



Investigación

Con la colaboración de:



Con la colaboración de:



Métodos de asignación
de capital por línea de
negocio en Solvencia II:
un estudio comparativo

ICEA

López de Hoyos, 35 - 28002 Madrid
Teléfono: 91 142 09 00 - Fax: 91 562 35 08
Correo electrónico: icea@icea.es
Internet: www.icea.es

No está permitida la reproducción total o parcial de esta información por ningún medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, ni su tratamiento informático, sin el permiso previo y por escrito de ICEA. Quedan reservados todos los derechos.

© Documento. Mayo 2019 - 5. ICEA
Depósito Legal: M-43432-2007
ISBN: 978-84-09-11879-3

Índice

1. Introducción	07
1.1. Introducción y resumen del propósito principal	07
1.2. Objetivo del estudio	08
1.3. Metodología	08
1.4. Conclusiones y limitaciones	08
2. Asignación de capital: usos y características deseables	11
2.1. Usos de la asignación de capital	12
2.2. Características deseables de un método de asignación de capital	13
3. Métodos de asignación de capital	15
3.1. Métodos propuestos en la literatura	15
3.2. Modelo propuesto	17
4. Fórmula estándar de capital en Solvencia II: riesgo asegurador no vida y salud	21
4.1. Riesgo asegurador no vida	22
4.2. Riesgo asegurador salud	25
5. Resultados	29
5.1. Compañía de seguros no vida: caso base	29
5.2. Compañía de seguros de salud: caso base	35
6. Conclusiones	43
7. Referencias	45
8. Anexo. Otros métodos de asignación de capital	49

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de correlación de riesgos no vida.....	22
Tabla 2. Desviaciones típicas de submódulo de riesgo de prima y de reserva del seguro distinto del de vida	24
Tabla 3. Segmentación de las obligaciones de seguro y reaseguro distinto del de vida	24
Tabla 4. Matriz de correlación entre los segmentos.....	25
Tabla 5. Matriz de correlación de riesgos salud.....	26
Tabla 6. Desviaciones típicas del submódulo de riesgo de prima y de reserva del seguro de salud	26
Tabla 7. Segmentación de las obligaciones de seguro y reaseguro de salud	27
Tabla 8. Matriz de correlación de riesgos salud.....	27
Tabla 9. Volumen de prima y de reserva del seguro distinto del de vida.....	30
Tabla 10. Capital necesario para el riesgo de prima y de reserva del sector asegurador español	30
Tabla 11. Diversificación real al riesgo de la compañía de cada segmento. Propuesta 1	32
Tabla 12. Diversificación real al riesgo de la compañía de cada segmento. Propuesta 2	32
Tabla 13. Beneficio por diversificación. Método propuesto variante 2.....	33
Tabla 14. Capital asignado a cada segmento: seguros no vida	33
Tabla 15. Porcentaje del capital del total sector asignado a cada segmento	34
Tabla 16. Porcentaje del capital final de cada segmento respecto a su capital inicial: seguros no vida	34
Tabla 17. Volumen de prima y de reserva del seguro de salud NSLT	35
Tabla 18. Capital necesario para el riesgo de prima y de reserva del sector asegurador español	36
Tabla 19. Diversificación real al riesgo de la compañía de cada segmento. Propuesta 1	37
Tabla 20. Diversificación real al riesgo de la compañía de cada segmento. Propuesta 2	37
Tabla 21. Beneficio por diversificación. Método propuesto variante 2.....	38
Tabla 22. Capital asignado a cada segmento: seguros de salud NSLT	38
Tabla 23. Porcentaje del capital final de cada segmento respecto a su capital inicial: seguros de salud NSLT	38
Tabla 24. Capital asignado a cada segmento: seguros no vida. Análisis de robustez 1.....	39
Tabla 25. Porcentaje del capital del total sector asignado a cada segmento: seguros no vida,. Análisis de robustez 1 ..	39
Tabla 26. Porcentaje del capital final de cada segmento respecto a su capital inicial. Análisis de robustez 1	40
Tabla 27. Capital asignado a cada segmento: seguros salud NSLT. Análisis de robustez 2.....	40
Tabla 28. Porcentaje del capital del total sector asignado a cada segmento: seguros de salud SNLT. Análisis de robustez 2	40
Tabla 29. Porcentaje del capital final de cada segmento respecto a su capital inicial: seguros de salud NSLT. Análisis de robustez 2	41
Tabla 30 Porcentaje del capital final de cada segmento respecto a su capital inicial: seguros de salud NSLT. Análisis de robustez 2	41

Índice de gráficos

Gráfico 1. Evolución del beneficio por diversificación	19
--	----

Directores:

Luis Otero González

Pablo Durán Santomil

Equipo Coordinador de ICEA:

M^a José Salcedo Cruz, Directora Área de Investigación

M^a del Camino Torrecillas Muelas, Técnico Área de Investigación



Introducción

1. Introducción

1.1. Introducción y resumen del propósito principal

El denominado Pilar I de la normativa Solvencia II regula los requisitos de solvencia de las entidades del sector asegurador europeo. Solvencia II ha establecido un capital regulatorio o de solvencia (SCR) en base a los riesgos reales que se enfrenta la empresa, y un nivel mínimo por debajo del cual las compañías han de ser intervenidas (MCR). Dentro del Pilar II el sistema integral de gestión del riesgo o ERM juega un papel fundamental, bajo el cual una compañía tendría que ser capaz, entre otros, de asignar el capital a las distintas subdivisiones particulares dentro de la empresa con distintos objetivos. De esta forma, el análisis de la adecuación o suficiencia de capital de una aseguradora se ocupa de las necesidades de capital a nivel de la empresa aseguradora, mientras que la asignación del capital se encarga de repartir el capital de la organización entre las subdivisiones de una empresa. Para D'Arcy (2011) la adecuación del capital es el requisito de capital que debe tener una aseguradora para cumplir con una normativa específica (como el caso de Solvencia II), una agencia de calificación o un punto de referencia impuesto por la propia empresa. Por el contrario, para D'Arcy (2011) la asignación del capital de una compañía aseguradora supone localizar el capital total de una compañía en segmentos de negocio (unidades de negocio, líneas, áreas geográficas o productos). La literatura entiende estos segmentos o subdivisiones fundamentalmente como líneas de negocio de la compañía aseguradora, pero desde un punto de vista teórico todas las líneas de negocio tienen acceso a todo el capital disponible de la empresa en caso de que sea necesario, es decir, si se produjera un resultado extremadamente adverso. El principal objetivo de asignar capital a las distintas líneas de negocio es reflejar la probabilidad de que un segmento de negocio necesite utilizar el capital de la compañía y, por tanto, que esta asignación pueda ser utilizada para la toma de decisiones de tarificación, para evaluar la *performance* ajustada al capital invertido de cada línea de negocio, etc.

Existen argumentos contrarios a la asignación del capital a las líneas de negocio, dado que realmente todo el capital de una compañía aseguradora está disponible para asumir las pérdidas ocasionadas en una línea de negocio o segmento de la compañía en caso de que fuera necesario (véase Phillips, Cummins y Allen, 1998 y Gründl y Schmeiser, 2007). Sin embargo, los argumentos a favor es que dicha asignación posibilita la toma de mejores decisiones de tarificación, gestión del riesgo y evaluación del desempeño de una aseguradora (D'Arcy, 2011). Estos procesos se ven afectados por el método de asignación (Boddof, 2009), por lo que resulta interesante realizar un estudio comparado de los resultados que se obtendrían utilizando métodos alternativos. En la literatura se han desarrollado múltiples métodos para la asignación del capital; para una revisión de distintos métodos puede consultarse Albrecht (2006), Balog (2017), Balog *et al.* (2017), Corrigan *et al.* (2009), Cummins (2000), D'Arcy (2011), Eling y Schmeiser (2010), Meyers (2003), Venter (2003, 2009) o Zhang (2008).

A pesar de que las aseguradoras necesitan asignar capital para gestionar el riesgo de forma efectiva, no existe un consenso acerca de qué método es mejor para este propósito y la literatura proporciona un conjunto de diversos métodos generalmente sin aportar una guía práctica para su puesta en práctica. De esta forma, dado que diferentes métodos de asignación de capital a menudo se pueden utilizar por la misma compañía para diferentes aplicaciones, es fundamental entender las diferencias entre los distintos enfoques. Así, una misma compañía podría emplear distintos métodos de asignación de capital en función del propósito con el que este es asignado.

1.2. Objetivo del estudio

El objetivo de este trabajo es proponer distintos métodos de asignación de capital sencillos que pueden ser empleados sin necesidad de un conocimiento de la distribución de pérdidas de las líneas de negocio y de la agregada de la compañía (datos internos) y coherente con la fórmula estándar y las matrices de correlación entre riesgos de Solvencia II. Para alcanzar este objetivo se han revisado distintos métodos de asignación de capital propuestos en la literatura y se propone un nuevo método con dos variantes para la asignación de capital.

1.3. Metodología

El estudio práctico del trabajo se realiza con una hipotética compañía aseguradora que es la resultante de la suma del conjunto de compañías del sector asegurador español. El capital de primas y reservas se asigna a los distintos segmentos del negocio no vida utilizando los métodos revisados. Posteriormente se realiza la misma tarea para una hipotética compañía aseguradora que opere en los segmentos del negocio de salud. Finalmente, se comparan las asignaciones de capital realizadas para los anteriores segmentos del riesgo de primas y reservas de no vida y salud de los distintos métodos. En concreto se comparan los métodos de reparto proporcional, last in, contribuciones marginales discretas, contribuciones marginales continuas o Euler, y finalmente, un nuevo método propuesto con dos variantes.


1.4. Conclusiones y limitaciones

En el trabajo se introduce un nuevo método que es sencillo y fácil de aplicar en el marco de Solvencia II. A diferencia de otros métodos no analizados en este trabajo no requiere el conocimiento de volatilidades, rendimientos o correlaciones con los activos (método de Myers y Read, 2001 o el método CAPM documentado en Cummings, 2000) o la necesidad de simular las distribuciones de pérdidas de las líneas de negocio y de la compañía (véase el denominado algoritmo RMK descrito en Ruhm y Mango, 2003 o Kreps, 2005 o la transformación de las distribuciones de pérdidas de Wang, 2000). Además, es fácilmente aplicable al resto de riesgos (mercado, contraparte, etc.). El método de Euler, también es fácilmente aplicable dada la estructura matricial de Solvencia II, y puede ser extendido nuevamente al conjunto de riesgos.

Las principales limitaciones del trabajo provienen de que para realizar el reparto del capital entre los distintos segmentos se ha recurrido a la información que las compañías declaran en la presentación anual de información para entidades (Plantillas SR.26.05 para no vida y SR.26.04 para salud). Esta información no permite el empleo de diversos métodos de asignación de capital propuestos en la literatura y que se mencionan en el Anexo I. Además, de la información extraída de las anteriores plantillas no es posible asignar el capital por riesgo catastrófico o de caída (lapse) a los distintos segmentos o líneas de negocio, por lo que únicamente se ha repartido el riesgo de primas y reservas. En el caso del seguro de salud, únicamente se ha considerado el seguro de salud gestionado bajo técnicas de no vida (seguro de enfermedad NSLT), pero no el seguro de salud gestionado bajo técnicas de seguro de vida (denominado seguro de enfermedad de SLT). Sin embargo, el seguro español es mayoritariamente de tipo NSLT o gestionado bajo técnicas de no vida.

El reparto del capital de primas y reservas sin tener en consideración el catastrófico o el de caída, puede llevar a la toma de decisiones erróneas. A modo de ejemplo si la compañía calcula el RORAC¹ teniendo en cuenta únicamente el riesgo de primas y reservas estaría beneficiando a aquellos segmentos que tuviesen un mayor riesgo catastrófico y que, por tanto, consumieran un mayor capital respecto otros segmentos con menor riesgo catastrófico. En el caso del riesgo de caída, el razonamiento es análogo. Sin embargo, este riesgo es menos relevante en el caso de los seguros de no vida en España.

¹Return on Risk Adjusted Capital (RoRAC): se define como el ratio entre el beneficio económico y el capital económico. El RoRAC es el retorno sobre el capital ajustado por riesgo (RAC) que, a su vez, se calcula dividiendo el beneficio económico entre el capital económico.



Asignación de capital:
usos y características
deseables

2. Asignación de capital: usos y características deseables

En la mayor parte de las ocasiones un proceso de asignación de capital comienza con la selección de una medida de riesgo (varianza, VaR, TVaR, etc.) que se utiliza para calcular el capital requerido a un nivel deseado de granularidad (líneas de negocio, áreas geográficas, pólizas, etc.), que es tratado inicialmente como una empresa independiente. Dado que la cantidad de capital necesario para toda la aseguradora es menor que la suma de los capitales independientes se elige una regla de asignación para repartir el capital total entre las líneas de negocio (Zhan, 2008). La decisión de qué regla o modelo de asignación de capital emplear es crucial, ya que cuando una empresa asigna capital a las líneas de negocio puede afectar significativamente a la rentabilidad de una línea de negocio, a los márgenes objetivo de las primas o al volumen de negocio que cada línea de negocio puede suscribir (Bodoff, 2009).

Suponemos que las n líneas de negocios de una compañía de seguros se enfrentan riesgos $X_1; X_2; \dots; X_n$ y el riesgo total de toda la empresa es $S = \sum_{i=1}^n X_i$. El nivel de capital agregado de una compañía de seguros (RAC) ya se ha derivado, mediante un modelo de capital económico, que en el caso de Solvencia II puede ser la fórmula general o el empleo de un modelo interno y una medida de riesgo (VaR al 99,5% de confianza). La compañía desea descomponer este capital económico en sus unidades de negocio, en otras palabras, encontrar los números reales no negativos RAC_i tal que su suma sea igual al capital agregado, es decir, $\sum_{i=1}^n X_i = RAC$. Albrecht (2006) describe el proceso general de asignación de capital en los siguientes pasos:

1. Especificación de una distribución multivariada para el vector de variables de pérdidas de las n distintas líneas de negocio (L_1, \dots, L_n) .
2. Selección de una medida de riesgo R , que permita establecer el capital (mínimo) necesario para calcular el capital basado en riesgo (RBC). Esta medida de riesgo puede ser la varianza, el VaR, TVaR, XTVaR, etc.
3. Cálculo del capital general basado en el riesgo de la compañía $RAC(L) = R(L)$, así como las cantidades de capital basado en riesgo de los segmentos $RAC_i = R(L_i)$.
4. En caso de un efecto de diversificación positivo, es decir, $R(L) < \sum R(L_i)$, aplicar una regla de asignación para determinar el capital basado en riesgo RAC_i^{**i} asignado al segmento i .

De esta forma, al requisito de capital global le llamaremos RAC y al requisito de capital de las líneas de negocio individuales RAC_i . Si existe un beneficio por diversificación obviamente la suma del capital de las líneas de negocio individuales será inferior al requisito de capital global, de forma que en general $\sum_{i=1}^n RAC_i - RAC \geq 0$. Finalmente denotaremos por $R(L_i; L)$ la contribución de la línea de negocio i al riesgo global $R(L)$. Los métodos de asignación de capital se dice que realizan una asignación completa si todo el capital de la compañía es asignado a las distintas líneas de negocio, es decir, si $\sum_{i=1}^n R(L_i; L) = R(L)$. Existen métodos que no realizan una asignación completa, es decir, no todo el capital se distribuye entre las distintas líneas de negocio, sino que una parte queda disponible en conjunto.

