

Metodología financiera de gestión y cuantificación de riesgos de las entidades aseguradoras

Rafael Hernández Barros¹
Universidad Complutense
de Madrid
rjhbarros@ccee.ucm.es

Resumen

El artículo describe las diferentes metodologías financieras de gestión integral de riesgos, detallando tanto aquellas utilizadas tradicionalmente en el sector asegurador para tarificar y calcular las provisiones, y que ahora están siendo utilizadas para calcular la solvencia y los requerimientos de capital, como los modelos financieros más avanzados, tales como los modelos de "stress testing", utilizados para analizar lo que podría ocurrir en determinados escenarios; la técnica de modelización del valor en riesgo (VaR), para calcular la pérdida máxima posible dentro de un periodo de tiempo y para un determinado nivel de probabilidad; la teoría del valor extremo, que se centra en el estudio de los extremos de la distribución de pérdidas y ganancias esperadas, tratando de estimar las pérdidas máximas que pueden producirse; y la aplicación de cópulas, para incorporar la dependencia entre diferentes tipos de riesgo. Supone también una aproximación a Solvencia II y a las nuevas exigencias de cuantificación del capital que trae consigo esta nueva legislación europea del sector asegurador.

Palabras clave: Gestión de riesgos; Modelos financieros de riesgos; Cuantificación del riesgo; Seguros, Solvencia II.

Abstract

The article describes the different methodologies of financial risk management, featuring both those traditionally used in the insurance industry to estimate insurance, that they are now being used to calculate the solvency and capital requirements, as the more advances financial models as "stress testing", used to analyze what might happen in certain scenarios; the modeling technique of value at risk (VaR), to estimate the maximum possible loss within a period of time and for a certain

¹ Departamento de Economía Financiera y Contabilidad III, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Complutense de Madrid, Campus de Somosaguas, 28223 Pozuelo de Alarcón (Madrid).

level of probability; the extreme value theory, which focuses on the study of the ends of the expected losses and income distribution, trying to estimate the maximum losses that may occur; and the application of copulas to incorporate the dependence between different types of risk. It also implies an approach to Solvency II and to the new capital requirements for quantifying capital that brings this new insurance European legislation.

Keywords: Risk management; Risk financial models; Risk quantification; Insurance; Solvency II.

1. INTRODUCCIÓN

Todo modelo es una representación de un fenómeno real; en particular, al realizar una modelización matemática de una situación real se pretende facilitar su análisis y disponer de un soporte que permita tomar decisiones racionales en torno a esa situación. Por ello es ideal que el modelo represente lo más fielmente posible el fenómeno real, pero hasta un cierto límite ya que, normalmente, mientras más fidelidad se pretenda obtener con el modelo, éste será más sofisticado. La complejidad del modelo abarca aspectos como las condiciones, hipótesis o supuestos bajo las cuales es aplicable.

Las raíces del análisis de riesgos moderno están contenidas en una investigación de 1952 de Harry M. Markowitz² sobre los principios de la selección de carteras de valores³. Markowitz publicó en 1952 el artículo que se considera el origen de la teoría de selección de carteras, de la teoría de equilibrio en el mercado de capitales, así como de todas las finanzas modernas. Inicialmente se le prestó escasa atención hasta que en 1959 aclaró con mayor detalle su formulación inicial. A raíz de un conocido trabajo publicado en 1958 por James Tobin⁴, se vuelve a plantear el problema de la composición óptima de una cartera de valores, si bien con una orientación y alcance totalmente nuevos. Fueron sin embargo William F. Sharpe⁵ y John Lintner⁶ quienes completaron el estudio despertando un enorme interés en los círculos académicos y profesionales.

La principal aportación de Harry M. Markowitz consistió en recoger de forma explícita en su modelo los rasgos fundamentales de lo que en un principio se puede calificar como conducta racional del inversor, consistente en buscar aquella composición de la cartera que haga máxima la rentabilidad para un determinado nivel de riesgo, o bien, un mínimo el riesgo para una rentabilidad dada.

² Markowitz (1952), "Portfolio selection", pp. 77-91.

³ Se entiende por cartera de valores a una determinada combinación de valores mobiliarios adquiridos por una persona física o jurídica, y que pasan por lo tanto, a formar parte de su patrimonio. En ella se incluyen cualquier tipo de activos financieros.

⁴ Tobin (1958), "Liquidity preference as behavior towards risk", pp. 65-86.

⁵ Lintner (1965), "Security prices, risk, and maximal gains from diversification", pp. 587-615.

⁶ Sharpe (1964), "Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk", pp. 425-442.

El siguiente desarrollo importante en el análisis de riesgos ocurrió en 1973, con la publicación en el *Journal of Political Economy* de una investigación de Fisher Black y Myron Scholes⁷ sobre el precio de las opciones, que ha sido aceptado desde entonces como uno de los modelos matemáticos más influyentes en grandes decisiones financieras a nivel mundial. El modelo de valoración de opciones era la solución a un problema de más de 70 años, lo que constituyó un importante logro científico. Sin embargo, la principal contribución de Black y Scholes está vinculada a la importancia teórica y práctica de su método de análisis, presente en la resolución de muchos otros problemas económicos.

El método –que después se aplicaría a otras áreas de la economía, tales como crecimiento económico neoclásico en un contexto incierto, empresa competitiva con precio incierto, tasas estocásticas de inflación y crecimiento en una economía abierta en ambiente de incertidumbre– produjo un impresionante auge de nuevos instrumentos financieros y facilitó un manejo más eficaz del riesgo, no solo entre los agentes económicos que se sienten inclinados a tomarlo, sino también entre aquellos que son adversos a él. La importancia práctica del modelo radica en que ha hecho posible una administración científica del riesgo⁸.

2. MODELOS INTERNOS PARA EL SECTOR SEGUROS

Los modelos internos de gestión de riesgos existen desde hace varios años, pero sólo recientemente están apareciendo modelos más avanzados, que inicialmente suelen ser utilizados por grandes aseguradoras, especialmente aquellos que operan en varios países, y por reaseguradoras. Aunque estos modelos se desarrollaron en ausencia de regulación al respecto, están ayudando a mejorar los estándares de la gerencia de riesgos en general y a conformar un nuevo marco regulador (Solvencia II⁹) que ayudará a comprender mejor los riesgos del sector asegurador en su conjunto, en un mundo que cada vez es más complejo y globalizado y con unos riesgos de mayores dimensiones y estrechamente interconectados.

En cualquier caso, la gestión de riesgos de las entidades aseguradoras debería cubrir los elementos clave del ciclo de negocio, así como una gestión adecuada de los riesgos a los que la compañía está expuesta, tal y como se expresa en el Cuadro 1, en el que se vincula a cada fase del ciclo de negocio –desde la orden de cobertura del seguro hasta la

⁷ Black y Shcoles (1972), “The valuation of option contracts and a test of market efficiency.

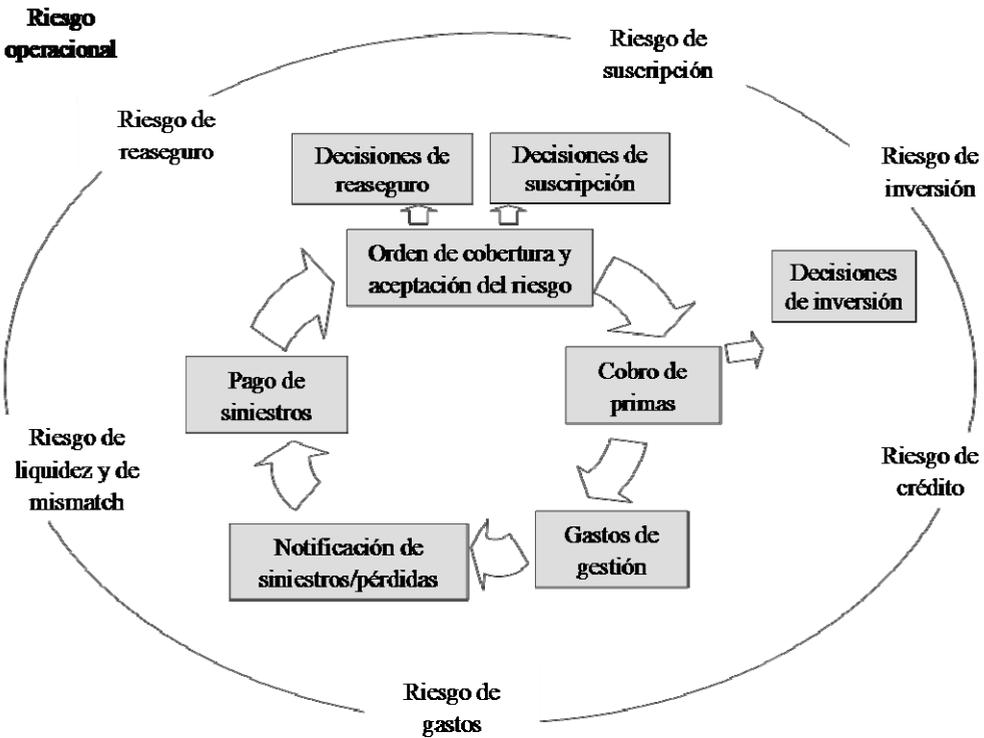
⁸ Los autores mencionados en este apartado, y que contribuyeron a la formación de la estructura intelectual del riesgo fueron galardonados con el Premio Nobel.

