



*Real Academia  
de Ciencias Económicas y Financieras*

Riesgo y seguro en economía



La realización de esta publicación  
ha sido posible gracias a



con la colaboración de



Obra Social "la Caixa"

Barcelona 2015

## Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

### **Guillén Estany, Montserrat**

Riesgo y seguro en economía/ discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras ...Montserrat Guillén Estany y contestación... Ana María Gil Lafuente.

Bibliografía

ISBN- 978-84-608-2361-2

I. Título      II. Gil Lafuente, Ana María      III. Colección

1. Discursos académicos      2. Evaluación del riesgo      3. Riesgo (Seguros)  
4. Econometría

HB615

La Academia no se hace responsable de las opiniones científicas expuestas en sus propias publicaciones.

(Art. 41 del Reglamento)

---

---

Editora: © Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, Barcelona, 2015

ISBN-978-84-608-2361-2

Depósito legal: B 23920-2015

Nº registro: 2015050521

---

Esta publicación no puede ser reproducida, ni total ni parcialmente, sin permiso previo, por escrito de la editora. Reservados todos los derechos.

---

Imprime: Ediciones Gráficas Rey, S.L.—c/Albert Einstein, 54 C/B, Nave 12-14-15  
Cornellà de Llobregat—Barcelona

Publicaciones de la Real Academia de Ciencias  
Económicas y Financieras

# Riesgo y seguro en economía

Discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras  
como Académica de Número (medalla núm. 4), leído el 15 de octubre de 2015,  
por

EXCMA. SRA. DRA. MONTSERRAT GUILLÉN ESTANY

Y contestación de la Académica de Número

EXCMA. SRA. DRA. ANA M<sup>a</sup> GIL LAFUENTE

Barcelona, 2015



## Sumario

Discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias Económicas  
y Financieras leído el 15 de octubre de 2015  
por la Académica de Número

EXCMA. SRA. DRA. MONTSERRAT GUILLÉN ESTANY

Riesgo y seguro en economía ..... 9

Discurso de contestación por la Académica de Número

EXCMA. SRA. DRA. ANA MARÍA GIL LAFUENTE

Discurso ..... 113

Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras..... 123





EXCMA. SRA. DRA. MONTSERRAT GUILLÉN ESTANY



## RIESGO Y SEGURO EN ECONOMÍA

La ocurrencia de fenómenos que se habían considerado extremos ha cuestionado la idoneidad y capacidad de los modelos para prever las crisis y anticipar la gravedad de las pérdidas que éstas podían provocar. Por ello nos hemos planteado un estudio sobre la aportación general que la teoría del riesgo puede realizar a la economía en general, más allá de lo que es exclusivo de la economía del seguro y la ciencia actuarial, y asumiendo las circunstancias de la era digital.

La utilización de modelos microeconómicos clásicos en un contexto en el que la irrupción de datos tiene dimensiones gigantescas, alerta de la necesidad de una verdadera revolución en la forma como la estadística invade la economía. Se pasa de la econometría y el análisis de datos clásico a la economía digital con grandes sistemas de información, big data y smart data. Ello permite no sólo nuevos modelos predictivos como los que se describen, mucho más sofisticados, sino una oportunidad para numerosos ámbitos de la economía.

En economía del seguro se están produciendo una amalgama de condiciones únicas para que la ciencia económica realice un salto espectacular hacia el futuro. Los seguros están creando formas rápidas, flexibles y rentables para adaptarse a las nuevas generaciones integrando el uso de las nuevas tecnologías de captura de datos y creando planteamientos que tienen un horizonte muy largo y beneficiarán a la investigación económica y financiera. Se está innovando en planes de previsión, donde las soluciones de jubilación y seguro de vida deben adaptarse a las aspiraciones individuales. En los modelos de la economía digital se incrementa el protagonismo de la información personalizada y longitudinal, se prima la versatilidad frente a la simplicidad computacional y se da mucha más importancia a las decisiones complejas que en décadas anteriores.

Aunque el conocimiento sobre la economía del seguro hubiera permitido abordar las formas de transferir el riesgo en el pasado, se estaba echando en falta un

salto cualitativo que acercara el análisis económico a la realidad. Un error fundamental y decisivo que parece obvio a tenor de las circunstancias vividas, cuando los acontecimientos más adversos que nadie pensaba probables, han sido ni más ni menos que posibles. La renovada aproximación al riesgo y seguro está resultando imprescindible en el desarrollo del pensamiento económico del siglo XXI. Una nueva forma de abordar la predicción económica, una incipiente estrategia para evaluar las decisiones y, en definitiva, un instrumento más completo y eficaz para progresar.

# RIESGO Y SEGURO EN ECONOMIA

## ÍNDICE

### CONTENIDO

RIESGO Y SEGURO EN ECONOMIA.....	9
1. FUNDAMENTOS DE LA CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO .....	14
1.1. EL VALOR EN RIESGO COMO MEDIDA DE RIESGO DE DISTORSIÓN FUNDAMENTA .....	17
1.2. CÁLCULO DE LAS MEDIDAS DE RIESGO .....	23
MÉTODO DE VARIANZA-COVARIANZA .....	24
MÉTODO DE SIMULACIÓN HISTÓRICA.....	25
MÉTODO DE MONTECARLO .....	26
MODELOS PARAMÉTRICOS PARA LA MEDICIÓN DEL RIESGO .....	27
ESTIMACIÓN NO PARAMÉTRICA DE LAS MEDIDAS DE RIESGO .....	28
1.3. PROPIEDADES DE LAS MEDIDAS DE RIESGO .....	30
1.4. AGREGACIÓN DE RIESGOS DEPENDIENTES .....	30
1.5. EXTENSIONES EN LAS MEDIDAS DE RIESGO DE DISTORSIÓN .....	34
1.6. LA TOLERANCIA AL RIESGO.....	36
1.7. APLICACIONES DEL ANÁLISIS DEL RIESGO.....	38
1.8. RETOS EN LA CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO .....	42
2. DESARROLLOS DEL ANÁLISIS DEL RIESGO EN LA ECONOMÍA Y LAS FINANZAS .....	43
2.1. SEGUROS Y TRANSFERENCIA DE RIESGO .....	45
2.2. NUEVOS MODELOS DE LA ECONOMETRÍA EN LOS SEGUROS.....	46
ENSAYO ALEATORIO FRENTE A ESTUDIO OBSERVACIONAL .....	46
MODELOS PREDICTIVOS PARA LA CAPACIDAD DE REACCIÓN.....	49
PRIDIT, UN MODELO DE CLASIFICACIÓN A CIEGAS.....	51
DE LAS DIFERENCIAS EN DIFERENCIAS A LA REGRESIÓN CUANTÍLICA.....	51
MODELIZACIÓN PREDICTIVA Y EFECTO UPLIFT GENERALIZADO.....	52

2.3. LA REGULACIÓN DEL MERCADO ASEGURADOR .....	57
MARCO LEGISLATIVO .....	58
LOS ORGANISMOS DE SUPERVISIÓN .....	61
EL PROYECTO DE SOLVENCIA II Y SU RELACIÓN CON BASELEA III.....	67
SINGULARIDADES EN ESPAÑA .....	67
LA PROTECCIÓN DEL ASEGURADO.....	71
PRINCIPALES RETOS EN LA REGULACIÓN DEL SECTOR ASEGURADOR.....	72
2.4. EL MODELO INTERNO EN SOLVENCIA II .....	74
PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS EN MODELOS DE SOLVENCIA.....	75
2.5. LA CALIDAD DE LOS DATOS EN LA MODELIZACIÓN DEL RIESGO .....	77
3. APORTACIONES DE LA ECONOMETRÍA DEL RIESGO Y SEGURO ....	78
3.1. LA ECONOMETRÍA DEL BIG DATA.....	81
APLICACIONES DEL USO INTENSIVO DE DATOS EN ECONOMÍA DEL SEGURO.....	82
TARIFICACIÓN Y RETENCIÓN .....	83
PREVENCIÓN DE ACCIDENTES Y TELEMETRÍA .....	90
EVALUACIÓN DINÁMICA DEL RIESGO Y DIVERSIFICACIÓN.....	94
3.2. NUEVOS PLANTEAMIENTOS EN LA PLANIFICACIÓN DE LA JUBILACIÓN .....	96
CONCLUSIÓN.....	98
REFERENCIAS .....	101

Excmo. Sr. Presidente,  
Excmos. Señores académicos, Autoridades,  
Señoras y señores.

## **PALABRAS DE AGRADECIMIENTO**

Permítanme unas primeras palabras de profundo agradecimiento a la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras y en especial a su Presidente por este nombramiento. Es un gran honor formar parte de esta institución que tanto prestigio se ha forjado durante décadas y a través de la cual espero poder servir al progreso del conocimiento científico con la máxima dedicación y dignidad.

Quiero rendir un sincero homenaje a todos los Académicos que elevan el prestigio de esta Real Corporación y que con su dedicación preservan la excepcionalidad del conocimiento, promueven su transferencia a las nuevas generaciones e impulsan el avance de las ciencias, concretamente en aquellas especialidades dentro de la economía y las finanzas a las que han dedicado su vida profesional e investigadora.

Quiero manifestar también mi gratitud a profesores, colegas e investigadores de la universidad porque es mucho más lo que he recibido de ellos que lo que yo he podido aportarles y, en justicia, si la Real Academia ha reconocido algún mérito en mi persona, éste debe ser compartido con excelentes colaboradores, algunos hoy aquí y otros de países lejanos, puesto que sin ellos las aportaciones que voy a exponerles no hubieran sido posibles.

Por último, un reconocimiento a mi entorno privado. En especial a mi esposo y mi hijo, dos personas excepcionales a quienes debo agradecer su infinita paciencia, su apoyo, su noble bondad y su humilde inteligencia. Hago extensivo mi gratitud a nuestra familia. Por todos los que me rodean he sentido siempre una gran admiración, a la vez que una enorme felicidad por haber tenido el privilegio

de haber formado parte de sus vidas. Un entrañable recuerdo para todos aquellos que nos han precedido y han dejado impresa su huella en la búsqueda de la verdad y el generoso deseo de legar un mundo mejor.

El discurso con el que me dirijo a este selecto auditorio constará de tres partes, la primera tratará de los **fundamentos de la cuantificación del riesgo**, la segunda se centrará en **los desarrollos del análisis del riesgo en la economía y las finanzas** y, en la tercera parte, ofreceré una visión personal sobre las nuevas aportaciones de la **econometría del riesgo y seguro**, con reflexiones sobre formas de aseguramiento como las pensiones y las coberturas mutualizadas desde un punto de vista de las investigaciones más recientes. En este bloque mencionaré las **perspectivas de futuro** sobre el tema que hoy nos ocupa y en particular sobre la economía digital, en la que el protagonismo de los datos adquiere dimensiones gigantescas y cuestiona los planteamientos clásicos de la economía descriptiva, una tradición basada en modelos econométricos empíricos para datos de baja frecuencia, disponibles con un notable retardo. Frente a ellos, contrasta encontrar el conjunto de posibilidades y retos para el pensamiento económico que brinda el entorno tecnológico actual, en el que las decisiones microeconómicas se reflejan de inmediato en un flujo de información longitudinal incesante y en la estadística de los indicadores en tiempo real.

\* \* \*

## 1. FUNDAMENTOS DE LA CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

La noción de riesgo raramente se define explícitamente porque en realidad es un concepto que consta de dos elementos. En primer lugar, una variable aleatoria que mide pérdidas y en segundo lugar una función previamente acordada que sintetiza la distribución de probabilidad en un valor único. La combinación de ambos ingredientes, cuya naturaleza matemática no es trivial en absoluto, proporciona una gran variedad de posibilidades sobre qué pérdida se estudia (la variable aleatoria) y cómo se mide el peligro (la función).

Se puede discrepar en la elección tanto de la variable aleatoria como en la medida de riesgo y, por tanto, se pueden llegar a obtener conclusiones distintas,

e incluso a veces contradictorias, según cuál sea el punto de partida. No existe todavía una única medida del riesgo universalmente aceptada, ni una tradición suficientemente arraigada en las ciencias económicas y financieras que permita el uso fluido del concepto en el desarrollo de nuevos resultados y, a este motivo atribuyo que nos encontremos actualmente en los albores de lo mucho y lo muy importante que puede llegar a ser la teoría del riesgo, y en definitiva esta disciplina, en el desarrollo de la economía del siglo XXI.

Para construir un índice de riesgo, se debe primero establecer una distribución de probabilidad sobre la gama de consecuencias que describen completamente la incertidumbre de una pérdida, la que se asocia a un suceso, una inversión o un proyecto. Por lo general, dado que denominamos a esta variable “la pérdida”, obedeciendo a un fiel reflejo de lo que puede malograrse, cuanto mayor sea dicha pérdida, peor es el resultado. El signo importa porque es la primera fuente de controversia y, dado que usualmente en economía y finanzas se expresa el resultado de una inversión como ganancias o pérdidas, en este caso las pérdidas son valores negativos y el riesgo puede asociarse al peor resultado, hallándose éste por debajo de cero. Basta un sencillo cambio de sentido para situar el análisis en la dirección opuesta, pero este detalle que podría calificarse de insignificante es objeto de numerosas confusiones, e incluso de sonados errores en artículos publicados, hasta encontrar la mejor forma de definir cuál es la variable objeto de estudio y con qué signo, positivo o negativo, se miden las pérdidas.