2.1. Usos de la asignación de capital

Existen autores que son escépticos o incluso contrarios a la asignación de capital a líneas de negocio o a su necesidad (véase Phillips, Cummins y Allen, 1998 y Gründl y Schmeiserm 2007), ya que en realidad todo el capital de una compañía aseguradora está disponible para asumir las pérdidas ocasionadas en una línea de negocio o segmento de la compañía en caso de que fuera necesario (D'Arcy, 2011). Sin embargo, la asignación de capital debe ser un componente importante de un sistema de gestión integral del riesgo o ERM de un asegurador. Esto es debido a que la asignación del capital a las distintas líneas de negocio posibilita, entre otras, la toma de mejores decisiones de tarificación, gestión del riesgo y evaluación del desempeño de una aseguradora (D'Arcy, 2011). De esta forma, son diversos los autores que afirman que la asignación de capital más que un fin en sí, es un paso intermedio en el proceso de toma de decisiones de una compañía aseguradora.

En la tarificación, la asignación de capital a líneas de negocio posibilita determinar los ingresos generados por la inversión en el cálculo de las primas y fijar correctamente el coste del capital. El coste del capital generalmente se calcula como un producto del capital asignado y el rendimiento de capital exigido. Por lo tanto, el precio de determinado producto es generalmente mayor cuando el riesgo está más concentrado (o menos diversificado), a medida que aumenta el capital asignado a ese riesgo.

En la gestión del riesgo, asignar capital permite determinar la tasa de rendimiento ajustado al riesgo a través de la medida de performance elegida, que siempre supondrá la división de un retorno por la asignación de capital de esa línea. La rentabilidad ajustada al riesgo permite tomar decisiones conducentes a maximizar el valor de la empresa, es decir, decidir si una línea de negocio debe expandirse o por la contra evaluar si es adecuado reducir su volumen o no continuar en la misma. Al mismo tiempo, asignar capital también ayuda a administrar el apetito por el riesgo de una compañía aseguradora fijando el apetito y los límites de riesgo de cada segmento del negocio.

Finalmente, en lo relativo a la evaluación del desempeño o performance, la asignación de capital a líneas de negocio permite evaluar el rendimiento de cada línea y en base a ellos el sistema de recompensas de la empresa. De esta forma, la asignación del capital basado en el riesgo es un elemento necesario para evaluar el desempeño ajustado al riesgo (*risk-adjusted performance management* o RAPM). Las principales medidas para evaluar la performance pueden ser simples como el retorno sobre los activos (ROA), retorno sobre el capital (ROE) o estar ajustadas al riesgo, como por ejemplo el retorno sobre el capital ajustado al riesgo (RAROC) o el retorno ajustado al riesgo del capital ajustado por riesgo (RARORAC), entre otras. Las medidas que tienen en cuenta el capital se pueden calcular en cualquier nivel donde se desee una comparación del rendimiento, por ejemplo, a nivel de la compañía de seguros, a nivel de línea de negocio u otro (nivel de producto, etc.) siempre y cuando se asigne el capital que conlleva el riesgo. La importancia de la asignación del capital a una línea de negocio es que la rentabilidad de una unidad de negocio puede verse afectada por el proceso de asignación (Boddof, 2009).

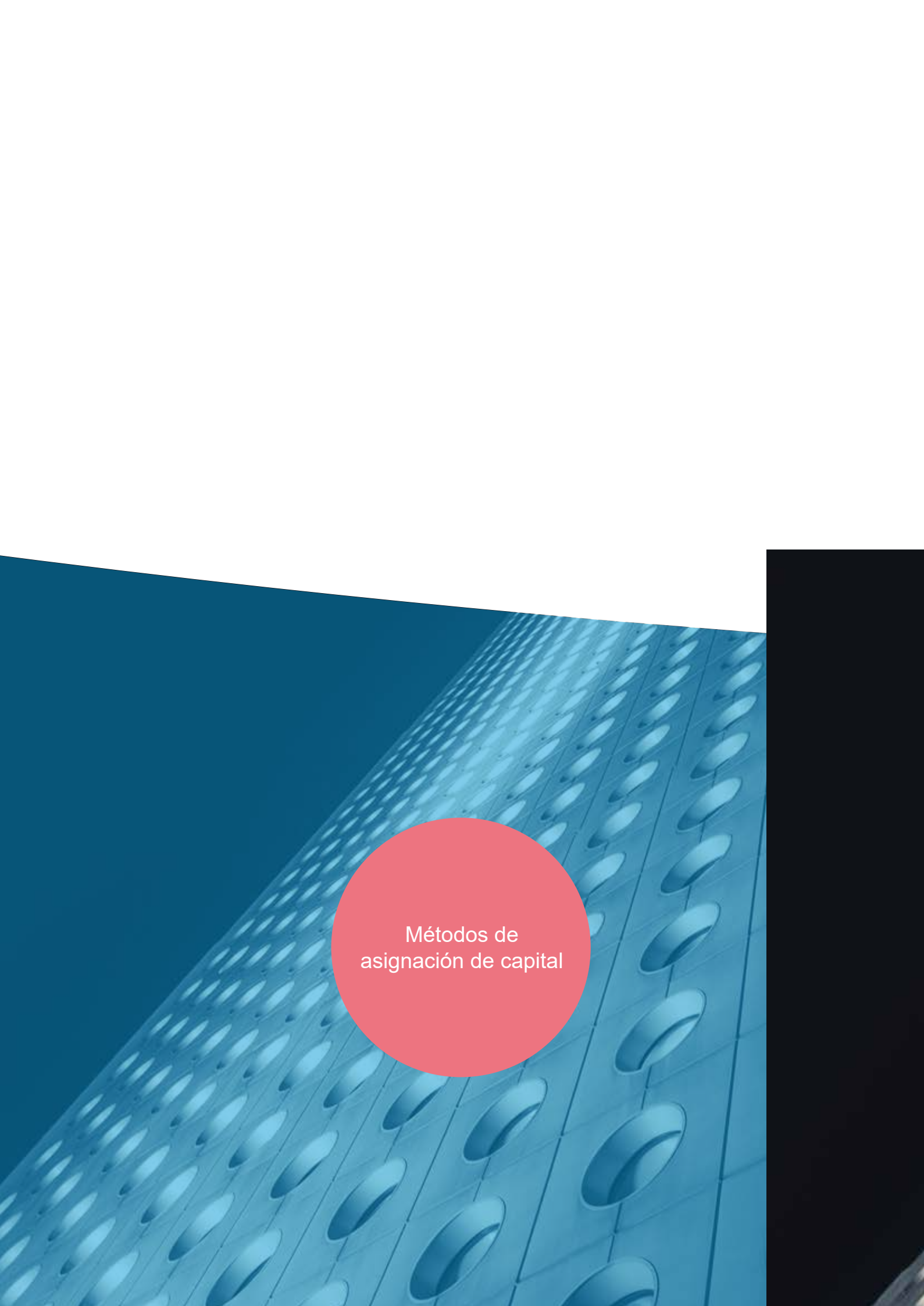
A continuación, se describen las principales medidas de rentabilidad empleadas:

- ROA (*Return of Assets*): rentabilidad o retorno sobre los activos. La rentabilidad sobre los activos es una medida que resulta del cociente entre el resultado y el valor de los activos.
- ROE (*Return of Equity*): rentabilidad o retorno del capital. Este indicador mide el beneficio en relación con los fondos propios de la empresa. A veces, se emplea el ROTE (*Return on Tangible Equity*) que se diferencia en que excluye del capital elementos intangibles como las emisiones convertibles o las preferentes.
- RAROC (*Risk-adjusted Return on Capital*): rentabilidad ajustada al riesgo del capital. Permite obtener la rentabilidad real de las actividades llevadas a cabo por la entidad aseguradora respecto a la inversión de capital que realmente supone. Se calcula dividiendo el beneficio neto ajustado al riesgo asumido entre el capital.
- RORAC (Return on Risk-adjusted Capital): rentabilidad del capital ajustado al riesgo. Se define como el ratio entre el beneficio económico y el capital económico.
- El RARORAC (Risk-adjusted Return on Risk-adjusted Capital). Este indicador mide el resultado de la división del resultado obtenido ajustado al riesgo y el capital ajustado al riesgo.

2.2. Características deseables de un método de asignación de capital

Existen múltiples características deseables de un método para asignar capital, sin embargo, ningún método actualmente desarrollado cumple con todas ellas. Para D'Arcy (2013) las características deseables de un método de asignación de capital son:

- Debe ser aceptado dentro de la organización, dado que distintos métodos o reglas suponen distintas asignaciones.
- Las sumas del capital asignado a las líneas de negocio deben ser igual al total del capital de la aseguradora.
- Debe ser estable en el tiempo.
- La asignación no debe estar afectada por los otros segmentos de negocio.
- No debe proporcionar asignaciones de capital negativas a ninguna línea de negocio.
- Debe ser apropiado para una aplicación particular.
- Debe ser coherente. Que un método de asignación sea coherente implica según el trabajo de Denault (2001) que cumpla tres axiomas necesarios:
 - *No undercut* (no socavo): la asignación de capital a una línea de negocio no debe ser mayor que su requisito de capital si ésta fuera una unidad independiente. Esta propiedad asegura que, si una nueva línea de negocio es añadida a una empresa, el capital de riesgo total de la empresa no debería aumentar más que el nuevo riesgo de la nueva línea. Este axioma se enlaza realmente con el axioma de subaditividad de una medida de riesgo.
 - Simetría: si el riesgo de dos líneas de negocio (medido por la medida de riesgo que se emplee) es el mismo, entonces la asignación debe ser la misma para cada línea de negocio. Este axioma garantiza que la asignación de capital dependa exclusivamente de las contribuciones de riesgo de las líneas de negocio a la empresa.
 - Asignación libre de riesgo: el capital asignado a una línea de negocio libre de riesgo debe ser cero.



Métodos de
asignación de capital

3. Métodos de asignación de capital

En la literatura se han propuesto un conjunto de métodos para asignar el capital a las distintas líneas de negocio. Sin embargo, como ya comentamos anteriormente, no existe un consenso acerca de qué método es mejor para este propósito. Una referencia ineludible es el Eling y Schmeiser (2010) quienes a petición de la sociedad de actuarios americana CAS (Casualty Actuarial Society) realizaron el denominado “The Risk Premium Project (RPP) Update - RPP II Report”, que actualiza el proyecto realizado en el año 2000 con RPP I, realizando una revisión de la bibliografía actuarial y financiera, entre otros de los métodos de asignación de capital publicados hasta la fecha. Eling y Schmeiser (2010) clasifican los métodos de asignación de capital en sencillos (*naive*), basados en la teoría de riesgos (covarianza, VaR condicional, Euler, etc.), teorías económicas o de valoración de empresas (Myers y Read, etc.) y modelos fundamentados en la teoría de juegos (Shapley y Aumann-Shapley). No obstante, la revisión que hace de métodos no es exhaustiva, y dado la fecha en la que el trabajo es publicado, deja fuera importantes referencias como el método de Ruhm-Mango-Kreps o algoritmo RMK. A continuación, describiremos varios de los métodos empleados en la literatura, para en el apartado 3.2. describir un método sencillo de asignación de capital a líneas de negocio que tenga en cuenta realmente el efecto de diversificación entre líneas de negocio, asignando tal beneficio a las líneas que realmente lo provocan.

3.1. Métodos propuestos en la literatura

Entre los métodos sencillos Eling y Schmeiser (2010) citan el *método de asignación proporcional*, también conocido en la literatura como prorrateo, contribuciones marginales lineales o método “First in”. La asignación lineal o proporcional² es el enfoque más simple y supone que el requisito de capital total de una compañía aseguradora (incluido el efecto de diversificación³) se asigna proporcionalmente a cada línea de negocio. Este enfoque asigna los beneficios de diversificación a las líneas de negocio en proporción a cada requisito de capital individual de la cartera (Albrecht, 2006). Por lo tanto, no penaliza las líneas de negocio que tienen una elevada correlación con el resto y que, por ello, provocan un menor beneficio por diversificación. Del mismo modo, no recompensa a aquellas líneas que aumentan el efecto de diversificación global, debido a que están poco correlacionadas con el resto. Los pasos para aplicar este método consisten en calcular el capital necesario para la compañía de forma global y para cada línea de negocio de forma aislada (como si fuesen las únicas líneas de la compañía).

² La literatura a veces no es concluyente en la denominación empleada, por ejemplo, Homburg y Scherpereel (2008) y Balog (2017) se refiere a este método como *activity-based method*.

³ Es decir, si las distintas líneas de negocio no están perfectamente correlacionadas, el capital total para la empresa será inferior que la suma del capital requerido para las líneas.

El capital asignado a la línea de negocio i o contribución de la línea de negocio i al riesgo global $R(L_i)$ puede ser calculado como:

$$R(L_i; L) = \frac{R(L_i)}{\sum_{j=1}^n R(L_j)} R(L)$$

Donde:

$R(L_i)$ capital calculado para la línea de negocio i de forma aislada.

$\sum_{j=1}^n R(L_j)$ suma del capital requerido para las líneas capital sin considerar ningún beneficio por diversificación.

$R(L)$ capital necesario para la compañía de forma global teniendo en cuenta la reducción por diversificación.

Otro método sencillo según la clasificación de Eling y Schmeiser (2010) sería el denominado contribuciones marginales discretas o método “Last in” (véase Corrigan et al., 2009). Las contribuciones marginales discretas se calculan determinando las cantidades de riesgo marginal que las líneas de negocio contribuyen a la cartera total. Para eso se calcula el capital de la compañía total excluyendo las líneas de negocio de una en una. Por ejemplo, para calcular la contribución marginal discreta de la línea de negocio A al capital de la compañía formada por tres líneas de negocio (A, B y C) debemos calcular el capital de la compañía que incluiría las líneas de negocio B y C (BC en la nomenclatura que emplearemos). Este capital calculado se restaría al capital de la cartera total para llegar a la cantidad de riesgo marginal que la línea de negocio A contribuye a la cartera total. Posteriormente realizaríamos lo mismo para la línea de negocio B (capital de ABC – capital de AC) y la línea C (capital de ABC – capital de C). Las contribuciones marginales discretas son una aproximación al enfoque de contribuciones marginales continuas.

El método de las contribuciones marginales continuas o método de Euler⁴ calcula la derivada del riesgo total de la compañía aseguradora con respecto al riesgo de cada línea de negocios individual, por lo que en muchas ocasiones se le conoce como método de gradiente o contribución marginal (Balog et al., 2017). Una vez calculadas las derivadas para cada línea de negocio, éstas se multiplican por las medidas de riesgo de cada línea de negocios individual para dar la contribución marginal continua. En Solvencia II la fórmula sería:

$$R(L_i; L) = R(L_i) \frac{\sum_{j=1}^n R(L_j) \rho_{ij}}{R(L)}$$

Siendo ρ_{ij} el coeficiente de correlación lineal entre los segmentos de negocio de la matriz estipulada. A efectos prácticos, las contribuciones marginales discretas usualmente se computan para un aumento de un porcentaje reducido en la medida de riesgo de las líneas de negocio (por ejemplo, del 1%) y se evalúa el efecto que tiene sobre el capital de la compañía. Dado que la derivada no es constante no se alcanzaría exactamente los mismos valores que si se calcula el método de Euler (un aumento infinitesimal frente un aumento en un 1%, por ejemplo), pero para pequeños incrementos los resultados serán muy similares. Sin embargo, este método tiene el inconveniente de que puede haber

⁴ Este método también es conocido frecuentemente en el caso del riesgo derivado de la inversión y en el caso de emplear el VaR como medida de riesgo como el método del Component VaR, que sería simplemente multiplicar el Marginal VaR por la cantidad (volumen) de riesgo de dicho activo. El Marginal VaR es la derivada instantánea (véase Hallerbach, 2003).

contribuciones negativas cuando existan correlaciones negativas entre las distintas líneas de negocio individuales.