⁹ Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).

gestión de siniestros, pasando por la administración y gestión del seguro por la aseguradora— a un riesgo concreto. Por ejemplo, en la fase de inversión de las primas de seguro, aparece el riesgo de inversión, y en todas las fases del proceso, está implícito el riesgo operacional.

El sector asegurador tradicionalmente ha usado los mismos tipos de modelos cuantitativos, principalmente para tarificar y calcular las provisiones, aunque también han sido utilizados para calcular la solvencia y los requerimientos de capital, enfocándose principalmente en la estimación de valores esperados más que en la desviación a posteriori de esos valores esperados. Además, no cubrían la totalidad de los riesgos a los cuales las aseguradoras están expuestas. Recientemente, y debido a los avances de los sistemas de información y telecomunicaciones, estos modelos se han ido enriqueciendo y ganando en complejidad, incorporando todos los riesgos en uno solo, y cuyo objetivo es la asignación eficiente de capital.

Cuadro 1 |
Ciclo de negocio asegurador vs. riesgos



Fuente: Elaboración propia.

2.1. Tipos de modelos para la evaluación de riesgos

Los modelos internos de evaluación de riesgos, según una de las clasificaciones más extendidas, pueden clasificarse entre los denominados modelos estáticos (se considera sólo un momento en el tiempo) y dinámicos (toma en cuenta un periodo de tiempo).

Los modelos estáticos, normalmente basados en la contabilidad, tienen en cuenta, como magnitudes de referencia para el cómputo de los niveles de solvencia, variables como las cuentas del balance, las partidas integrantes de la cuenta de pérdidas y ganancias o la exposición a riesgos subyacentes de las inversiones. Una clasificación adicional de los sistemas estáticos desglosa éstos entre modelos simples¹⁰ y modelos de factores, en función del número de variables consideradas. Para ambos modelos existen pautas sobre las posiciones y factores que deberían incluirse en los cálculos para alcanzar un determinado nivel de confianza pero, en cambio, tienen la desventaja de reducir la valoración de la exposición al riesgo de la entidad a meras fórmulas y ratios.

Los modelos dinámicos se basan en proyecciones de flujos de caja, estimados de acuerdo con distintos sistemas, y pueden, a su vez, clasificarse en modelos basados en escenarios o en principios:

- a. Los modelos basados en escenarios implican una evaluación de la sensibilidad de la entidad al impacto de diversos escenarios en la valoración de sus activos, a través de la proyección de sus flujos de caja. La importancia de este método reside en la especificación de los escenarios y la forma de trasladar sus implicaciones. Principalmente, este test hace referencia al estudio de consecuencias con un amplio rango de parámetros que son variados simultáneamente, intentando analizar el impacto de determinados parámetros en función de la exposición específica de cada entidad. Los requerimientos de capitales mínimos se calcularían en base al peor de los casos de los diferentes escenarios planteados.
- b. Sin embargo, en el caso de los modelos basados en principios no existen pautas sobre el sistema a emplear para cuantificar sus necesidades de capital, cuya valoración se basa en la utilización de modelos internos que siguen ciertos principios prefijados.
- c. Los modelos de base probabilista o stress testing, recogen el proceso por el que se evalúan un número definido de probabilidades estadísticas para determinar cuál es la peor combinación de parámetros y la pérdida que esa combinación produciría, intentando cubrir toda la gama de variables de riesgo reproducidas a través de distribuciones estadísticas y procedimientos de simulación.

La anterior clasificación no es excluyente entre cada categoría, ya que, por ejemplo, los modelos basados teóricamente en escenarios se pueden reconvertir en sistemas de cálculo basados en factores contables. Además, también hay que considerar la experiencia supervisora en la gestión de riesgos por estos sistemas dinámicos, de modo que aunque estos modelos capturan de modo más ágil los riesgos financieros,

¹⁰ Un ejemplo de modelo simple es el utilizado en Solvencia I, de acuerdo con lo establecido a través de las Directivas 2002/13/CE y 2002/83/CE.

especialmente en la actividad de seguros de vida, muy pocos países europeos utilizan modelos internos para medir la solvencia de las entidades.

2.2. Los modelos deterministas y probabilísticos

Un modelo determinista considera todos los procesos más importantes de un hecho y que las variables son conocidas con certeza. Sus predicciones se basan en como esos procesos pueden estar actuando para una situación dada, y fueron utilizados inicialmente para eventos físicos o biológicos¹¹. Los modelos deterministas pueden llegar a ser muy complejos, teniendo en cuenta que muchas variables como los riesgos asumidos, la zona geográfica en la que se opera, las provisiones realizadas, las inversiones realizadas¹², los sistemas informáticos utilizados, el personal contratado y su perfil personal y humano, pueden impactar en el nivel de capital necesario a cubrir.

Las observaciones suelen mostrar desviaciones entre la realidad y las predicciones, que se suelen deber a una gran cantidad de factores que influyen en el resultado, pero que no es posible modelizarlos en su totalidad. Por ejemplo, para la modelización del resultado de arrojar un dado al azar, un modelo determinista complejo, podría, en principio, predecir el resultado, cuando la fuerza, la trayectoria en el aire, los rebotes en la superficie, el tipo de superficie, el tipo de dado y sus imperfecciones fueran conocidos en gran detalle. En cambio, un modelo probabilístico simple (la misma probabilidad para cada uno de los seis posibles resultados) suele funcionar mejor, debido a que muchos de los parámetros no pueden conocerse con exactitud.

En cuanto a los modelos probabilísticos, para obtener una descripción matemática de un fenómeno aleatorio, es necesario concretar el espectro de resultados posibles. Un subconjunto del conjunto de todos los resultados posibles se denomina un evento. Si el grupo de resultados posibles es continuo, no puede asignarse generalmente una probabilidad positiva en cada resultado, pues la suma de las probabilidades no sería igual a 1. En tal caso, sin embargo, es posible asignar probabilidades a ciertos eventos. Si los resultados posibles son números reales, asignamos primero las probabilidades a los eventos con "resultado inferior a un número específico".

A continuación puede determinarse la probabilidad de un evento para cualquier combinación de intervalos, la función utilizada para asignar las probabilidades al evento "resultado inferior a un número específico" se denomina función de distribución. La función normal, o de Gauss (Cuadro 2), es una de las distribuciones de probabilidad más comúnmente utilizadas. Es un hecho empírico que las mediciones sujetas a errores se describen estadísticamente mediante una distribución de Gauss¹³. Algunos indicadores esenciales pueden calcularse a partir de la función de distribución, siendo la más importante de ellas el valor esperado. Si se examina un gran número de variables aleatorias con distribuciones idénticas e independientes, el número promedio observado

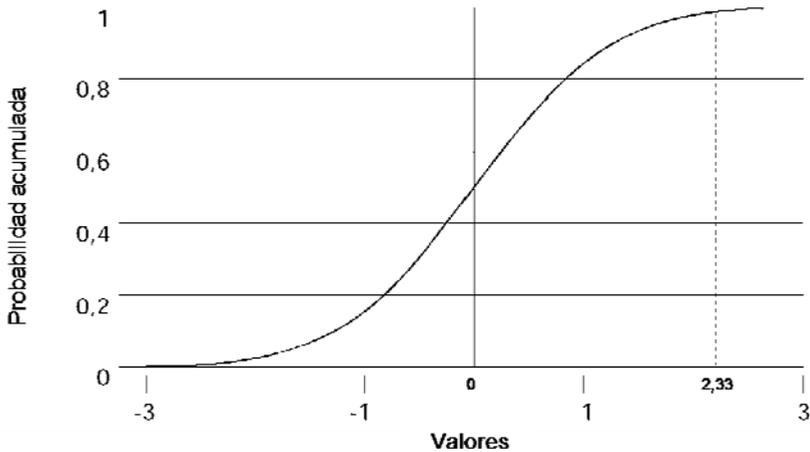
¹¹ Jongh y Wet (2000), "Financial risk management and statistics".

¹² Hernández (2007), "Políticas de inversión del sector seguros en la Unión Europea", pp. 97-128.

¹³ Swiss RE (1999), "Del riesgo al capital", pp. 37-39.

se aproxima al valor esperado. En el caso ideal, cuantos más eventos observamos, tanto más se aproximará la media observada al valor esperado.

Cuadro 2
Función de distribución de Gauss



Para un asegurador, es de importancia primordial, entender la dependencia de los riesgos a los que está expuesto, pues la dependencia puede resultar en un cúmulo de riesgos¹⁴. Ello resulta evidente en el ejemplo de la tempestad. Consideremos un asegurador que suscribe pólizas de daños en Países bajos y Alemania. Si una tempestad afecta Alemania, el asegurador sufrirá siniestros de daños en Alemania. Debido a la dependencia, es muy probable que el asegurador sufra también pérdidas en su cartera de daños holandesa, ya que es muy alta la probabilidad de que la misma tempestad afecte también a Países Bajos. La determinación de modelos probabilísticos adecuados basados en datos históricos es un campo de la estadística conocido como estimación estadística. Se considera que los datos son aleatorios y responden a un modelo probabilístico subyacente desconocido. El estadístico se dedica a deducir de los datos la mayor información posible sobre el mismo. Dado que los datos son aleatorios, la deducción estadística está sujeta a errores estadísticos, es decir que dos observaciones diferentes del mismo fenómeno pueden producir dos modelos diferentes.