A continuación, para abordar la cuantificación del riesgo se debe calcular una medida numérica que resuma la aleatoriedad intrínseca en un sólo valor. Se sabe que la expectativa, la simple esperanza matemática, es la forma más sencilla de presentar un resumen sintético de la distribución de probabilidad. Aquel número que representa la tendencia central de la variable aleatoria, cuyo reflejo en palabras habituales y lenguaje coloquial, es en definitiva la pérdida esperada.

Sin embargo, la medida de riesgo más ampliamente utilizada no es la esperanza sino el cuantil, que corresponde al valor de la pérdida que se está dispuesto a tolerar. En el fondo se trata de la esperanza matemática de una distorsión de la distribución inicial en la que sólo se soportan valores hasta un cierto nivel. Si el nivel de tolerancia es del 95%, se conviene que toda pérdida inferior al cuantil del 95% es asumible y que, por lo tanto, sólo se considera un riesgo el acaecimiento

de los daños más elevados correspondientes al 5% de casos extremos y, superiores a ese valor cuantil. La medida de riesgo, en este caso, es una función donde se ha introducido un parámetro más, la tolerancia, que es fácilmente calculable a partir de la distribución de probabilidad de las pérdidas.

Por último, el índice de riesgo puede ser traducido a una escala diferente, como un color o un número, para comunicar el riesgo de una forma más directa. Por ejemplo, las entidades financieras suelen asesorar a sus clientes indicándoles si una inversión tiene riesgo bajo, medio-bajo, medio, medio-alto o alto. En el fondo, están realizando una transformación a medida cualitativa ordinal de una medida de riesgo de las pérdidas que potencialmente puede generar una cartera de inversión en base a un modelo y un histórico de comportamiento. Sin embargo, la imprecisión y subjetividad de dichas valoraciones les restan su debida rigurosidad, y a nadie escapa que deberían fijarse de forma mucho más minuciosa.

La medición del riesgo es fundamental en la valoración de toda operación económica o financiera en la que no pueda predecirse a ciencia cierta el resultado, aunque sí se pueda caracterizar el comportamiento aleatorio previsto así como, en particular, se pueda analizar la distribución de probabilidad de los sucesos extremos.

En resumen, el **riesgo** es la posibilidad de que, debido a un proceso presente o a un suceso futuro, se produzca una pérdida económica o un perjuicio de cualquier otro tipo. Uno de los elementos que caracteriza al riesgo económico es que éste se puede transferir a una entidad aseguradora de modo que se compense al sujeto que ha sufrido la pérdida. La transferencia del riesgo se realiza en un contrato de seguros, bajo determinadas condiciones establecidas en las cláusulas y reguladas a nivel normativo, a cambio de un precio que se denomina la **prima de seguros**.

En el ámbito de los seguros necesariamente debe hacerse una valoración *ex ante* a fin de establecer los parámetros principales de coste esperado y riesgo asociado, cálculo de la prima de seguros y solvencia de la entidad que suscribe la póliza. Por la gran diversidad de necesidades de transferencia y productos aseguradores que existen en el mercado, el estudio de esta materia se ha convertido en un núcleo de conocimiento dentro de las ciencias económicas, con un elevado grado de especialización. A su evolución ha contribuido muy notablemente no

sólo el fundamento matemático de la teoría del riesgo, la economía del seguro, sino la aplicación de la estadística en combinación con una verdadera evolución de los métodos computacionales disponibles para el análisis de los datos.

El concepto de riesgo se utiliza además para indicar (McNeil et al., 2005, Bernstein, 1996):

- el daño potencial que puede surgir por un proceso presente o suceso futuro,
- cualquier suceso o acción que puede afectar negativamente a la capacidad de una organización de conseguir sus objetivos y ejecutar sus estrategias,
- la verosimilitud cuantificable de una pérdida o de la realización de beneficios por debajo de los esperados, y
- la probabilidad de que un resultado esperado no ocurra.

Conviene distinguir entre riesgo, incertidumbre y ambigüedad. Todas las definiciones tienen en común la existencia de un cierto desconocimiento sobre la ocurrencia de un hecho perjudicial. En el entorno de riesgo se dispone de unas probabilidades de ocurrencia objetivas y se conoce, de un modo más o menos aproximado, la pérdida asociada. En el entorno de incertidumbre las probabilidades de ocurrencia son subjetivas y se desconocen las posibles pérdidas asociadas. En el entorno de ambigüedad se desconocen completamente las probabilidades de ocurrencia, simplemente se reconoce la posibilidad de que exista un suceso adverso para el afectado.

### **1.1. EL VALOR EN RIESGO COMO MEDIDA DE RIESGO DE DISTORSIÓN FUNDAMENTAL**

El **valor en riesgo** responde al cálculo del cuantil de la distribución de probabilidad de las pérdidas y es la medida más habitual en la práctica para cuantificar la magnitud de las pérdidas que podrían llegar a ocurrir. Por ejemplo, es la base para calcular la solvencia de las entidades financieras (Basilea III) y aseguradoras (Solvencia II).

Existen dos aproximaciones a la obtención del valor en riesgo. La primera de ellas es paramétrica. Se parte de un modelo estadístico determinado (Gaussiano, t Student,...), se estiman los parámetros a partir de los datos existentes a fin de caracterizar la distribución estadística y finalmente el riesgo se calcula utilizando la función de medición estimada sobre la estimación de la distribución paramétrica elegida. Una segunda aproximación es la no-paramétrica, en la que no se asume como cierto un modelo de distribución de probabilidad concreto, porque siempre que exista suficiente información histórica sobre las pérdidas, se puede conseguir una estimación de la distribución de probabilidad, sin imponer un patrón paramétrico concreto y obteniéndose la medición del riesgo de manera directa (Alemany et al, 2013).

Cuando se dispone de datos históricos, la estadística proporciona un procedimiento metodológico para medir el riesgo. La definición de la variable aleatoria “pérdida”, usualmente denotada por  $L$  (del inglés, *loss*) puede responder a un fenómeno univariante con sólo una dimensión o multivariante en la que interviene más de una dimensión de pérdida.

Por ejemplo, en la inversión en valores de renta variable, en los que se producen cambios de precios, se puede establecer la pérdida o rendimiento a un día y considerar cada acción separadamente (caso univariante) o el valor de la cartera atendiendo a las aportaciones de cada acción (caso multivariante). En una cartera de inversión con distintas divisas se producen variaciones de valor por las fluctuaciones en los tipos de cambio, por lo que se considera este factor adicional y de ese modo también puede establecerse una pérdida diaria en función de la diferencia o el cociente entre el valor de un día respecto al valor de la inversión el día anterior expresado en una divisa.

En los seguros generales, la pérdida es la magnitud económica que mide la severidad del daño provocado por un accidente. En cambio, en un seguro de vida puede que la pérdida esté determinada pero se desconoce el momento en que ésta va a producirse. En un seguro de renta vitalicia en el que el asegurado va a percibir una cantidad determinada hasta su fallecimiento, la entidad aseguradora no puede conocer de antemano el importe total que deberá satisfacerse al beneficiario, por lo que debe realizar una previsión de suficiencia de reservas para poder sufragar sus compromisos. La pérdida en este caso corresponde a tener que abonar un

importe superior al previsto debido a una mayor longevidad del asegurado, lo que se conoce como riesgo actuarial o de longevidad, o bien corresponde a una insuficiencia de reservas, que es en realidad un riesgo financiero.

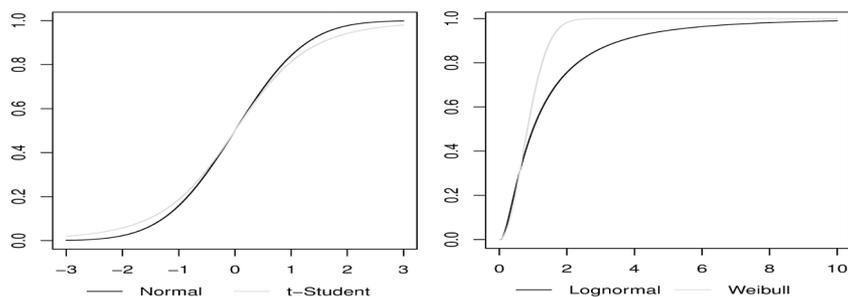
Habitualmente se supone que la variable pérdida  $L$  es una variable aleatoria cuyos  $N$  valores observados se denotan por  $L_1, \dots, L_N$  y se asume que han sido generados por la variable  $L$ . En términos estadísticos, el comportamiento de una variable aleatoria está determinado por su distribución. Suponemos que  $L$  es una variable continua, cuyo dominio es el conjunto de los reales o un intervalo.

Toda variable aleatoria continua viene caracterizada por la función de distribución o de densidad.

La función de distribución mide la probabilidad de que la pérdida representada a través de la variable  $L$  se sitúe por debajo de un valor concreto  $l_0$ . Formalmente, esta función se define como:

$$F(l_0) = \text{Prob}(L \leq l_0).$$

La función  $F(\cdot)$  toma valor 0 en el mínimo de la variable y toma valor 1 en su máximo, además es una función monótona no decreciente.



**Figura 1:** Funciones de distribución de una variable Normal ( $\mu = 0, \sigma = 1$ ), t-Student ( $\mu = 0, \sigma = 1$ ) con 4 grados de libertad (a la izquierda), Lognormal ( $\mu = 0, \sigma = 1$ ) y Weibull (a la derecha).

En la Figura 1 se muestran funciones de distribución asociadas a modelos estadísticos muy utilizados en cuantificación del riesgo, tanto en finanzas como en seguros. A la izquierda se muestran las distribuciones Normal y t-Student, donde

se supone que las pérdidas pueden tomar valores positivos o negativos y a la derecha, las distribuciones Lognormal y Weibull, donde se define que las pérdidas toman únicamente valores positivos.

En la Tabla 1 se presentan las expresiones correspondientes a las cuatro funciones de distribución Normal, t-Student, Lognormal y Weibull que se utilizan como ilustración.

**Tabla 1.** Ejemplos de funciones de distribución.

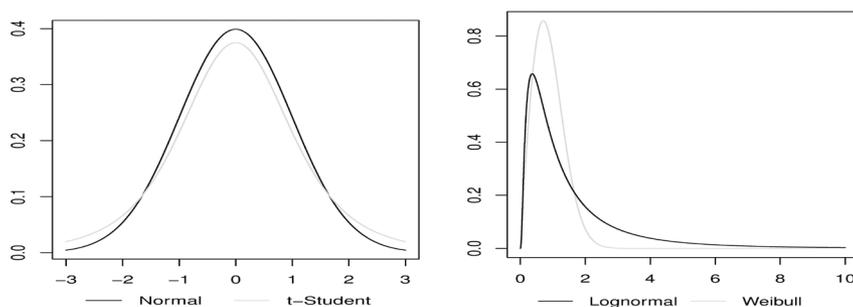
Distribución	$F(l_0)$
Normal	$\int_{-\infty}^{l_0} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{4\sigma^2}\right) dt$
t-Student con 4 grados de libertad	$\int_{-\infty}^{l_0} \frac{1,33}{\sigma\sqrt{4\pi}} \left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)^{-\frac{5}{2}} dt$
Lognormal	$\int_{-\infty}^{l_0} \frac{1}{(t-\theta)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(1 + \frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dt$
Weibull	$1 - \exp\left(-\left(\frac{l_0 - \theta}{\beta}\right)^{\gamma}\right)$

La función de densidad se denomina  $f(\cdot)$  y mide la derivada de la función de distribución indicando el gradiente en la acumulación de probabilidad en el entorno de un punto  $l_0$ . La función de distribución es la integral de la función de densidad, de modo que para variables aleatorias continuas se cumple que:

$$F(l_0) = \int_{-\infty}^{l_0} f(t) dt.$$

En la Figura 2 se muestran las funciones de densidad asociadas a los modelos de distribuciones descritos en la Tabla 1, donde puede observarse que la distribución t-Student tiene una probabilidad mayor de generar datos alejados del valor central que la distribución Normal. En el caso de las distribuciones que sólo

toman valores positivos, la distribución Lognormal tiene cola más gruesa que la distribución Weibull, por lo que también genera observaciones extremas con mayor probabilidad que esta última.



**Figura 2.** Funciones de densidad de una variable Normal ( $\mu = 0, \sigma = 1$ ), t-Student ( $\mu = 0, \sigma = 1$ ) con 4 grados de libertad (a la izquierda), Lognormal ( $\mu = 0, \sigma = 1$ ) y Weibull (a la derecha).

Formalmente, el valor en riesgo (VaR, *Vaule et Risk* en inglés) o cuantil a un nivel  $\alpha$  equivale a:

$$VaR_{\alpha}(L) = \inf\{l \in R: F(l) \geq \alpha\} = F^{-1}(\alpha),$$

siendo  $\alpha$  el parámetro se denomina nivel de tolerancia<sup>1</sup> que coincide con una probabilidad cercana a 1.