3.2. Modelo propuesto

El modelo propuesto va a ser empleado para distribuir el capital de riesgo de primas y reservas entre los distintos segmentos. Lo adecuado desde un punto de vista teórico es que se asigne el capital de forma que los segmentos que tienen poca correlación con los otros, es decir que diversifiquen la cartera conjunta de riesgos, se vean más beneficiados. De esta forma, lo primero que calcularemos es el beneficio por diversificación para los distintos pares de segmentos i,j de forma que dicho beneficio por diversificación se asignará de forma proporcional a la carga de capital exclusivamente a los segmentos i,j y a diferencia de otros métodos, como el método de asignación proporcional no beneficie a otros segmentos. Además, el método debe garantizar que el beneficio por diversificación se distribuye totalmente entre los segmentos. Los pasos para calcular la asignación de capital a las líneas propuestas serían para el caso de tres segmentos (1, 2 y 3) los siguientes:

- Para calcular el beneficio de diversificación entre los segmentos 1 y 2 se calcula el capital necesario global de la compañía menos el capital necesario en el caso de que la matriz de correlaciones entre riesgos estuviese formada por todos 1 (segmentos perfectamente correlacionadas) a excepción del coeficiente de correlación entre los segmentos 1 y 2, que será el definido en la matriz de Solvencia II.
- Para calcular el beneficio de diversificación entre los segmentos 1 y 3 se calcula el capital necesario global menos el capital necesario en el caso de que la matriz de correlaciones entre riesgos estuviese formada por 1 a excepción del coeficiente de correlación entre los segmentos 1 y 3 que será el definido en la matriz de Solvencia II.
- Para calcular el beneficio de diversificación entre los segmentos 2 y 3 se calcula el capital necesario global menos el capital necesario en el caso de que la matriz de correlaciones entre riesgos estuviese formada por 1 a excepción del coeficiente de correlación entre los segmentos 2 y 3 que será el definido en la matriz de Solvencia II.
- Dado que la suma de los beneficios por diversificación de los segmentos no suma el beneficio por diversificación original, será necesario reescalar el cálculo para garantizar que todo el capital se distribuye entre líneas de negocio.
- Una vez que la suma de los beneficios por diversificación estén reescalados, se reasignan los beneficios por diversificación entre los pares de segmentos a los segmentos responsables. En un principio la asignación se realiza de forma proporcional a las cargas de capital originales (versión 1).

El método garantiza que si el coeficiente de correlación lineal de un segmento respecto a todos los demás fuese 1, el capital final asignado al segmento no se beneficiaría de ninguna diversificación. De forma semejante, en el caso real de la matriz de correlación que se emplea en la actualidad en el modelo estándar de Solvencia II el beneficio por diversificación se distribuirá en mayor medida para aquellos segmentos que tienen entre ellas coeficientes de correlación bajos (0.25) que los que tienen medios (0.5). Además, como veremos en la aplicación práctica del método propuesto (apartado 5), se cumplen muchas de las características deseables de un método de asignación de capital expuestas en el apartado 2.2. Sin embargo, el reparto de la diversificación en base al valor no es del todo correcto, dado que proporciona un exceso de beneficio a aquel segmento con un mayor volumen de capital. La dificultad de repartir de forma exacta este beneficio por diversificación es extremadamente difícil dado que dicha solución no tiene fórmula cerrada. Otra posible opción es el reparto del beneficio por diversificación entre dos segmentos a medias entre los mismos (versión 2). El razonamiento es el siguiente:

- Caso 1: Los dos segmentos tengan el mismo capital.

El reparto del beneficio por diversificación a medias entre los segmentos sería igual al reparto en base al de valor.

Para ilustrar el ejemplo suponemos una hipotética compañía formada simplemente por dos segmentos (1 y 2). El SCR de los dos segmentos es igual a 200 u.m. y el coeficiente de correlación entre los mismos es de 0,25. La suma de los SCR sería igual a 400 u.m., pero el SCR agregado asciende a 316,23 u.m. porque la diversificación de riesgos sería de 83,77 u.m.

En este caso el reparto del beneficio por diversificación en base valor o a medias entre los dos segmentos daría lugar al mismo valor (beneficio de 41,89 u.m. por segmento), por lo que el capital final asignado a cada línea sería equivalente (158,11 u.m.)

- Caso 2: Los segmentos tienen distinto capital.

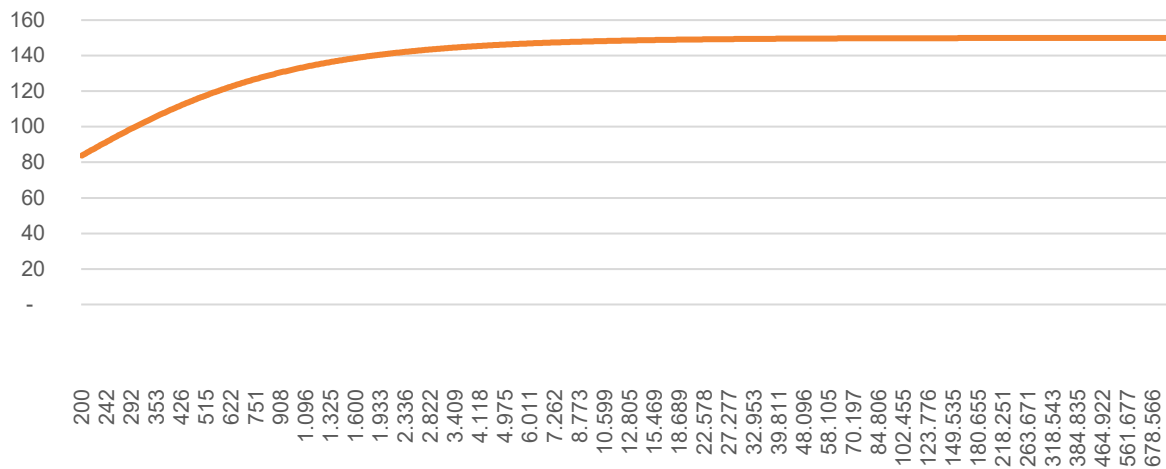
El reparto del beneficio por diversificación es distinto al de valor. En este caso la diversificación a repartir parte de un valor mínimo que es el valor que se produciría en caso de que los dos segmentos tuviesen el mismo capital (Caso 1, y que por tanto coincide con el reparto en base al valor o a medias).

La diversificación a repartir llegaría a un límite superior (valor máximo) que vendría dado por $(1 - \text{coef. de correlación}) * \text{Capital del segmento de menor importe}$. Siguiendo con el ejemplo mencionado con anterioridad $200 * (1 - 0.25) = 150$ sería el beneficio máximo a repartir entre el segmento 1 y 2. De esta forma llega un punto en el que el valor de capital de un segmento es independiente del beneficio por diversificación que se produce, y por tanto lo lógico es asumir que los dos segmentos contribuyen a dicho beneficio en la misma medida.

Entre los valores mínimo y máximo del beneficio por diversificación, el beneficio sí que es en parte ocasionado por el valor de los segmentos, dado que un aumento del valor de un segmento hace aumentar el beneficio por diversificación a repartir y por eso debiera verse beneficiado en mayor medida por el mismo.


De esta forma una parte del beneficio por diversificación es ocasionada a partes iguales entre las dos líneas (por parte de la cantidad mínima que es igual entre las dos), y otra va en función de valor, por ello cuanto más capital tiene una línea más beneficio por diversificación se produce, y en parte es debido a ella. Véase el gráfico siguiente del Beneficio por diversificación a repartir entre dos segmentos. Siguiendo el ejemplo anterior en el cual dos líneas tienen el mismo capital 200 u.m., el beneficio por diversificación parte de 83,77 u.m. y sucesivamente va aumentando a medida que lo hace el capital de una línea hasta su límite superior (150 u.m.).

Gráfico 1. Evolución del beneficio por diversificación



Fuente: Elaboración propia

De esta forma el reparto en base a la versión 1 del método es incorrecta, mientras que la versión 2 se ajusta más a la realidad, pero tampoco provoca un reparto 100% equitativo a las distintas líneas de negocio. Una posible mejora sería el ajuste de una función (lineal, logarítmica, polinómica, etc.) para el reparto de tal beneficio entre los segmentos implicados. Pero en parte sería también arbitrario dado que en las simulaciones realizadas no se ha producido un buen ajuste a todos los tramos de la curva, ya que depende de los valores considerados y del coeficiente de correlación entre los riesgos empleada. Por esa razón en este estudio efectuaremos la asignación del capital a las distintas líneas de negocio en base a las dos propuestas, reparto del beneficio por diversificación entre segmentos en base al valor y a partes iguales, pero sabiendo que el verdadero valor estaría comprendido entre ambos.



Fórmula estándar de
capital en Solvencia II:
riesgo asegurador
no vida y salud

4. Fórmula estándar de capital en Solvencia II: riesgo asegurador no vida y salud

La Ley 20/2015, de 14 de julio, de ordenación, supervisión y solvencia de las entidades aseguradoras y reaseguradoras, y el Real Decreto 1060/2015, de 20 de noviembre, de ordenación, supervisión y solvencia de las entidades aseguradoras y reaseguradoras que la desarrolla suponen la transposición al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2009/138/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2009, sobre el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio conocida como Directiva Solvencia II. El Reglamento Delegado (UE) 2015/35 de la Comisión de 10 de octubre de 2014 completa la Directiva mencionada y es vinculante y de aplicación directa en España. Bajo la nueva regulación, el capital económico o basado en el riesgo (RBC) se puede calcular utilizando la fórmula estándar o un modelo interno parcial o completo validado previamente por las autoridades de supervisión. En ambos casos, la normativa establece un capital de solvencia obligatorio o SCR que debe corresponderse con el capital económico que han de poseer las aseguradoras para limitar la probabilidad de ruina a un caso por cada 200 o, de forma alternativa, que las empresas todavía estén en situación, con una probabilidad del 99,5 % como mínimo, de cumplir sus obligaciones frente a los tomadores y beneficiarios de seguros en los doce meses siguientes, lo que equivale a calcular el capital según la metodología del Valor en riesgo o VaR al 99,5% de confianza. Solvencia II también permite la posibilidad de reemplazar parámetros predefinidos con parámetros de riesgo específicos de la empresa que sean más apropiados para el perfil de riesgo propio de la empresa o emplear en determinados casos simplificaciones de la fórmula estándar en base a la naturaleza, la escala o volumen y la complejidad de los riesgos. La fórmula estándar ha sido calibrada a partir de los distintos estudios de impacto cuantitativo, los denominados QIS, y está sujeta a revisiones para lo cual se solicita la retroalimentación de las partes interesadas por parte de EIOPA⁵.

El modelo estándar actual se basa en una estructura modular donde los principales módulos identificados en el mapa de riesgos son el riesgo operacional, de mercado, asegurador (vida, no vida y salud), impago de la contraparte y activos intangibles. Para el cálculo de los capitales los riesgos medidos a través del VaR al 99,5% de confianza son calculados dentro de cada submódulo: así por ejemplo el submódulo de mercado identifica cargas de capital para el riesgo de acciones, de tipos de interés, divisa, de propiedades, de spread y de concentración de activos, el riesgo asegurador no vida (denominado en la normativa como riesgo de suscripción del seguro distinto del seguro de vida) está compuesto de cargas para el riesgo de primas y reservas, catastrófico y riesgo de caída o lapse risk, en el submódulo de riesgo de vida riesgo de longevidad, mortalidad, discapacidad, gastos del seguro de vida, revisión, caída y catástrofe del seguro de vida. Una vez calculadas las cargas de capital dentro de cada submódulo estas se agregan teniendo en cuenta la dependencia entre riesgos, es decir, se

⁵ El primer conjunto de consejos de EIOPA para la Comisión Europea sobre temas específicos del Reglamento Delegado de Solvencia II puede verse en EIOPA (2017).

tiene en cuenta las correlaciones entre los riesgos empleando matrices de correlaciones. De esta forma los requerimientos de capital no son aditivos, sino que existe un beneficio por diversificación. En el subapartado 4.1. describiremos la fórmula estándar para el riesgo asegurador no vida y en el 4.2. para el riesgo asegurador de salud.

4.1. Riesgo asegurador no vida

Solvencia II define el riesgo de suscripción no vida como 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. Recoge la incertidumbre en los resultados de las entidades relacionada con obligaciones de seguros y reaseguros en curso, así como con la nueva producción esperada para los siguientes 12 meses. Dentro de la carga de capital para riesgo no vida se distingue las siguientes cargas de capital: primas y reservas, catastrófico (CAT) y caída (*lapse*). Para medir el riesgo asegurador no vida se permite el empleo de un modelo interno, la fórmula general o parámetros específicos. El empleo de parámetros específicos es un modelo intermedio entre la fórmula estándar y el modelo interno en el que se emplea la formulación del modelo estándar pero la calibración de los parámetros se realiza en función de los datos históricos de la propia compañía, tanto a nivel de primas como de reservas.

La agregación de riesgos se realiza mediante la fórmula:

$$SCR_{novida} = \sqrt{\sum_{i,j} CorrNovida_{(i,j)} \cdot SCR_i \cdot SCR_j}$$

Siendo SCR a las cargas de capital para los tres submódulos descritos y $CorrNovida_{(i,j)}$ la matriz de correlaciones entre riesgos expuesta en la Tabla 1:

Tabla 1. – Matriz de correlación de riesgos no vida

	Riesgo de primas y reservas	Riesgo catastrófico	Riesgo de caída
Riesgo de primas y reservas	1	0.25	0
Riesgo catastrófico	0.25	1	0
Riesgo de caída	0	0	1

Fuente: Reglamento Delegado (UE) 2015/35 de la Comisión

El riesgo de primas considera el riesgo de que la provisión para primas sea insuficiente para atender los siniestros o que deba ser incrementada, mientras que el riesgo de reservas se deriva de las fluctuaciones en el momento y cuantía de la liquidación de siniestros. La carga de capital para el riesgo combinado de primas y reservas se calcula como tres veces la denominada desviación típica combinada (σ_{novida}) por la medida del volumen combinada (V_{novida}):

$$SCR_{primas_reservas} = 3 \cdot \sigma_{novida} \cdot V_{novida}$$

La medida de Volumen (V_{novida}) se obtiene como la suma de las medidas de volumen de los diferentes segmentos (V_s) para los riesgos de primas y de reservas ($V_{(primas,s)}$ y $V_{(reservas,s)}$) teniendo en cuenta el factor de diversificación geográfica del segmento s (DIV_s), que se produce cuando una compañía opera

en distintas zonas geográficas. La fórmula para el cálculo del volumen de cada segmento viene dada por:

$$V_s = (V_{(primas,s)} + V_{(reservas,s)}) \cdot (0.75 + 0.25 \cdot DIV_s)$$

La medida de volumen del riesgo de prima de un determinado segmento $V_{(primas,s)}$ será igual al mayor entre la estimación de las primas netas que imputará para cada segmento durante el próximo año y las primas imputadas netas para cada segmento durante el año anterior. Además se le añade el valor actual esperado de las primas netas de los contratos existentes que se devengarán con posterioridad a los doce meses siguientes con respecto a los contratos existentes y el valor actual esperado de las primas netas que imputará para cada segmento a partir del año siguiente por los contratos cuyo reconocimiento inicial se produzca durante el próximo año. La medida del volumen de reservas para cada línea $V_{(reservas,s)}$ es la mejor estimación (Best estimate) para siniestros pendientes por cada línea de negocio deducidos los importes recuperables de contratos de reaseguro y entidades con cometido especial (las denominadas SPV).