2.3. Los factores de riesgos y el nivel de capital

Para identificar exactamente los factores de riesgo se precisa de una buena experiencia y conocimientos especializados. Algunos escenarios pueden vincularse a eventos observados en el pasado, permitiendo así a los aseguradores basarse en la experiencia. Hay también escenarios cuyos efectos aun no se han comprobado, pero que podrían ocurrir en el futuro; por ejemplo, hace medio siglo, la asbestosis no era considerada un peligro.

¹⁴ Situación que se produce cuando ciertos riesgos distintos están sujetos al mismo evento.

Una vez que se han identificado los factores de riesgo, se deben formular los modelos cuantitativos. Para muchos factores de riesgo, por ejemplo el de suscripción, es suficiente especificar unas distribuciones individuales en función de la frecuencia anual y la magnitud o gravedad. Ello es posible porque los eventos que se producen en años consecutivos pueden considerarse como independientes y porque las distribuciones probabilísticas subyacentes no varían en el tiempo. Sin embargo, hay que utilizar el aumento de la información disponible para actualizar constantemente los escenarios de amenazas, que en la práctica, se describen frecuentemente en base a distribuciones de la frecuencia y magnitud. Además, hay que modelizar los otros riesgos, como los operacionales, sistémicos y sistemáticos, ya que éstas variables tienen un impacto importante en el conjunto del negocio.

Para obtener una distribución de la probabilidad del resultado anual, los factores de riesgo deben combinarse con las exposiciones a las que afectan, y las fluctuaciones normales del negocio deben cuantificarse y agregarse. Y para obtener información sobre la totalidad de una empresa, se tiene que construir y analizar la distribución de la probabilidad del resultado en su conjunto. También habría que representar las dependencias entre los diferentes factores de riesgo, ya que mientras los factores de riesgo de suscripción se consideran independientes, se debe prestar especial atención a los factores de riesgos operacionales, sistemáticos y sistémicos, donde las dependencias son más frecuentes.

Una vez obtenido el modelo de riesgo de la compañía, se puede evaluar si la misma dispone de un nivel adecuado de capital en riesgo¹⁵. Una formulación alternativa sería la exigencia de que tras un año adverso la compañía debe seguir teniendo suficiente capital para continuar sus operaciones comerciales. Teniendo en cuenta la estructura del sector seguros, podemos suponer que un año muy desfavorable, es decir, en el que se produce una multitud de grandes siniestros, afectaría igualmente a otros competidores. Puesto que la capacidad disponible se reduce a causa de los pagos por siniestros, podemos suponer que las primas de seguro se encarecerán y que los negocios se volverán más rentables. Así, podríamos aspirar a que tras un año extremadamente adverso se mantenga a su disposición suficiente capital para estar en condiciones de aprovechar plenamente las oportunidades del mercado.

2.4. Integración de los modelos internos en el sistema de regulación: Solvencia II

La existencia de un modelo financiero interno garantiza una cultura de supervisión del riesgo de toda la empresa, obligando a que ésta realice inventario de todas las fuentes posibles de riesgo, evaluando la importancia relativa de todos los riesgos. Además, los modelos internos proponen una definición y una medición de la necesidad de capital en función de las características de la actividad de la empresa. Sin embargo, estos modelos provocan una serie de dificultades al supervisor que hay que tener en cuenta, como que el modelo no ofrece una cifra exacta, sino que estudia acontecimientos extremos cuya probabilidad de que sucedan es escasa, y que la auditoría de los modelos internos de

¹⁵ Si el capital en riesgo fuera muy superior o inferior al capital obtenido empíricamente, deberían considerarse ciertas medidas para tratar de alinear ambos tipos de capitales.

riesgos puede no ser suficiente para la evaluación de los mismos. Por tanto, la utilización de modelos internos implica nuevas cargas y dificultades tanto para las compañías aseguradoras como para la autoridad de supervisión.

Las novedades contempladas en la Directiva de Solvencia II¹⁶ con mayor relevancia e impacto en el sector seguros se refieren principalmente a la gestión de los diferentes riesgos, a las exigencias de capital de solvencia y al establecimiento de criterios de supervisión. En consonancia con los últimos avances en materia de gestión de riesgos, en ciencia actuarial y con la evolución reciente del sector financiero, Solvencia II ha adoptado un enfoque basado en el riesgo económico que incentive una correcta evaluación y gestión de riesgos por parte de las empresas de seguros y de reaseguros¹⁷.

Con respecto a las exigencias de capital de solvencia, se requiere a las aseguradoras y reaseguradoras que mantengan un nivel de fondos propios que les permita hacer frente a pérdidas significativas, ofreciendo así a los ciudadanos que contraten un seguro ciertas garantías de que se cumplirán los compromisos de pagos a su vencimiento. De acuerdo con las buenas prácticas de gestión de riesgos, este capital económico de solvencia se estimará basándose en el perfil de riesgo que tenga cada entidad, teniendo en cuenta las técnicas particulares de mitigación del riesgo y de los resultados de diversificación de la misma. Para permitir a todas las empresas evaluar su capital económico y así reflejar el perfil de riesgo de las aseguradoras, Solvencia II establece una fórmula estándar sencilla para calcular el capital de solvencia que garantice un nivel mínimo por debajo del cual no deben descender los recursos financieros. Como alternativa al cálculo del capital según la fórmula estándar, se establece también la posibilidad de la utilización, bajo condiciones específicas y previa aprobación del supervisor, de modelos internos complejos o parciales, con lo que las aseguradoras podrán lograr un recorte en sus exigencias de capital.

2.5. Beneficios y limitaciones de los modelos internos de riesgo

Una de las principales razones por la que los modelos están siendo más utilizados es porque permite realizar una estimación de las condiciones financieras en el futuro, en contraste con los estados financieros que presentan la compañía en un punto determinado del pasado. Los modelos, además, tienen la ventaja de combinar los aspectos críticos de las operaciones de una aseguradora, como suscripción, inversiones, fijación de precios, impuestos, activos o responsabilidades de una manera integrada, lo que proporciona una valiosísima información sobre las estimaciones futuras de las operaciones, resultados y requerimientos de capital.

La alta dirección, actualmente ya se está apoyando en los modelos para comprender mejor el impacto de los cambios en entornos actuales o futuros, así como para evaluar

¹⁶ Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).

¹⁷ Hernández y Martínez (2010), “La nueva regulación europea de seguros privados: Solvencia II”, pp. 75-91.

decisiones financieras en función de diferentes escenarios, tanto internos como externos, analizando los riesgos y rendimientos de cada alternativa. Pero, por otro lado, los modelos tienen una serie de limitaciones, principalmente las relacionadas con su implantación y su gestión interna, ya que suelen ser modelos complejos puesto que deben cumplir con los motivos expuestos en los beneficios anteriores, por tanto difíciles de mantener e interpretar, así como satisfacer a todos los demandantes de información, como alta dirección, empresas de rating y supervisores.

3. MODELOS DE STRESS TESTING Y ANÁLISIS DE ESCENARIOS

El "stress testing" es una metodología fundamental de gestión de riesgos y del mantenimiento adecuado de los recursos financieros de las entidades aseguradoras¹⁸. Este tipo de herramientas supone una contribución para identificar y cuantificar el impacto de diferentes escenarios en las expectativas financieras futuras de las aseguradoras. Las pruebas de "stress" son un método para analizar lo que podría ocurrir en determinados escenarios, y por tanto no se utiliza como una herramienta de predicción.

Estas pruebas deben considerarse como una medida apropiada de buen gobierno corporativo y un elemento fundamental en la gestión de riesgos de las entidades aseguradoras, y no solo como una simple herramienta para la asignación de capital o para medir los resultados y, menos aún, como una respuesta a una medida regulatoria (como ha ocurrido en algunos países de la Unión Europea), lo que indudablemente también tiene su valor e importancia.

Stress testing contribuye a la comprensión, por parte de los consejos de administración y la dirección de las entidades aseguradoras, de los riesgos a los que están expuestos y a desarrollar estrategias alternativas de mitigación de los mismos, que diferirán para cada aseguradora, ya que reflejan la clase de riesgos específica que se están cubriendo, los niveles de riesgo aceptados, las políticas de suscripción específicas, los contratos de reaseguro, la política de inversiones¹⁹ o los sistemas operativos y de control, así como las amenazas significativas al futuro de su estabilidad financiera²⁰.

3.1. Alcance

El término "stress testing" incluye tanto pruebas de sensibilidad como análisis de escenarios, y ambos están basados en el análisis del impacto de escenarios adversos improbables, pero no imposibles. Estas pruebas pueden ser financieras, operativas, legales o cualquier otro riesgo que pueda tener un impacto financiero en la aseguradora.

