido a que las diferencias no son muy elevadas entre unos percentiles y otros.

Tabla 26: Datos obtenidos aplicando la técnica Bootstrap. Totales.

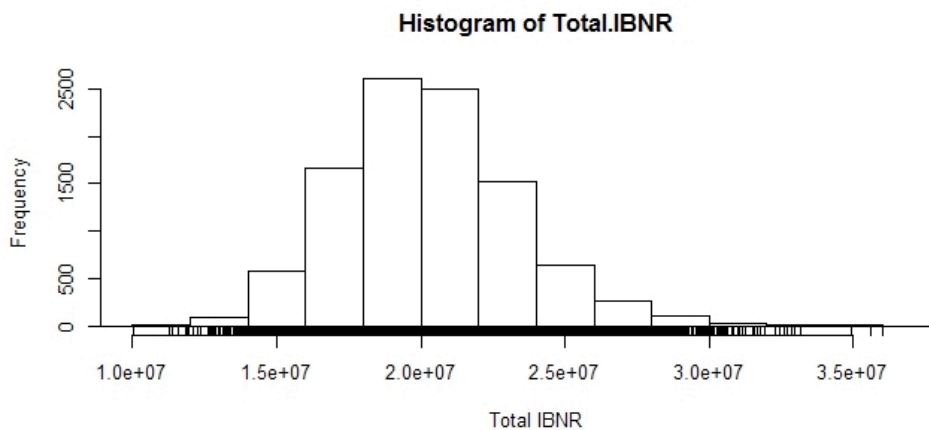
	Totals
Latest	185.464.241
Mean Ultimate	205.706.486
Mean IBNR	20.242.245
SD IBNR	3.049.652
Total IBNR 50%	20.053.406
Total IBNR 75%	22.079.681
Total IBNR 95%	25.625.919
Total IBNR 99%	28.752.667
Total IBNR 99,5%	29.732.708

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

En esta tabla tenemos los valores totales para los diferentes estadísticos estudiados. Resulta llamativo cómo los valores estimados para los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados se encuentran entre los 20.000.000 y los 30.000.000 de euros, y cómo el valor de la media y la mediana son muy similares.

Estos datos podemos verlos gráficamente:

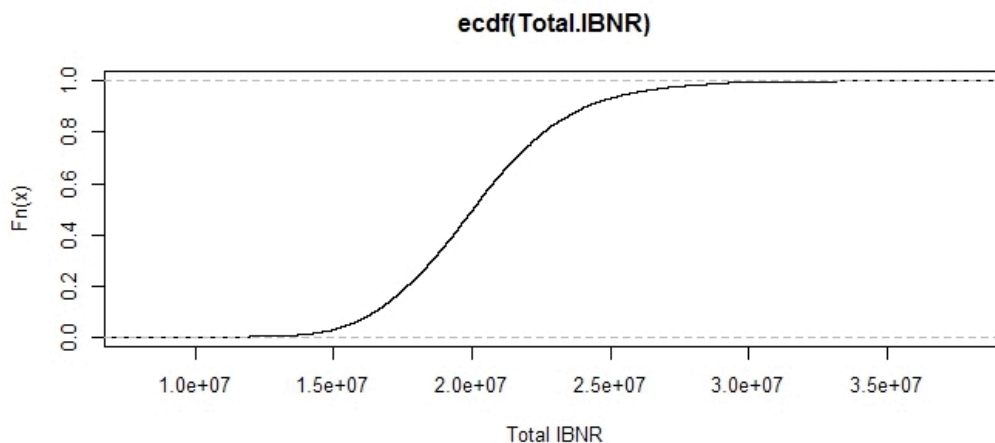
Gráfica 7: Histograma del total de IBNR



Fuente: Elaboración propia con R.

Por un lado, esta gráfica nos representa el histograma de los pagos previstos por siniestros ocurridos pero no notificados en el que llama la atención la gran concentración de los valores obtenidos en las diferentes muestras alrededor de los 20.000.000 y cómo se produce un gran descenso a partir de los 30.000.000 siendo la probabilidad de que se produzcan pagos superiores a esta cantidad mínimos en base al muestreo realizado, esto también ocurre en valores inferiores a 15.000.000, no habiéndose registrados valores por debajo de 10.000.000.

Gráfica 8: Función de distribución del total de IBNR.

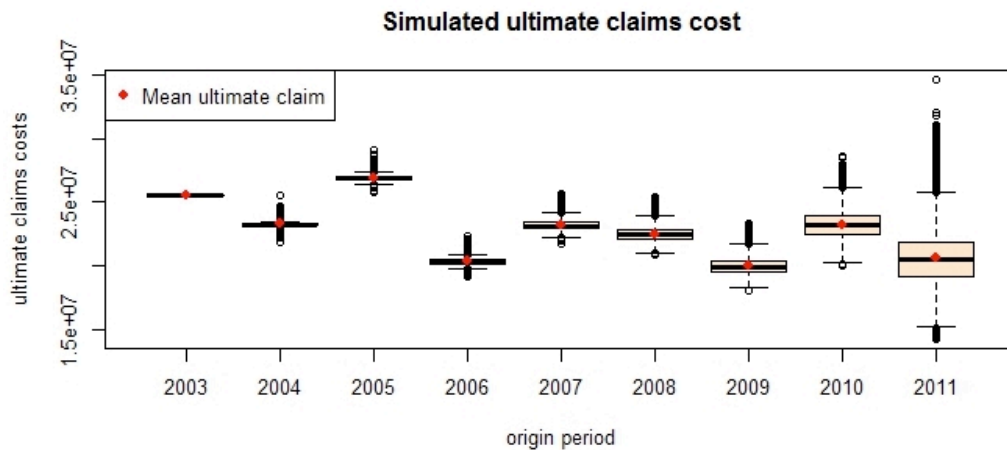


Fuente: Elaboración propia con R.

Esta segunda gráfica representa la función de distribución de los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados. En esta podemos observar lo dicho anteriormente, y es que, a partir de los 15.000.000 va aumentando progresivamente la probabilidad hasta los 30.000.000 aproximadamente en los que los que se estabiliza, es decir, con una

probabilidad elevada los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados van a ser inferiores o iguales a 30.000.000.

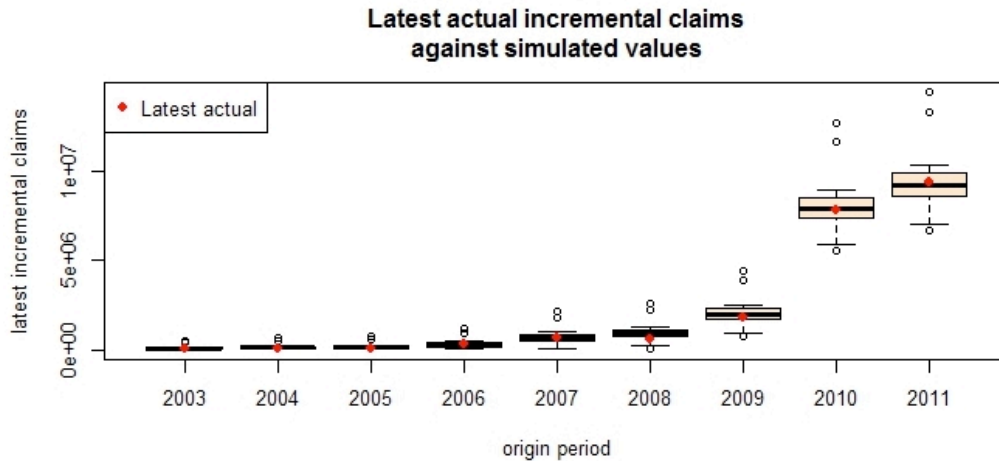
Gráfica 9: Gráfica representativa de la media y su dispersión de los pagos totales por siniestros por cada año de ocurrencia.



Fuente: Elaboración propia con R

Esta gráfica representa la media y su dispersión de los pagos totales por siniestros por cada año de ocurrencia. Podemos observar que la desviación que se produce en los diferentes años no es muy elevada pero cómo esta se va incrementando siendo la desviación muy elevada en los pagos por siniestros totales para los siniestros ocurridos en 2011.

Gráfica 10: Gráfica representativa de la media y la dispersión de los IBNR por año de ocurrencia.



Fuente: Elaboración propia con R.

Por último, esta gráfica representa la media y la dispersión de los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados por año de ocurrencia. Se observa cómo los pagos por siniestros en los dos últimos años se incrementan considerablemente al igual que su dispersión respecto a los pagos por siniestros ocurridos en años anteriores.

La aplicación de esta técnica nos permite analizar el coste último de los siniestros posibilitando la obtención de un rango de variabilidad de forma que permita un mayor control de la incertidumbre.

Si suponemos que los datos siguen una distribución Gamma, los datos obtenidos aplicando la técnica Bootstrap son los siguientes:

Tabla 27: Datos obtenidos al aplicar la técnica Bootstrap siguiendo una distribución Gamma

Años de ocurrencia	Latest	Mean Ultimate	Mean IBNR	SD IBNR
2003	25.600.148	25.600.148	0	0
2004	23.245.375	23.303.621	58.245,81	159.356,1
2005	26.764.421	26.951.521	187.099,83	254.277,8
2006	20.108.031	20.342.539	234.507,81	258.716,9
2007	22.595.511	23.185.645	590.134,08	396.321,9
2008	21.237.913	22.514.802	1.276.888,66	557.742,6
2009	17.988.122	19.956.152	1.968.029,70	689.049,9
2010	18.566.037	23.222.093	4.656.055,88	1.116.780,5
2011	9.358.683	20.646.586	11.287.902,64	2.298.054,5

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

Aplicando la técnica Bootstrap asumiendo una distribución Gamma en los datos obtiene unos resultados muy similares a los obtenidos asumiendo una distribución Poisson con sobredispersión.

Se puede observar como la media de pagos totales estimados por año de ocurrencia son ligeramente mayores asumiendo la distribución Gamma además de la media de los siniestros ocurridos pero no notificados y la desviación de estos.

Tabla 28: Datos obtenidos al aplicar la técnica Bootstrap siguiendo una distribución Gamma

Años de ocurrencia	IBNR 50%	IBNR 75%	IBNR 95%	IBNR 99%	IBNR 99,5%
2003	0	0	0	0	0
2004	5.049,127	67.861,89	357.744,2	749.193,4	885.497,2
2005	112.708,578	287.058,94	684.670,6	1.083.560	1.249.933,3
2006	167.721,500	348.382,48	727.744,5	1.116.553,1	1.236.385
2007	519.698,805	799.012,16	1.349.050,3	1.815.674	2.028.493,2
2008	1.200.865,212	1.601.275,22	2.309.591,5	2.921.569,7	3.141.497,9
2009	1.895585,172	2.376.890,59	3.218.601,3	3.969.790,3	4.130.913,9
2010	4.577.324,068	5.349.247,19	6.662.830,3	7.637.805,8	8.092.712,2
2011	11.082.512,271	12.487128,01	15.381.382,2	18.447.988,8	19.686.709,4

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

Si observamos los percentiles obtenidos para los siniestros ocurridos pero no notificados observamos, al igual que en la tabla anterior cómo, en líneas generales los valores son más elevados asumiendo la distribución Gamma que la Poisson con Sobredispersión.

Tabla 29: Datos obtenidos al aplicar la técnica Bootstrap siguiendo una distribución Gamma. Totales

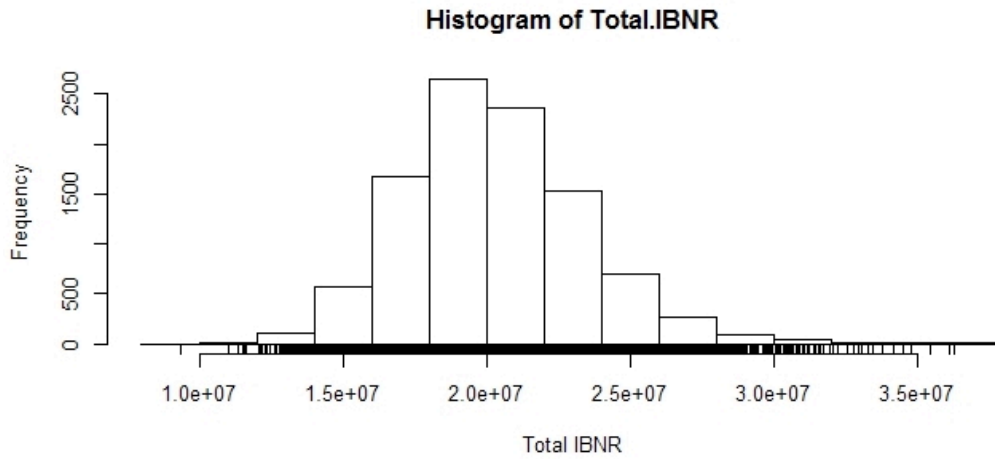
	Totals
Latest	185.464.241
Mean Ultimate	205.723.105
Mean IBNR	20.258.864
SD IBNR	3.097.467
Total IBNR 50%	20.006.663.
Total IBNR 75%	22.133.481
Total IBNR 95%	25.678.970
Total IBNR 99%	28.844.762
Total IBNR 99,5%	30.184.953

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

Los totales de los diferentes estadísticos asumiendo una Gamma viene a confirmar lo comentado anteriormente exceptuando el valor de la mediana que es inferior con esta.