La medida de desviación típica para cada segmento (σ_s) se obtiene a partir de las desviaciones para el riesgo tanto de primas ($\sigma_{(primas,s)}$) como de reservas ($\sigma_{(reservas,s)}$) para cada segmento (s) mediante la fórmula:

$$\sigma_s = \frac{\sqrt{\sigma_{(primas,s)}^2 \cdot V_{(primas,s)}^2 + \sigma_{(primas,s)} \cdot V_{(primas,s)} \cdot \sigma_{(reservas,s)} \cdot V_{(reservas,s)} + \sigma_{(reservas,s)}^2 \cdot V_{(reservas,s)}^2}}{V_{(primas,s)} + V_{(reservas,s)}}$$

Los datos de la desviación típica para primas y reservas de cada segmento se pueden ver en la Tabla 2. La desviación típica combinada de primas y reservas de la compañía (σ_{novida}) se obtiene por agregación de las desviaciones típicas de primas y reservas de cada segmento (σ_s). El modelo desagrega el negocio no vida en 12 segmentos y la matriz de correlaciones actuales tiene coeficientes que varían entre 0.25 y 0.5 para los distintos segmentos. Debe mencionarse al lector que el Anexo I del Reglamento Delegado describe las líneas de negocio que se consideran en la Normativa de Solvencia II y que los segmentos que se emplean incluyen las líneas de negocio para el seguro no vida y las asignadas a las obligaciones de reaseguro proporcional correspondientes a obligaciones incluidas en las mismas, a excepción de los tres últimos segmentos de reaseguro no proporcional que se corresponden con líneas de negocio propiamente. De esta forma realmente los 12 segmentos se corresponderían con 21 líneas de negocio de las definidas en la normativa Solvencia II (véase la Tabla 3). La matriz de correlación para los distintos segmentos se muestra en la Tabla 4.

Tabla 2. – Desviaciones típicas del submódulo de riesgo de prima y de reserva del seguro distinto del de vida

Segmento en SII	Desviación típica del riesgo de prima bruto del segmento	Desviación típica del riesgo de reserva bruto del segmento
1	10%	9%
2	8%	8%
3	15%	11%
4	8%	10%
5	14%	11%
6	12%	19%
7	7%	12%
8	9%	20%
9	13%	20%
10	17%	20%
11	17%	20%
12	17%	20%

Fuente: Reglamento Delegado (UE) 2015/35 de la Comisión

Tabla 3. – Segmentación de las obligaciones de seguro y reaseguro distinto del de vida

Segmento en SII	Líneas de negocio	Nombre
1	4 y 16	Seguro y reaseguro proporcional de RC de vehículos automóviles
2	5 y 17	Otro seguro y reaseguro proporcional de vehículos automóviles
3	6 y 18	Seguro y reaseguro proporcional marítimo, de aviación y de transporte
4	7 y 19	Seguro y reaseguro proporcional de incendio y otros daños a los bienes
5	8 y 20	Seguro y reaseguro proporcional de responsabilidad civil general
6	9 y 21	Seguro y reaseguro proporcional de crédito y caución
7	10 y 22	Seguro y reaseguro proporcional de defensa jurídica
8	11 y 23	Seguro y reaseguro proporcional de asistencia
9	12 y 24	Seguro y reaseguro proporcional de pérdidas pecuniarias diversas
10	26	Reaseguro no proporcional de responsabilidad civil por daños
11	27	Reaseguro no proporcional marítimo, de aviación y transporte
12	28	Reaseguro no proporcional de daños a los bienes

Fuente: Reglamento Delegado (UE) 2015/35 de la Comisión

Tabla 4. – Matriz de correlación entre los segmentos

s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	100%	50%	50%	25%	50%	25%	50%	25%	50%	25%	25%	25%
2	50%	100%	25%	25%	25%	25%	50%	50%	50%	25%	25%	25%
3	50%	25%	100%	25%	25%	25%	25%	50%	50%	25%	25%	50%
4	25%	25%	25%	100%	25%	25%	25%	50%	50%	50%	25%	50%
5	50%	25%	25%	25%	100%	50%	50%	25%	50%	25%	50%	25%
6	25%	25%	25%	25%	50%	100%	50%	25%	50%	25%	50%	25%
7	50%	50%	25%	25%	50%	50%	100%	25%	50%	25%	50%	25%
8	25%	50%	50%	50%	25%	25%	25%	100%	50%	50%	25%	25%
9	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	100%	25%	25%	50%
10	25%	25%	25%	50%	25%	25%	25%	50%	25%	100%	25%	25%
11	25%	25%	25%	25%	50%	50%	50%	25%	25%	25%	100%	25%
12	25%	25%	50%	50%	25%	25%	25%	25%	50%	25%	25%	100%

Fuente: Reglamento Delegado (UE) 2015/35 de la Comisión

Además del módulo de riesgo de primas y reservas, para computar el SCR no vida debe tenerse en cuenta el SCR por riesgo de caída (*lapse risk*). El riesgo de caída es un riesgo de menor importancia en los seguros no de vida que en el seguro de vida, porque en los seguros no vida los contratos de largo plazo son menos frecuentes. Se calcula como el cambio en el valor de activos y pasivos (pérdida de fondos propios) resultante de la combinación la rescisión del 40% de las pólizas de seguros cuya rescisión o cese dé lugar a un incremento de las de las provisiones técnicas sin el margen de riesgo y una disminución del 40% del número de contratos de reaseguro futuros. Por otra parte, el riesgo de catástrofe no vida surge de sucesos extremos o irregulares, especialmente graves y poco frecuentes, que no se ven reflejados por los capitales obligatorios de riesgo de primas y de reservas. Solvencia II distingue cuatro submódulos: catástrofes naturales (tormenta de viento, terremotos, inundaciones, granizo, hundimiento de terreno), causados por el hombre o antropogénicos (responsabilidad civil autos, riesgos marítimos, riesgos de aviación, riesgos de incendio, riesgos de responsabilidad civil, riesgos de crédito y caución), riesgo catastrófico derivado del papel ejercido por el reaseguro patrimonial no proporcional y otras catástrofes. Los capitales se calculan, en general, en base a unos escenarios predefinidos que ocurren en distintas áreas geográficas.

4.2. Riesgo asegurador salud

Los riesgos de suscripción derivados del seguro de salud se derivan del seguro de salud gestionado bajo técnicas de seguro de vida (denominado seguro de enfermedad de SLT -*similar to life*-) y del seguro de salud gestionado bajo técnicas de no vida (seguro de enfermedad NSLT – *similar to non-life*-), además de su correspondiente riesgo catastrófico. Sin embargo, debemos destacar que el seguro español es mayoritariamente de tipo NSTL o gestionado bajo técnicas de no vida (UNESPA, 2015).

Según el Reglamento Delegado 2015/35 el módulo de riesgo de suscripción del seguro de enfermedad constará del riesgo de suscripción del seguro de enfermedad NSLT; el riesgo de suscripción del seguro de enfermedad SLT y el riesgo catastrófico. Para la agregación de los riesgos se emplea la siguiente matriz de correlaciones (Tabla 5):

Tabla 5. – Matriz de correlación de riesgos salud

	NSTL	STL	Riesgo catastrófico
NSTL	1	0.5	0,25
STL	0,5	1	0,25
Riesgo catastrófico	0,25	0,25	1

Fuente: Reglamento Delegado (UE) 2015/35 de la Comisión

El submódulo de riesgo de suscripción del seguro de enfermedad NSTL constará de los siguientes submódulos: el submódulo de riesgo de prima y de reserva del seguro de enfermedad NSTL ($SCR_{NSTL,primasyreservas}$) y el submódulo de riesgo de caída del seguro de enfermedad NSTL ($SCR_{NSTL,caída}$). La agregación de riesgos se realiza mediante la fórmula:

$$SCR_{NSTL} = \sqrt{SCR_{NSTL,primasyreservas}^2 + SCR_{NSTL,caída}^2}$$

El capital del riesgo de prima y de reserva del seguro de enfermedad NSTL se calcula como tres veces la desviación típica del riesgo de prima y de reserva del seguro NSTL por la medida de volumen del riesgo de prima y de reserva del seguro NSTL, es decir:

$$SCR_{NSTL,primasyreservas} = 3 \cdot \sigma_{NSTL} \cdot V_{NSTL}$$

En el artículo 147 del Reglamento Delegado (UE) 2015/35 se determina la medida de volumen del riesgo de prima y de reserva del seguro de salud NSTL será igual a la suma de las medidas de volumen del riesgo de prima y de reserva de los segmentos señalados teniendo en cuenta el factor de diversificación geográfica del segmento s (DIV_s), que se produce cuando una compañía opera en distintas zonas geográficas.

La medida de desviación típica para cada segmento (σ_s) se obtiene a partir de las desviaciones para el riesgo tanto de primas como de reservas (véase tabla 6) para cada segmento de forma análoga al riesgo asegurador no vida. La desviación típica combinada de primas y reservas de la compañía se obtiene por agregación de las desviaciones típicas de primas y reservas de cada segmento (artículo 148 Reglamento Delegado (UE) 2015/35)

Tabla 6. – Desviaciones típicas del submódulo de riesgo de prima y de reserva del seguro de salud

Segmento en SII	Desviación típica del riesgo de prima bruto del segmento	Desviación típica del riesgo de reserva bruto del segmento
1	5%	5%
2	8.5%	14%
3	8%	11%
4	17%	20%

Fuente: Reglamento Delegado (UE) 2015/35 de la Comisión

El modelo desagrega el negocio de salud NSTL en 4 segmentos (véase la Tabla 6) y la matriz de correlaciones actuales tiene coeficientes de 0.5 para los distintos segmentos (Tabla 8). Debe mencionarse al lector que el Anexo I del Reglamento se establecen las líneas de negocio que componen cada segmento (línea de seguro y línea de reaseguro).

Tabla 7. – Segmentación de las obligaciones de seguro y reaseguro de salud

Segmento en SII	Líneas de negocio	Nombre
1	1 y 13	Seguro y reaseguro proporcional de gastos médicos
2	2 y 14	Seguro y reaseguro proporcional de protección de ingresos
3	3 y 15	Seguro y reaseguro proporcional de accidentes laborales
4	25	Reaseguro de enfermedad no proporcional

Fuente: Reglamento Delegado (UE) 2015/35 de la Comisión

Tabla 8. – Matriz de correlación de riesgos salud

	Gastos médicos	Protección de ingresos	Accidentes laborales	Enfermedad No proporcional
Gastos médicos	1	0,5	0,5	0,5
Protección de ingresos	0,5	1	0,5	0,5
Accidentes laborales	0,5	0,5	1	0,5
Enfermedad no proporcional	0,5	0,5	0,5	1

Fuente: Reglamento Delegado (UE) 2015/35 de la Comisión

Además del módulo de riesgo de primas y reservas, para computar el SCR de salud NSLT debe tenerse en cuenta el SCR por riesgo de caída (*lapse risk*). El riesgo de caída (Artículo 150 Reglamento Delegado) se calcula como la combinación de los siguientes hechos: el cese del 40% de las pólizas de seguro cuyo cese dé lugar a un incremento de las provisiones técnicas sin el margen de riesgo, y la disminución en un 40% del número de contratos de reaseguro cuando cubran contratos de seguro o reaseguro futuros.

El módulo de riesgo de suscripción del seguro de enfermedad SLT constará del riesgo de mortalidad; riesgo de longevidad; riesgo de discapacidad y morbilidad; riesgo de gastos, riesgo de revisión y riesgo de caída. Para la agregación de riesgos se emplea una matriz cuyos coeficientes de correlación varían entre -0,25 y 0,5. El lector interesado en el seguro SLT puede referirse a los artículos 151 a 159 del Reglamento Delegado.

Finalmente abordaremos brevemente el riesgo de catástrofe del seguro de salud. El capital obligatorio para el submódulo de riesgo de catástrofe del seguro de enfermedad será igual a la agregación de tres riesgos incorrelacionados, el riesgo de accidente masivo, el riesgo de concentración de accidentes y el riesgo de pandemia. Los capitales se calculan, en general, en base a unos escenarios predefinidos que ocurren en distintas áreas geográficas.



Resultados

5. Resultados

En este apartado se realiza la asignación práctica del capital mediante los métodos expuestos en el apartado 3. El análisis se realizará para una hipotética compañía de seguros no vida y una hipotética compañía de seguros de salud.

En el caso de los seguros no vida el ejercicio práctico se realizará suponiendo que el conjunto de compañías del sector asegurador español forma una compañía única, asignando el capital de primas y reservas a los distintos segmentos del negocio no vida. En el caso de los seguros de salud, el ejercicio práctico se realizará para el seguro NSLT, nuevamente suponiendo que el conjunto de compañías del sector asegurador español forma una compañía única.

De esta forma, en el apartado 5.1 y 5.2 realizaremos el cálculo de capital de la compañía de seguros no vida y de seguros de salud NSLT bajo el modelo estándar y la matriz de correlación de riesgos que fija el Reglamento Delegado 2015/35 (caso base) para posteriormente en el apartado 5.3 ver los efectos que tendría sobre el método propuesto el empleo de otras matrices de correlación (análisis de robustez).

5.1. Compañía de seguros no vida: caso base

Vamos a suponer una compañía que opera en los 12 segmentos de Solvencia II, formada por el conjunto de compañías del sector asegurador español, tal y como se muestra en la tabla 9. La tabla muestra el volumen de primas y el volumen de reservas para los 12 segmentos de Solvencia II de la compañía que opera en el mercado español.

Dadas las fórmulas para V_s y σ_s expuestas en el apartado 4.1 se calculan las medidas para el volumen y el riesgo de prima y reserva para cada uno de los doce segmentos del mercado español. Según los datos reportados por las compañías, todas ellas operan en una misma área geográfica (DIV_s es igual a 1). La fórmula estándar calcula el riesgo agregado de prima y reserva por medio de la volatilidad agregada de la cartera y la medida de volumen agregada multiplicada por 3. Dado que el capital necesario para el total de compañías del mercado español es de 5.057.462.439 u.m. (véase Tabla 10) y la suma de los capitales asignados a los distintos segmentos sería de 7.181.702.391 u.m. debe aplicarse un método de asignación de capital para asignar el beneficio por diversificación 2.124.239.953 u.m.

Tabla 9. – Volumen de prima y de reserva del seguro distinto del de vida

Segmento	Volumen de prima	Volumen de reserva
1	5.401.178.414	3.908.605.158
2	4.805.553.844	682.191.430
3	303.821.805	204.818.835
4	6.770.389.666	1.687.261.978
5	1.000.232.241	2.012.019.532
6	181.617.487	94.428.343
7	197.431.398	69.028.175
8	736.820.112	84.694.892
9	366.955.649	38.710.152
10	352.121	1.807.426
11	500	85.892
12	872.016	1.629.329

Tabla 10. – Capital necesario para el riesgo de prima y de reserva del sector asegurador español

Segmento	Volumen de prima y reserva	Riesgo de primas y reservas	Capital necesario
1	9.309.783.572	8,4%	2.334.362.865
2	5.487.745.274	7,6%	1.243.307.498
3	508.640.640	11,8%	180.282.184
4	8.457.651.645	7,6%	1.928.466.239
5	3.012.251.773	10,5%	946.712.235
6	276.045.830	12,5%	103.397.442
7	266.459.573	7,3%	58.024.237
8	821.515.004	9,3%	228.625.562
9	405.665.801	12,8%	156.027.709
10	2.159.547	18,3%	1.184.501
11	86.392	19,9%	51.663
12	2.501.346	16,8%	1.260.256
Total sector asegurador español	Volumen de prima y reserva	Riesgo de primas y reservas agregado	Capital necesario
TS	28.550.506.397	5,90%	5.057.462.439

El método proporcional simplemente asigna el beneficio por diversificación en la misma proporción a los doce segmentos. Así, por ejemplo el capital asignado al segmento 1 sería el capital necesario para ese segmento calculado de forma aislada multiplicado por el capital necesario para el total del sector y dividido de la suma aritmética de capitales necesarios de la compañía, es decir, $(2.334.362.865 \times 5.057.462.439) / 7.181.702.391 = 1.643.893.309$ u.m (véase la Tabla 14).