¹⁸ Wee y Lee (1999), "Integrating Stress Testing with Risk Management", pp. 11-13.

¹⁹ Suárez y Hernández (2006), "Políticas de inversión del sector seguros y de pensiones en la Unión Europea: inversión en inmuebles".

²⁰ Chorafas (2007), *Stress testing for risk control under Basel II*, pp. 3-17.

Las pruebas de sensibilidad estiman el impacto en la situación financiera de una entidad de uno o más efectos de un factor de riesgo determinado, o de un grupo de riesgos muy vinculados entre sí. En cambio, el análisis de escenarios, es un tipo de prueba algo más compleja, que considera efectos simultáneos en un grupo de factores de riesgos y está a menudo vinculado con cambios externos y globales, como una catástrofe natural, la evolución de los mercados de capitales o de los tipos de interés.

Existen además, dos tipos básicos de escenarios, los históricos y los hipotéticos²¹, ambos totalmente válidos y complementarios. Los primeros reflejan cambios en los factores de riesgo que ocurrieron en el pasado. Los escenarios hipotéticos utilizan una estructura de eventos que todavía no se han producido.

A parte de entender y analizar los riesgos habituales y las variaciones esperadas, también es necesario analizar escenarios extremos y atípicos, como un colapso de los mercados bursátiles, para entender el alcance de los riesgos asumidos. Para ello existen multitud de técnicas, como los modelos deterministas y probabilistas, alguno de los cuáles se describen más adelante.

Cabe señalar, que para realizar este tipo de pruebas no sólo se necesita personal capacitado y tecnología apropiada, también el trabajo conjunto de varias unidades de cada aseguradora, como la gerencia de riesgos, el área financiera, actuarial y la participación de las áreas de negocio, así como la visión de consultores, auditores, reaseguradores, agencias de rating y supervisores.

3.2. Diseño de las pruebas

Cada entidad aseguradora considera su propio perfil de riesgos específico y la complejidad de su modelo de negocio, lo que llevará a tipos de pruebas muy diferentes entre cada una. Como ya se ha mencionado, existen beneficios adicionales, formativos y de profundización en el conocimiento del riesgo, en realizar estimaciones con escenarios que no van a ser fácilmente cuantificados y modelizados, como las decisiones judiciales sobre prácticas de gestión de siniestros, el riesgo reputacional o cambios legales o fiscales. A pesar de lo dicho anteriormente, los supervisores también suelen requerir algunos tipos de pruebas estándar, con los objetivos de medir la consistencia de los resultados y para su control y monitorización.

La naturaleza y el alcance de las pruebas de stress van a depender de la situación específica de cada entidad aseguradora con respecto a los siguientes factores:

- i. Su situación de solvencia
- ii. Las líneas de negocio y los canales de distribución utilizados
- iii. La situación actual dentro del mercado asegurador
- iv. La situación actual con respecto al grupo que pertenezca
- v. La política de inversiones
- vi. El plan de negocio
- vii. Las condiciones económicas generales

²¹ International Association of Insurance Supervisors (2003), “Stress testing by insurers”, pp. 6 y ss.

Las entidades deben considerar y clasificar los eventos que son materiales de los que no, teniendo en cuenta en su impacto la probabilidad y la razonabilidad, aunque esto, en parte dependerá de su tamaño, de la complejidad y naturaleza de sus operaciones, de la situación de solvencia y de su tolerancia al riesgo, evitando aquellos eventos que sean bastante previsibles o de los que ya se tiene cobertura específica. Para ser más concretos, los factores de riesgos siguientes pueden ser usados como guía general de lo que una entidad aseguradora podría considerar a la hora de desarrollar sus pruebas de stress:

- a. Riesgos a nivel entidad u organización
 - i. Riesgo técnico o de suscripción pura
 - Riesgo de estimación incorrecta
 - Riesgo de desviación aleatoria
 - Riesgo de cambio
 - Riesgo de provisiones insuficientes
 - ii. Riesgo de crédito
 - iii. Riesgo operacional
 - Riesgo operacional
 - Riesgo de gestión de la suscripción
 - iv. Riesgo de reaseguro
 - v. Riesgo de inversión o de mercado
 - Riesgo de liquidez
 - Riesgo de gestión activo-pasivo
 - vi. Otros riesgos
 - Riesgo de gastos
 - Riesgo de interrupción de pólizas
 - Otros riesgos financieros
- b. Riesgos sistemáticos (del sector asegurador)
 - i. Riesgo legal y jurisdiccional
 - ii. Riesgo de cambios en el mercado
- c. Riesgos sistémicos (a nivel de la economía nacional o global)
 - i. Riesgo de fluctuación del valor de las inversiones
 - ii. Riesgo de cambios medioambientales
 - iii. Riesgo de cambios sociales
 - iv. Riesgo de ciclos económicos
 - v. Riesgo de inflación
 - vi. Riesgo de tipo de interés
 - vii. Riesgo de tipo de cambio
 - viii. Riesgo de cambio tecnológico

Estas pruebas son normalmente de periodicidad anual, aunque dependen del perfil de riesgos de la aseguradora descrito anteriormente, independientemente de las otras pruebas que se realicen por requerimiento de los organismos supervisores. En cuanto a los horizontes temporales, se deberían examinar los efectos e impactos de distintos periodos de tiempo, en el corto, medio y largo plazo.

3.3. Técnicas de modelización y otras consideraciones

Existen varias técnicas de modelización que se utilizan en las pruebas de stress. El uso de una u otra dependerá de las circunstancias particulares de cada aseguradora y de las políticas y sistemas de gestión de riesgos. Los métodos más comunes se basan en modelos estáticos o dinámicos y en sistemas deterministas o probabilistas.

En su forma básica, los modelos estáticos implican que el análisis de la posición financiera de la aseguradora se realiza en un determinado momento del tiempo, mientras que los dinámicos consideran un periodo de tiempo. La modelización determinista se basa en el análisis de los efectos sobre un escenario, que los modelos probabilistas enriquecen con el estudio de la probabilidad de que varios escenarios ocurran a la vez. Un ejemplo sencillo de una prueba de stress estático determinista es el análisis del efecto del ratio combinado²² en un balance. Estos test no tienen en cuenta las probabilidades actuales de alcanzar los diferentes ratios combinados.

Los modelos probabilísticos son técnicas más avanzadas. Se basan en la probabilidad de predecir cómo los parámetros financieros clave interactúan entre ellos en el tiempo, y generan una distribución de resultados basados en simulaciones de dichos parámetros en el futuro. Una de las ventajas de estos modelos es que proporcionan unos márgenes y probabilidades de que sucedan los diferentes resultados financieros, que es muy útil para conseguir un nivel específico de confianza en el nivel solvencia. Además, la fiabilidad de los modelos tiene que ser validada regularmente. La elección de los modelos y sus parámetros requiere de análisis y evaluación, ya que la fiabilidad de los resultados puede comprometerse por un error de éstos. Independientemente de los modelos utilizados en las pruebas de stress, es necesario realizar estos procesos de validación para verificar los resultados y conocer el nivel de precisión.

La complejidad de las pruebas de stress dependerá de las circunstancias particulares de cada aseguradora. Las pruebas más sencillas, con hipótesis que cubran los principales riesgos, pueden resultar igual de útiles que unos modelos complejos pero difíciles de comprender sus resultados. Normalmente los riesgos no son totalmente independientes o totalmente relacionados entre sí. Es importante examinar la correlación²³ entre varios riesgos para evaluar los efectos que podrían tener en los modelos de "stress testing" y en las hipótesis realizadas, así como comprobar que el nivel de correlación asumido va a servir también en el futuro, ya que hay evidencia de que en situaciones adversas, los niveles previos de correlación pueden incrementarse. Es decir, que para determinar la

²² Un ratio combinado es un parámetro de la rentabilidad de suscripción, basado en la relación entre las reclamaciones netas incurridas más los gastos de explotación y las primas netas devengadas. Un ratio combinado del 100% supone un punto de equilibrio (ni pérdidas ni ganancias). Un ratio superior al 100% representa una pérdida de suscripción.

²³ En probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables aleatorias. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra: si tenemos dos variables (A y B) existe correlación si al aumentar los valores de A lo hacen también los de B y viceversa. La correlación entre dos variables no implica, por sí misma, ninguna relación de causalidad.

independencia de los riesgos hay que añadir al análisis la evaluación periódica de la correlación y la interdependencia entre riesgos.