Como se muestra en la expresión anterior, el valor del VaR coincide con la inversa de la función de distribución. En otras palabras, el VaR es el valor de la pérdida que deja una probabilidad por encima de él mismo igual a  $(1 - \alpha)$ . Es decir, la probabilidad de tener una pérdida superior a la determinada por el VaR es  $(1 - \alpha)$ . Si se utiliza esta medida de riesgo, se denomina el VaR con una tolerancia igual a  $\alpha$ .

El nivel del tolerancia propuesto en la directiva de Solvencia II que rige la supervisión de las entidades del sector asegurador es  $\alpha = 0.995$ . Es evidente que

---

1. A veces también se llama *confianza*, aunque esta denominación es más habitual en la construcción de intervalos de confianza de estimadores.

cuanto mayor es el valor de la tolerancia, mayor es el VaR y mayor es el resultado, por lo tanto en el contexto de la directiva de solvencia este resulta proporcionar capitales requeridos más elevados cuanto mayor es el nivel. En la Figura 3 se representan los valores del VaR al nivel del 95% y al 99% junto a la función de densidad y a la función de distribución de un modelo Lognormal que podría adecuarse a datos de pérdida. En esta figura se evidencia como a medida que incrementa el nivel de tolerancia incrementan las exigencias de solvencia asociadas al riesgo.

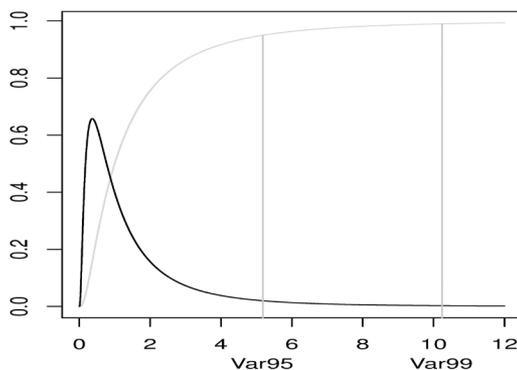
El valor del VaR depende de la pérdida media. Por ello, en muchas situaciones para comparar riesgos es conveniente eliminar el efecto de la media de la variable pérdida, de esta idea surge la medida de riesgo mean-VaR (llamado *valor en riesgo ajustado a la media*) que equivale a:

$$VaR_{\alpha}^{mean}(L) = VaR_{\alpha}(L) - E(L),$$

donde  $E(L)$  representa la esperanza matemática, o la medida de la tendencia central de la variable pérdida.

El VaR es la medida de riesgo más utilizada en finanzas y seguros por su sencillez en el cálculo y porque puede calcularse para cualquier modelo estadístico, lo que no ocurre con otras medidas.

Sin embargo el VaR no consigue reflejar cuál puede ser la pérdida máxima y puede que no sea una medida de riesgo coherente.



**Figura 3.** Representación del VaR sobre la función de densidad y la función de distribución de un modelo Lognormal

Dadas las desventajas asociadas al VaR, en algunas ocasiones se emplea una medida de riesgo alternativa, el denominado valor en riesgo de la cola (TVaR, *Tail Value-at Risk* en inglés). Esta es la medida de riesgo que se utiliza en Suiza para evaluar y supervisar la solvencia de las entidades aseguradoras.

Formalmente, el TVaR equivale a:

$$\text{TVaR}_\alpha(L) = E(L|L \geq \text{VaR}_\alpha(L)) = \int_{\text{VaR}_\alpha(L)}^{\infty} l \, dF(l),$$

$$\text{TVaR}_\alpha(L) = \frac{1}{1 - \alpha} \int_{\alpha}^1 \text{VaR}_u(L) \, du,$$

donde  $dF(l) = f(l)dl$  es el diferencial de la función de distribución. En términos prácticos el TVaR equivale al promedio de las pérdidas iguales o superiores al VaR.

## 1.2. CÁLCULO DE LAS MEDIDAS DE RIESGO

Para poder implementar la cuantificación del riesgo en la práctica existen tres métodos estándares:

- El método de Varianza-Covarianza está basado en la hipótesis de normalidad de las pérdidas y proporciona una estimación del riesgo a través de una fórmula directa que sólo requiere estimar los momentos de primer y segundo orden.
- El método de Simulación Histórica se asienta sobre la base de utilizar información retrospectiva y suponer que el comportamiento de las pérdidas es estable a lo largo del tiempo.
- El método de Montecarlo supone cierto y conocido el carácter estocástico de las pérdidas, que se reproduce mediante un programa informático, lo que permite plantear escenarios y generar tantos valores como se desee, aunque

sea costoso computacionalmente. Una vez disponibles los resultados de la simulación, se trata la información igual que en el método de Simulación Histórica.

### MÉTODO DE VARIANZA-COVARIANZA

Si se denomina  $X = (X_1, X_2, \dots, X_k)$  al vector de factores de riesgo, el método de Varianza-Covarianza supone que el comportamiento conjunto de los  $K$  factores de riesgo es Normal multivariante, lo que se denota por  $X \sim N(\mu, \Sigma)$ , siendo  $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k)$ , un vector que contiene las  $K$  esperanzas matemáticas de los factores de riesgo y

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1k} \\ \sigma_{12} & \sigma_2^2 & \cdots & \sigma_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{1k} & \sigma_{2k} & \cdots & \sigma_k^2 \end{pmatrix}$$

la matriz de varianzas y covarianzas que mide la asociación entre los factores de riesgo, siendo  $\sigma_j^2$  la varianza del factor de riesgo  $j$  y  $\sigma_{jl}$  la covarianza entre los factores de riesgo  $j$  y  $l$ . Debido a los supuestos de normalidad multivariante para los factores de riesgo y dado que se establece que la variable pérdida  $L$  es una combinación lineal de los mismos definida por el vector de parámetros  $b = (b_1, b_2, \dots, b_k)$ , es sencillo deducir que  $L$  es una variable que se comporta como un Normal univariante con esperanza y varianza definidas por:

$$\begin{aligned} \mu_L &= b_0 + \mu_1 b_1 + \mu_2 b_2 + \cdots + \mu_k b_k = b\mu' \\ \sigma_L^2 &= \sigma_1^2 b_1^2 + \sigma_2^2 b_2^2 + \cdots + \sigma_k^2 b_k^2 + (\sigma_{12} b_1 b_2 + \sigma_{13} b_1 b_3 + \cdots + \\ &\quad + \sigma_{(k-1)k} b_{(k-1)} b_k) = b\Sigma b' \end{aligned}$$

Por tanto, el método de Varianza-Covarianza supone que el comportamiento de la variable pérdida es como el de una distribución Normal y se indica como:

$$L \sim N(\mu_L, \sigma_L^2).$$

Si se supone que la variable pérdida sigue una distribución Normal entonces el cálculo de VaR y el TVaR es directo:

$$\begin{aligned} \text{VaR}_\alpha(L) &= \mu_L + \sigma_L \Phi^{-1}(\alpha), \\ \text{TVaR}_\alpha(L) &= \mu_L + \sigma_L \frac{\phi(\Phi^{-1}(\alpha))}{1-\alpha}, \end{aligned}$$

donde  $\Phi^{-1}$  es la inversa de la función de distribución de una distribución Normal con esperanza 0 y varianza 1 (o cuantil de la Normal estándar) y  $\phi$  es su correspondiente función de densidad.

El método de Varianza-Covarianza es fácilmente aplicable y proporciona una solución analítica, es decir una fórmula cerrada, para el cálculo del VaR y el TVaR. Sin embargo, posee una serie de inconvenientes que deben ser destacados. Se basa en hipótesis muy simplificadoras dado que, en primer lugar, por definición la pérdida depende linealmente de los factores de riesgo y que, en segundo lugar, se supone cierta la hipótesis de normalidad multivariante en el comportamiento conjunto de los factores de riesgo. En la práctica, cuando se observan valores extremos, este método tiende a subestimar el riesgo.

#### **MÉTODO DE SIMULACIÓN HISTÓRICA**

El método de Simulación Histórica parte de que se han observado  $N$  pérdidas  $L_1, \dots, L_N$  en un periodo tiempo determinado. Utilizando directamente los datos observados y haciendo uso de un modelo paramétrico o un método no paramétrico se calcula la medida de riesgo deseada. Se ajusta una distribución y se obtiene la medida de riesgo del modelo ajustado.

La mayor o menor dificultad de la Simulación Histórica radica en el grado de complejidad del modelo paramétrico o del método no paramétrico que se utilice en el ajuste probabilístico.

La gran desventaja de la Simulación Histórica es que no tiene en cuenta la existencia de factores de riesgo o subriesgos y su dependencia, por lo tanto, no tiene en cuenta la mayor o menor diversificación en la medición del riesgo. Además, si el ajuste no es satisfactorio, puede provocar un sesgo en la estimación del riesgo, que es el resultado de una adecuación deficiente de los datos a la distribución utilizada.

## **MÉTODO DE MONTECARLO**

El método de Montecarlo es un procedimiento para el cálculo del riesgo que se basa en la simulación aleatoria de los factores de riesgo suponiendo que éstos se comportan según un modelo estadístico multivariante, que tiene en cuenta tanto el comportamiento individual de cada factor como la dependencia entre los factores. Este procedimiento puede dividirse en varias etapas que no están exentas de dificultad.

En primer lugar, utilizando datos históricos de los valores de los  $k$  factores de riesgo, a partir de una muestra de observaciones, se estiman los parámetros asociados un modelo estadístico multivariante. El modelo más habitual es el que ajusta una distribución Normal multivariante, sin embargo este modelo impone una serie de restricciones que en la práctica a menudo no se cumplen: (1) el comportamiento individual de los factores de riesgo tiene que seguir un modelo Normal y (2) la dependencia entre los factores de riesgo debe ser lineal. A partir del modelo estimado, se deben generar aleatoriamente, mediante simulación,  $M$  valores de los  $K$  factores de riesgo, donde  $M$  debe ser un número suficientemente elevado, normalmente dependiendo de la capacidad computacional disponible, para proporcionar resultados estables. Utilizando los valores de los factores de riesgo simulados, hay que calcular los  $M$  valores de la variable pérdida correspondiente. En este paso se supone que la relación entre los factores de riesgo y la pérdida es determinista, lo que puede no cumplirse.

Finalmente, se utiliza un método no paramétrico o un modelo paramétrico para estimar el riesgo a partir de las  $M$  pérdidas simuladas o, lo que es lo mismo, se aplica el método de Simulación Histórica pero con las pérdidas simuladas.

La mayor ventaja del método de Montecarlo radica en su flexibilidad a la hora de modelizar el comportamiento de los factores de riesgo, dado que el método permite utilizar cualquier modelo multivariante. Sin embargo, su gran flexibilidad también puede suponer una enorme desventaja, en el sentido de que a veces es difícil justificar el modelo a utilizar. De todos modos, en la actualidad, este método basado en la hipótesis de normalidad es el más utilizado en la cuantificación del riesgo. Otros modelos multivariantes proporcionan mejores aproximaciones o propiedades más flexibles, aunque suelen tener mayor complejidad que el modelo Normal multivariante como se muestra en Guillén et. al (2011a).

### MODELOS PARAMÉTRICOS PARA LA MEDICIÓN DEL RIESGO

En la Tabla 2 se muestran las expresiones del VaR para los cuatro modelos descritos en la Tabla 1. Existen muchos otros modelos paramétricos que podrían utilizarse, sin embargo, no siempre se dispone de una expresión cerrada y sencilla para el VaR. En dichos casos es necesario utilizar algoritmos numéricos que permitan encontrar aquel valor que cumpla la igualdad , para el nivel de tolerancia  $\alpha$  dado, siendo  $F$  la función de distribución del modelo paramétrico empleado.

**Tabla 2.** Expresiones del VaR.

Distribución	$F(l_0)$
Normal*	$\mu_L + \sigma_L \Phi^{-1}(\alpha)$
t-Student con 4 grados de libertad**	$\mu_L + \sigma_L t_4^{-1}(\alpha)$
Lognormal	$\exp\left(\mu_{\ln(L)} + \sigma_{\ln(L)} \Phi^{-1}(\alpha)\right)$
Weibull	$\beta(-\ln(1 - \alpha))^{\frac{1}{\gamma}} + \theta$

\*  $\Phi^{-1}$  es la inversa de la función de distribución de una Normal con esperanza matemática igual a 0 y varianza igual a 1.

\*\*  $t_4^{-1}$  es la inversa de la función de distribución de una t-Student con esperanza matemática igual a 0, varianza igual a 1 y 4 grados de libertad..

Para poder cuantificar el riesgo a partir de un modelo paramétrico, el primer paso que hay que dar consiste en la estimación de los parámetros y a continuación hay que implementar la expresión directa o el cálculo numérico del riesgo.

#### ESTIMACIÓN NO PARAMÉTRICA DE LAS MEDIDAS DE RIESGO

Al contrario que en los métodos paramétricos, donde el ajuste consiste en estimar los parámetros que definen la función de distribución y de este modo conocer los valores de la misma para todos los puntos, la estimación no paramétrica plantea estimar el valor concreto de la función en cada uno de los valores de la pérdida. La estimación no paramétrica más sencilla del VaR es la que se obtiene a partir de la distribución empírica.