El método *last in* asigna el capital en base a la contribución marginal discreta de cada segmento al capital del total sector. Así, se calculan los VaR de las carteras excluyendo el riesgo de cada línea de forma que la contribución marginal discreta del segmento 1 es el riesgo calculado para la cartera de riesgos formada por el resto de segmentos (excepto el 1) menos el riesgo de la cartera conjunta (la

formada por los 12 segmentos). A modo de ejemplo, dado que el riesgo conjunto es el capital 5.057.462.439 u.m. la contribución marginal del segmento 1 es $5.057.462.439 - 3.384.455.909 = 1.673.006.530$ u.m., dado que 3.384.455.909 u.m. es el capital necesario para la cartera de riesgos formada por los segmentos 2 al 12. En el caso de la contribución marginal del segmento 2 se obtiene una cantidad de 743.052.887 u.m., y de 90.662.634 u.m. en el caso del segmento tres. De esta forma, la suma de las contribuciones marginales discretas de los 12 segmentos asciende a 4.360.589.615 u.m. Para calcular el capital asignado al segmento 1, simplemente se escala su contribución marginal en relación con la suma de contribuciones marginales, es decir, el capital finalmente asignado es de 1.940.372.388 u.m. que se obtiene como $1.673.006.530 \times 5.057.462.439 / 4.360.589.615$ (Tabla 12).

El método incremental analiza el efecto que acontece en la cartera de riesgos ante variaciones pequeñas de los riesgos. De esta forma si aumentamos el riesgo del segmento 1 en un 1% la carga de capital resultante para el total sector sería de 5.076.829.482 u.m., de 5.065.883.635 u.m. en el caso de la aumentar el riesgo del segmento 2 en un 1% y de 5.5058.393.307 en el caso de hacerlo con el segmento 3. Lo anterior implica que el efecto en el total sector de aumentar el riesgo del segmento 1 en un 1% es de 19.367.043 u.m. ($5.076.829.482 - 5.057.462.439$), del aumento del 1% en el segmento 2 de 8.421.196 u.m. y de 930.868 u.m. en el caso del aumento del 1% en el segmento 3. La suma del aumento de los capitales resultante de aumentar todos los segmentos de forma aislada en el 1% asciende a 50.626.568 u.m. De esta forma el capital final asignado al segmento 1 vendrá dado por $5.057.462.439 \times 19.367.043 / 50.626.568$, lo que supone un valor de 1.934.717.247 u.m.

El método de Euler alcanza resultados muy similares al método incremental discreto, ya que este se basa en la derivada o cambio infinitesimal. Para aplicar el método de Euler al capital del segmento 1 simplemente multiplicaremos el capital del segmento de forma aislada (2.334.362.865) por la suma del producto de los capitales aislados de los doce segmentos y la primera columna de la matriz de coeficientes de correlación entre segmentos (coeficientes de correlación del segmento 1 respecto a todos los segmentos), y lo dividiremos por el capital (5.057.462.439). A modo de ejemplo, el capital del segmento 1 sería de 1.935.025.197 u.m. y vendría dado por la fórmula:

$$\frac{2.334.362.865}{5.057.462.439} \times (2.334.362.865 \times 1 + 1.243.307.49 \times 0,5 + 180.282.184 \times 0,5 + 1.928.466.239 \times 0,25 + 946.712.235 \times 0,5 + 103.397.442 \times 0,25 + 58.024.237 \times 0,5 + 228.625.562 \times 0,25 + 156.027.709 \times 0,5 + 1.184.501 \times 0,25 + 51.663 \times 0,25 + 1.260.256 \times 0,25)$$

El modelo que proponemos en este estudio se basa en las contribuciones de riesgo real de cada segmento a la compañía. Para ello lo que se calcula es la diferencia entre:

- A. la carga de capital resultante de la suma de las cargas de cada segmento o carga resultante de la compañía en caso de que la matriz de correlaciones esté formada por 1 (riesgos perfectamente correlacionados) y
- B. la carga de capital resultante del conjunto de riesgos suponiendo que la matriz de correlaciones entre riesgos es toda 1 excepto el coeficiente de correlación entre dos segmentos, que viene definido por el coeficiente de correlación de la fórmula estándar.

De esa forma la diferencia entre a) y b) es el beneficio por diversificación debido a ese par de segmentos. En el caso de que tuviéramos únicamente 3 segmentos (segmento A, B y C) tendríamos tres pares de segmentos (AB, AC y BC), el beneficio por diversificación del segmento A sería la suma de los beneficios por diversificación que le corresponderían por su participación en los pares de segmentos AB y AC.

Dichos beneficios se pueden repartir entre los segmentos en base al valor de estos (variante 1) o a medias entre ambos (variante 2 de los métodos propuestos). De esta forma, la Tabla 11 muestra los

beneficios por diversificación reescalados de la primera variante, ya que la suma de los beneficios por diversificación suma no asciende al beneficio por diversificación total, mientras que la Tabla 12 muestra los valores de la propuesta 2.

Tabla 11. – Diversificación real al riesgo de la compañía de cada segmento. Propuesta 1

Segmento	Diversificación	Segmento	Diversificación
1	746.791.253	7	2.190.616
2	355.915.103	8	25.015.287
3	17.845.577	9	10.632.227
4	711.614.649	10	1.495
5	247.241.592	11	3
6	6.990.528	12	1.622

Tabla 12. – Diversificación real al riesgo de la compañía de cada segmento. Propuesta 2

Segmento	Diversificación	Segmento	Diversificación
1	573.246.845	7	19.349.097
2	380.643.078	8	79.901.258
3	66.354.171	9	44.110.540
4	609.415.611	10	461.350
5	308.491.609	11	21.214
6	41.757.055	12	488.124

A modo de ejemplo describiremos el modo de calcular el beneficio por diversificación del segmento 1 bajo la propuesta 2. En primer lugar debemos tener en cuenta todas las posibles combinaciones del dicho segmento con el resto de segmentos dos a dos, es decir, la combinación 1 y 2, 1 y 3, ..., 1 y 12. Los resultados de la diferencia entre a) la carga de capital resultante de la suma de las cargas de cada segmento o carga resultante de la compañía en caso de que la matriz de correlaciones esté formada por 1 (riesgos perfectamente correlacionados) y b) la carga de capital resultante del conjunto de riesgos suponiendo que la matriz de correlaciones entre riesgos es toda 1 excepto el coeficiente de correlación entre dos segmentos, que viene definido por el coeficiente de correlación de la fórmula estándar o beneficio por diversificación debido a ese par de segmentos no reescalado se muestra en la primera columna de la Tabla 13, mientras que en la segunda columna se muestra los beneficios reescalados (dado que la suma de los beneficios así calculados no se corresponden con el beneficio por diversificación original). El beneficio por diversificación para el segmento 1 asciende a la suma de la última columna dividida entre dos, dado que le corresponde la mitad del beneficio por diversificación entre los pares de segmentos 1 y 2, 1 y 3, ..., 1 y 12. De esta forma el beneficio por diversificación del segmento 1 por todas las combinaciones con el resto de segmentos asciende a 573.246.845 u.m., y por tanto el capital final asignado al mismo sería de $2.334.362.865 - 573.246.845 = 1.761.116.019$ u.m. (véase la Tabla 14)

Tabla 13. – Beneficio por diversificación. Método propuesto variante 2.

Pares de segmentos	Beneficio por diversificación original	Beneficio por diversificación reescalado
Diversificación 1 y 2	204.989.814	236.638.528
Diversificación 1 y 3	29.359.754	33.892.655
Diversificación 1 y 4	486.611.707	561.740.488
Diversificación 1 y 5	155.545.593	179.560.533
Diversificación 1 y 6	25.250.860	29.149.382
Diversificación 1 y 7	9.436.389	10.893.288
Diversificación 1 y 8	55.952.837	64.591.488
Diversificación 1 y 9	25.402.792	29.324.771
Diversificación 1 y 10	288.766	333.349
Diversificación 1 y 11	12.595	14.539
Diversificación 1 y 12	307.235	354.669

En la Tabla 14 se muestra el resumen de los distintos métodos propuestos para asignar el capital de 5.057.462.439 u.m. a los 12 segmentos. Los resultados de los distintos métodos alcanzan resultados distintos para cada línea de negocio, y por tanto supondrían una distinta *performance* ajustada al riesgo, tarificación de las primas dentro de cada segmento, etc. para una compañía aseguradora. En la Tabla 15 se muestra el porcentaje del capital del total sector asignado a cada segmento, mientras que en la Tabla 16 se muestra el porcentaje de capital final de un segmento respecto al capital que tendría de forma aislada. En la misma se observa como el método proporcional asigna el mismo porcentaje (70,42%) de capital a todos los segmentos.

Tabla 14. – Capital asignado a cada segmento: seguros no vida.

Seg-mento	Proporcional	Last in	Incremental	Euler	Propuesta (1)	Propuesta (2)
1	1.643.893.309	1.940.372.388	1.934.717.247	1.935.025.197	1.587.571.612	1.761.116.019
2	875.555.771	861.801.362	841.255.583	841.292.465	887.392.395	862.664.420
3	126.957.416	105.151.574	92.991.298	93.063.240	162.436.607	113.928.013
4	1.358.054.823	1.165.911.833	1.273.786.946	1.273.025.875	1.216.851.590	1.319.050.628
5	666.688.942	617.634.224	593.029.874	593.101.276	699.470.643	638.220.626
6	72.814.028	50.282.490	44.188.401	44.225.150	96.406.914	61.640.387
7	40.861.537	40.135.308	34.785.892	34.819.489	55.833.621	38.675.140
8	161.001.546	144.918.699	128.477.634	128.574.266	203.610.275	148.724.303
9	109.877.050	129.913.035	113.073.842	113.178.574	145.395.482	111.917.169
10	834.143	634.307	546.454	547.014	1.183.006	723.151
11	36.382	24.554	21.149	21.171	51.660	30.449
12	887.491	682.664	588.119	588.721	1.258.634	772.132

Nota: Propuesta (1) hace referencia al reparto del beneficio por diversificación entre líneas en base al valor, mientras que Propuesta (2) lo realiza a medias entre los segmentos.

Tabla 15. – Porcentaje del capital del total sector asignado a cada segmento

Segmento	Proporcional	Last in	Incremental	Euler	Propuesta (1)	Propuesta (2)
1	32,5%	38,4%	38,3%	38,3%	31,4%	34,8%
2	17,3%	17,0%	16,6%	16,6%	17,5%	17,1%
3	2,5%	2,1%	1,8%	1,8%	3,2%	2,3%
4	26,9%	23,1%	25,2%	25,2%	24,1%	26,1%
5	13,2%	12,2%	11,7%	11,7%	13,8%	12,6%
6	1,4%	1,0%	0,9%	0,9%	1,9%	1,2%
7	0,8%	0,8%	0,7%	0,7%	1,1%	0,8%
8	3,2%	2,9%	2,5%	2,5%	4,0%	2,9%
9	2,2%	2,6%	2,2%	2,2%	2,9%	2,2%
10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
11	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 16. – Porcentaje del capital final de cada segmento respecto a su capital inicial: seguros no vida

Segmento	Proporcional	Last in	Incremental	Euler	Propuesta (1)	Propuesta (2)
1	70,4%	83,1%	82,9%	82,9%	68,0%	75,4%
2	70,4%	69,3%	67,7%	67,7%	71,4%	69,4%
3	70,4%	58,3%	51,6%	51,6%	90,1%	63,2%
4	70,4%	60,5%	66,1%	66,0%	63,1%	68,4%
5	70,4%	65,2%	62,6%	62,7%	73,9%	67,4%
6	70,4%	48,6%	42,7%	42,8%	93,2%	59,6%
7	70,4%	69,2%	60,0%	60,0%	96,2%	66,7%
8	70,4%	63,4%	56,2%	56,2%	89,1%	65,1%
9	70,4%	83,3%	72,5%	72,5%	93,2%	71,7%
10	70,4%	53,6%	46,1%	46,2%	99,9%	61,1%
11	70,4%	47,5%	40,9%	41,0%	100,0%	58,9%
12	70,4%	54,2%	46,7%	46,7%	99,9%	61,3%

Tabla 17. – Porcentaje del capital final de cada segmento respecto a su capital inicial: seguros no vida

Segmento	Proporcional	Last in	Incremental	Euler	Propuesta (1)	Propuesta (2)
1	70,4%	83,1%	82,9%	82,9%	68,0%	75,4%
2	70,4%	69,3%	67,7%	67,7%	71,4%	69,4%
3	70,4%	58,3%	51,6%	51,6%	90,1%	63,2%
4	70,4%	60,5%	66,1%	66,0%	63,1%	68,4%
5	70,4%	65,2%	62,6%	62,7%	73,9%	67,4%
6	70,4%	48,6%	42,7%	42,8%	93,2%	59,6%
7	70,4%	69,2%	60,0%	60,0%	96,2%	66,7%
8	70,4%	63,4%	56,2%	56,2%	89,1%	65,1%
9	70,4%	83,3%	72,5%	72,5%	93,2%	71,7%
10	70,4%	53,6%	46,1%	46,2%	99,9%	61,1%
11	70,4%	47,5%	40,9%	41,0%	100,0%	58,9%
12	70,4%	54,2%	46,7%	46,7%	99,9%	61,3%

5.2. Compañía de seguros salud: caso base

Vamos a suponer una compañía que opera en los 4 segmentos de Solvencia II de seguros de salud NSLT, formada por el conjunto de compañías del sector asegurador español, tal y como se muestra en la tabla 17. La tabla muestra el volumen de prima y el volumen de reservas para los 4 segmentos de Solvencia II de la compañía que opera en el mercado español.

Dadas las fórmulas para V_s y σ_s expuestas en el apartado 4.2 se calculan las medidas para el volumen y el riesgo de prima y reserva para cada uno de los cuatro segmentos del mercado español. La fórmula estándar calcula el riesgo agregado de prima y reserva por medio de la volatilidad agregada de la cartera y la medida de volumen agregada multiplicada por 3. Dado que el capital necesario para el total de compañías del mercado español es de 1.632.808.694 u.m. (véase Tabla 18) y la suma de los capitales asignados a los distintos segmentos sería de 1.785.602.075 u.m. debe aplicarse un método de asignación de capital para asignar el beneficio por diversificación 152.793.380 u.m.

Tabla 18. – Volumen de prima y de reserva del seguro de salud NSLT

Segmento	Volumen de prima	Volumen de reserva
1	8.685.283.426	1.373.398.834
2	1.027.389.895	378.919.662
3	772.118	139.722
4	0	0

Tabla 19. – Capital necesario para el riesgo de prima y de reserva del sector asegurador español

Segmento	Volumen de prima y reserva	Riesgo de primas y reservas	Capital necesario
1	10.058.682.260	4,7%	1.417.073.195
2	1.406.309.558	8,7%	368.316.725
3	911.840	7,8%	212.154
4	0	0,0%	0
Total sector asegurador español	Volumen de prima y reserva	Riesgo de primas y reservas agregado	Capital necesario
TS	11.465.903.657	5,19%	1.785.602.075

El método proporcional simplemente asigna el beneficio por diversificación en la misma proporción a los cuatro segmentos. Así, por ejemplo el capital asignado al segmento 1 sería el capital necesario para ese segmento calculado de forma aislada multiplicado por el capital necesario para el total del sector y dividido de la suma aritmética de capitales necesarios de la compañía, es decir, $(1.417.073.195 \times 1.632.808.694) / 1.785.602.075 = 1.295.814.709$ u.m (véase la Tabla 22).