La extensión y efectividad de las opciones disponibles por la dirección ante hipotéticas crisis pueden y deberían ser incluidas también en las pruebas de stress. Es posible que éstas pruebas reflejen la posibilidad de un colapso o fallo si no se tomara ninguna medida por la dirección, pero también tendrían que ser capaces de demostrar que, con acciones de gestión apropiadas y a tiempo, sería posible mantener unas condiciones financieras satisfactorias para la aseguradora. Existen bastantes áreas dentro del negocio de una entidad aseguradora en las que no es posible con facilidad elaborar un modelo cuantitativo, especialmente para aquellas que dependen de la competencia del Consejo de Administración y la dirección, y de las acciones que se tomen. El papel de la dirección general²⁴ es desarrollar e implementar unas políticas, procedimientos y prácticas de gestión de riesgos que trasladen los objetivos y límites de riesgo del Consejo de Administración a unos estándares operativos prudentes. Sin embargo, determinar si este papel se realiza apropiadamente requiere prudencia y juicio al realizar las pruebas de stress. Además, resulta difícil cuantificar si las decisiones o acciones de la dirección están basadas en informaciones o análisis adecuados y prudentes, si la selección y desarrollo de recursos humanos es el correcto, si se confía demasiado en determinadas personas clave, o la rapidez y efectividad con que la dirección reacciona al cambio.

4. LA TÉCNICA DE MODELIZACIÓN DEL VALOR EN RIESGO (VaR)

La técnica de modelización del valor en riesgo (VaR)²⁵ fue diseñada por JP Morgan y se ha convertido en la pauta del sector financiero y asegurador para la medición de riesgos de cartera a corto plazo²⁶. La norma es recomendada también por la mayoría de las instituciones reguladoras internacionales, como el Financial Accounting Standards Board, la Securities and Exchange Commission, el Comité de Basilea²⁷ y la mayoría de las agencias de rating, como Standard and Poor's, Moody's o A. M. Best.

El VaR se define como la pérdida máxima posible de una cartera de activos, en términos de valor de mercado, dentro de un periodo de tiempo y para un determinado nivel de probabilidad. Por periodo de tiempo se entiende normalmente el periodo de posesión de los títulos, suponiéndose que durante ese periodo las posiciones de la cartera permanecen constantes o sin variaciones. El periodo de posesión de una cartera comercial varía normalmente desde un día hasta dos semanas, pero esta técnica

²⁴ International Association of Insurance Supervisors (2003), "Stress testing by insurers", p. 16.

²⁵ Jorion (1997), *Value at risk*.

²⁶ Morgan (1996), "RiskMetrics – Technical Document".

²⁷ El Comité de Basilea está compuesto por los gobernadores de los bancos centrales de Alemania, Bélgica, Canadá, España, EE. UU., Francia, Italia, Japón, Luxemburgo, Holanda, el Reino Unido, Suecia y Suiza. Publicó en 1988 el primero de los Acuerdos de Basilea, un conjunto de recomendaciones sobre el establecimiento de un capital mínimo que debía tener una entidad bancaria en función de los riesgos que afrontaba.

también se está aplicando en otros campos, como el análisis de una base de datos de pérdidas, en cuyo caso el periodo es anual.

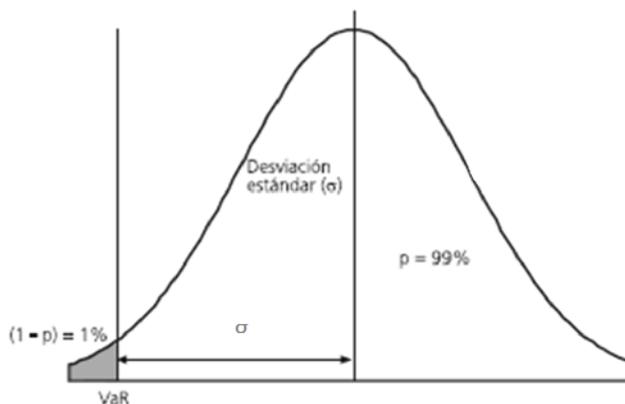
Por definición, el VaR se obtiene estimando un cuantil de la distribución de pérdidas y ganancias de la cartera para el periodo de posesión determinado. Por tanto, la tarea más complicada es la estimación de esta distribución de pérdidas y ganancias. De forma muy sencilla, el proceso sería el siguiente:

- En una primera etapa se valora individualmente la cartera a estudiar mercado a mercado. Para ello, la entidad debe registrar todas las posiciones y compromisos que componen la cartera actual.
- La etapa siguiente es identificar y analizar los factores de riesgo que inciden en el valor de tales posiciones. Las relaciones funcionales entre los factores de riesgo y el valor de mercado de tales posiciones permiten calcular las características estadísticas de los cambios del valor de mercado de cada posición y de la cartera en su conjunto.

El Valor en Riesgo (VaR), actualmente es un modelo comúnmente aceptado dentro del sector financiero como medida del riesgo de mercado, que se incluye normalmente en la mayoría de las memorias anuales de las principales entidades financieras españolas. Para clarificar con un ejemplo el concepto de VaR (ver gráfico 1, donde “p”, es el nivel de confianza; y “ σ ”, la desviación estándar), suponemos que una entidad financiera ha calculado que el VaR a un día de su cartera de negociación es de 1 millón de euros, para un nivel de confianza estadística del 99%. Esto significa, en otras palabras, que:

- Existe un 1% de probabilidad de incurrir en una pérdida superior a dicha cuantía, es decir, que la pérdida en 1 de cada 100 días se estima superior a 1 millón de euros.
- De la misma forma, existe un 99% de probabilidad de que la pérdida sea inferior a 1 millón de euros, es decir, que la pérdida de la cartera se espera sea inferior a esta cuantía 99 de cada 100 días.

Gráfico 1
Representación gráfica del VaR al 99%



Fuente: Banco de España (2004), p. 88.

Como se ha mencionado, el VaR es, principalmente, una medición de tipo estadístico y, por tanto, requiere del establecimiento de una serie de parámetros iniciales:

- i. Un intervalo o nivel de confianza asociado a su cálculo.
- ii. Un plazo, o unidad de tiempo, para la estimación.
- iii. Una moneda de referencia.
- iv. Una hipótesis sobre la distribución de la variable analizada.
- v. Una metodología de estimación.

La aplicación del análisis y de los informes sobre el valor en riesgo se han extendido a otros campos y organizaciones no financieras, más allá del análisis del riesgo de carteras y de mercado. Los modelos estadísticos de medición del riesgo, como el VaR, permiten una valoración objetiva e independiente del nivel de riesgo existente para cada situación específica. Los resultados, además, son emitidos a varios niveles de detalle, por áreas de negocio y agregadamente, teniendo en cuenta el entorno corporativo de la entidad y el enfoque a largo plazo del impacto de los riesgos y resultados, tanto para los procesos de planificación como de elaboración de presupuestos.

A pesar de que VaR constituye un elemento muy importante de defensa ante los riesgos financieros, tiene algunas limitaciones, la principal de todas es que se basa en datos históricos, por lo que asume que el pasado reciente es un buen indicador de la aleatoriedad del futuro. Y esta incertidumbre puede ser de dos tipos, eventos excepcionales, como una crisis financiera mundial, y cambios estructurales, organizativos o de sistemas tecnológicos y regulatorios. Además, existen muchos riesgos que no pueden ser medidos cuantitativamente, tales como los riesgos operacionales, los riesgos de recursos humanos (fraude), los riesgos regulatorios, etc. Por ese motivo, el VaR puede ser complementado con otras metodologías tales como el análisis de stress, el establecimiento de normas prudentes, procedimientos, políticas, gestión de procesos, controles, límites y reservas de capital adecuadas.

Como se ha mencionado anteriormente, los periodos largos incrementan la precisión de las estimaciones pero pueden infravalorar las variaciones en la volatilidad. Esta es la razón del porqué la estimación de la volatilidad ha hecho que los modelos pongan más peso en la información actual. Una de los primeros enfoques de la modelización de la volatilidad es el modelo GARCH²⁸. En este modelo, la volatilidad es un proceso estocástico que permite modelar las diferentes características de las distribuciones de los rendimientos en donde las ponderaciones convergen a cero y permiten estimar la estructura intertemporal de la volatilidad tendiendo a un nivel de equilibrio en el largo plazo.

Las tres metodologías más importantes para calcular el VaR, cada una con sus características específicas, son:

- i. El análisis varianza/covarianza, o análisis paramétrico, que es más simple y rápido de calcular, y que se basa en que los factores de mercado subyacentes tienen una distribución Normal multivariante.

²⁸ Bollerslev (1986), "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity", pp. 307-327.

- ii. La simulación histórica, que requiere relativamente pocas hipótesis acerca de las distribuciones estadísticas de los factores de mercado subyacentes, y que utiliza los cambios históricos en los precios y ratios para construir una distribución de las pérdidas y ganancias de la cartera potencial futura.
- iii. El método de Monte Carlo, que es la metodología más aplicada actualmente, y que se detalla a continuación.

4.1. El método Monte Carlo

El método Monte Carlo²⁹, se denomina así por la capital del Principado de Mónaco, donde las principales atracciones son los casinos y los juegos de azar, como la ruleta o las máquinas tragaperras, que exhiben un comportamiento aleatorio. El inventor del método Monte Carlo fue Stanislaw Ulam, un matemático polaco que trabajó en Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial en el diseño de la bomba de hidrógeno, mientras ponderaba las posibilidades de ganar al juego de cartas “solitario” en 1946. El comportamiento aleatorio de los juegos de azar son similares a la forma con que éste método selecciona los valores de las variables para simular el modelo, es decir, que se conoce el rango de valores pero existe incertidumbre del valor particular para un momento o evento determinado del tiempo, como pueden ser los riesgos de mercado, los de crédito y los operacionales. Para cada variable se definen los posibles valores, que tienen un determinado rango cada una, con una distribución de probabilidad seleccionada en función de las condiciones generadas alrededor de la variable.