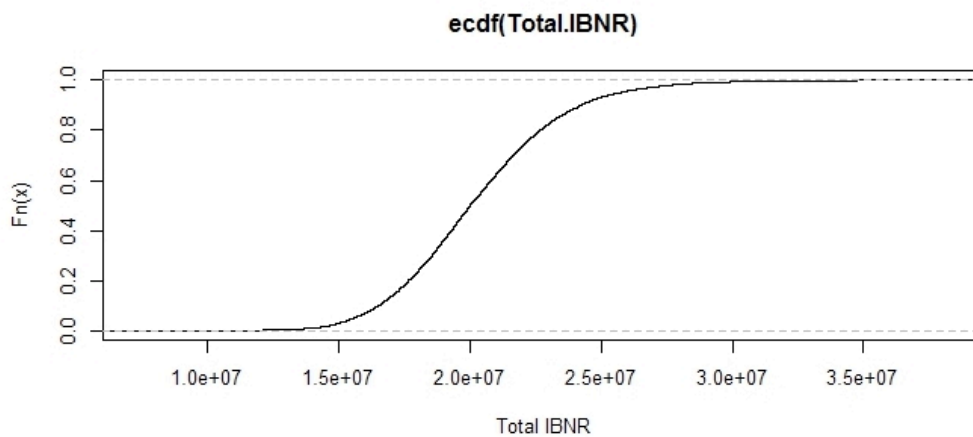
Estos datos podemos verlos gráficamente:

Gráfica 11: Histograma obtenido con Bootstrap asumiendo una distribución Gamma.



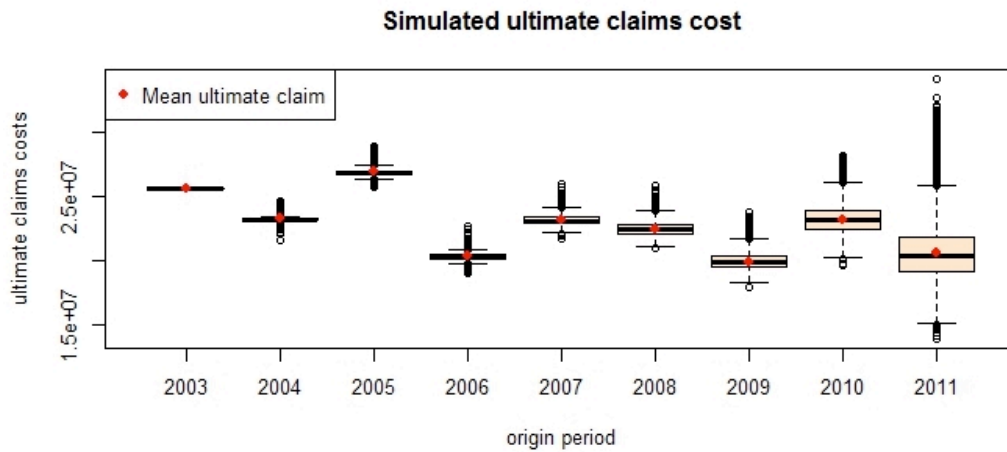
Fuente: Elaboración propia con R.

Gráfica 12: Función de distribución obtenida con Bootstrap asumiendo una distribución Gamma.



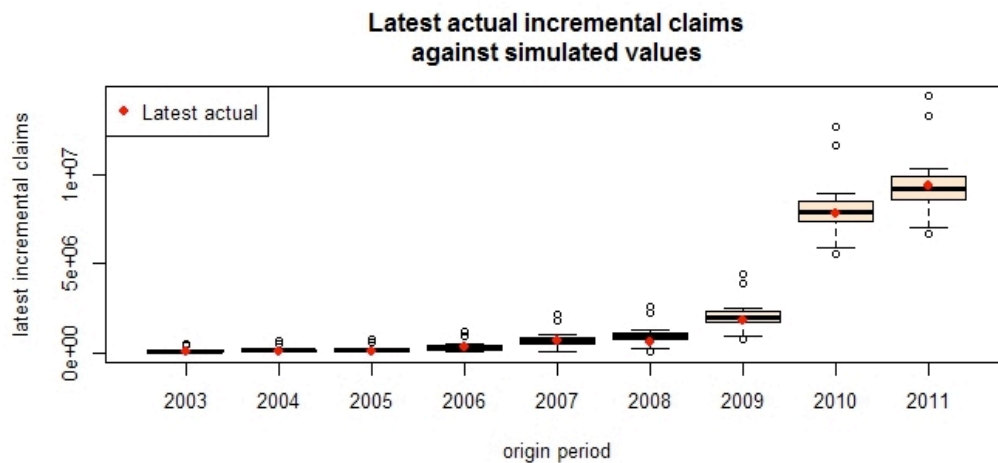
Fuente: Elaboración propia con R.

Gráfica 13: Gráfica representativa de la media y su dispersión de los pagos totales por siniestros por cada año de ocurrencia asumiendo una distribución Gamma.



Fuente: Elaboración propia con R.

Gráfica 14: Gráfica representativa de la media y la dispersión de los IBNR por año de ocurrencia asumiendo una distribución Gamma.



Fuente: Elaboración propia con R.

Se puede observar cómo los datos obtenidos no difieren mucho de los obtenidos suponiendo una Poisson con sobredispersión, esto es debido a que la distribución asumida se utiliza una vez obtenidas las R muestras en la que la media coincide para ambas distribuciones y la varianza difiere en que en el caso de la Poisson con sobredispersión la varianza es igual a la media por un número ϕ , mientras que en la distribución gamma es igual a la media al cuadrado por dicho número ϕ .

Hay que tener en cuenta que la metodología Bootstrapping arroja valores diferentes en cada aplicación lo que dificulta un análisis comparativo entre diferentes distribuciones asumidas.

2.3 OTRA ALTERNATIVA ESTOCÁSTICA: MODELO DE MACK.

La distribución libre de Mack trata fundamentalmente de obtener la desviación típica producida en el método Chain Ladder.

Esta metodología sigue los siguientes pasos correspondiendo los dos primeros al método Chain Ladder:

1. Obtenemos los factores de desarrollo R_j .
2. Obtenemos las estimaciones de pagos por siniestros ocurridos pero no notificados.
3. Calculamos la varianza producida para cada año de desarrollo.

4. Calculamos el error cuadrático medio de los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados por cada año de ocurrencia.
5. Obtenemos el error típico que sería la raíz cuadrada del error cuadrático medio por cada año de ocurrencia.
6. Obtenemos el error típico y el error cuadrático medio de la reserva.

1. Factores de desarrollo:

Tabla 30: Factores de desarrollo.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Rj	1,760695	1,127993	1,046517	1,033384	1,014267	1,004793	1,004555	1,002374

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

2. Estimación reservas:

Tabla 31: Cuadro con las estimaciones totales de pagos por siniestros.

Años de ocurrencia	Años de desarrollo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003	10046091	19010101	22024848	22895018	24872022	25209233	25353489	25539526	25600148
2004	11415084	18969296	21195484	22135959	22870535	23017091	23210194	23245375	23300551
2005	11574464	20598683	23783689	25997732	26206821	26742444	26764421	26886339	26950158
2006	9138516	16683752	18966676	19621744	19790022	20108031	20204412	20296447	20344624
2007	10916767	19323012	21234007	21926159	22595511	22917886	23027734	23132631	23187540
2008	10532658	18559272	20661893	21237913	21946927	22260049	22366744	22468629	22521962
2009	9587254	16160559	17988122	18824869	19453326	19730870	19825443	19915752	19963026
2010	10773442	18566037	20942353	21916521	22648190	22971317	23081421	23186562	23241599
2011	9358683	16477788	18586824	19451421	20100794	20387576	20485297	20578612	20627458

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

3. Varianzas por año de desarrollo:

El método Mack trata de obtener la dispersión producida en la estimación de las reservas, siendo la estimación de las reservas por año de ocurrencia P_i . Esta estimación la realizaremos mediante el error cuadrático medio comprobándose lo siguiente:

$$\text{MSE}(\hat{P}_i) = \text{MSE}(\hat{D}_{in})$$

$$\begin{aligned} \text{MSE}(\hat{D}_{in}) &= E[(\hat{D}_{in} - D_{in})^2 / T] = E[(\hat{P}_i + D_{n-i} - E(\hat{P}_i) - D_{n-i})^2 / T] \\ &= E[(\hat{P}_i - E(\hat{P}_i))^2 / T] = \text{MSE}(\hat{P}_i) \end{aligned}$$

Donde T son todos los datos observados hasta el momento y cumple: $T = \{D_{ij} \mid i + j \leq n\}$

Debido a que se cumple la siguiente regla para cualquier variable aleatoria:

$$E(x - a)^2 = \text{var}(x) + [E(x) - a]^2$$

Por tanto, $\text{MSE}(\hat{D}_{in})$ lo obtendremos de la siguiente manera:

$$\text{MSE}(\hat{D}_{in}) = \text{var}(D_{in}/T) + [E(D_{in}/T) - \hat{D}_{in}]^2$$

Esto demuestra que el error cuadrático medio es igual a la suma del error de proceso y el error de estimación.

Para poder calcular el $MSE(\widehat{D}_{in})$ necesitamos conocer la $var(D_{i,j+1} | D_{i1}, \dots, D_{i,j})$ y $E(D_{i,j+1} | D_{i1}, \dots, D_{i,j})$ siendo estas:

$$var(D_{i,j+1} | D_{i1}, \dots, D_{i,j}) = D_{i,j} \sigma_j^2, \quad 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq n-1$$

$$E(D_{i,j+1} | D_{i1}, \dots, D_{i,j}) = D_{i,j} R_j, \quad 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq n-1$$

Debido a que desconocemos el parámetro σ_j^2 , necesitamos obtener un estimador del mismo siendo este:

$$\hat{\sigma}_j^2 = \frac{1}{n-j-1} \sum_{i=1}^{n-j} D_{ij} \left(\frac{D_{i,j+1}}{D_{ij}} - R_j \right)^2$$

Con esta fórmula podemos obtener los siguientes estimadores:

Tabla 32: Varianzas por año de desarrollo.

	1	2	3	4	5	6	7
$\hat{\sigma}_j^2$	56.919,691	9.968,0929	13.356,7	23.301,516	829,13877	370,62101	410,71921

Fuente: Elaboración propia.

$\hat{\sigma}_8^2$ no puede obtenerse siguiendo este procedimiento debido a que $1/n-j-1$ no tendría resultado.

Para ello existen dos formas alternativas para obtener un valor para $\hat{\sigma}_8^2$.

1. A partir de las sugerencias de Mack:

- a) Si $R_{n-1}=1$ y cabe esperar que los pagos por siniestros finalicen en el n-1 año de desarrollo, entonces $\hat{\sigma}_{n-1}^2=0$.

Este no es nuestro caso debido a que $R_8=1.002374$.

- b) Si $R_{n-1} \neq 1$, sugiere extrapolar el valor de $\hat{\sigma}_{n-1}^2$ de la secuencia: $[\hat{\sigma}_1^2, \hat{\sigma}_2^2, \dots, \hat{\sigma}_{n-2}^2]$, que, generalmente tienen un decrecimiento exponencial.

De forma que Mack determina que debe cumplirse lo siguiente:

$$\frac{\hat{\sigma}_{n-3}^2}{\hat{\sigma}_{n-2}^2} = \frac{\hat{\sigma}_{n-2}^2}{\hat{\sigma}_{n-1}^2}$$

Esto en caso de que $\hat{\sigma}_{n-3}^2 > \hat{\sigma}_{n-2}^2$, en caso contrario:

$$\hat{\sigma}_{n-1}^2 = \min\left[\frac{\hat{\sigma}_{n-2}^4}{\hat{\sigma}_{n-3}^2}; \min\{\hat{\sigma}_{n-2}^2; \hat{\sigma}_{n-3}^2\}\right]$$

En nuestro caso:

$$\hat{\sigma}_8^2 = \min\left[\frac{410,71921^2}{370,62101}; \min\{410,71921; 370,62101\}\right]$$

Por tanto según la propuesta de Mack $\hat{\sigma}_8^2 = 370,62101$.

Por tanto, las varianzas de cada año de desarrollo son:

Tabla 33: Total de varianzas por año de desarrollo aplicando la propuesta de Mack.

	$\hat{\sigma}_j^2$
1	56.919,6908
2	9.968,09295
3	13.356,70005
4	23.295,67346
5	829,1387701
6	370,6210109
7	410,7192137
8	370,6210109

Fuente V: Elaboración propia.

2. A través de la regresión loglineal.

Para obtener $\hat{\sigma}_8^2$ utilizaremos la regresión logarítmica:

$$\ln \hat{\sigma}_j^2 = \hat{\alpha} + \hat{\beta}j$$

Las estimaciones de los parámetros por ECO son:

$$\hat{\beta} = \frac{S_{\ln \hat{\sigma}_j^2, j}}{S_j^2}$$

$$\hat{\alpha} = E(\ln \hat{\sigma}_j^2) - \hat{\beta} E(j)$$

De modo que obtenemos $\hat{\sigma}_8^2$ mediante el siguiente modelo:

$$\hat{\sigma}_8^2 = \exp(\hat{\alpha} + \hat{\beta} \times 8)$$

$$\hat{\sigma}_8^2 = \exp(11,78908433 - 0,86277769 \times 8) = 132,5371225$$

Por tanto la secuencia completa sería:

Tabla 34: Total de varianzas por año de desarrollo aplicando la regresión loglineal.

	$\hat{\sigma}_j^2$
1	56.919,6908
2	9.968,09295
3	13.356,70005
4	23.295,67346
5	829,1387701
6	370,6210109
7	410,7192137
8	132,5371225

Fuente: Elaboración propia.