Este método consiste en utilizar la expresión  $\inf\{l \in R: F(l) \geq \alpha\}$  ( en la que la función de distribución desconocida  $F(\cdot)$  se sustituye por la distribución empírica:

$$\hat{F}_N(l_0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(L_i \leq l_0),$$

donde  $I(\cdot)$  es la función indicador que toma valor 1 cuando se cumple la condición entre paréntesis. En consecuencia, el VaR empírico se define como  $\widehat{\text{VaR}}_\alpha(L) = \inf\{l \in \mathcal{R}: \hat{F}_N(l) \geq \alpha\}$ .

La distribución empírica sólo está definida con un rango de variación entre 0 y 1 en los puntos comprendidos entre los observados para la muestra de datos disponibles, por lo tanto más allá del máximo valor observado es constante e igual a . Esto es especialmente problemático si el tamaño de la muestra no es muy grande y se sospecha que se puede llegar a producir una pérdida mayor que la máxima observada.

Dadas las dificultades que ocasiona utilizar la distribución empírica un método no paramétrico alternativo es la estimación núcleo, que podría decirse que es una versión alisada de la distribución empírica (Bolancé et al., 2008a). La expresión habitual para el estimador núcleo de la función de distribución es:

$$\hat{F}(l_0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{l_0 - L_i}{b}\right),$$

donde  $b$  es el parámetro de alisamiento, de modo que cuanto mayor sea su valor más alisada es la función estimada. La función  $K(\cdot)$  se conoce como núcleo de la estimación y coincide con una función de distribución conocida, aunque ello no significa que la función de distribución estimada se parezca lo más mínimo a la forma que tome el núcleo, sino que más bien esta última se utiliza para ponderar las observaciones en el entorno local del punto en el que se está estimando la función de distribución inicial desconocida.

Entre los diferentes métodos utilizados para hallar el parámetro de alisamiento, el propuesto por Alemany et al. (2013) goza de buenas propiedades para la estimación de riesgos extremos en distribuciones de pérdida muy asimétricas.

La estimación núcleo de la función de distribución tiene muchas similitudes con la expresión de la distribución empírica. La diferencia entre una y otra radica en sustituir la función indicador de la distribución empírica por la función núcleo, siendo la principal diferencia entre ellas que la distribución empírica sólo utiliza la ponderación de los datos situados por debajo de la pérdida en la que se estaría estimando la función, mientras que por el contrario, la estimación núcleo utiliza una ponderación de todas las pérdidas observadas por encima y por debajo, dando mayor peso a las observaciones inferiores al punto del dominio considerado.

Una propiedad poco conocida es que la estimación núcleo clásica que se acaba de presentar no es eficiente cuando se trata de estimar funciones de distribución de una variable que mide pérdidas con asimetría positiva o a la derecha, con formas similares a la Lognormal.

Como alternativa a la estimación núcleo, la estimación núcleo transformada consiste en transformar las pérdidas observadas de modo que las nuevas observaciones transformadas tengan una distribución más simétrica. Con ello se consigue que su distribución pueda estimarse fácilmente con el estimador núcleo clásico, conservando sus buenas propiedades. Esta aproximación, la elección de la transformación así como el grado óptimo de alisamiento han sido objeto de diferentes trabajos de investigación (Bolancé et al. 2003a, 2005, 2008a y 2012).

### 1.3. PROPIEDADES DE LAS MEDIDAS DE RIESGO

Si  $\rho(L)$  una medida de riesgo asociada a la variable pérdida  $L$ , se dice que  $\rho(L)$  es coherente si cumple las propiedades de subaditividad, homogeneidad, invarianza por traslación y monotonicidad.

Una medida de riesgo:

- Es subaditiva si para dos subriesgos  $L_1$  y  $L_2$ , de modo que  $L = L_1 + L_2$ , se cumple que  $\rho(L) \leq \rho(L_1) + \rho(L_2)$ .
- Es homogénea positiva si para  $\lambda$ , una constante positiva, se cumple que  $\rho(\lambda L) = \lambda \rho(L)$ .
- Es invariante por traslación si cuando  $c$  es una constante positiva o negativa, se cumple que  $\rho(L+c) = \rho(L)+c$ .
- Es monótona si cuando  $L_1 \leq L_2$  se cumple que  $\rho(L_1) \leq \rho(L_2)$ .

Concretamente el VaR no es una medida de riesgo coherente, puesto que no cumple la propiedad de subaditividad, es decir, no garantiza que la diversificación reduzca el riesgo. Sin embargo, el VaR sigue siendo la medida de riesgo más ampliamente utilizada, por las razones que ya se han mencionado antes (Handbook of Insurance, 2013).

### 1.4. AGREGACIÓN DE RIESGOS DEPENDIENTES

Cuando el objetivo es cuantificar el riesgo de un determinado tipo como el riesgo de mercado, el riesgo de crédito, o el riesgo operacional, hay que tener en cuenta que el riesgo total viene dado por la combinación de un conjunto de riesgos parciales o marginales relacionados entre sí.

A no ser que los riesgos sean independientes entre sí, caso en el que el riesgo total equivale a la suma de los subriesgos, es sabido que para cuantificar el riesgo total hay que tener en cuenta las dependencias entre las distintas componentes, lo

que al mismo tiempo también permite incorporar el efecto de la diversificación en el cálculo del riesgo.

Cuando un negocio está muy diversificado la dependencia entre los riesgos asumidos es negativa, por el contrario, un negocio poco diversificado es aquél en el que la dependencia entre subriesgos es fuertemente positiva.

Para cuantificar el riesgo total es necesario ajustar un modelo multivariante al comportamiento conjunto de los distintos subriesgos. Como estudian Sarabia y Guillén (2008) esta es tarea de una enorme dificultad. Las expresiones analíticas cerradas para agregaciones como las planteadas en Guillén et al. (2011b y 2013) no siempre son posibles.

El modelo más simple y que goza de mayor aceptación es el basado en la distribución Normal multivariante, conjuntamente con el método de Varianza-Covarianza, que propone utilizar este modelo para la cuantificación del riesgo.

Sea  $L=(L_1, L_2, \dots, L_k)$  el vector de factores de riesgo o de pérdidas asociadas a los  $K$  sub-riesgos, si sigue una Normal multivariante con vector de esperanzas matemáticas  $\mu$  y matriz de varianzas y covarianzas  $\Sigma$ , la función de distribución se define como:

$$P(L_1 \leq l_1, \dots, L_k \leq l_k) = F(L_1, \dots, L_k) = \int_{t_1=-\infty}^{l_1} \dots \int_{t_k=-\infty}^{l_k} \frac{1}{|\Sigma|^{\frac{1}{2}} (2\pi)^{\frac{k}{2}}} \exp\left(-\frac{1}{2}(t - \mu)\Sigma^{-1}(t - \mu)'\right) dt_1 \dots dt_k,$$

donde  $|\Sigma|$  es el determinante de la matriz de varianzas y covarianzas. El modelo Normal multivariante es un caso particular en la familia de distribuciones elípticas.

La consecuencia de utilizar un modelo Normal multivariante para modelizar el comportamiento conjunto de riesgos es la subestimación del riesgo agregado, dado que dicha distribución supone independencia en los extremos de las distribuciones marginales.

Existen modelos multivariantes alternativos al proporcionado por la ley de probabilidad Normal multivariante, sin embargo, el hecho de tener que modelizar tanto la dependencia entre los riesgos marginales como su comportamiento individual, es decir los modelos marginales asociados a cada  $L_j$ , supone una limitación, ya que no suele existir un modelo con la suficiente flexibilidad para adaptarse a ambos comportamientos de forma conjunta. Fledelius et al. (2004) realizan una propuesta en el caso de dos dimensiones y en una aplicación al estudio de la longevidad.

Las cópulas son modelos estadísticos que permiten ajustar de forma separada, por un lado, la dependencia entre los subriesgos y, por lo tanto, el comportamiento univariante de cada subriesgo se realiza por separado.

Una cópula es una función definida sobre el hipercubo  $[0,1]^k$  en el intervalo  $[0,1]$  que se especifica como:

$$C(F_1(l_1), \dots, F_k(l_k)) = C(u_1, \dots, u_k),$$

donde  $C(\cdot)$  representa la cópula que recoge la dependencia entre subriesgos y  $F_j(\cdot)$ ,  $j = 1, \dots, K$ , es la función de distribución de cada pérdida, que recoge el comportamiento marginal correspondiente.

Como la función de distribución mide una probabilidad, sus valores se sitúan entre el cero y el uno, de ahí la denominación  $u_j$ ,  $j = 1, \dots, K$ , que proviene de la distribución Uniforme  $(0,1)$ .

Una de las cópulas más conocidas es la cópula Gaussiana que equivale a:

$$C(u_1, \dots, u_k) = \int_{t_1=-\infty}^{F_1^{-1}(u_1)} \dots \int_{t_k=-\infty}^{F_k^{-1}(u_k)} \frac{1}{|R|^{\frac{1}{2}}(2\pi)^{\frac{k}{2}}} \exp\left(-\frac{1}{2}tR^{-1}t'\right) dt_1 \dots dt_k,$$

donde  $t = (t_1, \dots, t_k)$  y por definición de la cópula Gaussiana, las funciones de distribución marginales coinciden con la de la Normal estándar, siendo  $R$  la matriz de correlaciones.

Al igual que en el modelo Normal multivariante, la cópula Gaussiana tiende a subestimar el riesgo, dado que supone que los valores extremos son independientes, es decir, no existe dependencia en las colas de la distribución.

Una cópula alternativa a la Gaussiana que tiene dependencia en ambas colas, es decir, en los valores mínimos y en los máximos, es la cópula t-Student que de forma similar a la Gaussiana, equivale a la función de distribución de un modelo t-Student multivariante.

Las cópulas Gaussiana y t-Student forman parte de las denominadas cópulas implícitas, dado que parten de una función de distribución de un modelo multivariante conocido, es decir la distribución Normal o la distribución t-Student multivariante. También existen otros tipos de cópulas denominadas explícitas que proceden de una expresión matemática que no coincide con una función de distribución concreta. Por ejemplo, la cópula Gumbel se caracteriza por la dependencia en la cola derecha de la distribución, es decir, en los valores más elevados, y la cópula Clayton presenta dependencia en la cola izquierda o en los valores más pequeños.

Para cuantificar el riesgo a partir de una cópula se utiliza el método de Montecarlo. En primer lugar, utilizando datos históricos de los valores de los K factores de riesgo, se estiman los parámetros asociados a la cópula y a las funciones de distribución marginales  $F_1(L_1), \dots, F_k(L_k)$ . La dificultad en la estimación de las cópulas multivariantes se incrementa en razón al número de factores de riesgo cuando éste es mayor que dos, dado que a excepción algunas cópulas, en el resto la estimación ha de realizarse por fases, dos a dos (Aas et al. 2009). A continuación, a partir del modelo estimado previamente, hay que generar aleatoriamente M valores de las K distribuciones Uniforme (0,1),  $\tilde{U}_j, j = 1, \dots, k$ . Seguidamente, se obtienen los M valores de las K factores de riesgo a partir de las inversas de las funciones de distribución de las marginales:  $\tilde{L}_j = F_j^{-1}(\tilde{U}_j), j = 1, \dots, k$ . Utilizando los valores de los factores de riesgo simulados, hay que calcular los M valores de la variable pérdida correspondiente. Para finalizar, se puede utilizar un método no paramétrico, puesto que en este caso el tamaño de la muestra es grande, o un modelo paramétrico para estimar el riesgo a partir de las pérdidas simuladas.

La asignación de riesgo total responde al mecanismo contrario a la agregación (Urbina y Guillén, 2014).

### 1.5. EXTENSIONES EN LAS MEDIDAS DE RIESGO DE DISTORSIÓN

En los últimos años se han realizado muchas aportaciones a la medición del riesgo, concretamente en dos líneas principales de trabajo (Dhaene et al., 2012 y Goovaerts et al., 2012). Por un lado las medidas de riesgo basadas en distorsiones (Zhu y Li, 2012) y por otra las generalizaciones de las cuantilas (Bellini y Gianin, 2012 y Bellini et al., 2014).

Las medidas de riesgo basadas en distorsiones fueron inicialmente introducidas por Wang (1995 y 1996), como resultado de implementar la teoría de la expectativa distorsionada de Yaari (1987). Tsanakas y Desli (2005) explican exhaustivamente distintas interpretaciones, así como la relación existente entre dicha teoría y la forma de medir el riesgo a partir de una distorsión de la probabilidad de la pérdida (ver también Denuit et al., 2005 y Balbás et al., 2009).

Las medidas de riesgo basadas en distorsiones requieren entender el fundamento que existe en la definición de una función de distorsión y, además, el concepto de la integral de Choquet (1954).