La metodología de simulación histórica Monte Carlo es una combinación de los métodos varianza/covarianza y de la simulación histórica. Mientras la simulación estocástica trata de modelizar valores esperados, asumiendo que siguen una distribución específica con unos parámetros determinados y tomando información histórica de una serie de valores, el método de Monte Carlo se fundamenta en desarrollar una serie de escenarios aleatorios. Partiendo de la distribución de volatilidades y correlaciones entre los factores de riesgo, se generaran miles y decenas de miles de escenarios hipotéticos y se determinan los resultados para cada escenario. Los escenarios no son totalmente aleatorios, sino estructurados, ya que se mantienen las características estimadas iniciales de correlación y volatilidad de dichos factores de riesgo. Una vez obtenidos los resultados para cada escenario, se puede formar un histograma de frecuencias y determinar cuál es el VaR a partir de esta distribución.

La simulación por Monte Carlo es especialmente válida para modelizar el comportamiento de variables de las que no se dispone de información histórica o que siguen distribuciones muy diferentes de la normal. Para calcular el VaR a través del método de Monte Carlo es necesario disponer tanto de las series históricas de los factores de riesgo subyacentes para poder calcular volatilidades y correlaciones, así como de las funciones que describen la dependencia de las distintas variables de los factores de riesgo subyacentes. A través de las series históricas de los factores de riesgo se calculan las volatilidades y correlaciones esperadas para así capturar la incertidumbre de

²⁹ Metropolis y Ulam (1949), “The Monte Carlo method”, pp. 335-341.

la variación de las variables. Los modelos de valoración permiten determinar la exposición de las variables a los distintos factores de riesgo o incertidumbre.

Con la simulación por Monte Carlo se intenta generar un número suficiente de posibles futuros escenarios. Uno de los problemas de la simulación histórica es que no proporciona una estimación completamente correcta del futuro. El VaR es una función del número de escenarios y tiende a converger conforme aumentan éstos. En este sentido, cada estimación del VaR tiene asociado un error que es aproximadamente proporcional al inverso de la raíz cuadrada del número de escenarios. Si se aumenta el número de escenarios diez veces, la desviación estándar del estimador VaR será por tanto diez veces menor.

4.2. La aplicación del valor en riesgo al riesgo operacional: el OpVaR

El concepto de valor en riesgo del riesgo operacional (OpVaR) surge de la aplicación del VaR al contexto del riesgo operacional, ya que también se estudia un percentil³⁰ de una distribución de pérdidas, ahora originadas por pérdidas o fallos operacionales y no por variaciones en los precios de activos financieros³¹. Se puede definir el OpVaR como un importe, expresado en unidades monetarias, que proporciona información sobre la mínima pérdida potencial en la que podría incurrir una determinada área de negocio o empresa por tipo de riesgo operacional dentro de un plazo determinado y con un cierto nivel de confianza estadístico. Las principales especificaciones que determinan una correcta definición del OpVaR son:

- i. Horizonte temporal. El OpVaR es una estimación estadística referido a un período de tiempo especificado, normalmente un año.
- ii. Nivel de confianza estadístico. En términos generales, se utiliza una variación de intervalos comprendidos entre un 95% y un 99%, permitiendo así definir la probabilidad de pérdida asociada a un horizonte temporal. Para calcular los requisitos de capital de una organización, la selección del nivel de confianza dependerá de su grado de aversión al riesgo, así como del coste que supone sobrepasar la cifra OpVaR. Es decir, cuanto mayor sea su aversión al riesgo, o mayor el coste de capital, tanto mayor será su necesidad de capital, y por ende, el nivel de confianza de la estimación (gráfico 2).
- iii. El OpVaR de un área de negocio o empresa, debe venir formulado en una unidad monetaria de referencia, como euros o dólares.

Actualmente, el modelo distribución de pérdidas agregada (LDA)³² se considera como un estándar para el cálculo del OpVaR³³, pues se trata de una técnica estadística, que

³⁰ Un percentil es el valor que divide un conjunto ordenado de datos estadísticos de forma que un porcentaje de tales datos sea inferior a dicho valor. Así un individuo en el percentil 80 está por encima del 80% del grupo al que pertenece. Real Academia Española, “Diccionario de la Lengua Española”, Real Academia Española, Vigésimo segunda edición, 2001.

³¹ Feria y Jiménez (2007), “El OpVaR como medida del Riesgo Operacional”, pp. 9 y ss.

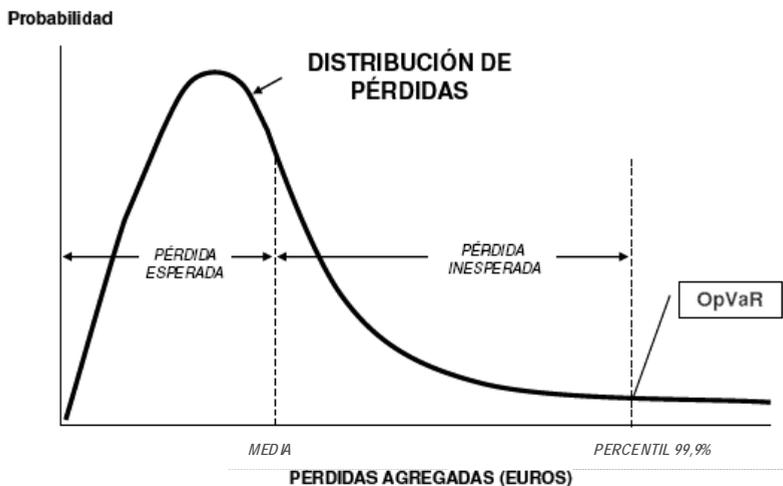
³² Frachot, Moudoulaud y Roncalli (2003), “Loss Distribution Approach in Practice”.

³³ Cruz (2002), *Modeling, Measuring and Hedging Operational Risk*, pp. 101-118.

proviene de la ciencia actuarial, y cuyo fin es la obtención de la función de distribución agregada de pérdidas operacionales. Por tanto, el valor en riesgo operacional se configura como una fuente de información inestimable. Al tratarse de una cifra, expresada en unidades monetarias, sintetiza de una manera sencilla la exposición al riesgo operacional, proporcionando una medida fácilmente comprensible para todos los grupos de interés, como gestores, accionistas o inversores. Además, el OpVaR permite que se pueda comparar las distintas posiciones de riesgo de las diferentes unidades de negocio dentro de una misma empresa, pudiendo establecerse así referencias admitidas de riesgo asumido por cada una. Y por último, el OpVaR para el regulador representa una medida esencial para la determinación de los requisitos de capital para la solvencia, capital económico o capital en riesgo, como se le quiera denominar.

Gráfico 2

Valor en riesgo del riesgo operacional para un 99,9% de confianza estadística



Fuente: Feria y Jiménez (2007), p. 10.

5. LA TEORÍA DEL VALOR EXTREMO

La teoría del valor extremo³⁴ se centra en el estudio de los extremos de la distribución de pérdidas y ganancias esperadas, tratando de estimar las pérdidas máximas que pueden producirse³⁵. Se basa en conceptos del campo actuarial, a través del análisis y cuantificación de acontecimientos catastróficos, en los cuáles se utilizan distribuciones distintas de la normal para modelizar las distribuciones de pérdidas importantes. Esta

³⁴ Teoría del Valor Extremo: "Extreme Value Theory" o EVT

³⁵ Cruz (2002), *Modeling, measuring and hedging operational risk*, pp. 63-86.

teoría requiere que los valores sean independientes y sigan la misma distribución, concentrándose básicamente en los valores negativos extremos, con la hipótesis de partida de que las colas extremas pueden modelizarse.

El problema principal con cualquier intento de modelizar este tipo de pérdidas es la falta de datos. La información de eventos de baja frecuencia son apenas suficientes para modelizar las distribuciones de pérdidas con una precisión mínima, como suele ocurrir con los riesgos operacionales. El uso de distribuciones de pérdidas necesita de una estimación de los parámetros basada en datos existentes, con una calidad y cantidad de datos determinada. Incluso para los más prometedores métodos de la teoría del valor extremo, los tamaños de muestra pequeños provocan unas colas muy sensibles a inclusiones o exclusiones de eventos individuales. Además, existe el reto de la selección del modelo. La mayoría de los test para comprobar la bondad del modelo teórico utilizan datos reales, que a su vez es obtenido con estos datos, y su falta empeora este típico problema de bucle en la selección de modelos.