4. Error cuadrático medio de los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados por año de ocurrencia.

La fórmula para la estimación del error cuadrático medio por año de ocurrencia teniendo en cuenta lo anterior sería:

$$\overline{MSE}(\hat{P}_i) = \hat{D}_{in}^2 \sum_{k=n+1-i}^{n-1} \frac{\hat{\sigma}_k^2}{R_k^2} \left(\frac{1}{\hat{D}_{ik}} + \frac{1}{\sum_{j=1}^{n-k} D_{jk}} \right)$$

Teniendo en cuenta que $\hat{\sigma}_g^2$ varia su valor en función del método utilizado para su obtención, tenemos dos grupos de valores de $\overline{MSE}(\hat{P}_i)$.

1. Según la propuesta de Mack.

- Error cuadrático medio de \hat{P}_i .

Tabla 35: Error cuadrático medio por año de ocurrencia siguiendo la propuesta de Mack.

	$\overline{MSE}(\hat{P}_i)$
1	0
2	16.456.552.919,0695
3	37.586.739.072,8695
4	34.889.917.307,3675
5	65.393.837.929,3219
6	682.281.488.616,933
7	901.209.746.739,059
8	1.334.681.706.080,43
9	2.091.543.649.673,45

Fuente: Elaboración propia.

2. Según la regresión loglineal

- Error cuadrático medio de \hat{P}_i .

Tabla 36: Error cuadrático medio por año de ocurrencia siguiendo la regresión loglineal.

	$\overline{MSE}(\hat{P}_i)$
1	0
2	5.884.998.705,5635
3	24.446.775.728,2748
4	26.217.436.261,9558
5	54.897.869.806,2093
6	672.225.877.413,311
7	892.770.611.605,956
8	1.324.149.610.726,60
9	2.082.696.473.071,64

Fuente: Elaboración propia.

5. Error típico de los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados por cada año de ocurrencia.

El error típico, $se(\hat{P}_i)$ viene definido por:

$$se(\hat{P}_i) = \sqrt{\overline{MSE}(\hat{P}_i)} = \sqrt{\hat{D}_{in}^2 \sum_{k=n+1-i}^{n-1} \frac{\hat{\sigma}_k^2}{R_k^2} \left(\frac{1}{\hat{D}_{ik}} + \frac{1}{\sum_{j=1}^{n-k} D_{jk}} \right)}$$

Por tanto, tendremos distintos valores según el método seguido para la obtención de $\hat{\sigma}_g^2$.

1. Según la propuesta de Mack.

- Error típico de \hat{P}_i .

Tabla 37: Error típico por año de ocurrencia siguiendo la propuesta de Mack.

	$se(\hat{P}_i)$
1	0
2	128.283,0968
3	193.872,9973
4	186.788,4293
5	255.722,189
6	826.003,3224
7	949.320,6765
8	1.155.284,253
9	1.446.217,013

Fuente: Elaboración propia.

2. Según la regresión loglineal.

- Error típico de \hat{P}_i .

Tabla 38: Error típico por año de ocurrencia siguiendo la regresión loglineal.

	$se(\hat{P}_i)$
1	0
2	76.713,74522
3	156.354,6473
4	161.917,9924
5	234.302,9445
6	819.893,8208

7	944.865,3934
8	1.150.716,999
9	1.443.155,041

Fuente: Elaboración propia.

6. Error cuadrático medio y el error típico de la reserva.

El error cuadrático medio de toda la reserva viene dado por:

$$\widehat{MSE}(\hat{P}) = \sum_{i=2}^n \left\{ \widehat{MSE}(P_i) + \hat{D}_{i,n} \left(\sum_{j=i+1}^n \hat{D}_{j,n} \right) \sum_{k=n-i+1}^{n-1} \frac{2\hat{\sigma}_k^2 / \hat{f}_k^2}{\sum_{q=1}^{n-k} D_{q,k}} \right\}$$

Este se divide en riesgo de proceso y riesgo paramétrico.

$$\widehat{MSE}(\hat{P}) = \sum_{i=2}^n \widehat{MSE}(P_i) + \sum_{i=2}^n \hat{D}_{i,n} \left(\sum_{j=i+1}^n \hat{D}_{j,n} \right) \sum_{k=n-i+1}^{n-1} \frac{2\hat{\sigma}_k^2 / \hat{f}_k^2}{\sum_{q=1}^{n-k} D_{q,k}}$$

Este proceso lo podemos dividir para cada año de ocurrencia de forma que podemos observar el riesgo aportado por los siniestros ocurridos en un determinado año al total.

1. Según la propuesta de Mack

Tabla 39: Aportación por año de ocurrencia al error cuadrático medio de la reserva siguiendo la propuesta de Mack.

Año	<i>(Error de proceso)²</i>	<i>(Error de paràmetro)²</i>	Aportación al total
2003	0	0	0
2004	16.456.552.919,0695	105.560.290.700,723	122.016.843.619,792
2005	37.586.739.072,8695	159.787.431.270,997	197.374.170.343,867
2006	34.889.917.307,3675	123.554.553.460,945	158.444.470.768,312
2007	65.393.837.929,3219	145.443.803.044,052	210.837.640.973,374
2008	682.281.488.616,933	661.583.298.776,468	1.343.864.787.393,4
2009	901.209.746.739,059	570.074.357.245,901	1.471.284.103.984,96
2010	1.334.681.706.080,43	370.168.086.222,731	1.704.849.792.303,16
2011	2.091.543.649.673,45	0	2.091.543.649.673,45

Fuente: Elaboración propia.

2. Según la regresión loglineal.

Tabla 40: Aportación por año de ocurrencia al error cuadrático medio de la reserva siguiendo la regresión loglineal.

Año	<i>(Error de proceso)²</i>	<i>(Error de paràmetro)²</i>	Aportación al total
2003	0	0	0
2004	5.884.998.705,5635	37.749.228.358,3154	43.634.227.063,8788
2005	24.446.775.728,2748	94.832.528.014,6290	119.279.303.742,904
2006	26.217.436.261,9558	82.200.672.634,6217	108.418.108.896,578
2007	54.897.869.806,2093	108.288.146.033,6310	163.186.015.839,84
2008	672.225.877.413,311	634.906.554.750,9990	1.307.132.432.164,31
2009	892.770.611.605,956	553.823.650.441,8180	1.446.594.262.047,77
2010	1.324.149.610.726,60	361.271.993.543,5490	1.685.421.604.270,15
2011	2.082.696.473.071,64	0	2.082.696.473.071,64

Fuente: Elaboración propia.

El error típico del total de la reserva es igual a la raíz cuadrada del error cuadrático medio del total de la reserva:

$$se(\hat{P}) = \sqrt{\overline{MSE}(\hat{P})} = \sqrt{\sum_{i=2}^n \left\{ \overline{MSE}(P_i) + \hat{D}_{i,n} \left(\sum_{j=i+1}^n \hat{D}_{j,n} \right) \sum_{k=n-i+1}^{n-1} \frac{2\hat{\sigma}_k^2 / \hat{f}_k^2}{\sum_{q=1}^{n-k} D_{q,k}} \right\}}$$

En base a esto, el error cuadrático medio y el error típico del total de la reserva sería:

1. Según la propuesta de Mack:

$$\overline{MSE}(\hat{P}) = 7.300.215.459.060,32$$

$$se(\hat{P}) = 2.701.891,089$$

2. Según la regresión loglineal:

$$\overline{MSE}(\hat{P}) = 6.956.362.427.097,0700$$

$$se(\hat{P}) = 2.637.491,692$$

Toda esta información la podemos ver resumida en los siguientes cuadros:

1. Según la propuesta de Mack:

Tabla 41: Resumen de los datos obtenidos con la distribución libre de Mack siguiendo la propuesta de Mack para la varianza de $\hat{\sigma}_{n-1}^2$.

Años de Ocurrencia	Latest	Dev.To.Date	Ultimate	IBNR	Mack.S.E.	CV(IBNR)
2003	25.600.148	1,000	25.600.148	0	0	NaN
2004	23.245.375	0,998	23.300.551	55.176	128.283	2,325
2005	26.764.421	0,993	26.950.158	185.737	193.873	1,044
2006	20.108.031	0,988	20.344.624	236.593	186.788	0,789
2007	22.595.511	0,974	23.187.540	592.029	255.722	0,432
2008	21.237.913	0,943	22.521.962	1.284.049	826.003	0,643
2009	17.988.122	0,901	19.963.026	1.974.904	949.321	0,481
2010	18.566.037	0,799	23.241.599	4.675.562	1.155.284	0,247
2011	9.358.683	0,454	20.627.458	11.268.775	1.446.217	0,128

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

Tabla 42: Resumen de los totales obtenidos con la distribución libre de Mack siguiendo la propuesta de Mack para la varianza de $\hat{\sigma}_{n-1}^2$.

	Totals
Latest	185.464.241
Dev.	0,90
Ultimate	205.737.065,47
IBNR	20.272.824,47
Mack, S.E.	2.701.890,84
CV (IBNR)	0,13

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

2. Según la regresión loglineal.

Tabla 43: Resumen de los datos obtenidos con la distribución libre de Mack siguiendo la regresión loglineal para la varianza de $\hat{\sigma}_{n-1}^2$

Años de Ocurrencia	Latest	Dev.To.Date	Ultimate	IBNR	Mack.S.E.	CV(IBNR)
2003	25.600.148	1,000	25.600.148	0	0	NaN
2004	23.245.375	0,998	23.300.551	55.176	76.714	1.390
2005	26.764.421	0,993	26.950.158	185.737	156.355	0.842
2006	20.108.031	0,988	20.344.624	236.593	161.918	0,684
2007	22.595.511	0,974	23.187.540	592.029	234.303	0,396
2008	21.237.913	0,943	22.521.962	1.284.049	819.894	0,639
2009	17.988.122	0,901	19.963.026	1.974.904	944.865	0,478
2010	18.566.037	0,799	23.241.599	4.675.562	1.150.717	0,246
2011	9.358.683	0,454	20.627.458	11.268.775	1.443.155	0,128

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

Tabla 44: Resumen de los totales obtenidos con la distribución libre de Mack siguiendo la regresión loglineal para la varianza de $\hat{\sigma}_{n-1}^2$.

	Totals
Latest	185.464.241
Dev.	0,90
Ultimate	205.737.065,47
IBNR	20.272.824,47
Mack, S.E.	2.637.491,39
CV (IBNR)	0,13

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

Los datos que representa cada columna en los cuadros clasificados por año de ocurrencia son los siguientes:

- Latest: representa los pagos acumulados realizados de los siniestros ocurridos en los diferentes años de ocurrencia hasta el momento actual.

- Dev. To. Date: representa el porcentaje que representa los pagos por siniestros ocurridos en un determinado año realizados hasta el momento respecto a la estimación total.
- Ultimate: representa las estimaciones de pagos por siniestros hasta el n año de desarrollo para los siniestros ocurridos en diferentes años.
- IBNR: representa los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados, es decir, los pagos pendientes por siniestros ocurridos que no se han liquidado. La suma de todos los IBNR determina las provisiones técnicas a constituir.
- Mack.S.E.: representa el error típico por cada año de ocurrencia $se(\hat{P}_i)$, siendo este igual al error de proceso. Los totales del Mack S.E., al contrario del resto de datos del cuadro, representan la suma del error de proceso y de parámetro, y no la suma de los Mack. S.E. de los distintos años de ocurrencia.
- CV(IBNR): representa el coeficiente de variación de los siniestros ocurridos pero no notificados.

Los datos representados en los totales representan:

- Latest: representa el total de pagos realizados hasta el momento por los siniestros ocurridos en el periodo estudiado.
- Dev.To.Date: sería el porcentaje que representa el total de pagos por siniestros realizados hasta el momento respecto al total estimado.

- Ultimate: representa el total de pagos estimados para los siniestros ocurridos en el periodo estimado.
- IBNR: representa las provisiones técnicas previstas para el periodo estimado.
- Mack.S.E.: representa el error típico de la reserva total $se(\hat{P})$, compuesto por el error de proceso y el error de parámetro.
- CV(IBNR): representa el coeficiente de variación del total de provisiones técnicas previstas.

En base a esto, pasamos a analizar los resultados obtenidos:

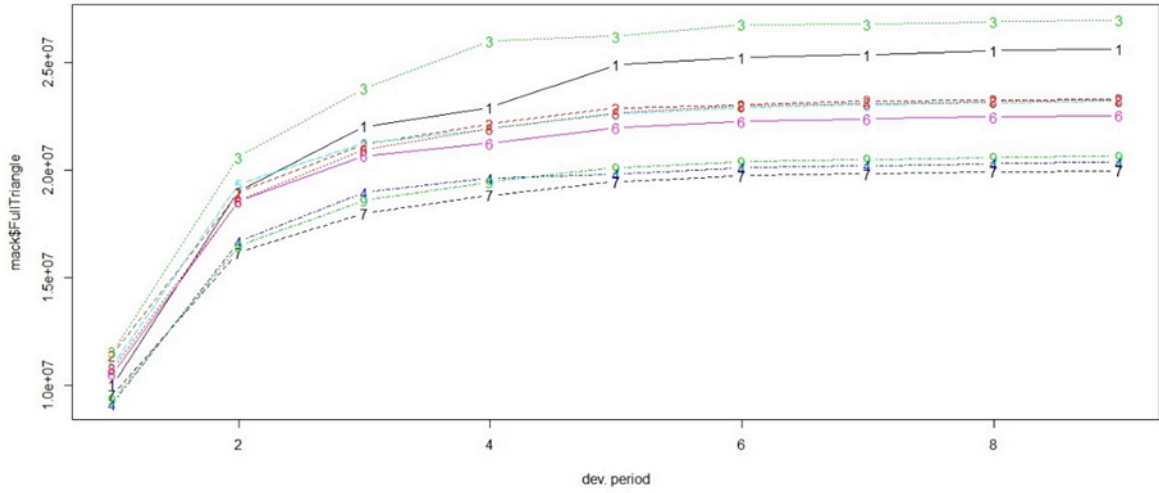
Las estimaciones de las provisiones técnicas son las mismas que las obtenidas con el Chain Ladder debido a que utilizan la misma metodología variando la estimación del error, en la que el error en el caso anterior es obtenido mediante la técnica Bootstrap.