- La función de distorsión se suele denotar por  $g(\cdot)$  y es una función del intervalo  $[0,1]$  en el intervalo  $[0,1]$  que cumple que  $g(0) = 0$ ,  $g(1) = 1$  y no es decreciente.
- La integral (asimétrica) de Choquet requiere utilizar tres componentes: (1)  $\nu$  un función de medida, (2)  $X$  una función  $\nu$ -medible definida sobre el conjunto  $\Omega$  y (3)  $S_{\nu,X}(x)$  la función de supervivencia de  $X$  respecto a  $\nu$ , es decir  $S_{\nu,X}(x) = \nu(\{X > x\})$ . Entonces la integral de Choquet es:

$$\int X d\nu = \int_{-\infty}^0 [S_{\nu,X}(x) - \nu(\Omega)] dx + \int_0^{+\infty} S_{\nu,X}(x) dx.$$

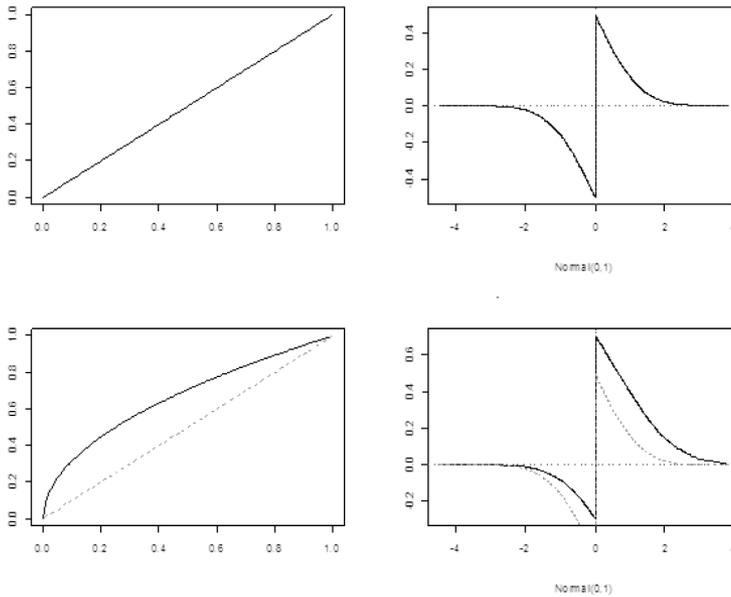
En realidad el concepto corresponde al cálculo de una esperanza matemática en una variable aleatoria con una función de medida que establece una pondera-

ción, lo que es análogo al concepto de media aritmética ponderada en la que cada valor contribuye conforme a un peso proporcional a su probabilidad de ocurrencia (Denneberg, 1994).

Una medida de riesgo basada en una distorsión requiere suponer  $g(\cdot)$  una función de distorsión concreta,  $L$  una variable aleatoria para la pérdida y  $S_L(\cdot)$  la función de supervivencia de dicha variable, es decir  $S_L(l_0) = \text{Prob}(L > l_0)$ . Se denomina  $\rho_g(L)$  a la medida de riesgo basada en distorsión que se define como:

$$\rho_g(L) = \int_{-\infty}^0 [g(S_L(x)) - 1] dx + \int_0^{+\infty} g(S_L(x)) dx.$$

En Belles et al. (2013 y 2014b) se establecieron resultados sobre la caracterización de medidas de riesgo y operadores de agregación.



**Figura 4.** Funciones de distorsión y de supervivencia (arriba) y una vez distorsionadas (abajo, en puntos las no distorsionadas) para una distribución Normal ( $\mu = 0$ ,  $\sigma = 1$ )

La Figura 4 muestra funciones de distorsión y de supervivencia para visualizar su relación en dos medidas de distorsión de riesgo. En la primera fila la esperanza matemática es el área delimitada por la curva de supervivencia y los ejes, dibujada a la derecha. En la segunda fila, la medida de riesgo como una función de distorsión  $g_u = \sqrt{u}$ . En la primera columna se presenta el gráfico de la función de distorsión, mientras que en la segunda columna se representa  $g(S(z))$  si  $z \geq 0$  y  $1-g(S(z))$  si  $z < 0$ . Las áreas delimitadas por las curvas y los ejes de coordenadas permiten obtener el valor de la medida de riesgo. La segunda medida de riesgo (parte inferior), es más conservadora que la inicial dado que proporciona una área menor que la inicial (parte superior).

## 1.6. LA TOLERANCIA AL RIESGO

Si se consideran el valor en riesgo y el valor en riesgo de la cola, las medidas de riesgo más ampliamente utilizadas en la práctica, la comparación de actitudes se complica. Según parece obvio, la medida que tiene más aversión al riesgo está asociada al más alto nivel de tolerancia. Así, se puede comparar directamente la aversión de dos cuantiles, mediante el nivel de confianza. Esta comparación directa ya no puede hacerse con tolerancia diferente al comparar el VaR y el TVaR. Si el que toma la decisión quiere comparar la aversión al riesgo implícita entre VaR y TVaR, no puede hacerlo. En este caso, no es obvio decidir cuál de estas dos medidas de riesgo implica una aversión de riesgo más alta. Además, ¿qué pasa si existe una tercera medida de riesgo diferente que también quiere compararse?

Los instrumentos desarrollados a partir de las propuestas de Belles-Sampera et al. (2014a) para facilitar la comparación de aversión del riesgo entre medidas de riesgo de distorsión desde una perspectiva global y local proporcionan elementos nuevos para juzgar la conveniencia de escoger y aplicar una medida de riesgo de distorsión particular en comparación con otras opciones.

Las medidas de riesgo están siendo utilizadas para tomar decisiones y efectuar controles para proporcionar información de pérdidas potenciales bajo un marco probabilista y, así, la elección de una medida de riesgo juega una función primordial para la decisión que se toma en muchas aplicaciones incluyendo salud, seguridad, medioambiente, riesgos de amenazas o riesgos catastróficos.

Existe una amplia gama de medidas de riesgo diferentes disponibles en la práctica, pero la selección de la medida de riesgo adecuada y la tolerancia utilizada en un contexto particular son generalmente aspectos controvertidos.

Las medidas de riesgo de distorsión incluyen una gran variedad de posibilidades y son suficientemente flexibles. El valor de riesgo proporcionado por una medida de riesgo de distorsión básicamente depende de las características de la variable aleatoria capturadas por la distribución de supervivencia, y la función de distorsión asociada. Estas dos partes pueden estudiarse por separado, pero si se presta atención a la función de distorsión, ésta puede ser entendida como función de ponderación de las probabilidades de supervivencia. Por tanto, cualquier actitud de riesgo implícita en una medida de riesgo de distorsión es hasta cierto punto una forma de cambiar las probabilidades de ocurrencia de las pérdidas. En Belles-Sampera et al. (2014c) se justifica brevemente que esta aproximación matemática proporciona una forma de entender la tolerancia al riesgo implícita en la elección de una medida de riesgo.

Las medidas de riesgo de distorsión pueden ser interpretadas como integrantes de una clase de funciones de agregación. Si se considera el área bajo la función de distorsión de la medida de riesgo, esta medida del área revela la distorsión global realizada sobre la distribución de supervivencia. Este indicador informa sobre la actitud de riesgo global.

Sin embargo, la actitud de riesgo implícita en la elección de una medida de riesgo no sólo viene determinada por la medida de área a partir de la función de distorsión. Tan importante como la medida de la distorsión agregada es la forma como esta área se distribuye a través de todo el dominio de valores. La información sobre la actitud hacia el riesgo tendría que ser complementada por la función de cociente que calcula la proporción entre la función de distorsión y la función identidad. Esta función de cociente da la información local del comportamiento de riesgo relativo que se asocia a la medida de riesgo en cada punto de la gama de valores, mientras que el área bajo la función de cociente proporciona información de riesgo global similar al área bajo la función de distorsión. En definitiva, la función de cociente podría reemplazar a la función de distorsión en el análisis de actitud ante el riesgo global.

En el caso del VaR, la actitud de riesgo no es sensible a cambios provocados por la aparición de escenarios más extremos. La razón es que esta medida de riesgo combina una aversión hacia el riesgo máximo y una tolerancia hasta un cierto nivel de pérdida. Las medidas de riesgo GlueVaR introducidas por Belles-Sampera et al. (2014a) permiten dos niveles de tolerancia y que se tenga en cuenta la influencia de la media por encima del cuantil correspondiente. Las medidas GlueVaR tendrían que ser utilizadas por reguladores y directores de riesgo para enriquecer la información de riesgo proporcionada por el estándar del VaR. Estableciendo la GlueVaR equivalente a la medida del regulador se puede entender la actitud individual de una entidad concreta frente a la protección de solvencia, analizando su reserva de capital que lógicamente excede al mínimo requerido. Esta información revela la posición que tiene la empresa sobre el riesgo asumido y el margen de seguridad con el que lo gestiona.

El procedimiento de calibración propuesto en los trabajos que se acaban de mencionar necesariamente depende de la medida de riesgo de referencia y también de la variable aleatoria.

La estrategia de calibración de GlueVaR permite conseguir un único GlueVaR como solución y las condiciones necesarias para cada caso se relacionan con las características cuantificables de la medida de riesgo y/o el nivel deseable, global o local, de aversión al riesgo.

En resumen, para poder caracterizar una medida de riesgo es necesario comprender la actitud ante el riesgo subyacente cuando esta medida se está aplicando en la valoración de riesgos. En consecuencia, parece natural que en el proceso de selección de la medida más apropiada, se analicen las características de cada medida de riesgo en comparación con otras alternativas y, en concreto, la actitud que pretenden reflejar.

## **1.7. APLICACIONES DEL ANÁLISIS DEL RIESGO**

Desde que la humanidad consiguió que volar fuera considerado un medio de transporte habitual se ha suscitado un intenso debate por saber si es más arries-

gado viajar en coche o en avión, un tema fascinante por la aparente simplicidad de la pregunta, la gran capacidad de elaborar un posicionamiento subjetivo sin demasiados datos y la enorme complejidad de su respuesta. En un artículo del año 2014 del profesor de la Universidad del Estado de Iowa Cameron MacKenzie en la revista *Risk Analysis* se analizó parcialmente esta cuestión. Los datos referidos a Estados Unidos sirvieron para comparar el riesgo de accidente mortal en la aviación y la carretera teniendo en cuenta la distancia recorrida por los pasajeros. En base a este ejemplo, y usando una nueva medición que refleja el tiempo de viaje, se puede demostrar cómo la construcción e interpretación de las medidas de riesgo en la práctica puede llegar a ser muy confusa.

Desde 2005 hasta 2009 en EE.UU. se produjeron aproximadamente 35.000 fallecimientos anuales como resultado de incidentes relacionados con el transporte, la inmensa mayoría debidos a accidentes en carretera. Por lo tanto cabría afirmar que viajar por tierra es más peligroso que utilizar el transporte aéreo. Sin embargo, para discernir qué medio de transporte es más seguro hay que establecer los supuestos utilizados para definir la variable aleatoria que mide los daños y la elección de la medida de riesgo, así como los datos sobre incidentes, fallecimientos, distancia total recorrida y tiempo total empleado en recorrerla, referidos al territorio y años considerados según el medio de transporte, que se resumen en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Siniestralidad en el transporte en EE.UU. (2005-2009).

Accidentes según el medio de transporte	Total incidentes	Total víctimas	Total distancia (millón de millas)	Total tiempo (10.000 horas)*
Aviación comercial de pasajeros	7	123	40.070	7285
Aviación no comercial	57	166	249	124
Carretera	180.369	198.783	14.970.000	213.857

MacKenzie (2014) y elaboración propia (Riskcenter UB)

**Tabla 4.** Medidas de riesgo en el transporte según la distancia recorrida (por millón de millas).

Número de víctimas según distancia	Media	Desviación estándar	Cuantiles	
			95%	99%
Aviación comercial de pasajeros	0,003	0,324	0	0
Aviación no comercial	0,667	1,666	4	8
Carretera	0,013	0,126	0	0

MacKenzie (2014)

**Tabla 5.** Medidas de riesgo en el transporte según el tiempo de viaje (10.000 horas viajadas).

Número de víctimas según tiempo	Media	Desviación estándar	Cuantiles	
			95%	Media
Aviación comercial de pasajeros	0,017	0,759	0	0
Aviación no comercial	1,335	2,158	5	9
Carretera	0,009	0,105	0	0

Elaboración propia (Riskcenter UB)

MacKenzie (2014) calculó la probabilidad de un accidente con víctimas mortales dividiendo el número total de accidentes ocurridos en los que pereció alguna víctima entre el número total de kilómetros que los viajeros habían recorrido, también aproximó la distribución de la cantidad de víctimas en cada incidente. En sus conclusiones iniciales, tanto si se consideran kilómetros recorridos como si se tiene en cuenta horas totales empleadas en el trayecto, los resultados indican que el transporte más peligroso es la aviación no comercial y el más seguro es volar en una línea aérea comercial de pasajeros.

Por el contrario, al introducir en cada accidente un nuevo elemento que tiene en cuenta el número de víctimas mortales y procediendo a calcular el número esperado de muertes, la conclusión es distinta dependiendo de si se considera dis-

tancia recorrida o tiempo empleado en recorrerla, es decir si los cálculos se efectúan por cada millón de kilómetros recorridos o por cada 10 mil de horas de viaje. La función de pérdida es diferente y el análisis del riesgo conduce a conclusiones distintas según el factor de exposición considerado. Según la Tabla 4, el promedio de víctimas según distancia es 0.003 en la aviación civil comercial, frente a 0.013 en carreteras, es decir una cuarta parte aproximadamente. En cambio, el promedio de víctimas según tiempo es 0.017 en la aviación comercial de pasajeros, frente a 0.009 en carreteras, es decir sorprendentemente casi el doble.