El método *last in* asigna el capital usando a la contribución marginal discreta de cada segmento al capital del total sector. Así, se calculan los VaR de las carteras excluyendo el riesgo de cada línea de forma que la contribución marginal discreta del segmento 1 es el riesgo calculado para la cartera de riesgos formado por el resto de segmentos (excepto el 1) menos el riesgo de la cartera conjunta (la formada por los 4 segmentos). A modo de ejemplo, dado que el riesgo conjunto es el capital 1.632.750.685 u.m., la contribución marginal del segmento 1 es $1.632.750.685 - 368.422.848 = 1.264.385.846$ u.m., dado que 368.422.848 u.m. es el capital necesario para la cartera de riesgos formada por los segmentos 2 y 3. En el caso de la contribución marginal del segmento 2 se obtiene una cantidad de 126.355.219 u.m., y de 58.010 u.m. en el caso del segmento 3. De esta forma, la suma de las contribuciones marginales discretas de los 3 segmentos asciende a 1.390.799.075 u.m. Para calcular el capital asignado al segmento 1, simplemente se escala su contribución marginal con relación a la suma de contribuciones marginales, es decir, el capital finalmente asignado es de $1.484.398.602$ u.m. que se obtiene como $1.264.385.846 \times 1.632.808.694 / 1.390.799.075$ (Tabla 22).

El método incremental analiza el efecto que acontece en la cartera de riesgos ante variaciones pequeñas de los riesgos. De esta forma si aumentamos el riesgo del segmento 1 en un 1% la carga de capital resultante para el total sector sería de 1.646.708.625 u.m., de 1.635.240.362 u.m. en el caso de la aumentar el riesgo del segmento 2 en un 1% y de 1.632.809.854 en el caso de hacerlo con el segmento 3. Lo anterior implica que el efecto en el total sector de aumentar el riesgo del segmento 1 en un 1% es de 13.899.930 u.m. $(1.646.708.625 - 1.632.808.694)$, del aumento del 1% en el segmento 2 de 2.431.668 u.m. y de 1.160 u.m. en el caso del aumento del 1% en el segmento 3. La suma del aumento de los capitales resultante de aumentar todos los segmentos de forma aislada en el 1% asciende a 16.332.758 u.m. De esta forma el capital final asignado al segmento 1 vendrá dado por $1.632.808.694 \times 13.899.930 / 16.332.758$, lo que supone un valor de 1.389.595.499 u.m.

El método de Euler alcanza resultados muy similares al método incremental discreto, ya que este se basa en la derivada o cambio infinitesimal. Para aplicar el método de Euler al capital del segmento 1 simplemente multiplicaremos el capital del segmento de forma aislada (1.417.073.195) por la suma del producto de los capitales aislados de los tres segmentos y la primera columna de la matriz de coeficientes de correlación entre segmento (coeficientes de correlación del segmento 1 respecto a todos los segmentos), y lo dividiremos por el capital 1.632.808.694. A modo de ejemplo, el capital del segmento 1 sería de 1.389.760.262 u.m. y vendría dado por la fórmula:

$$\frac{1.417.073.195}{1.632.808.694} \times (1.417.073.195 \times 1 + 368.316.725 \times 0,5 + 212.154 \times 0,5)$$

A continuación, se muestran los beneficios por diversificación del método propuesto en base al valor de estos (variante 1) o a medias entre los segmentos (variante 2 de los métodos propuestos). De esta forma, la Tabla 19 muestra los beneficios por diversificación reescalados de la primera variante, ya que la suma de los beneficios por diversificación no asciende al beneficio por diversificación total, mientras que la Tabla 20 muestra los valores de la propuesta 2.

Tabla 20. – Diversificación real al riesgo de la compañía de cada segmento. Propuesta 1

Segmento	Diversificación	Segmento	Diversificación
1	121.272.882	3	25
2	31.520.473	4	-

Tabla 21. – Diversificación real al riesgo de la compañía de cada segmento. Propuesta 2

Segmento	Diversificación	Segmento	Diversificación
1	76.380.790	3	53.033
2	76.349.638	4	-

A modo de ejemplo describiremos el modo de calcular el beneficio por diversificación del segmento 1 bajo la propuesta 2. En primer lugar debemos tener en cuenta todas las posibles combinaciones de dicho segmento con el resto de segmentos dos a dos, es decir, la combinación 1 y 2, 1 y 3, 1 y 4. Los resultados de la diferencia entre a) la carga de capital resultante de la suma de las cargas de cada segmento o carga resultante de la compañía en caso de que la matriz de correlaciones esté formada por unos (riesgos perfectamente correlacionados) y b) la carga de capital resultante del conjunto de riesgos suponiendo que la matriz de correlaciones entre riesgos es toda 1 excepto el coeficiente de correlación entre dos segmentos, que viene definido por el coeficiente de correlación de la fórmula estándar o beneficio por diversificación debido a ese par de segmentos no reescalado se muestra en la primera columna de la Tabla 21, mientras que en la segunda columna se muestra los beneficios reescalados (dado que la suma de los beneficios así calculados no se corresponden con el beneficio por diversificación original). El beneficio por diversificación para el segmento 1 asciende a la suma de la última columna dividida entre dos, dado que le corresponde la mitad del beneficio por diversificación entre los pares de segmentos 1 y 2, 1 y 3, 1 y 4. De esta forma el beneficio por diversificación del segmento 1 por todas las combinaciones con el resto de segmentos asciende a 76.385.749 u.m., y por tanto el capital final asignado al mismo sería de $1.417.073.195 - 76.385.749 = 1.340.687.446$ u.m. (véase la Tabla 22)

Tabla 22. – Beneficio por diversificación. Método propuesto variante 2

Pares de segmentos	Beneficio por diversificación original	Beneficio por diversificación reescalado
Diversificación 1 y 2	152.677.395	152.687.307
Diversificación 1 y 3	84.186	84.191
Diversificación 1 y 4	-	-

En la Tabla 22 se muestra el resumen de los distintos métodos propuestos para asignar el capital de 1.632.808.694 u.m. a los 4 segmentos. Los resultados de los distintos métodos alcanzan resultados distintos para cada línea de negocio, y por tanto supondrían una distinta *performance* ajustada al riesgo, tarificación de las primas dentro de cada segmento, etc. para una compañía aseguradora. En la Tabla 23 se muestra el porcentaje del capital del total sector asignado a cada segmento, mientras que en la Tabla 24 se muestra el porcentaje de capital final de un segmento respecto al capital que tendría de forma aislada. En la misma se observa como el método proporcional asigna el mismo porcentaje (91,4%) de capital a todos los segmentos.

Tabla 23. – Capital asignado a cada segmento: seguros de salud NSLT

Segmento	Proporcional	Last in	Incremental	Euler	Propuesta (1)	Propuesta (2)
1	1.295.814.709	1.484.398.602	1.389.595.499	1.389.760.262	1.295.800.313	1.340.687.446
2	336.799.985	148.341.989	243.097.211	242.932.415	336.796.253	291.962.131
3	194.000	68.104	115.984	116.017	212.129	159.117
4	0	0	0	0	0	0

Tabla 24. – Porcentaje del capital final de cada segmento respecto a su capital inicial: seguros de salud NSLT

Segmento	Proporcional	Last in	Incremental	Euler	Propuesta (1)	Propuesta (2)
1	91,4%	104,8%	98,1%	98,1%	91,4%	94,6%
2	91,4%	40,3%	66,0%	66,0%	91,4%	79,3%
3	91,4%	32,1%	54,7%	54,7%	100,0%	75,0%
4	-	-	-	-	-	-

5.3. Robustez

En este apartado describiremos los resultados obtenidos por los distintos modelos que resultarían de la aplicación de otras matrices de correlación entre riesgos, aspecto que podría acontecer en el futuro dado que la fórmula estándar actual está sujeta a revisiones. Esto es interesante para analizar las fortalezas o debilidades de los métodos propuestos.

En primer lugar, y dado que la matriz de correlaciones actualmente fijada en el modelo estándar de seguros no vida (Tabla 2) tiene coeficientes de 0.5 y 0.25 entre segmentos, resultaría interesante el análisis del caso en el que la matriz para una compañía fuera simétrica; para lo cual supondremos que los pares de correlaciones entre los segmentos fuese de 0.5. Le llamaremos a este caso análisis de robustez 1.

El segundo caso supone que los coeficientes de correlación entre segmentos para el caso de salud NSLT fuese de 1 entre el segmento 1 con 2 y 3, pero que el coeficiente de 2 con 3 fuese de 0. Este caso es un ejemplo extremo que, aunque no es probable que acontezca en el futuro, permite ver las ventajas del método propuesto respecto a los otros analizados. Le llamaremos a este caso análisis de robustez 2.

Dado que el empleo de otros coeficientes de correlación hace variar la carga de capital agregada o capital basado en el riesgo, los resultados se analizarán principalmente en porcentaje sobre la carga de capital agregada de la compañía, pero también en u.m. para ver que los distintos métodos cumplen los criterios mencionados en el apartado 2.2. Como se observa en las Tablas 25 y 28 el método proporcional no varía sus cargas porcentuales de capital a los distintos segmentos respecto al caso base, debido a que su fórmula no es sensible a los coeficientes de correlación entre los segmentos. El método *last in* puede provocar asignaciones de capital no deseadas, véase por ejemplo el caso del seguro de salud NSTL en el que al segmento 1 se le asignaría una mayor cantidad de capital que en el caso de que dicho segmento fuese una entidad aislada, es decir, en una compañía únicamente formada por ese segmento, lo cual no es adecuado. En el caso de los métodos incremental y Euler se observa como los resultados son nuevamente muy similares entre ambos. Estos dos métodos en el caso de robustez 2 se observa como también provocan que el capital del segmento 1 sea ligeramente superior al que tendría si fuera una entidad aislada. El método propuesto, en sus variantes 1 y 2, en el caso de robustez 2 asigna al segmento 1 el mismo capital que si a una empresa formada, beneficiando sólo a las líneas que realmente aportan diversificación a la cartera, es decir, los segmentos 2 y 3 (coeficientes de correlación menores a la unidad).

Tabla 25. – Capital asignado a cada segmento: seguros no vida. Análisis de robustez 1

Segmento	Proporcional	Last in	Incremental	Euler	Propuesta (1)	Propuesta (2)
1	1.828.787.615	1.933.325.958	1.974.246.492	1.974.119.651	1.745.957.971	1.890.973.454
2	974.032.525	939.715.771	930.900.713	930.886.359	977.290.314	955.315.944
3	141.236.751	127.171.578	117.891.324	117.949.311	167.219.949	131.492.592
4	1.510.799.896	1.538.627.684	1.561.448.004	1.561.299.247	1.458.434.237	1.531.664.572
5	741.673.729	700.816.628	683.815.089	683.866.819	765.282.905	717.033.190
6	81.003.671	72.611.630	66.904.360	66.941.124	98.409.812	75.125.712
7	45.457.374	40.641.767	37.310.007	37.331.832	56.253.870	42.062.972
8	179.109.941	161.731.999	150.491.298	150.560.105	209.126.161	167.155.253
9	122.235.298	109.906.626	101.692.717	101.744.551	145.823.100	113.664.316
10	927.962	826.973	755.628	756.105	1.183.471	856.218
11	40.474	36.067	32.952	32.973	51.661	37.343
12	987.310	879.866	803.963	804.471	1.259.096	910.982

Tabla 26. – Porcentaje del capital del total sector asignado a cada segmento: seguros no vida. Análisis de robustez 1

Segmento	Proporcional	Last in	Incremental	Euler	Propuesta (1)	Propuesta (2)
1	32,5%	34,4%	35,1%	35,1%	31,0%	33,6%
2	17,3%	16,7%	16,5%	16,5%	17,4%	17,0%
3	2,5%	2,3%	2,1%	2,1%	3,0%	2,3%
4	26,9%	27,3%	27,8%	27,8%	25,9%	27,2%
5	13,2%	12,5%	12,2%	12,2%	13,6%	12,7%
6	1,4%	1,3%	1,2%	1,2%	1,7%	1,3%
7	0,8%	0,7%	0,7%	0,7%	1,0%	0,7%
8	3,2%	2,9%	2,7%	2,7%	3,7%	3,0%
9	2,2%	2,0%	1,8%	1,8%	2,6%	2,0%
10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
11	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 27. – Porcentaje del capital final de cada segmento respecto a su capital inicial. Análisis de robustez 1

Segmento	Proporcional	Last in	Incremental	Euler	Propuesta (1)	Propuesta (2)
1	78,3%	82,8%	84,6%	84,6%	74,8%	81,0%
2	78,3%	75,6%	74,9%	74,9%	78,6%	76,8%
3	78,3%	70,5%	65,4%	65,4%	92,8%	72,9%
4	78,3%	79,8%	81,0%	81,0%	75,6%	79,4%
5	78,3%	74,0%	72,2%	72,2%	80,8%	75,7%
6	78,3%	70,2%	64,7%	64,7%	95,2%	72,7%
7	78,3%	70,0%	64,3%	64,3%	96,9%	72,5%
8	78,3%	70,7%	65,8%	65,9%	91,5%	73,1%
9	78,3%	70,4%	65,2%	65,2%	93,5%	72,8%
10	78,3%	69,8%	63,8%	63,8%	99,9%	72,3%
11	78,3%	69,8%	63,8%	63,8%	100,0%	72,3%
12	78,3%	69,8%	63,8%	63,8%	99,9%	72,3%

Tabla 28. – Capital asignado a cada segmento: seguros salud NSLT. Análisis de robustez 2

Segmento	Proporcional	Last in	Incremental	Euler	Propuesta (1)	Propuesta (2)
1	1.417.038.465	1.569.744.422	1.417.107.812	1.417.107.926	1.417.073.195	1.417.073.195
2	368.307.699	215.720.630	368.282.103	368.281.990	368.272.989	368.294.845
3	212.149	93.261	168.397	168.397	212.129	190.273
4	0	0	0	0	0	0

Tabla 29. – Porcentaje del capital del total sector asignado a cada segmento: seguros de salud NSLT. Análisis de robustez 2

Segmento	Proporcional	Last in	Incremental	Euler	Propuesta (1)	Propuesta (2)
1	79,4%	87,9%	79,4%	79,4%	79,4%	79,4%
2	20,6%	12,1%	20,6%	20,6%	20,6%	20,6%
3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4	-	-	-	-	-	-

Tabla 30. – Porcentaje del capital final de cada segmento respecto a su capital inicial: seguros de salud NSLT. Análisis de robustez 2

Segmento	Proporcional	Last in	Incremental	Euler	Propuesta (1)	Propuesta (2)
1	100,0%	110,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
2	100,0%	58,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
3	100,0%	44,0%	79,4%	79,4%	100,0%	89,7%
4	-	-	-	-	-	-



Conclusiones

6. Conclusiones

La nueva regulación sobre solvencia del sector asegurador europeo Solvencia II tiene importantes implicaciones sobre el modo en el que las entidades deben llevar a cabo su gestión del riesgo. Las compañías europeas deben contar con un sistema integral de gestión del riesgo (ERM) capaz de cuantificar el riesgo de la empresa a través de sus distintos componentes. Las compañías deberían ser capaces de repartir las cargas de capital a los causantes de las mismas para poder tomar decisiones más fundamentadas. De esta forma, la asignación de capital a las líneas de negocio (o segmentos de negocio) permite a la empresa maximizar su valor, si el ingreso neto de una línea de negocio es mayor que el producto del coste de capital por el capital asignado a cada línea, contribuyendo así al objetivo de maximizar el valor. Además, los gestores necesitan la información de los capitales de cada línea de negocio para identificar aquellas que tienen una mejor y peor rentabilidad con relación al riesgo y así, poder optimizar la carga de capital de la entidad.