El error obtenido siguiendo las dos formas propuestas es muy similar siendo la diferencia de 64.399,397 representando este un 2,44% sobre el valor estimado mediante la log lineal, siendo este el inferior, por lo que podemos determinar que no es muy relevante en la estimación del riesgo el uso de un método u otro para obtener $\hat{\sigma}_{n-1}^2$.

Estos datos podemos verlos gráficamente:

- Estimaciones totales:

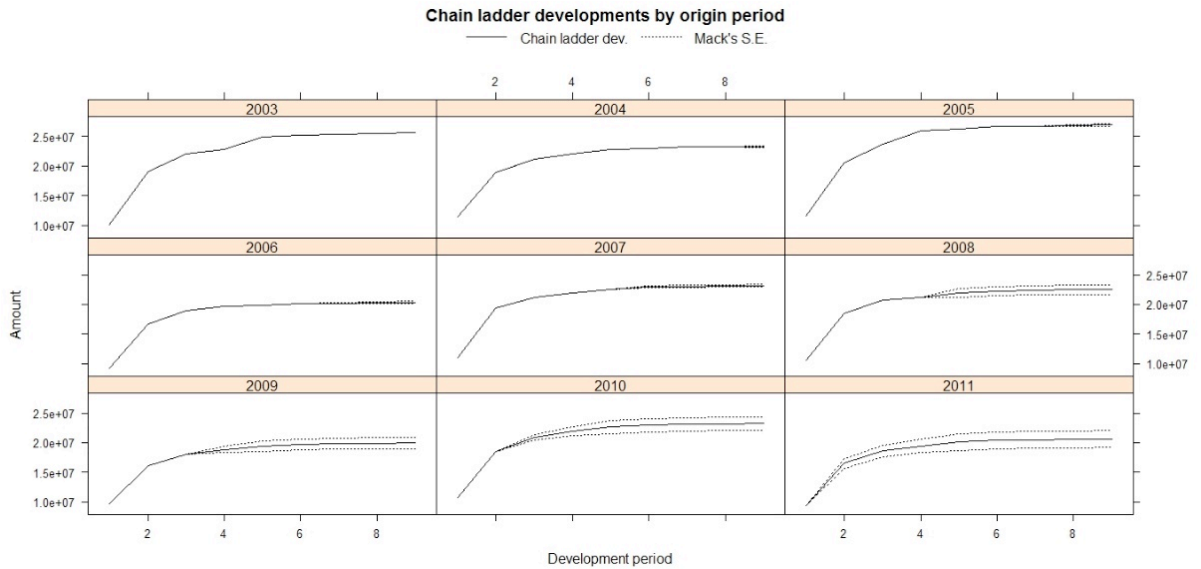
Gráfica 15: Representación pagos por siniestros totales por año de ocurrencia.



Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

- Estimaciones totales por año de ocurrencia incluyendo el error:

Gráfica 16: Representación de los pagos por siniestros por año de ocurrencia incluyendo el margen de riesgo.



Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos con R.

La estimación del error obtenida mediante la aplicación de la distribución libre de Mack es superior a la obtenida con la metodología Chain Ladder junto con Bootstrap, no obstante, el problema del uso de la distribución libre de Mack en la estimación de provisiones técnicas en una compañía aseguradora es su limitación, debido a que no es posible su aplicación cuando se producen reservas negativas, hecho muy frecuente, por ello, nos decantamos por la utilización del Bootstrap sobre el Chain Ladder como método de estimación del error, además esta metodología nos permite una mayor simplicidad en los cálculos y la posibilidad de trabajar con intervalos de confianza.

2.4 CUANTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DEL RIESGO DE LA RESERVA DE SINIESTROS.

Para la determinación de los factores o parámetros que van a cuantificar el riesgo de reserva, hemos seleccionado los métodos establecidos en el REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2015/35 DE LA COMISIÓN del 10 de octubre de 2014 por el que se completa la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II), esta decisión la hemos tomado, debido a que en dicha normativa, se establece un procedimiento para la autorización de parámetros específicos a las entidades aseguradoras, en concreto en la sección 12 de dicho Reglamento (UE) 2015/35, artículos 218 y siguientes, donde se establece tanto los requisitos en los datos a utilizar, como la metodología a aplicar, y proceso de autorización a las entidades para poder aplicar dichos parámetros específicos, será por tanto la única aceptada dentro de la Unión Europea y deberá ser autorizada por un supervisor.

En concreto, en su anexo XVII enuncia la metodología normalizada, aplicando un coeficiente de credibilidad en función de la calidad de los datos utilizados.

A continuación pasamos a exponer los métodos contenidos en dicho Reglamento Delegado, en los cuales nos basaremos para obtener el factor para la determinación del riesgo de reserva.

2.4.1 MÉTODO 1 DEL RIESGO DE RESERVA

- **Datos y requisitos de los datos específicos del método:**

- 1) Los datos para la estimación de la desviación típica específica de la empresa correspondiente al riesgo de reserva del seguro no vida consisten en lo siguiente:
 - a) La suma de la mejor estimación, al final del ejercicio, de la provisión para siniestros que estaban pendientes en el segmento s al comienzo del ejercicio y los pagos efectuados durante el ejercicio por siniestros que estaban pendientes en el segmento s al comienzo del ejercicio.
 - b) La mejor estimación de la provisión para siniestros del segmento s al comienzo del ejercicio.

- 2) Los requisitos de los datos específicos son los siguientes:
 - a) Los datos representarán el riesgo de reserva al que la empresa está expuesta durante los doce meses siguientes.
 - b) Los datos estarán disponibles durante, como mínimo, los cinco ejercicios siguientes.
 - c) Los datos se ajustan por importes recuperables de contratos de reaseguro y entidades con cometido especial que sean coherentes con los contratos de reaseguro y las entidades con cometido especial existentes para dar cobertura durante los doce meses siguientes.
 - d) Los datos incluirán los gastos en que se incurra por cumplimiento de las obligaciones de seguro y reaseguro.

- e) Los datos se ajustarán a las siguientes hipótesis:
- a. El importe a que se refiere el apartado 1, letra a), en ese determinado segmento y ejercicio es linealmente proporcional en lo referente a la mejor estimación de la provisión para siniestros pendientes de ese determinado segmento y ejercicio.
 - b. La varianza de la cantidad a que se refiere el apartado 1, letra a), en un determinado segmento y ejercicio, es cuadrática en lo referente a la mejor estimación de la provisión para siniestros pendientes de un determinado segmento y ejercicio.
 - c. La cantidad a la que se refiere el apartado 1, letra a), sigue una distribución logarítmica normal.
 - d. La estimación de máxima verosimilitud es apropiada.

- **Especificación del método:**

3) A efectos de los apartados 4 a 6 se aplicará la siguiente notación:

- a) Los ejercicios se representarán con números consecutivos comenzando por 1 para el primer ejercicio del que se disponga de datos.
- b) T representará el último ejercicio del que se disponga de datos.

- c) En relación con todos los ejercicios, la cantidad a que se refiere el apartado 1, letra a), en el segmento s en un determinado ejercicio t se representará con y_t .
 - d) En relación con todos los ejercicios, la mejor estimación de la provisión para siniestros pendientes del segmento s en un determinado ejercicio t se representará con x_t .
- 4) La desviación típica específica de la empresa del riesgo de reserva de los seguros no vida del segmento s será igual a lo siguiente:

$$\sigma_{(res,s,USP)} = c \cdot \hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) \cdot \sqrt{\frac{T+1}{T-1}} + (1-c) \cdot \sigma_{(res,s)}$$

Donde:

- a) c representará el factor de credibilidad contemplado en el artículo 7.
- b) $\hat{\sigma}$ representará la función de desviación típica contemplada en el apartado 5.
- c) $\hat{\delta}$ representará el parámetro combinatorio contemplado en el apartado 6.
- d) $\hat{\gamma}$ representará el coeficiente de variación logarítmica contemplado en el apartado 6.
- e) $\sigma_{(prem,s)}$ representará el parámetro general que debe sustituirse por el parámetro específico de la empresa.

- 5) La función de desviación típica será igual a la siguiente función de dos variables:

$$\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) = \exp\left(\hat{\gamma} + \frac{\frac{1}{2}T + \sum_{t=1}^T \pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) \cdot \ln\left(\frac{y_t}{x_t}\right)}{\sum_{t=1}^T \pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})}\right)$$

Donde:

- $\hat{\delta}$ y $\hat{\gamma}$ se definen en las letras c) y d) del apartado 4.
- \exp representará la función exponencial.
- \ln representará el logaritmo natural.
- π_t representará la siguiente función de dos variables:

$$\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) = \frac{1}{\ln\left(1 + \left((1 - \hat{\delta}) \cdot \frac{\bar{x}}{x_t} + \hat{\delta}\right) \cdot e^{2 \cdot \hat{\gamma}}\right)}$$

Donde:

- $\hat{\delta}$ y $\hat{\gamma}$ se definen en las letras c) y d) del apartado 4.
- \bar{x} representará la siguiente cantidad:

$$\bar{x} = \frac{1}{T} \cdot \sum_{t=1}^T x_t$$

- 6) El parámetro combinatorio y el coeficiente de variación logarítmica corresponderán a los valores $\hat{\delta}$ y $\hat{\gamma}$ respectivamente, que serán como mínimo iguales a:

$$\sum_{t=1}^T \pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) \left(\ln\left(\frac{y_t}{x_t}\right) + \frac{1}{2 \cdot \pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})} + \hat{\gamma} - \ln(\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma})) \right)^2 - \sum_{t=1}^T \ln(\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma}))$$

Donde:

- a) \ln representará el logaritmo natural.
- b) π_t representará la función contemplada en la letra c) del apartado 5.
- c) $\hat{\sigma}$ representará la función de la desviación típica contemplada en el apartado 5.
- d) \bar{x} representará la siguiente cantidad:

$$\bar{x} = \frac{1}{T} \cdot \sum_{t=1}^T x_t$$

Para la determinación de la cantidad mínima, no se tomarán en consideración valores del parámetro combinatorio inferiores a cero o superiores a 1.

3. MÉTODO 2 DEL RIESGO DE RESERVA:

- **Datos y requisitos de datos específicos del método.**
- 1) Los datos para la estimación de la desviación típica de la empresa en relación con la desviación del riesgo de reserva del seguro no vida del segmento s consistirán en los importes de los pagos acumulados por siniestros de seguros o reaseguros del segmento s (importes de siniestros acumulados), por separado para cada año de accidente y año de evolución de los pagos.
 - 2) Serán de aplicación los siguientes requisitos de datos específicos del método:
 - a) Los datos serán representativos del riesgo de reserva al que la empresa de seguros o de reaseguros esté expuesta durante los doce meses siguientes.
 - b) Los datos estarán disponibles durante al menos cinco años de accidente consecutivos.
 - c) En relación con el primer año de accidente, los datos estarán disponibles durante al menos cinco años de evolución consecutivos.
 - d) En relación con el primer año de accidente, el importe de los pagos acumulados del último año de evolución para el que se disponga de datos incluirá todos los pagos del año de accidente, excepto un importe no significativo.

- e) El número de años de accidente consecutivos en relación con los cuales no se disponga de datos no será inferior al número de años de evolución consecutivos del primer año de accidente para el que se disponga de datos.
- f) Los importes de los siniestros acumulados se ajustarán por los importes recuperables de contratos de reaseguro y las entidades con cometido especial existentes para dar cobertura durante los doce meses siguientes.
- g) Los importes de los siniestros acumulados incluirán los gastos en que se incurra por cumplimiento de las obligaciones de seguro y reaseguro.
- h) Los datos serán coherentes con las siguientes hipótesis sobre la naturaleza estocástica de los importes de los siniestros acumulados:
 - a. Los importes de los siniestros acumulados para distintos años de accidente son estocásticamente independientes unos de otros.
 - b. En relación con todos los años de accidente, los importes incrementales implícitos de siniestros son estocásticamente independientes.
 - c. En relación con todos los años de accidente, el valor esperado del importe de los siniestros acumulados durante un año de evolución es proporcional al importe de los siniestros acumulados del año de evolución precedente.

- d. En relación con todos los años de accidente, la varianza del importe de los siniestros acumulados durante un año de evolución es proporcional al importe de los siniestros acumulados del año de evolución precedente.

A efectos de lo previsto en la letra d), se considerará que el importe de un pago es significativo cuando ignorarlo en el cálculo del parámetro específico de la empresa pueda influir en la toma de decisiones o el criterio de los usuarios de dicha información, incluidas las autoridades de supervisión.

- **Especificación del método.**

- 3) A los efectos de los apartados 4 y 5, se aplicará la siguiente notación:
- a) Los años de accidente se representarán con números consecutivos comenzando con 0 para el primer año de accidente del que se disponga de datos.
 - b) I representará el último año de accidente del que se disponga de datos.
 - c) J representará el último año de evolución del primer año de accidente del que se disponga de datos.
 - d) $C_{(i,j)}$ representará los siniestros acumulados del año de accidente i y el año de evolución j .