Si se tiene en cuenta el tiempo empleado en recorrer los trayectos en lugar de la distancia recorrida, el valor esperado que incluye también el número de víctimas proporciona un resultado que invierte la ordenación de riesgo entre la aviación comercial de pasajeros y el tráfico por carretera respecto a la conclusión obtenida en los cálculos según distancia. En este caso, viajar por carretera es el medio de transporte más seguro.

Los viajes realizados en vuelos no comerciales claramente resultan más peligrosos que el resto sea cual sea la definición empleada, pero la segunda posición la ocupa el tráfico por carretera o la aviación comercial según cuál sea el enfoque emprendido. Esta aparente contradicción demuestra la importancia de saber cómo definir las pérdidas y las implicaciones que tiene la elección de la medida de riesgo.

Algunas personas sólo vemos los extremos y como la probabilidad de ocurrencia es tan pequeña, seguimos siendo indiferentes entre viajar en avión o por carretera. Otras tendemos a ver la distancia como el factor de exposición principal, mientras que algunas pensamos que el tiempo de viaje es lo que determina la exposición, y que la pérdida se modula a través de la severidad de los accidentes. En definitiva, la percepción del riesgo es diferente y puede ser interpretada de muchas formas distintas, por lo que es imprescindible fijar un criterio homogéneo de antemano, especialmente antes de poder realizar comparaciones en materia de seguridad.

Abundando en este ejemplo, hay que añadir a las anteriores dificultades que no siempre se dispone de datos de referencia, bien por su inexistencia o porque los efectos nocivos pueden aparecer al final de un largo periodo de tiempo. Este sería el caso que se da en la evaluación del riesgo de contaminantes (Porta et. al 2010). Además, en general, el número total de víctimas afectadas no pueden

compararse directamente ni extrapolarse sin más, si las condiciones de entorno, como las económicas y sus impactos en la actividad, no se tienen en cuenta. Por ello, las ganancias en seguridad, y más aún en mitigación de riesgo y prevención de accidentes, son cuestiones de una inherente dificultad.

## 1.8. RETOS EN LA CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

El concepto de aversión al riesgo o la propensión a evitar una contingencia adversa es incluso más profundo que el mismo concepto de riesgo. Es desalentador constatar que no existe todavía una forma consensuada de abordar el tratamiento empírico de estas cuestiones y la econometría no ha logrado realizar demasiadas aportaciones al respecto.

Atendiendo a las anteriores consideraciones, un mensaje de este primer apartado es que muchos análisis económicos se centran sólo en los promedios, en el valor esperado de un coste-beneficio por ejemplo, y no analizan qué ocurre en los escenarios extremos. En otras palabras, no tienen en cuenta un ajuste por el riesgo.

Me gustaría animar a que los fundamentos de la cuantificación del riesgo estén mucho más presentes en la ciencia económica en general, en las decisiones de política económica y, yendo más allá, mi segundo mensaje sería abogar por una redefinición de lo que consideramos la maximización del resultado esperado. En ella deberíamos contemplar la variación del riesgo y su correcta y rigurosa definición.

Los fundamentos de la cuantificación del riesgo aspiran a proporcionar directrices para elaborar juicios informados sobre la posibilidad de fallos en las consecuencias de una decisión económica o financiera determinada.

Utilizar correctamente los fundamentos de la cuantificación del riesgo no sólo permite evaluar *a priori* operaciones económicas, inversiones, proyectos empresariales, sirve para informar mejor y tomar decisiones óptimas en materia de seguridad de los transportes, de las nuevas tecnologías, de los nuevos descubrimientos científicos y, en definitiva, es un elemento fundamental para prevenir y evitar futuros desastres.

## 2. DESARROLLOS DEL ANÁLISIS DEL RIESGO EN LA ECONOMÍA Y LAS FINANZAS

Una historia resumida de los trabajos más influyentes en el análisis del riesgo encuentra sus fuentes en las obras de Pascal y Fermat en el siglo XVII con el descubrimiento de la teoría de las probabilidades, la ley de los grandes números de Jacob Bernoulli, la normalidad de Gauss o la curva en forma de campana introducida por De Moine en el siglo XVIII, pasando por el teorema de Bayes y la regresión a la media de Galton ya en el siglo XIX. Más tarde, cabe destacar los trabajos de Keynes (1921) y Knight (1921) sobre la incertidumbre, las contribuciones de von Neumann y Morgenstern (1944) a la maximización del valor esperado de la utilidad, los fundamentos estadísticos de la economía en Savage (1954), las preferencias en Tobin (1958), el coeficiente de aversión al riesgo de Pratt (1964) y las teorías de la prospectiva de Tversky y Kahneman (1981 y 1992), este último destacado premio en honor a Alfred Nobel y miembro de esta Real Corporación. Las formas de medir el riesgo han evolucionado muy sustancialmente en la última parte del siglo XX, convirtiéndose en objeto de investigación para un creciente número de estudiosos.

Sin embargo, en las múltiples revisiones históricas a menudo se olvida una piedra preciosa que ejerció un dilatado impacto en el desarrollo de la economía del riesgo y seguro, se trata de la tesis doctoral que Allan H. Willett escribió en 1901 y defendió en la Universidad de Columbia, titulada precisamente *La teoría económica del riesgo y seguro* (Willett, 1901). Pocos autores han pasado tan desapercibidos como éste, habiendo ejercido una influencia tan destacada en una disciplina durante más de un siglo.

Willett fue precursor de Knight en la distinción entre riesgo e incertidumbre, pero a diferencia de este último ya creía posible y absolutamente necesario asignar una probabilidad a la incertidumbre en el ámbito asegurador. Estableció una lógica que aún persiste hoy sobre el análisis del riesgo en el siguiente orden: naturaleza del riesgo, clases de riesgo, coste del riesgo, aceptación del riesgo, recompensa por retener el riesgo, formas de afrontar el riesgo y, finalmente, el establecimiento de los seguros.

La primera teoría sobre las decisiones bajo riesgo se formuló a raíz de una cuestión planteada por Nicolás Bernoulli en 1713 y conocida como la paradoja de San Petersburgo porque fue solucionada 25 años después por su primo Daniel Bernoulli y se publicó en las Actas de la Academia de las Ciencias de dicha ciudad rusa, a la que debe su nombre.

La paradoja es la siguiente. Se plantea un juego de azar que consiste en ir lanzando una moneda y mirar si sale cara o cruz. El jugador apuesta una cantidad. Si la primera vez sale cara la pierde, pero si no sale cara sigue jugando hasta que aparece una cara y obtiene un premio igual a todo lo que haya reunido a razón de duplicarse el valor acumulado cada vez que vuelve a salir una cruz. La pregunta planteada por Bernoulli era saber por qué este juego tiene expectativa de ganancia infinita, pero la aversión al riesgo y la utilidad esperada provocan que los jugadores limiten sus apuestas a cantidades muy moderadas.

La paradoja de San Petersburgo se utiliza para justificar que el riesgo influye en la toma de decisiones (Seidl, 2013).

Si bien esta cuestión se resolvió en 1738, es decir hace ya casi tres siglos, sólo hace algunos años, concretamente en 1999, cuando se establecieron los axiomas de coherencia de las medidas de riesgo. Algunos visionarios como el profesor de la Universidad de Berkeley William S. Jewell sí acertaron a identificar la importancia de la estadística y su influencia en el desarrollo de los seguros (Jewell, 1980), pero numerosos teóricos, que dedicaron esfuerzos a analizar las propiedades de las medidas de riesgo, no lograron que inicialmente se produjera un avance significativo en esta disciplina. Sin embargo, cabe destacar que sí sentaron las bases.

De todos modos, fue la incorporación de conceptos gestión de riesgos en las normativas de regulación del sistema financiero y asegurador, la que constituyó el verdadero detonante para integrarlos en la evaluación y control de la solvencia, y lo que está suponiendo actualmente una revolución en la investigación. La irrupción de departamentos de análisis de riesgos en las universidades más prestigiosas del mundo así lo demuestra. Buenos ejemplos de ello son los precedentes de la Wharton School en la Universidad de Pennsylvania y los centros en la Universidad de Cambridge en el Reino Unido y en la Universidad de Harvard en Estados Unidos, que constituyen institutos de investigación de referencia en el análisis de riesgos.

Actualmente, las nuevas líneas de investigación apuntan al estudio de la agregación de pérdidas debidas a diferentes fuentes y surgen las medidas de riesgo multivariantes, que atienden a la combinación de fuentes de pérdida interrelacionadas. Para estudiar su agregación hay que tener en cuenta la estructura de dependencia entre las diferentes variables aleatorias de las dimensiones marginales. Un concepto nada fácil de identificar en la práctica. Sin embargo, la flexibilidad de las funciones de distorsión ha permitido generalizaciones interesantes como las que recientemente permiten introducir más información sobre la propia aversión al peligro.

Por otra parte, y no siempre debidamente relacionado con el análisis del riesgo, el conocimiento económico ha impulsado el avance de los seguros como materia de estudio, a la vez que se producía un fuerte desarrollo de la especialidad actuarial.

## **2.1. SEGUROS Y TRANSFERENCIA DE RIESGO**

Los seguros son el ámbito natural en el que la cuantificación del riesgo ha despertado el interés por desarrollar un instrumento de transferencia que intercambia pérdidas entre los agentes: el asegurado y el asegurador.

Como mecanismo de contraprestación, el seguro es técnicamente una operación contractual que se inicia con la transacción de riesgo, es una negociación y acuerdo que hace al asegurado acreedor y al asegurador garante, compensando al asegurado cuando se produce el siniestro.

Los seguros se pueden considerar operaciones solidarias y son por sí mismas una forma de actividad económica. Son procedimientos que, a través de la confianza, generan estabilidad y un bien intangible como es la tranquilidad. Permiten recuperar, en la medida de lo posible, el valor de lo que ha desaparecido en una pérdida.

Este principio de solidaridad da una dimensión fuertemente trascendente a los seguros, ya que garantiza un sustitutivo al afectado, mediante el reparto del mal entre un conjunto de partícipes amenazados por el mismo peligro.

Desde un punto de vista meramente económico y financiero, aunque el seguro es un instrumento contable que se integra en los costes de producción, es una actividad que presta el servicio de transformación de los riesgos de diversa naturaleza a los que están expuestos los propietarios, en un gasto periódico incluido en un presupuesto, que puede ser soportado fácilmente por cada unidad patrimonial. Se considera una operación económica que tiene un carácter estabilizador, amortiguando las fluctuaciones y mermas de valor provocadas por sucesos indeseados.

Pero, además el seguro también es un mecanismo de fraternidad conveniente, ya que requiere un acuerdo de asociación para apoyar a los intereses individuales desde la generosidad del colectivo.

Dado que una de las principales necesidades en cuantificación de riesgos, la más sencilla, es predecir el valor esperado de la pérdida en función de factores exógenos, la tarificación de los productos aseguradores recae precisamente en la modelización estadística predictiva. Esta técnica, por ejemplo, permite predecir el número de reclamaciones que se espera que presente un asegurado, así como la esperanza y varianza de la magnitud de cada una. El número de eventos es una variable más fácil de modelizar y predecir que la magnitud de las pérdidas y es por esta razón que los modelos de la estadística actuarial se han encaminado, precisamente, a determinar el comportamiento estocástico de dicha variable.

Entre las demás aportaciones que ha realizado el análisis y la cuantificación de riesgos a la economía y las finanzas, cabe destacar numerosas medidas de volatilidad, que a mi forma de entender no siempre han resultado demasiado afortunadas y han abusado excesivamente de la hipótesis de normalidad. Este hecho ha alejado de la realidad a numerosos modelos de la matemática financiera, elegantes en su desarrollo pero excesivamente restrictivos en su alcance y, por lo tanto, en su capacidad de modelizar adecuadamente los mercados.

Por una solemne convicción de que la volatilidad entendida como el momento de segundo orden no es una medida suficiente y la Normal es una distribución con propiedades excesivamente estilizadas, mi personal dedicación al modelo de Black Scholes, se ha limitado a mostrarle un distante respeto por su valor conceptual, a la vez que un prudente escepticismo sobre su capacidad de recrear la realidad.

## **2.2. NUEVOS MODELOS DE LA ECONOMETRÍA EN LOS SEGUROS**

La mayores aportaciones del análisis del riesgo a la economía y la finanzas, en mi modesta opinión, están aún por escribir, y, sólo darán a luz cuando seamos capaces de vencer sus intrínsecas dificultades matemáticas. La posibilidad de capturar el riesgo multivariante y la integración de la teoría de los valores extremos en el análisis econométrico sin duda ofrece un campo investigador inexplorado.

A continuación, y sin que pretenda ser una lista exhaustiva, se presentan algunos ejemplos de estrategias de modelización novedosas que tienen en común que se basan en la existencia de sistemas de información con grandes bases de datos, y que rompen al menos parcialmente con la tradición de la modelización en economía y finanzas.

### **ENSAYO ALEATORIO FRENTE A ESTUDIO OBSERVACIONAL**

Los estudios observacionales sólo permiten concluir sobre los resultados obtenidos bajo condiciones que no son controladas por el investigador. Frente a ellos, los ensayos aleatorios permiten reproducir circunstancias experimentales perfectamente delimitadas a fin de poder medir los factores que pudieran incidir en una determinada respuesta. La realidad de los estudios en ciencias sociales es que mayoritariamente sólo pueden abordarse como observacionales (Solé-Auró et al., 2012, Posso et al., 2014), dado que el coste de realizar experimentos aleatorios es muy elevado. Por esa razón normalmente no se consideran muchas de las aproximaciones metodológicas que pueden obtenerse cuando se dispone de datos experimentales.