5.1. Modelos fundamentales de la teoría del valor extremo

La teoría del valor extremo consiste en un conjunto de técnicas estadísticas para la identificación y modelización de los máximos o mínimos de una variable aleatoria, que se exponen a continuación:

- a. La distribución generalizada del valor extremo. El desarrollo de los modelos fundamentales de la teoría del valor extremo se deben a los trabajos iniciales de Boros. V. Gnedenko (1950)³⁶ o Ronald A. Fisher y Leonard H.C. Tippett (1928)³⁷ cuyo teorema llevó al desarrollo de la distribución asintótica para modelizar máximos (o mínimos), denominada distribución generalizada del valor extremo³⁸. Más adelante Emil J. Gumbel (1958)³⁹, avanzaría en la estadística no paramétrica para estimar frecuencias en base a la ordenación de los siniestros. La distribución del valor extremo generalizada es la distribución que ajusta los máximos de bloques de observaciones adecuadamente normalizados, que da respuesta a cual es la distribución del máximo de un conjunto de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas con una función de distribución común $F(x)$ y donde M_n representa el máximo de todas ellas.
- b. La distribución generalizada de Pareto. El teorema de Pickands-Balkema-de Haan – A. Balkema y L. de Haan (1974)⁴⁰ y J. Pickands (1975)⁴¹ - daría lugar al modelo que concierne a la distribución de los excesos por encima de un umbral⁴², donde cobra interés el comportamiento del valor extremo una vez alcanzado un elevado nivel.

³⁶ Gnedenko (1988), *Theory of probability*.

³⁷ Distribución Fisher-Tippett, o distribución Log-Weibull.

³⁸ Distribución generalizada del valor extremo: “Generalized Extreme Value Distribution” o GEVD.

³⁹ Gumbel (1958), *Statistics of extremes*.

⁴⁰ Balkema y de Haan (1974), “Residual life time at great age”, pp. 792-804.

⁴¹ Pickands (1975), “Statistical inference using extreme order statistics”, pp.119-131.

⁴² Método conocido como POT: Peaks Over Threshold.

Esta distribución truncada por la izquierda, se conoce como distribución generalizada de Pareto⁴³, y consiste en la modelización de los extremos que exceden un determinado umbral o prioridad, bien sea de las cuantías totales (X_i), bien de los excesos ($Y_i = X_i - u$) sobre el umbral “ u ”.

5.2. El problema de la falta de datos

En un intento de superar la falta de datos internos, se ha sugerido la posibilidad de utilizar datos externos. La idea es que datos de diversas fuentes pueden compartir determinadas características, combinándolos para obtener una base de datos mayor. Para lograr esto, los datos externos tienen que ser meticulosamente filtrados y clasificados. Como ejemplo, en el Reino Unido se ha realizado un esfuerzo en el sector bancario (“British Bankers Association”)⁴⁴ para tratar de cubrir esta laguna de datos.

Evidentemente, fusionar datos internos y externos no es un ejercicio sencillo, especialmente en el caso de datos de pérdidas operativas, ya que existen problemas cualitativos como la calidad de los datos de terceros, la diversidad de sistemas de gestión de riesgos de las diferentes organizaciones, la falta de datos detallados y actualizados lo que dificulta el uso de datos externos para fijar los requerimientos de capital interno, que se requieren principalmente para prever el futuro. En cualquier caso, la modelización de pérdidas de riesgo requiere una profunda comprensión de la compleja naturaleza de las operaciones de las organizaciones y de un modelo que represente adecuadamente esas complejidades.

5.3. Ventajas de la teoría del valor extremo

El atractivo clave de la teoría del valor extremo es que ofrece una serie de enfoques preparados para el análisis del problema principal que conllevan ciertos tipos de pérdidas, en particular de las operativas, y es la complejidad de modelizar riesgos que a la vez son extremos e infrecuentes. La teoría del valor extremo es una herramienta muy útil para la estimación de cuantiles elevados de una distribución de pérdidas, pero que sólo se comportan bien cuando los datos cumplen una serie de condiciones, como que sean datos estacionarios o que sólo haya un tipo de pérdidas, además de necesitar datos suficientes como para calibrar el modelo.

Las anotaciones de los detalles básicos del modelo son los siguientes⁴⁵:

- Las pérdidas son representadas por Z_1, Z_2, \dots, Z_q ;
- u es un umbral normalmente alto, y
- W_1, \dots, W_n son el exceso de pérdidas de Z_1, \dots, Z_q por encima de u . Por ejemplo, $W_j = Z_i - u$ para algún $j = 1, \dots, n$ y $i = 1, \dots, q$, donde $Z_i > u$.

⁴³ Distribución generalizada de Pareto: “Generalized Pareto Distribution” o GPD.

⁴⁴ “Global Operational Loss Database” or GOLD, creada en 2000.

⁴⁵ Chavez-Demoulin y Embrechts (2004), “Advanced extremal models for operational risk”, p. 4.

La utilización de métodos adaptados de valor extremo, como el POT antes mencionado, que tengan en cuenta la estructura dependiente del tiempo y los cambios en el entorno proporcionan una técnica rápida y flexible que tiene la habilidad de mejorar con el crecimiento de las bases de datos. También ponen en evidencia las características de las distribuciones subyacentes con lo cambios del entorno, proporciona una herramienta objetiva para determinar su importancia relativa y resalta las interacciones, muchas veces inesperadas, de los componentes del riesgo.

6. APLICACIÓN DE CÓPULAS

En la década de 1940, Wassily Hoeffding, estadístico americano y uno de los fundadores de la estadística no paramétrica, inició el estudio de las propiedades de las distribuciones multivariantes. Una década más adelante, Abe Sklar menciona las cópulas por primera vez, siendo el precursor del inicio del uso de las cópulas en la gestión de riesgos. Últimamente, uno de los métodos más populares para incorporar la dependencia entre diferentes tipos de riesgo ha sido la aplicación de cópulas.

Una cópula describe la estructura de dependencia de una variable aleatoria multivariante. La forma más simple y común utilizada para las aplicaciones de gestión de riesgos es la cópula de Gauss o normal con márgenes univariantes de Gauss, aunque para asegurar la dependencia de las colas superiores, otras cópulas, como la cópula de Gumbel⁴⁶, son más apropiadas para la modelización de los riesgos debido a su habilidad para simular eventos como las crisis de los mercados bursátiles o eventos catastróficos.

La función específica de cópula y su parametrización son extraídas de los datos históricos o del análisis de escenarios y de la simulación. Las aplicaciones estadísticas utilizan cada vez con más frecuencia el concepto de cópula entre dos o más variables. El teorema de Sklar (1959)⁴⁷, asegura que cualquier función de distribución conjunta puede expresarse mediante la correspondiente cópula y las funciones de distribución marginales.

6.1. El caso bidimensional

En el caso bidimensional, el teorema de Sklar corresponde a que⁴⁸

$$F_{XY}(x, y) = C_{XY}[F_X(x), F_Y(y)],$$

para todo punto (x, y) del soporte, donde C_{XY} denota la función cópula.

Este enfoque resulta de interés puesto que permite considerar de forma separada la estructura de dependencia entre las variables y las marginales. La dependencia entre las

⁴⁶ Embrechts, McNeil y Straumann (1998), "Correlation and dependency in risk management: Properties and pitfalls".

⁴⁷ Nelsen (1999), *An introduction to cópulas*.

⁴⁸ Ortego y Mateu-Figueras (2006), "Densidades de cópulas considerando la estructura de su espacio soporte".

variables queda totalmente representada mediante su cópula. Además, la cópula es invariante bajo transformaciones estrictamente monótonas de las variables aleatorias.

Las funciones cópula son esencialmente funciones de distribución con marginales uniformes; son pues funciones definidas sobre el espacio $[0, 1] \times [0, 1]$. Según M. Isabel Ortego y Gloria Mateu-Figueras, si $C_{UV} [u, v]$ es una cópula 2-dimensional, entonces,

- i. $C_{UV} [u, 1] = u, C_{UV} [1, v] = v$, para todo u, v en $[0, 1]$.
- ii. $C_{UV} [u, 0] = C_{UV} [0, v] = 0$ para todo u, v en $[0, 1]$.
- iii. $C_{UV} [a_2, b_2] - C_{UV} [a_1, b_2] - C_{UV} [a_2, b_1] + C[a_1, b_1] \geq 0$, cuando $a_1 \leq a_2, a_1 \leq a_2 \in [0, 1]$.

6.2. Ventajas e inconvenientes

Mientras que el enfoque de cópulas parece ser muy sencillo, hay que tener en cuenta que está exclusivamente basado en los datos históricos y, por las características propias ya mencionadas de las pérdidas de riesgos, apenas suele haber suficientes datos como para estimar la estructura de parametrización de una cópula específica. Debido a esta insuficiencia de datos históricos y a la heterodoxa recopilación de datos, no existe apenas experiencia en la modelización empírica de riesgos improbables y eventuales. Asimismo, los organismos reguladores de la Unión Europea no han definido el marco de modelización cuantitativa, dejando un gran nivel de libertad, pero también de incertidumbre.