- 4) La desviación típica específica de la empresa en lo que respecta al riesgo de reserva del seguro no vida del segmento s será igual a lo siguiente:

$$\sigma_{(res,s,USP)} = c \cdot \frac{\sqrt{MSEP}}{\sum_{i=0}^I (\hat{C}_{(i,j)} - C_{(i,I-i)})} + (1 - c) \cdot \sigma_{(res,s)}$$

Donde:

- a) c representará el factor de credibilidad contemplado en la sección G.
- b) MSEPE representará el error cuadrático medio de predicción según se especifica en el apartado 5.
- c) En relación con todos los años de accidente y años de evolución, $\hat{C}_{(i,j)}$ representará la estimación de los siniestros acumulados de un determinado año de accidente i y un determinado año de evolución j , y se definirá como sigue:

$$\hat{C}_{(i,j)} = C_{(i,I-i)} \hat{f}_{I-i} \dots \hat{f}_{j-2} \hat{f}_{j-1}$$

Donde, para todos los años de evolución, \hat{f}_j representará la estimación del factor de evolución del año específico j , y se definirá como sigue:

$$\hat{f}_j = \frac{\sum_{i=0}^{I-j-1} C_{(i,j+1)}}{\sum_{i=0}^{I-j-1} C_{(i,j)}}$$

- d) $\sigma_{(res,s)}$ representará el parámetro general del riesgo de reserva del seguro no vida del segmento s.

5) El error medio de predicción al cuadrado será igual a lo siguiente:

$$MSEP = \sum_{i=1}^I \hat{C}_{(i,J)}^2 \cdot \frac{\hat{Q}_{I-i}}{C_{(i,I-i)}} + \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^I \hat{C}_{(i,J)} \cdot \hat{C}_{(k,J)} \cdot \left(\frac{\hat{Q}_{I-i}}{S_{I-i}} + \sum_{j=I-i+1}^{J-1} \frac{C_{(I-j,j)}}{S'_j} \cdot \frac{\hat{Q}_j}{S_j} \right)$$

Donde:

- a) En relación con todos los años de accidente y años de evolución, $\hat{C}_{(i,j)}$ representará la estimación de los siniestros acumulados del año de accidente específico i y el año de evolución j, según se contempla en el apartado 4, letra c).
- b) En relación con todos los años de evolución, S_j representará con respecto a un determinado año de evolución j la siguiente cantidad:

$$S_j = \sum_{i=0}^{I-j-1} C_{(i,j)}$$

- c) En relación con todos los años de evolución, S'_j representará con respecto a un determinado año de evolución j la siguiente cantidad:

$$S'_j = \sum_{i=0}^{I-j} C_{(i,j)}$$

- d) En relación con todos los años de evolución, \hat{Q}_j representará con respecto a un determinado año de evolución j la siguiente cantidad:

$$\hat{Q}_j = \frac{\hat{\sigma}_j^2}{\hat{f}_j^2}$$

Donde:

- a) \hat{f}_j representará la estimación del factor de evolución del año de evolución j , según se contempla en el apartado 4, letra c).
- b) $\hat{\sigma}_j^2$ representará la siguiente cantidad:

$$\hat{\sigma}_j^2 = \frac{1}{I-j-1} \sum_{i=0}^{I-i-1} C_{(i,j)} \left(\frac{C_{(i,j+1)}}{C_{(i,j)}} - \hat{f}_j \right)^2 \quad j = 0, \dots, (J-2)$$

$$\hat{\sigma}_j^2 = \min \left(\hat{\sigma}_{j-2}^2, \hat{\sigma}_{j-3}^2, \frac{\hat{\sigma}_{j-2}^4}{\hat{\sigma}_{j-3}^2} \right) \quad j = (J-1)$$

3.1 CUANTIFICACIÓN A PARTIR DEL MÉTODO 1 DEL RIESGO DE RESERVA.

Debido al objeto de nuestro estudio, analizaremos el método 1 del riesgo de reserva debido a que el segundo método propuesto trabaja sobre los errores cuadráticos medio obtenidos con el método Mack y, como ya comentamos, no puede aplicarse cuando existen pagos por siniestros negativos en alguno de los años de desarrollo.

Para aplicar este método, trabajaremos con los pagos totales realizados por siniestros ocurridos en los diferentes años estudiados hasta el momento actual, y_t , y con las estimaciones de pagos totales para los siniestros ocurridos en los diferentes años estudiados, x_t .

Las estimaciones de los pagos totales por siniestros ocurridos en el periodo estudiado, x_t , lo obtendremos con la metodología Bootstrap, y dentro de este, con las estimaciones obtenidas para la media, y percentiles 50,75 y 99,5.

El objetivo de estos métodos estudiados es la obtención del riesgo de reserva, en este caso calculado de la siguiente forma:

$$\sigma_{(res,s,USP)} = c \cdot \hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) \cdot \sqrt{\frac{T+1}{T-1}} + (1-c) \cdot \sigma_{(res,s)}$$

En esta fórmula, conocemos el factor de credibilidad que está contemplado en el artículo 7 de la normativa, la T, que establece el total de años estudiados y $\sigma_{(res,s)}$ que representa el parámetro específico de la empresa.

Por tanto desconocemos $\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$, el cual es la desviación típica de $\hat{\delta}$ que es el parámetro combinatorio y de $\hat{\gamma}$ que es el coeficiente de variación logarítmica, y que se obtiene de la siguiente forma:

$$\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) = \exp\left(\hat{\gamma} + \frac{\frac{1}{2}T + \sum_{t=1}^T \pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) \cdot \ln\left(\frac{y_t}{x_t}\right)}{\sum_{t=1}^T \pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})}\right)$$

En dicha fórmula desconocemos $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$ que es la función de las variables $\hat{\delta}$ e $\hat{\gamma}$ y cuya fórmula es la siguiente:

$$\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) = \frac{1}{\ln \left(1 + \left((1 - \hat{\delta}) \cdot \frac{\bar{x}}{x_t} + \hat{\delta} \right) \cdot e^{2 \cdot \hat{\gamma}} \right)}$$

Para poder resolver esta fórmula necesitamos conocer los valores del parámetro combinatorio y el coeficiente de variación logarítmica, los cuales obtendremos siguiendo la normativa que establece que estos deben tener un valor como mínimo igual a:

$$\sum_{t=1}^T \pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) \left(\ln \left(\frac{y_t}{x_t} \right) + \frac{1}{2 \cdot \pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})} + \hat{\gamma} - \ln(\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma})) \right)^2 - \sum_{t=1}^T \ln(\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma}))$$

Además establece que el parámetro combinatorio $\hat{\delta}$ debe de tener valores entre 0 y 1.

Por tanto para poder obtener el riesgo específico de la empresa necesitamos resolver un algoritmo estableciendo un valor para el parámetro combinatorio de 1.

- **Cuantificación del riesgo de reserva considerando como mejor estimador la media.**

En primer lugar vamos a realizar un análisis de los resultados del modelo para la cuantificación del riesgo de reserva, considerando para ello el parámetro media de la distribución de probabilidad calculada.

$$\hat{\delta} = 1$$

$$\hat{\gamma} = -2,1649066262$$

La función $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$ nos reportaría los siguientes valores:

Tabla 45: Valores para los diferentes $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$.

	$\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$
1	76,4290151
2	76,4290151
3	76,4290151
4	76,4290151
5	76,4290151
6	76,4290151
7	76,4290151
8	76,4290151
9	76,4290151

Fuente: Elaboración propia.

Con estos valores podemos ya obtener $\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$, es decir, la desviación típica de $\hat{\delta}$ y de $\hat{\gamma}$:

$$\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) = \exp \left(\hat{\gamma} + \frac{\frac{1}{2}T + \sum_{t=1}^T \pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) \cdot \ln \left(\frac{y_t}{x_t} \right)}{\sum_{t=1}^T \pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})} \right)$$

Siendo $\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) = 0,100834058$

Por tanto, la desviación típica específica de la empresa en el segmento s será:

$$\sigma_{(res,s,USP)} = c \cdot \hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) \cdot \sqrt{\frac{T+1}{T-1}} + (1-c) \cdot \sigma_{(res,s)}$$

$$\sigma_{(res,s,USP)} = 0,108533056$$

Por tanto, **determinamos que la desviación típica de la cartera objeto de nuestro estudio correspondiente al riesgo de reserva es de un 10.85%.**

Para analizar la correlación entre las variables, utilizaremos el Coeficiente de Correlación de Pearson.

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x^2 S_y^2}$$

Siendo el resultado:

$$r_{xy} = 0,76$$

Por tanto, podemos determinar que **existe una correlación alta entre las variables objeto de estudio lo que nos determina que es válido para su aplicación este modelo.**

- **Cuantificación del riesgo de reserva considerando como mejor estimador el percentil 50.**

Vamos a realizar un análisis de los resultados del modelo para la cuantificación del riesgo de reserva, considerando para ello el parámetro percentil 50 de la distribución de probabilidad calculada.

Los resultados obtenidos si trabajamos con las estimaciones del percentil 50 obtenidos con Bootstrap serán los siguientes:

$$\hat{\delta} = 1$$

$$\hat{\gamma} = -2,1700168315$$

La función $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$ nos reporta los siguientes valores:

Tabla 46: Valores de $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$ para el percentil 50.

	$\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$
1	77,2090423
2	77,2090423
3	77,2090423
4	77,2090423
5	77,2090423
6	77,2090423
7	77,2090423
8	77,2090423
9	77,2090423

Fuente: Elaboración propia.

Con estos valores podemos ya obtener $\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$:

$$\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) = 0,100881199$$

Por tanto, la desviación típica específica de la empresa en el segmento s será:

$$\sigma_{(res,s,USP)} = 0,108568368$$

La desviación típica de la empresa correspondiente al riesgo de reserva es de un 10,86% utilizando la estimación para la mediana con Bootstrap.

Si utilizamos el coeficiente de correlación de Pearson obtenemos:

$$r_{xy} = 0,76$$

Existe por tanto una alta correlación entre las variables analizadas.

- **Cuantificación del riesgo de reserva considerando como mejor estimador el percentil 75.**

Vamos a realizar un análisis de los resultados del modelo para la cuantificación del riesgo de reserva, considerando para ello el parámetro percentil 75 de la distribución de probabilidad calculada.

Los resultados obtenidos utilizando el percentil 75 serían los siguientes:

$$\hat{\delta} = 1$$

$$\hat{\gamma} = -2,0791044299$$

La función $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$ nos reporta los siguientes valores:

Tabla 47: Valores de $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$ para el percentil 75.

	$\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$
1	64,4555714
2	64,4555714
3	64,4555714
4	64,4555714
5	64,4555714
6	64,4555714
7	64,4555714
8	64,4555714
9	64,4555714

Fuente: Elaboración propia.

Con estos valores obtenemos $\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$:

$$\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) = 0,108317946$$

Con esto podemos obtener la desviación típica específica de la empresa en el segmento s que será:

$$\sigma_{(\text{res},s,\text{USP})} = 0,114139107$$

Por tanto, **la desviación típica del riesgo de reserva utilizando las estimaciones obtenidas con el Bootstrap para el percentil 75 es de un 11,41%.**

Analizamos el coeficiente de correlación de Pearson con el que obtenemos el siguiente resultado:

$$r_{xy} = 0,65$$

Por tanto la correlación existente entre las variables es bastante alta.

- **Quantificación del riesgo de reserva considerando como mejor estimador el percentil 99,5.**

Vamos a realizar un análisis de los resultados del modelo para la cuantificación del riesgo de reserva, considerando para ello el parámetro percentil 99,5 de la distribución de probabilidad calculada.

Si utilizamos el percentil 99,5 obtenemos los siguientes resultados:

$$\hat{\delta} = 1$$

$$\hat{\gamma} = -1,7387158195$$

Con esto, obtenemos $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$ que nos aporta los siguientes resultados:

Tabla 48: Valores de $\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$ para el percentil 99,5.

	$\pi_t(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$
1	32,8739259
2	32,8739259
3	32,8739259
4	32,8739259
5	32,8739259
6	32,8739259
7	32,8739259
8	32,8739259
9	32,8739259

Fuente: Elaboración propia.

Con estos valores obtenemos $\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma})$:

$$\hat{\sigma}(\hat{\delta}, \hat{\gamma}) = 0,142223378$$

La desviación típica específica de la empresa que obtenemos es:

$$\sigma_{(\text{res.s,USP})} = 0,139537082$$

Por tanto, **la desviación típica específica de la empresa en el segmento s es de 13,95% para el percentil 99,5 obtenido con Bootstrap.**

Para analizar la correlación utilizamos el coeficiente de correlación de Pearson que nos da el siguiente resultado:

$$r_{xy} = -0,17$$

En base al resultado determinamos **que no existe apenas correlación siendo además esta negativa por lo que este resultado no concuerda con el objetivo de nuestro trabajo.**

En base a los análisis realizados anteriormente, podemos observar que los estimadores que ofrecen resultados más estables y robustos son por tanto:

- La media.
- El percentil 50
- El percentil 75.

CAPITULO SEXTO

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN EMPÍRICA

1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

En el presente capítulo procederemos a analizar los diferentes resultados aportados por los métodos planteados.

1.1 RESULTADOS MÉTODO 1 – CHAIN LADDER CON ESTIMACIÓN ESTOCÁSTICA BOOTSTRAP.

En este primer apartado vamos a realizar el análisis y presentación de los resultados obtenidos del modelo Chain Ladder con estimación estocástica Bootstrap, podemos observar lo siguiente:

Trabajamos sobre los pagos por siniestros producidos en el periodo 2003-2011. Partimos de unos pagos por siniestros conocidos de 185.464.241 u.m, incrementándose estos pagos con las estimaciones de pagos por siniestros ocurridos pero no notificados obtenidas aplicando los factores de desarrollo obtenidos con el método Chain Ladder.