Distintos métodos de asignación de capital han sido expuestos en la literatura (véase un resumen en Eling y Schmeiser, 2010 entre otros) y se han propuesto desde un punto de vista teórico distintas características deseables que debieran cumplir los mismos. Muchos de los métodos propuestos en la literatura no abordan de forma correcta la diversificación entre las líneas de negocio. La diversificación significa la reducción del riesgo mediante la participación en una cartera de negocios (aseguradora multilínea) y no operar en una compañía de una sola línea (aseguradora monolínea). Los beneficios de diversificación de una cartera de riesgos deben ser asignados en última instancia a aquellos riesgos que los provocan y no beneficiar a segmentos que no aportan diversificación. Otro problema de los métodos analizados es que en algunos casos no son métodos coherentes de reparto del capital, de forma que varios provocan que la carga de capital asignadas a una línea de negocio por su participación en una cartera de riesgos es superior a su requisito de capital si ésta fuera una unidad independiente (primer axioma de Denault, 2001). Este trabajo presenta un nuevo método con dos variantes, a nuestro juicio, no documentado hasta el momento que sería un método sencillo en la clasificación de Eling y Schmeiser (2010), fácil de aplicar en el marco de Solvencia II y que asigna realmente el beneficio por diversificación a los causantes, cumpliendo las características deseadas de los métodos de asignación de capital. Mediante su aplicación práctica se trata de facilitar su comprensión para las compañías europeas, pudiendo ser fácilmente extendido a otros riesgos aseguradores. A diferencia de otros métodos no analizados en este trabajo no requiere el conocimiento de volatilidades, rendimientos o correlaciones con los activos (método de Myers y Read, 1999 o el método CAPM documentado en Cummings, 2000) o la necesidad de simular las distribuciones de pérdidas de las líneas de negocio y de la compañía (método RMK, 2013, transformadas de Wang, etc.).

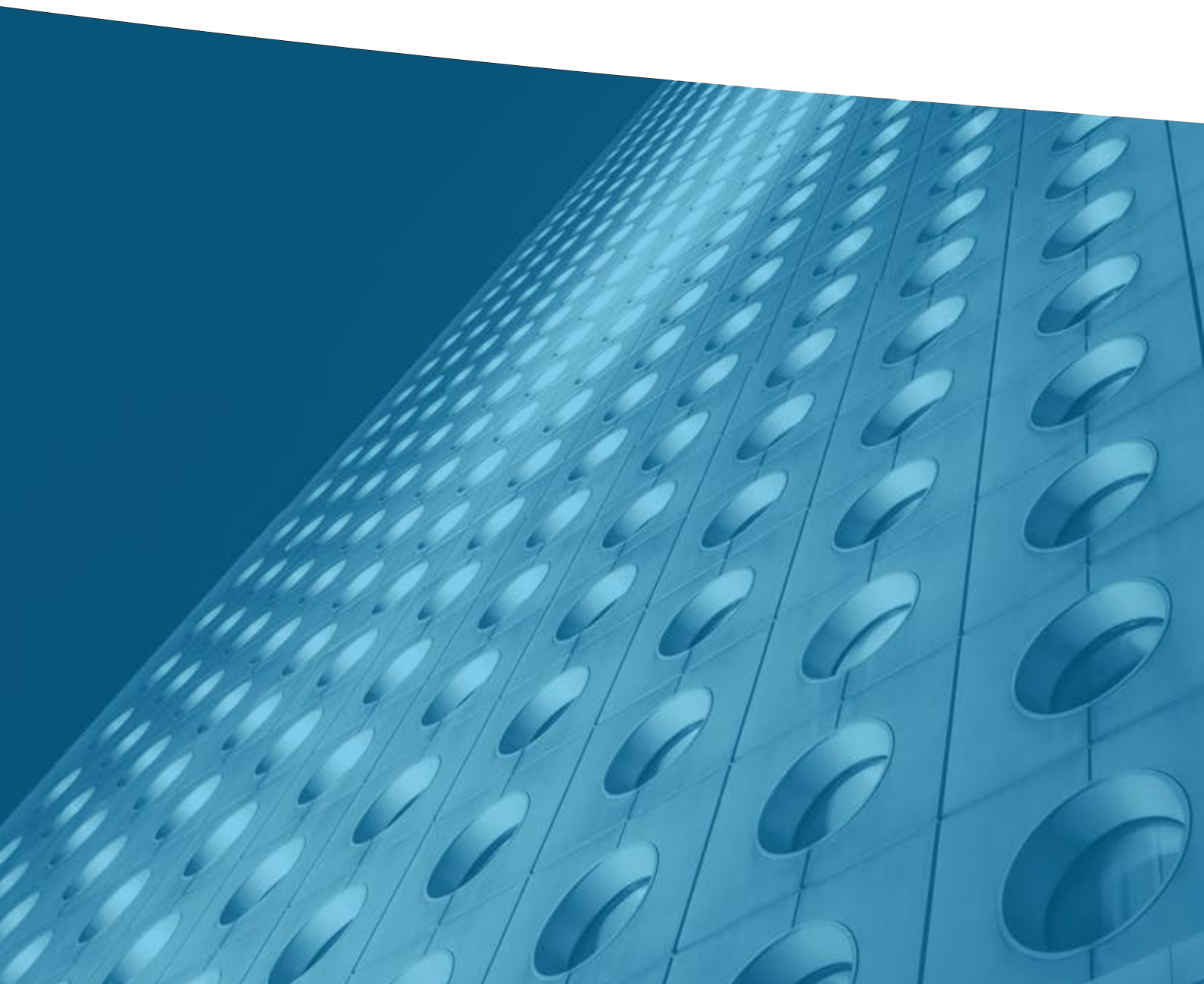


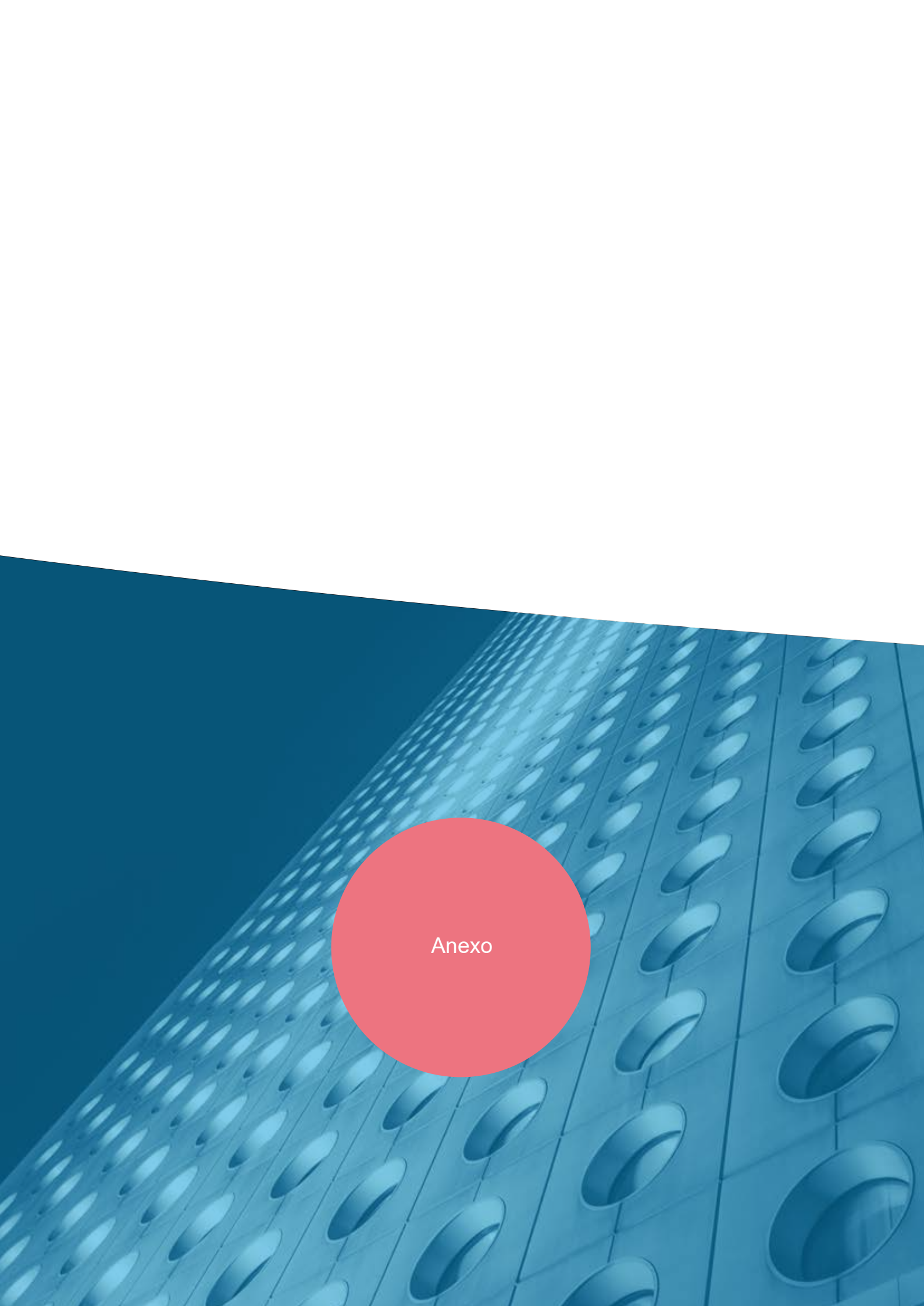
Referencias

7. Referencias

- Albrecht, P. (2006): Risk based capital allocation. In: Encyclopaedia of Actuarial Science. Wiley, Chichester.
- Balog, D. (2017). Capital Allocation in the Insurance Sector. *Financial and Economic Review*, 16(3): 74–97.
- Balog, D., Bátyy, T.L., Csóka, P., Pintér, M. (2017). Properties and comparison of risk capital allocation methods. *European Journal of Operational Research*, 259(2): 614-625.
- Bodoff, N. M. (2009). Capital Allocation by Percentile Layer. *Variance*, 3: 13–30.
- Corrigan, J.; De Decker, J., Hoshino, T., van Delft, L. y Verheugen, H. (2009). Aggregation of risks and Allocation of capital Milliman. Disponible en <http://www.milliman.com/uploadedFiles/insight/research/life-rr/agggregation-of-risks-allocation.pdf>
- Csóka, P. y Pintér, M. (2016). On the Impossibility of Fair Risk Allocation. *The B.E. Journal of Theoretical Economics*, 16(1): 143–158.
- Cummins, J. D. (2000). Allocation of Capital in the Insurance Industry. *Risk Management and Insurance Review*, 3(1): 7-27.
- D’Arcy, S. P. (2011). Capital Allocation in the Property-Liability Insurance Industry. *Variance*, 5(2): 141-157.
- Denault, M. (2001). Coherent Allocation of Risk Capital. *Journal of Risk*, 4(1): 1–34.
- EIOPA (2017). *Final report on the Public Consultation No. 17/004 on EIOPA’s first set of advice to the European Commission on specific items in the Solvency II Delegated Regulation*. EIOPA-BoS-17/280.
- Eling, M y Schmeiser, H. (2010). The Risk Premium Project (RPP) Update - RPP II Report. Technical report. Casualty Actuarial Society– Committee on Theory of Risk. Disponible en <https://www.alexandria.unisg.ch/238398/1/Eling%20Schmeiser%20Studie%202010.pdf>
- Gründl, H., y Schmeiser, H. (2007). Capital Allocation in Insurance: Economic Capital and the Allocation of the Default Option Value by Michael Sherris and John van der Hoek, April 2006. *North American Actuarial Journal* (Discussions of Papers Already Published with Authors’ Reply), 11(1): 163-165.
- Hallerbach, W. G. (2003). Decomposing Portfolio Value-at-Risk: A General Analysis. *Journal of Risk*, 5 (2): 1-18.
- Homburg, C. y Scherpereel, P. (2008). How should the joint capital be allocated for performance measurement?. *European Journal of Operational Research*, 187(1): 208–217.
- Kreps, R. (2005). Riskiness Leverage Models. Proceedings of the Casualty Actuarial Society, 91: 31-60. Disponible en <http://www.casact.org/pubs/proceed/proceed05/05041.pdf>
- *Ley 20/2015, de 14 de julio, de ordenación, supervisión y solvencia de las entidades aseguradoras y reaseguradoras.*
- Mango, D. (2006). Insurance Capital as a Shared Asset. Casualty Actuarial Society Forum, Fall, 573-586. Disponible en <http://www.casact.org/pubs/forum/06forum/577.pdf>

- Meyers, G. G. (2003). The Economics of Capital Allocation. Casualty Actuarial Society Forum, Fall, 391–418. Disponible en <http://www.casact.org/pubs/forum/03fforum/03ff391.pdf>
- Phillips, R. D., Cummins J. D. y Allen, F. (1998). Financial Pricing of Insurance in the Multiple-Line Insurance Company. *Journal of Risk and Insurance*, 65(4): 597-636.
- *Real Decreto 1060/2015, de 20 de noviembre, de ordenación, supervisión y solvencia de las entidades aseguradoras y reaseguradoras.*
- *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.*
- Ruhm, D., Mango, D. y Kreps, R. (2013). A General Additive Method for Portfolio Risk Analysis. Forthcoming, *ASTIN Bulletin*.
- Ruhm, D. y Mango, D. (2003). A Method of Implementing Myers-Read Capital Allocation in Simulation. Casualty Actuarial Society Forum, Fall, 451-458. Disponible en <http://www.casact.org/pubs/forum/03fforum/03ff451.pdf>
- UNESPA (2015). *Solvencia II. De un vistazo*. Departamento de Análisis y Estudios
- Venter, G. G. (2003). A Survey of Capital Allocation Methods with Commentary,” *ASTIN Colloquia*. Disponible en <http://www.actuaries.org/ASTIN/Colloquia/Berlin/Venter2.pdf>
- Venter, G. G. (2004). Capital Allocation Survey with Commentary. *North American Actuarial Journal*, 8(2): 96-107.
- Venter, G. G. (2009). Strategic Planning, Risk Pricing and Firm Value. *ASTIN Colloquia*, Helsinki. Disponible en https://www.actuaries.org/ASTIN/Colloquia/Helsinki/Papers/S7_22_Venter.pdf
- Wang, S.S. (1998). Implementation of proportional hazards transforms in ratemaking. *Proceedings of the Casualty Actuarial Society*, LXXXV, 940-979. Disponible en <https://www.casact.org/pubs/proceed/proceed98/980940.pdf>
- Wang, S.S. (2000). A class of distortion operators for pricing financial and insurance risks, *Journal of Risk and Insurance*, 67(1): 15-36.
- Zec, N. (2013). From Game Theory To Solvency Quantile Calculation: Capital Allocation With Use In Nonlife Insurance, *Bulletin Français D'Actuariat*, 13(26): 5 – 46.
- Zeppetella, T. (2002). Allocation of Required Capital by Line of Business. Disponible en https://www.soa.org/files/research/projects/required_capital.pdf
- Zhang, Y. (2008). Allocation of Capital Between Assets and Liabilities. *ASTIN Bulletin*, 28(1): 1–11.