Aunque la evidencia empírica actual de la dependencia dentro de las pérdidas de estos riesgos extremos no es abundante, debido a la falta de datos suficientes, es posible asumir la existencia de cierto nivel de dependencia en su frecuencia. Esto puede ser tanto casual (un fuego que causa daños físicos en un barrio de viviendas) como determinado por factores subyacentes (fallos en un proceso debido a la ejecución manual temporal de una tarea automatizada); existiendo varias formas de incorporar esta dependencia en el contexto de los modelos estocásticos:

- a. Introducir la dependencia vía cópulas donde la estructura de correlación surja de la parametrización y de la elección de la cópula específica.
- b. Utilizar un modelo estándar de catástrofes o shocks en el que las frecuencias de los diferentes tipos de pérdida son dependientes de las catástrofes o shocks.
- c. Usar un modelo de factores basado en intensidad que pueda modelizar la intensidad de las distribuciones de las frecuencias de pérdidas como una combinación de intensidades de factores subyacentes.

7. CONCLUSIONES

Las entidades aseguradoras se enfrentan a muchos riesgos, que deben gestionar, pero la complejidad de estas compañías proviene de que la naturaleza de sus operaciones es aceptar los riesgos suscritos por otras entidades o particulares, de aquí la importancia estratégica que tiene para los ciudadanos y los gobiernos de que éstas protejan sus

activos e ingresos y de que establezcan políticas y métodos científicos o estructurados que garanticen una mínima solvencia financiera y la continuidad de las operaciones. La nueva regulación de Solvencia II, estructurada en tres pilares (exigencias financieras de acuerdo con el nivel real de riesgo asumido por las aseguradoras, los mecanismos de control interno y la transparencia y la disciplina de mercado), va a aumentar de forma inexorable la necesidad de una gestión eficaz de los riesgos y del desarrollo e implantación de metodologías para su análisis.

En comparación con otros métodos financieros, como los modelos deterministas (redes bayesianas y modelos econométricos) que resaltan por su complejidad de cálculo para su aplicación a la gestión de riesgos, las metodologías presentadas en este artículo, además de constituir una fuente de información y gestión sobre los riesgos de las aseguradoras muy valiosa, para el regulador representa una medida esencial para la determinación de los requisitos de capital para la solvencia:

- a. El análisis de escenarios es una metodología conocida y muy utilizada de gestión de riesgos de las entidades aseguradoras y financieras, que ayuda a identificar y cuantificar el impacto de diferentes escenarios en las expectativas financieras futuras de las aseguradoras, pero que no se utiliza como una herramienta de predicción, sino como una ayuda a la toma de decisiones.
- b. La teoría del valor extremo se centra en el estudio de los extremos de la distribución de pérdidas y ganancias esperadas, tratando de estimar las pérdidas máximas que pueden producirse. Esta teoría requiere que los valores sean independientes y que sigan la misma distribución, concentrándose básicamente en los valores negativos extremos que, por lo tanto, no suelen encajar con la bases de datos disponibles por las aseguradoras.
- c. Para incorporar la dependencia entre diferentes tipos de riesgo, recientemente se está empezando a aplicar el uso de cópulas. Una copula describe la estructura de dependencia de una variable aleatoria multivariante, y su función específica y parametrización son extraídas de los datos históricos o del análisis de escenarios y de la simulación. Por las características propias ya mencionadas de las pérdidas de riesgos, no suele haber suficientes datos como para estimar la estructura de parametrización de una cópula específica.

Finalmente se puede concluir que, por un lado, la falta de datos para el análisis financiero del riesgo es una problemática tradicional de éste tipo de metodologías, que puede solventarse utilizando una combinación de bases de datos externas e internas; y por el otro, las metodología descritas, aunque pueden ser ampliadas a través de la utilización de modelos más complejos y sofisticados, aportan indudablemente un proceso completo de gestión del riesgo, en el que se profundiza en todas sus etapas, como la recogida de información y su análisis posterior, ayudando a comprenderlo y analizarlo en detalle. Además, suponen una medida común de gestión y evaluación del riesgo, en línea con la nueva legislación europea de seguros (Solvencia II), que puede aplicarse a las diferentes áreas de negocio, y lo que es también importante, resultan unas herramientas conocidas y sencillas de entender por la dirección de las aseguradoras, que son los que al final toman las decisiones sobre la gestión de los riesgos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Balkema, A. y de Haan, L. (1974). "Residual life time at great age", *Annals of Probability*, 2, pp. 792-804.
- Banco de España (2004). "Introducción a la metodología de Valor en Riesgo (VaR)", *Informe de Estabilidad Financiera*, segundo semestre, p. 88.
- Black, F. y Scholes, M. (1972). "The valuation of option contracts and a test of market efficiency", *The Journal of Finance*, 27 (2), 399-417.
- Bollerslev, T. (1986). "Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity", *Journal of Econometrics*, 31 (3), pp. 307-327.
- Chavez-Demoulin, V. y Embrechts, P. (2004). "Advanced extremal models for operational risk", Department of Mathematics, ETH, Zurich, p. 4.
- Chorafas, D.N. (2007). *Stress testing for risk control under Basel II*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Comité de Supervisión Bancaria de Basilea II (2001). "Working paper on the regulatory treatment of operational risk", Basel Committee on Banking Supervision, Basilea, p. 18.
- Cruz, M.G. (2002). *Modeling, Measuring and Hedging Operational Risk*. New York: John Wiley & Sons.
- Directiva 2009/138/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).
- Directiva 2002/83/EC del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de noviembre de 2002 sobre seguros de vida.
- Directiva 2002/13/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de marzo de 2002, por la que se modifica la Directiva 73/239/CEE del Consejo en lo que respecta a los requisitos del margen de solvencia de las empresas de seguros distintos del seguro de vida.
- Embrechts, P.; Mcneil, A. y Straumann, D. (1998). "Correlation and dependency in risk management: Properties and pitfalls", ETH Zürich Working Paper.
- Feria, J.M. y Jimenez, E.J. (2007). "El OpVaR como medida del riesgo operacional", Universidad Pablo de Olavide, Sevilla.
- Franchot, A.; Moudoulaud, O. y Roncalli, T. (2003). "Loss distribution approach in Practice", Groupe de Recherche Opérationnelle, Crédit Lyonnais.
- Gnedenko, B.V. (1988). *Theory of probability*. Moscow: Gordon and Breach.

- Gumbel, E.J. (1958). *Statistics of extremes*. Columbia: Columbia University Press.
- Hernández Barros, R. y Martínez Torre-Enciso, M.I. (2010). “La nueva regulación europea de seguros privados: Solvencia II”, *Boletín de Estudios Económicos*, 199, pp. 75-91.
- Hernández Barros, R. (2009). “Insurance companies’ and pensions funds’ investment in real estate in Europe”, Apéndice del Capítulo 4, Suárez, J.L. (2009): *European real state market*. New York: Palgrave Macmillan, pp. 145-150.
- Hernández Barros, R. (2007). “Políticas de inversión del sector seguros en la Unión Europea”, *Revista Universitaria Europea*, 6, pp. 97-128.
- International Association of Insurance Supervisors (2003). “Stress testing by insurers”, *International Association of Insurance Supervisors*, Guidance Paper, n. 8.
- Jongh, P.J. y Wet, T. (2000). “Financial risk management and statistics”, CSIRO, Australia.
- Jorion, P. (1997), *Value at risk*. New York: McGraw-Hill.
- Morgan, J.P. (1996). *RiskMetrics*–Technical Document. <http://www.jpmorgan.com/RiskManagement/RiskMetrics/RiskMetrics.html>.
- Klugman, S.A.; Panjer, H.R. y Willmot, G.E. (2004). *Loss models: From data to decisions*. New York: John Wiley & Sons.
- Lintner, J. (1965). “Security prices, risk, and maximal gains from diversification”, *The Journal of Finance*, IV (4), pp. 587-615.
- Markowitz, H.M. (1952). “Portfolio Selection”, *The Journal of Finance*, VII, pp. 77-91.
- Metropolis, N. y Ulman, S. (1949). “The Monte Carlo method”, *Journal of the American Statistical Association*, 44 (247), pp. 335-341.
- Nelsen, R.B. (1999). *An introduction to copula*. Portland: Springer-Verlag.
- Ortego, M.I. y Mateu-Figueras, G. (2006). “Densidades de cópulas considerando la estructura de su espacio soporte”, XXIX Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa, SEIO 2006, Tenerife.
- Pickands, J. (1975). “Statistical inference using extreme order statistics”, *Annals of Statistics*, 3, pp. 119-131.
- Sharpe, W.F. (1964). “Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk”, *The Journal of Finance*, pp. 425-442.

Suárez Barragato, J.L. y Hernández Barros, R. (2006). "Políticas de inversión del sector seguros y de pensiones en la Unión Europea: inversión en inmuebles", IESE, Universidad de Navarra, Documento de Investigación n. 662.

Swiss RE (1999). *Del riesgo al capital*. Zurich: Swiss Re.

Tobin, J. (1958). "Liquidity preference as behavior towards risk", *Review of Economic Studies*, 25 (1), pp. 65-86.

Wee, L.-S. y Lee, J. (1999). "Integrating stress testing with risk management", *Bank Accounting & Finance*, núm. primavera, pp. 11-13.

Páginas web

Comisión Europea: ec.europa.eu

Dirección General de Seguros: www.dgsfp.mineco.es

Insurance Information Institute: www.iii.org

The Geneva Association: www.genevaassociation.org

World Insurance Forum: www.worldinsuranceforum.bm