Aplicado el Chain Ladder obtenemos unas previsiones de pagos por siniestros tanto conocidos como no conocidos de 205.689.792 u.m., por tanto las previsiones de pagos por siniestros ocurridos pero no notificados han ascendido a 20.225.551 u.m., representando estos un 9.83%

aproximadamente del total de las previsiones y un 10.91% aproximadamente sobre los pagos ya realizados.

Debido a que las previsiones realizadas con el método Chain Ladder quedan limitadas a n , es decir, las estimaciones de pagos obtenidas se realizan hasta el n factor de desarrollo siendo n igual al número de años estudiados de siniestros ocurridos, surge la necesidad de realizar una estimación de los pagos totales la cual obtenemos aplicando la extrapolación loglineal, con la cual, obtenemos un nuevo factor denominado tasa ultimate el cuál aplicamos para obtener los pagos por siniestros totales previstos.

Una vez aplicada la tasa ultimate, obtenemos una previsión de pagos de 205.869.940 u.m., por lo que las estimaciones de pagos por siniestros ocurridos pero no notificados ascienden a 20.405.699 u.m., por tanto se incrementarían un 0.0646%, por lo que es un incremento mínimo, lo que nos permite trabajar sobre el 9º año de desarrollo.

La estructura de los pagos se trata siguiendo una exponencial con incrementos cada vez más reducidos, sin ninguna perturbación, lo que hubiese indicado recobros por parte de la compañía. Además, cabe destacar que el 80% de los pagos se producen en los dos primeros años.

El método Chain Ladder, cómo método determinista que es, no nos permite en si obtener el error de predicción y la posibilidad de trabajar con intervalos de confianza, por lo que la propuesta para ello es la aplicación de la técnica Bootstrap que nos permite obtener el error de predicción y nos permite estimar intervalos mediante el remuestreo de los datos de forma aleatoria con reemplazamiento, esto lo realiza sobre los residuales de Pearson.

Estos residuales, obtenidos mediante la diferencia de un nuevo triángulo y el triángulo incremental original, son remuestreados aleatoriamente mediante muestreo con reemplazamiento.

Este nuevo triángulo es construido a partir de los factores de desarrollo aplicado de atrás hacia adelante sobre el triángulo original acumulado y posteriormente desacumulándolo.

Esta aleatoriedad es la que provoca que los resultados de este método difieran en cada aplicación.

Estos residuales se suman al triángulo incremental para posteriormente acumularlo y, aplicando el método Chain Ladder, obtenemos los nuevos factores de desarrollo con los que obtenemos una nueva predicción.

El proceso anteriormente citado lo repetimos un número suficientemente elevado de veces para poder obtener así el error de predicción. En nuestro caso hemos remuestreado 10.000 veces para poder ser bastante precisos en la obtención de dicho error y así poder determinar las provisiones a constituir más adecuadas acorde a la normativa y a la búsqueda de la eficiencia.

Este método lo podemos seguir estableciendo previamente la distribución de los datos, siendo las que hemos analizado la Poisson con sobredispersión y la distribución Gamma. A pesar de la similitud en los resultados, la distribución elegida para utilizar en la aplicación de este método es la distribución Poisson con sobredispersión debido a que esta nos reporta unos resultados más similares a los obtenidos con la técnica Chain Ladder y a su menor error.

Las estimaciones totales aplicando el método Bootstrap son de 205.706.486 u.m. siendo estas muy similares a las obtenidas aplicando el Chain Ladder, variando en un 0,008% respecto a este, siendo además las previsiones de pagos por siniestros ocurridos pero no notificados de 20.242.245 u.m.

La desviación producida por los siniestros ocurridos pero no notificados es de 3.049.652 u.m. representando esta un 15,06% sobre el total de pagos por siniestros ocurridos pero no notificados.

Siguiendo la función de distribución los valores obtenidos para los percentiles son:

Tabla 49: Valores de los diferentes percentiles obtenidos con el Bootstrap.

	50%	75%	95%	99%	99,5%
P	20.053.406	22.079.681	25.625.919	28.752.667	29.732.708

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar la similitud entre el valor obtenido para la media del total y el de la mediana lo que indica que dicha distribución no se encuentra muy alejada de una distribución normal.

Este método presenta la gran ventaja de que permite trabajar con pagos por siniestros negativos, es decir, con situaciones de recobro, además de su flexibilidad a la hora de trabajar con él, permitiendo aumentar la confianza y la variabilidad y viceversa según se requiera, obteniendo intervalos de confianza con los que trabajar de forma más eficiente.

1.2 RESULTADOS MÉTODO 2 – CHAIN LADDER CON ESTIMACIÓN ESTOCÁSTICA MACK.

El método Mack realiza las estimaciones de pagos igual que el Chain Ladder, variando la estimación del error que anteriormente obtuvimos con la técnica Bootstrap, introduciendo la metodología estocástica.

La estimación del error lo realiza mediante la obtención del error cuadrático medio, el cuál como comprobamos es igual a la suma del error de proceso y el error de estimación, y para el cual, podemos obtener dos resultados según las estimaciones de la varianza para cada año de desarrollo.

Siguiendo la fórmula general para la obtención de las varianzas por año de desarrollo obtenemos todas las varianzas excepto la última, siendo estas respectivamente:

Tabla 50: Diferentes varianzas para cada año de desarrollo.

	1	2	3	4	5	6	7
$\hat{\sigma}_j^2$	56.919,691	9.968,0929	13.356,7	23.301,516	829,13877	370,62101	410,71921

Fuente: Elaboración propia.

Siendo estas cada vez más reducidas con los años.

Para la obtención de la última varianza por año de desarrollo se proponen dos métodos por un lado la extrapolación de este teniendo en cuenta que sigue un decrecimiento exponencial con el que obtenemos una varianza del último año de 370,62, y por otro lado utilizando la regresión loglineal con la que obtenemos dicha varianza con un valor de 132,54.

Con estos valores obtenemos el error cuadrático medio de los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados por cada año de ocurrencia, obteniendo dos grupos de valores según las varianzas por año de desarrollo utilizadas.

A través de los errores cuadráticos medios de los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados por cada año de ocurrencia podemos obtener los errores típicos de los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados por cada año de ocurrencia.

Con estos datos conseguimos obtener el error cuadrático medio de la reserva y el error típico de esta.

Siguiendo la extrapolación para la obtención de la varianza última por año de ocurrencia el error cuadrático medio para la reserva es de 7.300.215.549.060,32, mientras que si utilizamos la regresión loglineal para la obtención de dicha varianza el resultado que obtenemos para la obtención del error cuadrático medio es de 6.956.362.427.097,07 siendo este un 4,71% inferior.

Los errores típicos obtenidos siguiendo la extrapolación propuesta por Mack y la regresión loglineal son respectivamente, 2.701.891,089 y 2.637.491,692, siendo este un 2,44% inferior. Estos valores representan respecto a las estimaciones de pagos por siniestros ocurridos pero no notificados un 12,15% y un 11,86% respectivamente.

Tanto los errores típicos como los errores cuadrático medio pueden ser obtenidos mediante la suma de la aportación por año de ocurrencia del error de proceso y el error de parámetro.

La desviación típica obtenida con este método es más sensible a los cambios en años de ocurrencia más recientes además este método es más simplificado debido a que no asume una función de distribución previa sino que utiliza los dos primeros momentos.

En el último método visto, el método establecido por la normativa, el método de los factores de riesgo de reserva hemos trabajado con las estimaciones de pagos por siniestros obtenidas con Bootstrap para la media, y los percentiles 50, 75 y 99,5.

Debido a que los resultados que obtuvimos con el percentil 99,5 no eran adecuados y no seguían una estructura de correlación lógica entre las variables, este no lo analizaremos.

1.3 ANÁLISIS DE LOS FACTORES RESULTANTES PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO DE RESERVA.

En el primer caso analizado, para la media obtenida con Bootstrap hemos obtenido una desviación típica específica para la empresa de un 10,85%, el cual es un buen dato debido a que se encuentra cercano al parámetro establecido por la normativa como parámetro específico de la empresa, por lo que en principio este resultado parece bastante viable. Además hemos analizado la correlación de las variables para determinar si estas siguen un determinado patrón obteniendo una correlación de un 76% con lo cual nos confirma que este método es viable.

El siguiente caso analizado, el de la mediana, nos ha reportado una desviación típica específica para la empresa de un 10,86%, el cuál es muy similar al valor obtenido con la media debido a que las estimaciones obtenidas para estos han sido muy similares lo que nos indica, como ya

comentamos, que la distribución se encuentra muy cercana a la normal. Por tanto, el valor obtenido ha sido adecuado para su utilización en el cálculo del riesgo de reserva. Si analizamos su correlación, observamos que esta nos ha reportado el mismo valor que para la media, un 76%, por tanto, en principio, determinamos que tanto la media como la mediana obtenidas con Bootstrap son buenos estimadores para la obtención del riesgo de reserva con este método.

Por último, con el análisis realizado sobre el percentil 75 hemos obtenido una desviación típica específica para la empresa de 11,41% por tanto, la estimación del riesgo obtenida con este estimador se aleja bastante de los resultados obtenidos con los estimadores anteriores, y más sobre el parámetro específico determinado por la empresa, por tanto no sería conveniente utilizar este estimador teniendo en cuenta los resultados obtenidos con los anteriores. Respecto a la correlación entre las variables, hemos obtenido una correlación de un 65%, no siendo un mal valor pero es inferior a los obtenidos por los anteriores estimadores por lo que nos presenta una menor relación entre las dos variables analizadas.

Analizando los resultados obtenidos con estos métodos podemos determinar que existen pequeñas diferencias en la estimación del riesgo, siendo la estimación mayor la obtenida con el método Chain Ladder con Bootstrap y las menores las obtenidas con la técnica de los factores de riesgo de reserva.

El método Mack tiene como principal inconveniente, al igual que el método 2 del riesgo de reserva establecido en la normativa, la imposibilidad de trabajar con valores de reservas negativos lo que limita enormemente su aplicación práctica debido, a que por lo general, en las empresas existen años de recobros en los que la empresa ingresa

más en concepto de siniestros de lo que gasta por diversas situaciones, situación por la que descartamos este modelo.

El método Bootstrap sobre el Chain Ladder nos aporta submuestras que simulan diversas situaciones posibles con las cuales construye la función de distribución y sobre la cual construye intervalos de confianza, este método además de su fácil aplicación, nos permite trabajar sobre cualquier distribución de datos y diferentes situaciones de pagos por lo cual este método es el mejor para la obtención del riesgo de reserva y para posteriormente, obtener dicho riesgo mediante el método establecido por la normativa a través de sus estimaciones de pagos por siniestros.

Para aplicar esta metodología hemos determinado que los mejores estimadores en base a sus resultados para la obtención de la desviación típica específica de la empresa respecto a las reservas, son la media y la mediana, siendo los valores obtenidos con ambos muy similares. Para decantarnos por un estimador u otro nos basaremos en la importancia que le daremos a los valores obtenidos en las colas, los cuáles, debido a su escasa probabilidad de ocurrencia, preferimos no tenerlos tanto en cuenta, por lo que **nos decantamos por la utilización del percentil 50 obtenido con Bootstrap para el cálculo del riesgo de reserva**, además, en nuestro caso la estructura de los datos no ha presentado unos incrementos o decrementos muy significativos, siguiendo un crecimiento bastante lineal, de ahí la cercanía entre la media y la mediana, pero en caso de trabajar con un triángulo de desarrollo con crecimientos menos uniformes e incluso decrementos, los valores obtenidos en las colas pueden llegar a extremos no solo poco posibles, sino en algunos casos prácticamente imposibles, como la obtención de estimaciones de pagos negativos, para los cuales, a la hora de obtener los estimadores, la media les da el mismo peso que a cualquier otro valor obtenido a diferencia que la mediana, la cual establece el valor central.

PARTE IV

CAPITULO SÉPTIMO

CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

1. CONCLUSIONES A LA INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta el enfoque de “gestión de riesgos” dominado por la incertidumbre, el desconocimiento de los cambios que puedan producirse que puedan llevar a una situación de inestabilidad, nos centramos en la incertidumbre referida a los compromisos contraídos, es decir, los riesgos por servicios asociados a contratos de adquisición de servicios, el riesgo de suscripción, este riesgo es muy característico de las compañías aseguradoras. Dentro del riesgo de suscripción, el riesgo objeto de estudio es el riesgo de insuficiencia de reserva que hace referencia al importe y momento de la liquidación de siniestros en relación con las obligaciones existentes.

Gestionar los riesgos quiere decir que la empresa realiza acciones para controlar la incertidumbre, y estas deben medirse en términos probabilísticos para su mejor tratamiento. Las metodologías para la medición de los riesgos deben de actuar con criterios objetivos, de esta forma surge la normativa Solvencia II que trata de unificar los criterios de funcionamiento de las empresas aseguradoras, y concretamente respecto al objeto de nuestro estudio, establece dichos criterios objetivos para la medición de estos.

La metodología a aplicar debe considerar estándares cuantitativos, realizando estimaciones estadísticas durante un periodo de observación razonable y un intervalo de confianza mínimo, además dicho modelo debe permitir medir posibles escenarios extremos “stress testing” teniendo en cuenta la correlación existente entre las variables. Para su seguimiento, deben de permitir establecer mecanismos de control de la calidad de los

resultados, es decir, deben permitir controlar los escenarios determinados, “back testing”.