Uno de los avances más significativos que se ha producido con el uso intensivo de las bases de datos es poder reconstruir ensayos aleatorios o condiciones experimentales en base a datos de estudios observacionales. La idea es que se pueden obtener estimaciones de la causalidad utilizando registros históricos a partir de los resultados de Rosenbaum y Rubin (1983), utilizando técnicas basadas en el emparejamiento de modo que cada observación se equipara a otra observación de análogas características que tiene un factor alterado. La comparación de la respuesta obtenida sirve para deducir el efecto del factor sobre la respuesta esperada.

Las aportaciones de las tecnologías de la información y la revolución en la velocidad analítica y numérica han permitido que los avances en la recopilación de bases de datos y su acceso se hayan incrementado muy notablemente desde principios de este siglo. El terreno que la estadística había sembrado para tener un método científico en el análisis de los datos ha permitido una rápida y fulminante adaptación a los retos que se han planteado en ámbitos tan desafiantes como el análisis del genoma humano hasta problemas de carácter industrial (Breiman, 2001).

Los métodos de aprendizaje a partir de los datos (Abu-Mostafa., 2012 y Frawley et al., 1992) han ido cobrando mayor importancia de forma que se pueden extraer regularidades o patrones de estructura a partir de la información almacenada en matrices de datos recopilados previamente. Saber reconocer el valor de dicha información dentro de un volumen elevado de datos, y a la velocidad de creación de nueva información, plantea uno de los mayores retos de los denominados big data.

Los métodos de análisis de datos suelen distinguir entre los métodos del aprendizaje supervisado y los no supervisados, siendo los primeros aquéllos para los que hay una respuesta conocida y se analizan las causas que conducen a la misma, de forma que pueda predecirse su valor esperado en base a un conjunto de factores observables. Cuando el proceso es no supervisado, se identifican patrones y regularidades, sin que se haya observado una respuesta. En este caso, lo que se quiere entender es un conjunto de similitudes entre los valores sí observados y una respuesta esperada.

Lo que ocurre en los experimentos clínicos controlados es que el objetivo es poder decidir cuál es el mejor tratamiento en cada ocasión para que la respuesta del paciente sea la óptima. Como en un conjunto de datos cada sujeto sólo puede ser expuesto a un único tratamiento, el valor de la respuesta a tratamientos alternativos no se puede observar y este problema es también conocido como el problema fundamental de la inferencia causal (Holland, 1986). Las posibilidades que ofrece la reconstrucción de los experimentos aleatorios en las ciencias sociales permite vislumbrar que se va a facilitar el poder identificar qué factores de heterogeneidad pueden influir en la variable dependiente. Esa es la razón por la cual se desea poder reconstruir dicha estructura experimental en las bases de datos, a fin de poder concluir correctamente la dirección causal de la respuesta que se desea modelizar en la relación econométrica.

## MODELOS PREDICTIVOS PARA LA CAPACIDAD DE REACCIÓN

La obra de McCullagh y Nelder (1983) sobre los modelos lineales generalizados puede considerarse una de las que mayor influencia ha ejercido en todos los ámbitos de aplicación de la estadística porque estableció la forma cómo una familia de modelos más generales que la regresión lineal tradicional podía dar respuesta a las necesidades de modelización de una variable dependiente que no necesariamente siguiera una distribución de probabilidad Normal. Tal es el caso, por ejemplo, del resultado de un fenómeno cualitativo dicotómico o de una variable discreta.

Hay infinidad de ejemplos en el ámbito de la economía y las finanzas que responden precisamente a estas necesidades de modelización, por ejemplo, el resultado de una operación crediticia en la que interesa anticipar si el préstamo va a ser devuelto o no, más allá de su cuantía (Dionne et al, 1996). En el ámbito de los seguros, la ausencia o la existencia de siniestralidad durante un periodo fijado para un determinado contrato es un fenómeno que se desea predecir (ver más aplicaciones en Alcañiz et al, 2014, Bolancé et al., 2003b, Jha et l, 2012, Lin y Guillén, 1998, Pinquet et al, 2001, 2007 y 2011 y Vidiella-i-Anguera y Guillén, 2005)

Dentro de este mismo grupo de modelos se encuentra precisamente otro de los modelos más necesarios dentro del ámbito asegurador, el modelo de regresión de Poisson, integrado en la familia de los modelos lineales generalizados. El modelo de Poisson y sus generalizaciones (Boucher y Guillén, 2009 y Boucher et al., 2007, 2008 y 2009) permite especificar factores de riesgo que conducen a obtener la predicción del número esperado de siniestros, así como las probabilidades de que se produzcan cada uno de los sucesos posibles.

Lo que en la segunda mitad del siglo XX podía haberse considerado una dificultad, cual era la estimación de este tipo de modelos en los que la obtención de los parámetros y de sus errores estándar requieren de un procedimiento iterativo que en su momento podía resultar lento, se ha convertido actualmente en un procedimiento ágil y rápido, facilitando así la rápida expansión de estas nuevas alternativas metodológicas más avanzadas que la regresión lineal.

Además, la posibilidad de incorporar todavía más elementos nuevos como la no linealidad, los efectos de panel o los modelos mixtos, brindan actualmente la oportunidad de vencer nuevas barreras e incrementar las posibilidades de análisis predictivo.

Uno de los planteamientos más atractivos es precisamente el que, en lugar de abordar la predicción del valor esperado, que en el caso de una variable dicotómica es la probabilidad de ocurrencia del suceso, va más allá para incorporar la noción de riesgo relativo. El riesgo relativo mide el cociente entre la probabilidad de ocurrencia ante la alteración de un factor de riesgo. Del mismo modo puede aproximarse no la razón sino la diferencia de probabilidades, lo que da lugar al concepto de efecto medio del tratamiento, que puede depender, de igual guisa que el riesgo relativo o la probabilidad de ocurrencia, de factores exógenos que pueden incluirse en la modelización.

Los modelos predictivos para la capacidad de reacción atienden precisamente a estimar la diferencia entre la respuesta que se produce en la ausencia o presencia de una determinada acción. Pero además, por sus enormes ventajas permiten estudiar numerosas decisiones dentro del ámbito económico. Por ejemplo, las reacciones de los consumidores ante cambios de precios en el mercado, reacciones que ya se ha constatado empíricamente que no son en absoluto homogéneas y dependen de circunstancias tan fácilmente medibles como la edad y el historial del comprador.

Obviamente, estas nuevas aproximaciones ofrecen muchas posibilidades de personalización, a la vez que pueden integrarse en optimizadores de precios que revierten en una maximización de beneficios para determinados agentes de los mercados y que además suponen una ventaja para los consumidores porque se adaptan a su perfil y su demanda. Sin embargo, las asimetrías de información y el debate sobre el riesgo moral, abren un abanico de oportunidades para desarrollar una teoría de la decisión adaptada a dichos mecanismos, mucho más próximos a la realidad de hoy en día.

## **PRIDIT, UN MODELO DE CLASIFICACIÓN A CIEGAS**

Uno de los retos existentes en la modelización es el aprendizaje no supervisado cuando la clasificación de las observaciones debe realizarse en base a similitudes y no en razón de una respuesta observada. Este objetivo lo consigue el método PRIDIT (combinación de componentes principales y RIDIT scoring) que fue desarrollado en 1981 por el profesor de la Universidad de Texas Patrick L. Brockett y que se implementó en otros contextos aunque nunca gozó de gran popularidad (Brockett, 1981 y Brockett et al., 2002).

En el caso de la detección de los fraudes (Ai et al., 2013 y Guillén, 2004), este problema cobra especial relevancia porque se trata de un caso en el que es difícil identificar casos positivos. Sin embargo existen niveles de sospecha y conocimiento *a priori* sobre el grado de asociación de cada factor exógeno con la propensión a la existencia de fraude. El modelo PRIDIT responde a esta necesidad y logra generar un método de clasificación a partir de casos no clasificados.

## **DE LAS DIFERENCIAS EN DIFERENCIAS A LA REGRESIÓN CUANTÍLICA**

El método de las diferencia en diferencias calcula cómo varía el valor esperado de una respuesta en un modelo de regresión clásico cuando se modifica un factor exógeno bajo ciertas condiciones y después realiza una predicción análoga pero manteniendo la modificación del factor exógeno concreto y cambiando las condiciones.

El modelo de las diferencias en diferencia goza de una gran popularidad en estos momentos porque reconoce que evaluar el impacto de la modificación de un factor en un modelo de regresión clásico que se traslada linealmente a un respuesta esperada diferente puede que, en circunstancias de confluencia no lineal con otros factores o condicionantes, provoque una alternación de magnitud distinta a la esperada habitualmente.

Si bien el método reconoce la existencia de no linealidades y, por lo tanto, constituye un gran avance frente a las aproximaciones lineales o log-lineales que han dominado la modelización empírica de los fenómenos económicos, tiene una

enorme limitación. Se concentra únicamente en la variación que tiene lugar en el valor esperado para abandonar completamente qué cambia en los extremos, es decir cómo se ve afectado el riesgo que se deriva del modelo en la comparación de los factores que afectan al análisis realizado.

Angrist y Pishke (2014) en su libro sobre los nuevos métodos de la econometría proponen el análisis de la Gran Depresión a través del número de entidades que desaparecieron entre 1929 y 1931 en St Louis comparado con Arkansas, demostrando que la forma algo más moderada de actuar de la Reserva Federal de St. Louis evitó mayores caídas. La regresión cuantílica es capaz de detectar dichos efectos. De forma análoga, en Bel et al. (2015) se concluye que los efectos de determinadas políticas de protección medioambiental dirigidas a reducir la contaminación en la región metropolitana de Barcelona tienen mayor efectividad cuando los niveles de polución son muy elevados y, sin embargo, resultan inocuos en circunstancias de contaminación moderada o baja, ya que no permiten conseguir resultados significativos.

De todas las nuevas alternativas metodológicas expuestas ésta parece ser la más sensible a los conceptos de riesgo y a la toma de decisiones de política económica atendiendo a las posibilidades de escenarios extremos.

## **MODELIZACIÓN PREDICTIVA Y EFECTO UPLIFT GENERALIZADO**

Las variables categóricas miden rasgos cualitativos, o en otras palabras, evalúan conceptos que pueden ser expresados en palabras. Las variables categóricas tienen que medir resultados mutuamente excluyentes y el número de categorías es el número de niveles de respuesta posible. Por ejemplo, si en una póliza de seguro, se puede tener una variable como “Tipo de la política escogida” con tantas categorías como el número de elecciones posibles para los contratos que se ofrecieron al cliente, esta variable categórica es válida si el cliente puede escoger una y sólo una opción.

Una variable categórica con muchas categorías puede ser entendida como un conjunto de variables binarias que captura la presencia o ausencia de cada elección posible. Por ejemplo, el “Tipo de vehículo” es una variable que podría tomar cuatro categorías posibles: moto, coche, furgoneta o camión. Equivalentemente,

se pueden definir cuatro variables binarias. La primera indica si el vehículo es una moto o no, la segunda indica si el vehículo es un coche o no, y así sucesivamente. Para simplificar, cuando se utiliza una variable binaria normalmente se denota la presencia por '1' y la ausencia por '0'.

Es habitual denominar a la variable dependiente categórica, la variable endógena o la variable respuesta binaria. Si la respuesta tiene dos resultados posibles, entonces un resultado se identifica como el 'suceso' (*event* en inglés) y el complementario se denomina 'referencia' (*baseline* en inglés) o 'no suceso'.

### **Modelización de una respuesta binaria**

Una de las bases de la modelización predictiva es la que se fundamenta en los modelos de regresión. En una primera generalización pueden considerarse que la variable dependiente es categórica, mientras que las covariantes pueden ser tanto categóricas como continuas. Los modelos de variable dependiente cualitativa establecen formas de especificar la probabilidad de cada una de las posibles categorías de respuesta (Caudill et al. 2005). Este es el caso del modelo más básico, el modelo de regresión logística, en el que la variable explicada tiene una respuesta binaria.

Se parte de una base de datos que contiene información de  $N$  casos, que son las unidades o las observaciones y que corresponden, por ejemplo, a asegurados, empresas, unidades empresariales, agentes en el contexto de los seguros. Si se supone que  $y_i$  es la respuesta a la elección entre posibles categorías de la observación  $i$ , entonces por ejemplo en el caso más sencillo,  $y_i$  es binaria y sólo puede tomar dos valores posibles, que se codifican como '1' para el suceso y '0' para la ausencia de suceso, respectivamente. Entonces se supone que  $y_i$  sigue una distribución Bernoulli con probabilidad  $\pi_i$ , distinta para cada unidad  $i$ .