Anexo

8. Anexo. Otros métodos de asignación de capital

A continuación, se describe brevemente otra serie de métodos empleados en la literatura para asignar capital a las distintas líneas de negocio. Sin embargo, esta enumeración no es exhaustiva.

- **Método beta o covarianza-varianza.**

Siguiendo a Homburg y Scherpereel (2008) el método beta supone que el capital se distribuye de forma proporcional al factor beta de cada línea de negocio, siendo su cálculo relativamente simple. Este método se centra en cómo las distintas líneas de negocio contribuyen a la varianza de la compañía. Para ello se calcula el denominado factor beta:

$$\beta_i = \frac{Cov(L_i; L)}{Var(L)}$$

es decir, la covarianza entre el retorno de la línea i y el de la aseguradora dividido de la varianza del retorno de la aseguradora.

El factor beta es una medida de riesgo sistemático de la línea de negocio i dentro de la aseguradora. La asignación de todo el capital de la compañía a las distintas líneas de negocio está garantizada dado que la suma de las betas es igual a 1, es decir, la suma de las covarianzas individuales de las líneas de negocio es igual a la varianza de la compañía. El problema de este método es que no se impide que los factores beta sean para alguna línea de negocios negativos, lo que implicaría que la asignación de capital a esa línea de negocio sea negativa. Al mismo tiempo, también existe la posibilidad de que la beta de una línea de negocio sea superior a 1, lo que significaría que el capital asignado a esa línea fuese mayor que el capital económico de toda la compañía. Otra forma de asignar el capital teniendo en cuenta la beta de cada línea de negocio es siguiendo a Albrecht (2006) el denominado CAPM asegurador.

- **Shapley**

Otro tipo de métodos son los que emanan de la teoría de juegos, enfoque ampliamente utilizado para la toma de decisiones en situaciones de conflicto. En la asignación de capital el conflicto es cómo compartir el beneficio de diversificación entre cada línea de negocio ya que se beneficia de ser parte de una compañía diversificada más grande, pero también renuncia a algunos beneficios de

diversificación por ser parte de esta. El método de Shapley considera el papel que cada unidad de negocio desempeña en todas las combinaciones posibles de unidades de negocio, y de su contribución al capital requerido para cada combinación. De esta forma aproxima la contribución marginal de cada unidad de negocio al conjunto, lo que posibilita que el capital se pueda asignar entre las distintas líneas en función de la contribución marginal de cada una de ellas al capital requerido para la compañía. Matemáticamente el valor de Shapley se basa en el promedio del cálculo de: a) “primero en” o “first in”, B) “último en” o “last in” y, c) todos los intermedios (“intermediate ins”). En el caso de tener 3 líneas de negocio, sólo habría una intermedia, ya que solo hay tres líneas. La forma de proceder es la siguiente (véase Corrigan et al., 2009):

- Los valores del “primero en” son los mismos valores que el método de la prorrata lineal o “first in”.
- Los valores del “último en” son los valores del método de las asignaciones marginales discretas o “last in” sin reescalar.
- El cálculo de los intermedios se calcula como si una línea fuera el segundo participante en cada posible combinación de las líneas de negocio. Por ejemplo, la línea A puede ser el segundo en la combinación AB o AC. Los cálculos de la denominada segunda entrada determinan la contribución que A hace a cada una de estas hipotéticas compañías. De esta forma el valor de la segunda entrada es el promedio de la segunda contribución que hace una línea de negocio en todas las combinaciones posibles.

Aumann y Shapley desarrollaron el valor de Aumann-Shapley, que es una mejora del valor de Shapley ya que permite jugadores fraccionados. El valor de Aumann-Shapley representa la tasa de aumento del riesgo, es decir, cuánto riesgo adicional tiene una cartera cuando se suma un pequeño aumento de tamaño. El riesgo se calcula en función de cualquier medida de riesgo adoptada.

- **Método de Myers-Read (2001)**

El método de Myers-Read (2001), es uno de los principales modelos marginales de asignación de capital, es decir, que reconocen los beneficios de la diversificación dentro de una compañía aseguradora al asignar capital. Este modelo se basa en la teoría de valoración de opciones para derivar el impacto marginal de una línea de negocio en la capital de la compañía. El modelo ve a los accionistas de la compañía de seguros como los inversores que tienen una opción de compra sobre los activos de la empresa. Si los pasivos superan los activos, los accionistas pierden su inversión en la compañía. Teniendo en cuenta los activos de la empresa y el valor actual de las pérdidas por línea de negocio, los métodos de valoración de opciones se utilizan para calcular el valor predeterminado de la empresa, que es la prima que la empresa tiene que pagar para garantizar el pago de las pérdidas si la empresa incurre en default. De esta forma, el método de Myers-Read generalmente asume una distribución de pérdida total normal o lognormal, siendo el valor de la opción de venta determinado a través de la fórmula de valoración de opciones de Black- Scholes. El excedente o surplus se asigna generalmente a cada línea de negocio para que el valor de impago marginal sea el mismo en todas las líneas.

El enfoque de Myers-Read implica definir el valor de default de la empresa (opción de venta por insolvencia). Posteriormente se derivan fórmulas de asignación de capital tomando la derivada de la opción de venta por insolvencia con respecto a cada una de las líneas de negocio. El valor de default de la compañía de seguros puede expresarse como:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_V^2 + \sigma_L^2 - 2\sigma_{LV}}$$

Y por lo tanto depende de la volatilidad de las pérdidas de pasivo (σ_V^2), el activo (σ_L^2) y la covarianza de pasivo y activo ($2\sigma_{LV}$). Estas volatilidades pueden ser aproximadas por:

$$\sigma_L^2 = \sum_{i=1}^n x_i \sigma_{iL}$$

$$\sigma_{iL} = \sum_{j=1}^n x_j \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j$$

$$\sigma_{LV} = \sum_{i=1}^n x_i \sigma_{iV}$$

$$\sigma_{iV} = \rho_{iV} \sigma_i \sigma_V$$

Siendo ρ_{ij} la correlación entre las pérdidas logarítmicas en dos líneas de seguro, ρ_{iV} la correlación entre la pérdida log de una línea de seguro y el log del valor de activo, σ_{iL} es la covarianza de pérdida de la línea de negocios i y la cartera, y finalmente, σ_{iV} es la covarianza de pérdida de la línea de negocios i y el valor de activo. Suponiendo que las distribuciones de probabilidad de pérdidas futuras de pasivos y activos están lognormal distribuida de forma conjunta, el valor de default mediante la fórmula de valoración de opciones de Black-Scholes se puede escribir para Myers-Read (2001) como⁶:

$$D = L\Phi\{z\} - (1 + s)\Phi\{z - \sigma\}$$

Siendo $\Phi\{ \}$ la función de distribución acumulada de la distribución normal estándar, s el excedente de la empresa o diferencia entre los activos y pasivos y $z = \frac{-1}{\sigma} \ln(1 + s) + \frac{1}{2} \sigma$. De esta forma la ratio de default a pasivos (Default/Liability Value o D/L) puede ser expresado como:

$$d = \frac{D}{L} = \Phi\{z\} - (1 + s)\Phi\{z - \sigma\}$$

El modelo de Myers-Read (2001) asume que se mantiene el mismo valor de la ratio de default a pasivos para todas las líneas de negocio de la empresa. De esta forma el excedente o surplus de una línea de negocio (s_i) se calcula como:

$$s_i = s - L_i(1 - \text{Delta}) \text{Vega} \frac{1}{\sigma} ((\sigma_{iL} - \sigma_L^2) - (\sigma_{iV} - \sigma_{LV}))$$

Siendo $\text{Delta} = \frac{dd}{ds} = -\Phi^{-1}\{z - d\}$ y $\text{Vega} = \frac{dd}{d\sigma} = \Phi\{z\}$.

De esta forma el capital asignado a cada línea de negocio viene dado por el producto del valor de los pasivos iniciales de la línea de negocio L_i (L_k) (valor esperado de las pérdidas de dicha línea) por el producto de la derivada del excedente respecto a la derivada del valor esperado de las pérdidas de dicha línea, es decir:

$$S_k = L_k(dS/dL_k).$$

⁶ Técnicamente, la fórmula del modelo de método de Myers-Read requiere que la distribución de pérdidas agregada de la compañía y los valores de los activos estén lognormalmente distribuidos conjuntos. Myers y Read (2001) señala que las pérdidas futuras de cada línea de negocio se distribuyen según un lognormal entonces la pérdida agregada no puede ser lognormal. Sin embargo, los autores creen que esta es una aproximación razonable.

- **Método de Ruhm-Mango-Kreps**

El método de Ruhm-Mango-Kreps o RMK, es un método que asigna el capital a las distintas líneas de negocio basándose en una distribución de probabilidad condicional. El principio central del método es que cada componente o línea de negocio se evalúa para medir su contribución al riesgo total de la empresa.

El método incorpora un factor de pesos o apalancamiento de riesgo (*riskiness leverage factor* o RLF). Para la aplicación del método RMK se procede de la siguiente forma:

- Se simulan los posibles resultados por cada línea de negocio y total de la empresa.
- Calcular los valores esperados $E[x]$.
- Seleccionar una medida de riesgo sobre los resultados totales de la empresa.
- Expresar la medida de riesgo como factores de apalancamiento (factores más altos para peores resultados)
- Calcular los valores esperados ajustados por riesgo $E[Rx]$, que son promedios ponderados.
- Asignar el capital en proporción al riesgo, mediante:
Riesgo \sim Valor esperado ajustado por riesgo - Valor esperado
Riesgo $\sim E [Rx] - E [x]$

Para implementar el método RMK para asignar el capital de una compañía aseguradora se sigue el siguiente procedimiento:

- Se simula una elevada cantidad de resultados potenciales de las pérdidas de cada una de las líneas de negocio y el total de la compañía.
- Se ordenan los distintos escenarios o iteraciones en base a los resultados agregados, es decir, las pérdidas totales para la compañía (suma de las pérdidas de todas las líneas de negocio).
- Se determina un RLF o *riskiness leverage factor* para cada resultado agregado.
- Se aplica el RLF correspondiente al resultado de cada segmento si consume o suministra capital.
- Se asigna capital en base a las cargas totales de capital.

En general, los pesos de la medida de riesgo o RLF son no negativos y mayores para los peores resultados, es decir, aquellas que tienen más riesgo). La principal ventaja de Ruhm-Mango-Kreps, es que es un método para asignar capital muy flexible al permitir elegir la medida de riesgo RLF de forma que se alcancen los mismos resultados que otros métodos de asignación de capital (véase Kreps, 2005).

- **Transformadas (Wang y PH)**

Dado que el capital se asigna habitualmente en proporción a alguna medida de riesgo, y la mayoría de las medidas de riesgo se pueden expresar como transformaciones de probabilidad. Por ejemplo, el TVaR al 95% de confianza se puede expresar como la media proveniente del aumento de las probabilidades en un factor de 20 para el 5% de las pérdidas más grandes, y el establecimiento de todas las demás probabilidades en cero. Esta es una transformación de probabilidad pero no una transformación equivalente, ya que algunas probabilidades se mueven a cero. A partir de una

simulación de pérdidas agregadas por línea, es fácil asignar una medida de riesgo a la unidad. Para las simulaciones de K, normalmente se asigna una probabilidad de $1 / (1 + K)$ a cada simulación. Luego se puede ordenar todas las simulaciones en función de la pérdida agregada para toda la compañía (de menor a mayor). Por lo general, las transformaciones se realizan en sobre la función de densidad de la distribución de pérdidas agregadas.

Para aplicar en la práctica el método se debe simular las pérdidas de las líneas de negocio y las agregamos para tener las pérdidas de la cartera, y se ordenan de mayor a menor importancia. En el caso de que haya n escenarios, y que la compañía esté compuesta por 3 líneas de negocio la tabla de resultados tendría el siguiente aspecto:

Escenario	Pérdidas Lob1	Pérdidas Lob2	Pérdidas Lob3	Pérdidas Total
1				
2				
3				
4				
5				
....				
n				

Cada escenario tiene una probabilidad de $1/n$, siendo por tanto equiprobables. Suponiendo que se han generado 200.000 escenarios la probabilidad de cada escenario, denominada $f(x)$, es de $1/200.000$ o 0,0005%. La probabilidad acumulada, $F(x)$, es simplemente la suma de las probabilidades acumuladas a ese escenario.

La transformación de Wang propuesta en Wang (2000) supone la siguiente fórmula:

$$F^*(x) = \Phi(\Phi^{-1}(F(x)) + \lambda)$$

Siendo Φ la función de distribución normal estándar e Φ^{-1} su inversa y λ el precio del riesgo del mercado o ratio de Sharpe.

De esta forma desde un punto de vista práctico debemos a partir de la probabilidad $f(x)= 0,0005\%$ acumular las probabilidades hasta ese punto para obtener $F(x)$. A partir de la transformada de Wang calculamos $F^*(x)$. Una vez tenemos las probabilidades transformadas acumuladas, simplemente pasamos a $f^*(x)$, de forma que la probabilidad del primer escenario es $F^*(1)$, la del segundo $F^*(2)- F^*(1)$, y así sucesivamente.

Escenario	$f(x)$	$F(x)$	$F^*(x)$	$f^*(x)$
1				
2				
3				
4				
5				
....				
n				

Las primas asignadas a cada línea de negocios se calculan simplemente como la suma del producto de las pérdidas simuladas de cada línea de negocio por las probabilidades transformadas $f^*(x)$ de cada uno de los escenarios. El capital asignado a cada LOB es la prima total asignada de la línea i entre el total de primas.

La transformada proporcional de riesgo de Wang (1998) - Proportional Hazards (PH) transform-funciona de forma semejante que la transformada de Wang. Inicialmente se simulan las pérdidas de las líneas de negocio y se ordenan en base a la pérdida agregada de menor a mayor.

Escenario	Pérdidas Lob1	Pérdidas Lob2	Pérdidas Lob3	Pérdidas Total
1				
2				
3				
4				
5				
....				
n				

A continuación, se calcula su función de probabilidad $f(x)$ y su acumulado $F(x)$. La función de supervivencia $S(x)$ simplemente se calcula como $1 - F(x)$. $S^*(x)$ es la multiplicación de $S(x)$ por un factor r . La función $F^*(x)$ es simplemente $1 - S^*(x)$, y $f^*(x)$ es la probabilidad del escenario transformado. De forma semejante a la transformada de Wang, las primas asignadas a cada LOB es simplemente la suma del producto de las pérdidas simuladas de cada línea de negocio por las probabilidades transformadas $f^*(x)$ de cada uno de los escenarios. El capital asignado a cada LOB es la prima total asignada de la línea i entre el total de primas.

Escenario	$f(x)$	$F(x)$	$S(x)$	$S^*(x)$	$F^*(x)$	$f^*(x)$
1						
2						
3						
4						
5						
....						
n						

- **Empleo de diferentes medidas de riesgo**

Distintas medidas de riesgo como la desviación típica, la varianza, el valor en riesgo o VaR, el TailVaR, el XTVaR, etc. pueden ser empleadas para la asignación del capital a las distintas líneas de negocio (véase por ejemplo D'Arcy, 2011 o Ruhm, Mango y Krepes, 2013). Estos métodos suponen la simulación de la distribución de pérdidas de cada línea de negocio y de la agregada de la compañía. Otro conjunto de medidas de riesgo especialmente útiles para la asignación de capital serían las co-medidas (co-xTVaR, etc).

ICEA
López de Hoyos, 35 - 5ª Planta
28002 Madrid
Tel: 91 142 09 00
www.icea.es