El riesgo de reserva objeto de nuestro estudio hace referencia al riesgo asociado a la variabilidad de la reserva hasta la liquidación de todos los siniestros respecto a su valor esperado, y lo cuantificamos mediante la probabilidad de que ésta no sea suficiente para cubrir los siniestros que puedan ocurrir. Este riesgo lo obtenemos a través de técnicas de proyección de siniestros hasta su liquidación total.

Para la estimación de las provisiones técnicas, existe metodología determinista y estocástica, está última sobre la que hemos trabajado y que nos permite estimar la incertidumbre ligada a estos procesos, de forma que permite obtener el error de estimación y el error de proceso, los cuales engloban el error de predicción.

Para obtener el riesgo de la reserva nos centramos en la obtención del Best Estimate, es decir, la mejor estimación, está definida en la Directiva Solvencia II cómo: “la mejor estimación se corresponderá con la media de los flujos de caja futuros ponderados por su probabilidad, teniendo en cuenta el valor temporal del dinero mediante la aplicación de la pertinente estructura temporal de tipos de interés sin riesgo”.

Nosotros nos hemos centrado en el cálculo de la mejor estimación pero no hemos tenido en cuenta el valor temporal del dinero.

Existe diversa metodología para el cálculo del riesgo de la reserva, entre los métodos estocásticos tenemos el método Mack, Bootstrap y el Modelo Lineal Generalizado, los dos primeros los abordamos en nuestro estudio y el Modelo Lineal Generalizado lo abordamos en un caso específico de este que es el Chain Ladder, en la que el Modelo Lineal Generalizado

sigue una distribución Poisson con sobredispersión junto con la función de enlace canónica logarítmica.

Comenzaremos analizando los resultados obtenidos con la metodología Bootstrap, previamente aplicado el Chain Ladder.

El método Chain Ladder proyecta los flujos futuros a través de la información histórica a través de los factores de desarrollo, de forma que los resultados que hemos obtenido de estimación de pagos por siniestros han supuesto un 10,91% superior a los pagos por siniestros que ya conocíamos, y si tenemos cuenta la liquidación de siniestros total, esta cantidad se eleva a 11%, lo que no supone un incremento considerable, además, el incremento respecto al total de pagos estimados hasta el noveno año de desarrollo 0.088% motivo por el cual trabajamos con esta estimación y no con el total hasta su liquidación.

Hay que tener en cuenta en base a los resultados obtenidos, unas provisiones técnicas de 20.225.551 u.m y unas estimaciones de pagos por siniestros de 205.689.792 u.m, que no tenemos una medida del riesgo asumido si utilizamos dichos datos para constituir las provisiones técnicas por ello, entra en juego la metodología Bootstrap con la que obtenemos el error de predicción.

La metodología Bootstrap nos permite extrapolar la relación de dependencia de un número relativamente bajo de observaciones a un número mayor para poder extraer información de interés, en nuestro caso, construir una función de distribución sobre la que obtener el error de predicción y establecer intervalos de confianza sobre los que trabajar. Esto lo realiza mediante una simulación con los factores de desarrollo obtenidos con el Chain Ladder.

El método Bootstrap lo aplicamos determinando una distribución previa, en nuestro caso lo hemos realizado con dos distribuciones, la Poisson con sobredispersión y la Gamma con los cuales hemos obtenido unos resultados muy similares, siendo superior la desviación producida con la distribución Gamma por lo que nos decantamos por la Poisson con sobredispersión, además, está nos reporta valores más similares a los obtenidos con el Chain Ladder. Los resultados de pagos totales por siniestros para la media siguiendo la distribución Poisson con sobredispersión han sido de 205.706.486 u.m siendo un 0,008% superiores a los estimados con el Chain Ladder y sus provisiones de provisiones técnicas según la media han sido de 20.242.245 u.m siendo un 0,0825% superiores estas, en base a estos resultados debemos determinar que los resultados obtenidos para la media con Bootstrap son muy similares a los obtenidos con el Chain Ladder por lo que, en caso de decidir la media para la estimación de las provisiones técnicas resulta prácticamente indiferente la elección de los resultados con uno u otro método. Si tenemos en cuenta su error total observamos que este es de 3.049.652 u.m representado este un 15,06% sobre las estimaciones de provisiones, es decir, de pagos por siniestros ocurridos pero no notificados respecto a la media.

Como ya hemos comentado el Bootstrap nos permite trabajar con una función de distribución empírica por lo que podemos analizar los resultados de diferentes percentiles siendo el de mayor interés por su aplicación práctica el percentil 50, la mediana.

El valor obtenido para la mediana para los pagos por siniestros ocurridos pero no notificados ha sido de 20.053.406 u.m. siendo este inferior al obtenido por la media un 0,94% por tanto podemos determinar que estos valores no se encuentran muy dispersos siempre que la distribución

empírica obtenida tienda a una normal. El error cometido por tanto respecto a está, supone un 15,21%.

El método Mack esta vinculado con el Chain Ladder al igual que el Bootstrap utilizando las mismas estimaciones y a través de los datos obtenidos obtiene el error de predicción utilizando el error cuadrático medio.

Para obtener el error cuadrático medio de la reserva total previamente obtiene las varianzas por año de desarrollo con las que obtiene el error cuadrático medio por año de ocurrencia, el cual su suma no nos reporta el error cuadrático medio total debido a que su correlación es diferente de 0, es decir, los datos estas correlacionados.

Las estimaciones de pagos coinciden con las del Chain Ladder como ya hemos comentado y su error de predicción difiere según la forma de obtener la última varianza por año de desarrollo siendo los valores obtenidos para el error de predicción si seguimos la propuesta de Mack 2.701.891,089 u.m y de 2.637.491,692 u.m siguiendo la regresión loglineal. Estos valores difieren muy poco entre sí y no mucho más respecto al valor obtenido con Bootstrap, siendo un 2,44% superior la estimación obtenida según la propuesta de Mack respecto a la obtenida con la regresión loglineal. Si comparamos estos valores con el obtenido con Bootstrap, observamos una diferencia de un 12,87% y un 15,63% respectivamente.

Por tanto error cometido respecto a la estimación de pagos por siniestros ocurridos pero no notificados supone un 13,35% según la propuesta de Mack y un 13,03% según la regresión loglineal siendo estos valores inferiores a los obtenidos con la técnica Bootstrap.

Hay que tener en cuenta que en este método no obtenemos la distribución de los datos por lo que no podemos obtener la mediana y por consiguiente, su error respecto a esta.

Este método lo deseamos por el motivo de que está muy limitado en su aplicación, solo siendo posible cuando las reservas son positivas y por su limitación al no utilizar una función de distribución que nos permita trabajar con intervalos de confianza.

Acorde al reglamento delegado 2015/35 de la comisión del 10 de octubre de 2014 por el que se complementa la Directiva Europea Solvencia II, debemos obtener el riesgo de reserva según dos métodos que propone, de los cuales hemos desarrollado el primero debido a que el segundo se asemeja al método Mack y nos reporta las consiguientes limitaciones.

Hemos aplicado el método 1 del riesgo de reserva sobre las estimaciones obtenidas con Bootstrap para la estimación de la media, y percentiles 50, 75 y 99,5.

Nos centraremos en analizar los resultados obtenidos para la media y la mediana para establecer el estadístico adecuado.

Utilizando la estimación de la media, hemos obtenido un error respecto a los pagos por siniestros ocurridos pero no liquidados es de 10,85% que cómo ya comentamos se encuentra muy cercano al parámetro establecido por la normativa que es un 10%. Este además presenta una correlación alta según el coeficiente de correlación de Pearson.

Siguiendo las estimaciones obtenidas con la mediana, el resultado es muy similar al obtenido con las estimaciones de la media siendo un 10,86% el error obtenido sobre los pagos por siniestros ocurridos pero no

notificados, y en cuanto a la correlación presenta al igual que para la media un coeficiente de 0,76 por tanto está también altamente correlacionado.

A primera vista ambos resultados son adecuados para la estimación del riesgo de reserva siendo más adecuada la mediana, debido a que tiene menos en cuenta los valores de las colas de la distribución los cuáles en muchos casos son prácticamente imposibles de darse.

En base a todo esto, determinamos que el mejor método para la estimación de los pagos por siniestros futuros es la metodología Bootstrap junto al Chain Ladder con el que obtenemos la mejor estimación para las provisiones técnicas.

Para la estimación del riesgo de reserva utilizamos el método 1 establecido por la normativa y con el cuál obtenemos unos resultados viables utilizando dos estadísticos, que son la media y la mediana de los resultados obtenidos con Bootstrap decantándonos por la mediana como mejor estimador.

2. LIMITACIONES A LA INVESTIGACIÓN

En este apartado vamos a poner de manifiesto las principales limitaciones que nos hemos encontrado, y que hemos tenido que justificar en determinados momentos por la amplitud del tema tratado. Así, una de las grandes limitaciones ha sido la gran cantidad de normativa aplicable al sector asegurador, y que mucha de la literatura tratada tiene ese enfoque, pero que no era el objetivo de esta Tesis Doctoral, por tanto, hemos tenido que ir seleccionando aquella normativa que nos aportaba marcos obligatorios, sobre los cuales teníamos que trabajar para que nuestro trabajo tuviese validez para la industria.

Al respecto de la metodología aplicada, no existe mucha, y la que hemos utilizado deriva del sector financiero, que aunque el sector asegurador está dentro del sector financiero, el comportamiento de ambos es muy diferente.

Por otro lado, y la más importante para el desarrollo de trabajos de este tipo es la disponibilidad de la información, es decir, de los datos. Los datos tratados, sobre los cuales nos hemos basado son datos agregados, con lo que ello conlleva, ya que la industria es bastante reticente a la hora de compartir la información, por ello, no hemos podido construir modelos predictivos en función del comportamiento de las diferentes variables.

3. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En lo que se refiere a recomendaciones y futuras líneas de investigación, como ya se ha venido mencionando en capítulos precedentes, la aplicación de la nueva normativa al sector asegurador, abre un campo muy amplio, y con un nivel de aplicación práctica muy elevado, así la industria aseguradora en estos momentos adolece de estudios empíricos que ayuden a tomar decisiones sobre la gestión de capitales basado en riesgos, y son ellas mismas, las que intentan llevar a cabo estas investigaciones, por tanto, este campo tendría varias líneas de investigación:

1. Análisis de riesgos para la aplicación de modelos internos, este es un campo muy extenso, ya que se podrían analizar modelos parciales o totales. Si nos ceñimos a modelos parciales, podemos centrarnos en modelos que determinen el riesgo de mercado, donde el acceso a información por parte del investigador es más accesible, ya que se podría trabajar con series históricas de datos, de renta fija, renta variable,

inmuebles, tipos de interés, etc, y aplicas metodologías matemáticas de generadores estocásticos que nos ayuden a la determinación del riesgo. Por otro lado, y una de las principales líneas de investigación que podrían solucionar problemas a la industria, serían los trabajos sobre el riesgo de suscripción, como desarrollo de la presente Tesis Doctoral, centrándose en la determinación del riesgo de primas, analizando diferentes ramos, riesgos catastróficos. No hemos hablado del seguro de vida, lo importante que supone para la sociedad la evolución demográfica, el sector de las pensiones, etc, que aunque se está trabajando bastante en este campo, no sobre el enfoque de capital basado en riesgos, modelos de mortalidad, de rescates. No olvidándonos del riesgo operacional, que aprovechando los trabajos aplicados a la banca, podrían utilizarse para desarrollar trabajos de investigación en el sector asegurador.

2. Estudios sobre matrices de correlaciones, estas suponen un ahorro muy importante para la industria, por tanto, cabría trabajar sobre ellas, desde un punto de vista de calidad estadística y calibración.
3. Otra línea muy importante que se abre, y que sobre la que hemos trabajado, es sobre los factores que determinan el riesgo. En esta Tesis lo hemos hecho sobre un ramo en particular, la responsabilidad de automóvil, pero por la idiosincrasia del sector, esta metodología podría no resultar válida para determinados ramos.
4. Aplicación de análisis multivariante, para construir modelos de comportamiento de las diferentes variables que influyen en la determinación de siniestros, que como ya se ha comentado en el punto precedente de limitaciones, hemos trabajado con datos agregados.

PARTE V

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alastair Young, G. (1994): “Bootstrap: More than a Stab in the Dark”. *Statistical Science*. Vol. 9, No. 3 (Aug., 1994), pp. 382-395.
- Albarrán Lozano, I. & Alonso González, P. (2010): “Métodos estocásticos de estimación de las provisiones técnicas en el marco de Solvencia II”. Instituto de Ciencias del Seguro. Fundación Mapfre.
- Alonso, A.M. (2002): “Un ejemplo de Bootstrap suavizado”. *Lecturas Matemáticas*. Volumen 23 (2002), páginas 11-24.
- Alonso, A. M., Peña, D. y Romo, J. (2000): “Forecasting time series with sieve Bootstrap”. *Journal of Statistical Planning and Inference* 100 (2002) 1-11. ELSEVIER.
- Álvarez-Jareño, J.A. & Coll-Serrano, V. (2012): “Estimación de reservas en una compañía aseguradora. Una aplicación en Excel del método Chain-Ladder y Bootstrap”. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa* (14). Páginas 124-136. ISSN: 1886-516X. D.L.: SE-2927-06.
- Athié Natividad, J.M. (2010): “Cálculo del RCS del riesgo de reserva para seguros de no vida bajo Solvencia II”. *Actuarios Trabajando: Revista Mexicana de Investigación Actuarial Aplicada*. Año 3, Num.5, páginas 5-36.

- Badii, M.H., J. Castillo, A. Wong & J. Landeros. 2007b. Precisión de los índices estadísticos: técnicas de jackknife & bootstrap. *Innovaciones de Negocios*. 4(1): 63-78. Badii, M.H., J. Castillos, R. Foroughbakhch & K. Cortez. 2007c. Probability and scientific research. *Daena*, 2(2): 358-369.
- Barnett, G. and Zehnwirth, B. (2007): “ The need for diagnostic assessment of Bootstrap predictive models”. Insureware technical report.
- Barros, R, Martínez Torre-Enciso, I. (2010), La nueva regulación europea de seguros privados: Solvencia II. *Boletín de estudios económicos*, ISSN 0006-6249, Vol. 65, Nº 199, 2010, págs. 75-91.
- Blanco-Morales Limones, P., Guillén Estany, M., Domínguez Fabián, I. (2010). Estudio sobre el sector asegurador en España 2010: los aspectos cualitativos de Solvencia II. Fundación de Estudios Financieros. ISBN: 978-84-614-5847-9.
- Boj del Val, E. y Costa Cor, T. (2014): “Modelo Lineal Generalizado y Cálculo de la Provisión Técnica”. Depósito digital de la Universidad de Barcelona. Colección de objetos y materiales docentes (OMADO).
- Boj del Val, E., Costa Cor, T. & Espejo Fernández, J. (2014): “Provisiones Técnicas por años de calendario mediante el Modelo Lineal Generalizado. Una aplicación con RExcel”.

Anales del Instituto de Actuarios Españoles, 3ª época, 20, 2014/83-116.

- Bollerslev, T., Chou, R.Y. and Kroner, K.F. (1992): “ARCH modeling in finance. A review of the theory and empirical evidence”. *Journal of Econometrics* 52 (1992) 5-59. North-Holland.
- Cao, R., Febrero-Bande, M., González-Manteiga, W., Prada-Sánchez, J.M., and García-Jurado, I. (1997): “Saving computer time in constructing consistent Bootstrap prediction intervals for autorregressive processes”. *Communications in statistics. Simulation and Computation*, 26 (3), 961-978 (1997).
- Carrato, A., Gesmman, M., Murphy, D., Wuthrich, M. and Zhang, W. (2015): “Claims reserving with R: ChainLadder-0.2.0 Package Vignette. March 4, 2015.
- Casas Monsegny, M. y Cepeda Cuervo, E. (2008): “Modelos ARCH, GARCH Y EGARCH: Aplicaciones a series financieras”. *Cuadernos de Economía*. Vol. 27 no. 48 Bogotá Jan. /June 2008.
- Ceballos Hornero, D. (2007): “Una propuesta de indicador de Riesgo Legal. Valoración a través de la Teoría de Seguros del Riesgo Legal”. 2ª Reunión de Investigación en Seguros y Gestión de riesgos. (Riesgo 2007). Castro Urdiales-abril 2007.
- Cid Cid, A.I. & Delgado Manríquez C.A. (2000): Tesis Doctoral, “Siniestralidad en Seguros no vida: Provisión para prestaciones.

Un nuevo método”. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Departamento de Estadística e Investigación Operativa II. (Métodos de Decisión).

- David S. Graham, Michael C. Hayes, Michel Rochette and Hans J. Wagner. Moderator: David Hopewell (2010): “Introduction to Economic Capital”. 2010 Valuation Actuary Symposium. Sept. 20-21, 2010. Session #36 TS. Society of Actuaries.
- De Alba, E. y Bonilla, R. (2002): “Un Modelo Para el Tratamiento de Valores Negativos en el Triángulo de Desarrollo Utilizado en la Estimación de Reservas para SONR”. Transactions of the 27th International Congress of Actuaries, Cancún.
- De Arce, R. (1998): “Introducción a los modelos autorregresivos con Heterocedasticidad condicional (ARCH). I.L. Klein, diciembre, 1998.
- Efron, B. and Tibshirani, R.J.(1993): “ An Introduction to the Bootstrap”. Monographs on Statistics and Applied Probability 57.Chapman &Hall/CRC. ISBN: 0-412-04231-2.
- England, P. (2002): Addendum to “Analytic and Bootstrap estimates of prediction errors in claims reserving”. Insurance: Mathematics and Economics 31. Pages 461-466.

- England, P. and Verrall, R. (1998) : “Analytic and Bootstrap estimates of prediction errors in Claims reserving”. Insurance: Mathematics and Economics 25 (1999). Pages 281-293.
- England, P. and Verrall, R. (2002): “Stochastic Claims Reserving in General Insurance (with discussion)”. British Actuarial Journal 8, III, pages 443-518. 2002.
- Enlace descarga R: <http://cran.r-project.org/bin/windows/base/>
- Especificaciones técnicas - QIS5 Anexo a la solicitud de asesoramiento del CEIOPS en relación con el QIS5. (2010). Documento de trabajo de los Servicios de la Comisión
- Ferri, A. La estructura de dependencia aplicadas a la gestión de riesgos en Solvencia II. Tesis Doctoral Departamento de Econometría, Estadística y Economía Española. Universidad de Barcelona 2013.
- Foro de Reputación Corporativa (FRC), (2013): “Reputación Corporativa. Introducción a la gestión de los riesgos reputacionales”.
- García-Jurado, I., González-Manteiga, W., Prada-Sánchez, J.M., Febrero-Bande, M. and Cao, R. (1995): “Predicting Using Box-Jenkins, Nonparametric, and Bootstrap Techniques”. Technometrics, august 1995, Vol. 37, no. 3.

- Gerigk, E. (2004): “The Mack –Method and Analysis of Variability”. Institute of Actuaries of Australia Accident Compensation Seminar 28 November to 1 December 2004.
- González, M.P. (1992): “Error Cuadrático Medio de Predicción para Modelos Estructurales de Series Temporales”. Estadística Española, Vol. 34, Núm. 129, 1992, págs. 117 a 135.
- González-Quevedo García, Francisco. Método Global de cálculo de la provisión de siniestros pendientes, a partir de la utilización de la información histórica de que se dispone completa e incompleta. Anales del Instituto de Actuarios Españoles. Número 1 año 1994.
- Hart, D.G., Buchanan, R.A., Howe, B.A. (1996). Actuarial Practice of General Insurance, Institute of Actuaries of Australia, Sydney.
- Hernández Velasco, J.(2012): “Riesgo reputacional: Valorar para prevenir; prevenir para actuar”. CEDE, Cuadernos de Gestión del Conocimiento Empresarial. Número 32. Marzo 2012.
- Historical Loss Development Study (1991). Reinsurance Association of America Washington D.C.
- Hossack, I.B., Pollard, J.H., Zehniwirth, B. (1999). Introductory Statistics with applications in General Insurance, second edition, Cambridge University Press.

- J. Linsmeier, Thomas. and D. Pearson, Neil (2000): “Value at Risk”.
- Javier Martín, A. (2000): “Modelos Estadísticos del riesgo y riesgo de los modelos estadísticos. Del error a la imprudencia en la modelización econométrica del riesgo financiero”.Uned.
- Kim, J.H. (2004): “Prediction Intervals for Autoregressive Models Based on Asymptotically Mean-Unbiased Parameter Estimators”. International Journal of Forecasting (2004) Vol. 20, no. 4, pages 85-97. ISSN: 0169-2070.
- Kremer, E. (1982): “IBNR Claims and the two way model of ANOVA”. Scandinavian Actuarial Journal, pages 47-55.
- Kuang, D., Nielsen, B. and Nielsen, J.P. (2013): “The Geometric Chain-Ladder”. Economics Papers form Economics Group, Nuffield College, University of Oxford. No 2013-W11.
- Ledesma, R. (2008): “Introducción al Bootstrap. Desarrollo de un ejemplo acompañado de software de aplicación”. Tutorials in Quantitative Methods for Psychology, 2008, Vol. 4 (2), p. 51-60.
- López Cachero, M., López de la Manzanera Barbero, J. Estadística para Actuarios. Editorial MAPFRE (1996).
- Lozano Aragües, R (2005). Las implicaciones de Solvencia II en el sector asegurador español. ISSN 1579-2498, Nº. 9, 2005, págs. 59-70

- Mack, T. (1991): “A simple parametric model for rating automobile insurance or estimating IBNR Claims reserves”. ASTIN Bulletin 22v(1), 93-109.
- Mack, T. (1993): “Distribution-free calculation of the standard error of Chain Ladder reserve estimates”. Munich Re, Munich, Astin Bulletin, Vol. 23, No 2, 1993.
- Maestro, J.L. (1998) Las provisiones técnicas de primas y siniestros en el nuevo reglamento de seguros. Documento del Inese año 1998.
- McCullough, B. D. (1994): “Bootstrapping Forecast Intervals: An Application to AR(p) Models. Journal of Forecasting, Vol. 13, 51-66 (1994).
- Métodos agregados o estadísticos para la determinación de la provisión para siniestros pendientes. Manual de formación Aserplan. Madrid noviembre 1994.
- Métodos estadísticos de cálculo de la provisión de prestaciones. Manual técnico desarrollado por Manuel Granado.
- Miguel Álvarez, J.A. & Olave Rubio, P. (2000): “Metodología Bootstrap en series heterocedásticas. Una aplicación al IBEX-35. Anales de Economía Aplicada. XIV Reunión ASEPELT-España. Oviedo, 22 y 23 Junio de 2000”.ISBN: 84-699-2357-9.

- Modelos de regresión de Poisson y sobredispersión. Artículos Revista del Instituto de Actuarios Españoles. Año 2002
- Murphy, D. (2007): “Chain Ladder Reserve Risk Estimators”. CAS E-Forum Summer 2007.
- Nieto de Alba, U., Vegas Asensio, J. Matemática Actuarial. Editorial MAPFRE (1994).
- Otero González, L., Durán Santonil, P., Fernández López, S. y Vivel Búa, M. (2011). Estimación de las necesidades de capital mediante modelos internos alternativos al propuesto en Solvencia II (QIS4). Spanish Journal of Finance and Accounting / Revista Española de Financiación y Contabilidad Volume 40, Issue 149
- Pérez Fructuoso, M.J., Análisis de los riesgos de las aseguradoras bajo Solvencia II. Revista Española de Seguros, 2005 ABR-JUN; (122). ISSN 00349488. Pags 245-263
- P.J. Bickel, and A. M. Krieger (1989): “Confidence Bands for a Distribution Function Using the Bootstrap”. Journal of the American Statistical Association. Vol. 84, No. 405 (Mar., 1989), pp. 95-100.
- Package “Chain Ladder”. March 4, 2015. <http://cran.r-project.org/web/packages/ChainLadder/ChainLadder.pdf>

- Pascual, L., Romo, J. and Ruíz, E. (2004): “Bootstrap predictive inference for ARIMA processes”. *Journal of Time Series Analysis*. Volume 2, Issue 4, pages 449-465, July 2004.
- Paule Viáñez, J. (2015): “Método de estimación Bootstrapping para el cálculo de Provisiones Técnicas”.
- Pozuelo de Gracia, E.(2012): “Solvencia II. Capital Económico en Aseguradoras”.AEFIN, 2012.
- Renshaw, A.E., Verrall, R.J. (1994): “A stochastic model underlying the Chain Ladder technique. Proceedings XXV ASTIN Colloquium, Cannes.
- Romera, S (2011). Solvencia II, una oportunidad que conviene aprovechar. Trébol, Economía y Finanzas. Año XVI.
- Rodríguez González, C. (2008). : “Capital Económico. Ejemplo ilustrativo”.Towers Perrin, Tillinghast.
- Taylor, G.C. (2000) *Loss Reserving: An actuarial perspective*, Kluwer Academic Publishers, London.
- Taylor, G. C. and Ashe, F.R. (1983): “Second Moments of Estimates of Outstanding Claims”. *Journal of Econometrics* 23, 37-61.
- Ulloa, G., López, E.y Allende, H.(2012): “Intervalos de Predicción Sieve Bootstrap para datos contaminados en series de tiempo”. X Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística. Córdoba, Argentina. 16 a 19 de Octubre 2012.

- Verrall, R.J. (1994): “Statistical Methods for the Chain Ladder Technique”. Casualty Actuarial Society Forum, Spring 1994, pages 393-446.
- Verrall, R.J. (2004): “Obtaining Predictive Distributions for Reserves Which Incorporate Expert Opinion”. Casualty Actuarial Society Forum, Fall, pages 283-316.
- Wüthrich, M. and Merz, M. (2006): “ Stochastic Claims Reserving Methods in Non-Life Insurance”. Versión 1.1.

REFERENCIAS

NORMATIVAS

- LEY 50/1980, de 8 de octubre, de Contrato de Seguro.
- Ley de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados. Ley 30/1995, de 8 de noviembre.
- Real Decreto 2486/1998, de 20 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados.
- Real Decreto Legislativo 6/2004, de 29 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados.
- LEY 34/2003, de 4 de noviembre, de modificación y adaptación a la normativa comunitaria de la legislación de seguros privados.
- Ley 20/2015, de 14 de julio, de ordenación, supervisión y solvencia de las entidades aseguradoras y reaseguradoras.
- DIRECTIVA 2009/138/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).
- REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2015/35 DE LA COMISIÓN de 10 de octubre de 2014 por el que se completa la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).

- REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) 2015/460 DE LA COMISIÓN de 19 de marzo de 2015 por el que se establecen normas técnicas de ejecución en relación con el procedimiento relativo a la aprobación de un modelo interno de conformidad con la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Directrices sobre la solicitud previa de modelos internos. EIOPA□CP□ 13/011 ES.
- REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) 2015/498 DE LA COMISIÓN de 24 de marzo de 2015 por el que se establecen normas técnicas de ejecución en lo que respecta al procedimiento de aprobación por las autoridades de supervisión del uso de parámetros específicos de la empresa, conforme a la Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