En las técnicas de regresión lineal habituales de la microeconometría, se utilizan características de los agentes económicos, como edad, sexo, años de formación, experiencia, tipo de vehículo (en el caso de decisiones sobre el seguro de automóviles) y similares, para ayudar a explicar la respuesta a la elección o decisión que recoge la variable dependiente. La probabilidad del 'suceso' respuesta,  $\pi_i$ , depende de un conjunto de características individuales, denotado por

$x_i'$ , siendo  $x_i$  un vector columna, que se denomina el vector de los predictores. En los modelos lineales generalizados  $\pi_i$  está especificado como función general de una combinación lineal de las características,  $x_i'\beta$ , donde  $\beta$  es un vector columna de parámetros desconocidos que deben ser estimados.

El modelo más sencillo reproduce el modelo de regresión lineal clásico y en este caso se denomina el modelo de probabilidad lineal. Para una variable dependiente binaria, dados los predictores, las probabilidades de cada resultado binario son:

$$Prob(y_i = 1|x_i) = \pi_i = x_i'\beta$$

y

$$Prob(y_i = 0|x_i) = 1 - Prob(y_i = 1|x_i) = 1 - \pi_i = 1 - x_i'\beta.$$

### Modelo de regresión logística

En el modelo de regresión logística la variable dependiente siempre es binaria. Este modelo es el más habitual, aunque no el único, para variables dependientes dicotómicas y constituye una extensión del modelo de probabilidad lineal.

El modelo de regresión logística se especifica como sigue:

$$Prob(y_i = 1|x_i) = \pi_i = \frac{\exp(x_i'\beta)}{1 + \exp(x_i'\beta)}.$$

A la inversa de esta relación se la denomina la función de enlace en los modelos lineales generalizados y en el caso particular del modelo de regresión logística, expresa  $x_i'\beta$  como función de  $\pi_i$  de la forma siguiente:

$$x_i'\beta = \ln\left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i}\right) = \text{logit}(\pi_i).$$

El cociente  $\pi_i / (1 - \pi_i)$  corresponde al cociente de probabilidades (denominado en inglés *odds*).

En el modelo de regresión logística, los parámetros se interpretan como logaritmos del cociente de probabilidades más que directamente efectos sobre la respuesta. Además, la respuesta pronosticada es la probabilidad del ‘suceso’. Para expresarlo en palabras sencillas, la regresión logística es un modelo para pronosticar una probabilidad.

El modelo de regresión logística es útil si el conjunto de posibles respuestas es dicotómico, una elección entre 0 y 1 y, por tanto, el conjunto de los valores pronosticados siempre ser interpretado fácilmente como la probabilidad estimada para la respuesta cuya elección se desea modelizar.

El modelo de regresión logística es ampliamente utilizado en seguros, así como en muchas otras disciplinas (ver Guillén, 2014). En muchos ámbitos de la ciencia este modelo es la base para analizar la causa-efecto de factores de riesgo o condiciones que influyen la respuesta positiva o negativa, como por ejemplo la reacción de un paciente a un tratamiento.

Los parámetros de un modelo de regresión logística binario se interpretan según el signo. Un parámetro positivo significa que un aumento en el factor asociado a este parámetro implica un aumento en la probabilidad del ‘suceso’ respuesta. En cambio, si un parámetro es negativo, entonces cuando el predictor aumenta, la probabilidad del suceso respuesta modelizado disminuye (ver aplicaciones a la detección de fraudes en el seguro de automóviles en Artís et al. 1999, 2002 y Ayuso et al., 2010).

El cociente de probabilidades u *odds* es el nombre dado al valor exponencial de un parámetro. Si se produce un cambio en el  $k$ -ésimo predictor de la unidad  $i$ , entonces por ejemplo si  $x_{ik}$  pasa de valer  $c$  a valer  $(c + 1)$ , entonces:

$$\exp(\beta_k) = \frac{\text{Prob}(y_i=1|x_i, x_{ik}=(c+1))/\text{Prob}(y_i=0|x_i, x_{ik}=(c+1))}{\text{Prob}(y_i=1|x_i, x_{ik}=c)/\text{Prob}(y_i=0|x_i, x_{ik}=c)} = \frac{\exp(\beta_k(c+1))}{\exp(\beta_k c)}.$$

Luego,

$$\begin{aligned} \beta_k &= \\ &= \ln \left[ \frac{\text{Prob}(y_i = 1|x_i, x_{ik} = (c + 1))/\text{Prob}(y_i = 0|x_i, x_{ik} = (c + 1))}{\text{Prob}(y_i = 1|x_i, x_{ik} = c)/\text{Prob}(y_i = 0|x_i, x_{ik} = c)} \right] \\ &= \ln(\exp(\beta_k(c + 1))) - \ln(\exp(\beta_k c)). \end{aligned}$$

Un concepto conectado al cociente de probabilidades es el de proporción de riesgo relativo, que es el cociente entre la probabilidad del suceso modelizado cuando en el predictor se produce un cambio de una unidad en uno de los factores de riesgo. Esto es especialmente importante para ver el cambio relativo en la probabilidad de una respuesta cuando un indicador de riesgo está presente o bien está ausente. La definición para cada factor  $k$  de la proporción de riesgo  $RR_k$  es:

$$RR_k = \frac{Prob(y_i=1|x_i, x_{ik}=(c+1))}{Prob(y_i=1|x_i, x_{ik}=c)}.$$

El riesgo relativo, a diferencia del cociente de probabilidades, depende del conjunto de factores explicativos en el modelo de regresión logística y no pueden ser expresadas como función de un único parámetro del modelo.

### **El efecto uplift**

El efecto uplift es similar a la proporción de riesgo en el caso en que el factor de riesgo que se modifica sea un tratamiento que pueda activarse o desactivarse, sin embargo no mide el cociente entre probabilidades sino la diferencia entre ellas. Así, para cada unidad  $i$ , se define como:

$$Uplift_i = Prob(y_i = 1|x_i, x_{ik} = 1) - Prob(y_i = 1|x_i, x_{ik} = 0).$$

Lo más habitual es que  $x_{ik}$  sea un factor que indique la presencia o ausencia de una acción voluntaria que tiene como objetivo modificar la probabilidad de una respuesta positiva ( $y_i=1$ ). Existen muchos análisis en los que se utiliza este concepto, por ejemplo en la respuesta a un tratamiento clínico en medicina. Otra situación típica es la prevención de accidentes donde se desea evaluar la diferencia en la probabilidad de sufrir un accidente cuando está presente o ausente una medida de protección. En marketing, el factor puede ser la exposición o no del sujeto a una determinada campaña de promoción, siendo la respuesta bien la compra o no de un producto o bien la retención o no del cliente. En Guelman et al. (2013, 2014 y 2015b) se han realizado aplicaciones al ámbito de los seguros y se han ideado algoritmos para aproximar el efecto uplift mediante métodos de computación intensiva o *machine learning*.

Los retos que se plantea la modelización predictiva son, entre otros, poder ofrecer no sólo una predicción puntual de la respuesta de un agente ante la toma

de decisiones, sino precisamente todo un abanico de predicciones sujetas cada una de ellas a escenarios diferentes. De ese modo se afianza el conocimiento de la relación causa-efecto y se anticipa la decisión más probable según las circunstancias. Además, ello posibilita el estudio empírico de la valoración del riesgo, o de los umbrales de tolerancia que se manejan en la elección entre alternativas.

### **2.3. LA REGULACIÓN DEL MERCADO ASEGURADOR**

Los seguros son operaciones de transferencia de riesgo entre agentes económicos que se producen bajo condiciones de incertidumbre, ya sea porque se desconoce el importe de la compensación económica por la ocurrencia de un siniestro, y/o porque se desconoce el momento en el que éste va a producirse. Sin embargo, y a pesar de su inherente naturaleza conceptual probabilística, los seguros actúan como resorte de seguridad en todo sistema económico porque garantizan el resarcimiento de las pérdidas cuando se produce un hecho inesperado, y permiten una garantía de financiación incluso en situaciones adversas. Por ello, las entidades aseguradoras son reconocidas en el sistema financiero como elementos estabilizadores.

La complejidad de un producto de seguros o un plan de pensiones radica precisamente en los elementos matemáticos, actuariales, económicos, financieros y jurídicos que rodean a los contratos. Este hecho dificulta enormemente la ordenación y supervisión de toda actividad aseguradora y la evaluación de la solvencia de las entidades. Pero además, se trata de productos destinados a empresas, familias y ciudadanos en general, que en el caso de los seguros obligatorios (automóvil, responsabilidad civil, etc.) constituyen productos absolutamente cotidianos.

La regulación del mercado asegurador es imprescindible para garantizar ante los ciudadanos que las entidades aseguradoras a las que se confía la transferencia del riesgo tienen suficiencia económica para responder en el futuro si se produce una pérdida. Además se debe proteger a los asegurados de forma que se garanticen sus derechos de información (qué contrato se les está prestando y qué limitaciones tiene), de contratación (cómo se puede evaluar la equidad de los precios y su suficiencia), y de reclamación (ante quién y bajo qué circunstancias pueden los consumidores buscar amparo o los aseguradores acudir si se producen irregularidades).

El año 2015 ha supuesto para el sector asegurador un momento de suma relevancia, dado que el 1 de enero de 2016 se implementa la directiva europea de solvencia y ello significa cambios de profundidad en la legislación española y comunitaria, que requieren notables modificaciones normativas plasmadas en la Ley 20/2015 de ordenación, supervisión y solvencia de las entidades aseguradoras y reaseguradoras (LOSSEAR). Además este año se ha aprobado también la modificación del baremo de indemnización para las víctimas de accidentes, que implica una consideración más amplia de las pérdidas que sufren las víctimas, así como una configuración diferente de integración en el proceso judicial de las reclamaciones, dando mayor protagonismo a los sistemas alternativos de resolución de conflictos entre responsables, víctimas, lesionados, beneficiarios y resto de partes implicadas, en los que la mediación para lograr acuerdos cobra especial protagonismo.

Además de todo lo anterior, las novedades legislativas afectan a las mutualidades de previsión social y a los planes de pensiones, los cuales resultan imprescindibles en momentos como el actual en los que la sostenibilidad del sistema público de la seguridad social está en cuestión.

Los instrumentos de ahorro para la jubilación involucran operaciones especialmente delicadas porque se desarrollan durante toda la vida laboral del trabajador. Abarcan varias décadas, a lo largo de las cuales debe producirse un ahorro que después conduce al desembolso de una renta vitalicia. La vehiculación de planes de pensiones a través de entidades bancarias puede dar a entender que son dichas entidades quienes los garantizan y ello parece haber acrecentado la desconfianza dadas las convulsiones que ha sufrido el sistema financiero en los últimos años (ver Alemany y Guillén, 2013 para una revisión histórica del seguro en España).

## **MARCO LEGISLATIVO**

La Unión Europea ha aprobado distintas directivas conocidas genéricamente como el reglamento de Solvencia II, la nueva normativa que regirá los contratos de seguros en Europa a partir del 1 de enero de 2016. La puesta en marcha de este nuevo sistema de cálculo de solvencia basado en riesgos ha requerido su trasposición a las normas jurídicas españolas, fruto de una adaptación constante a los desarrollos del ordenamiento de mayor rango derivados de los acuerdos adoptados en el Parlamento Europeo.

La directiva de mayor dificultad técnica y alcance que afecta a las entidades en España es, sin lugar a dudas, Solvencia II. Es la que afecta a la solvencia de las entidades de seguros y para la que éstas se han preparado durante casi dos décadas. La Agencia Europea de Seguros y Pensiones de Jubilación (EIOPA, en sus siglas en inglés) ha defendido la importancia de que las compañías hayan trabajado con suficiente antelación para adaptarse a las nuevas normas, dado que se trata de una regulación compleja, y constituye uno de los pilares para garantizar la suficiencia de capital en las entidades. Para ello ha emitido en tan solo unos pocos meses un verdadero torrente de normas, guías, especificaciones y recomendaciones a seguir por parte de las entidades.

El objetivo principal de la directiva consiste en mejorar el control y medición de los riesgos (de mercado, operacionales, de crédito y de liquidez) a los que están expuestas las aseguradoras, con un enfoque distinto al tradicional. Inspirada en Basilea II, Solvencia II se estructura en tres pilares o principios: Pilar I (medida de activos, pasivos y capital), Pilar II (proceso de supervisión) y Pilar III (requerimientos de transparencia). Por lo tanto, toma componentes cualitativos, cuantitativos y de disciplina de mercado, mediante la visión íntegra del riesgo asumido en una entidad aseguradora, en lugar de realizarse por partes o por ramos del seguro como se había hecho durante décadas.

El primer pilar contiene los requerimientos cuantitativos. En este ámbito se pueden identificar dos magnitudes fundamentales: el Capital de Solvencia Obligatorio (SCR, *Solvency Capital Requirement* en inglés) y el Capital Mínimo Obligatorio (MCR, *Minimum Capital Requirement* en inglés). El SCR es la magnitud fundamental de referencia para evaluar la solvencia de las entidades. Su cálculo se basa en la evaluación y valoración del perfil de riesgo específico de la entidad, ya sea mediante una fórmula estándar o mediante un modelo interno autorizado para dicha entidad. Para ello se tienen en cuenta todos los riesgos cuantificables a los que se enfrenta la aseguradora, así como las técnicas de mitigación empleadas y es variable en función del riesgo asumido por la entidad, estando basado en un cálculo prospectivo. El MCR es un requerimiento inferior cuya insuficiencia origina, como última intervención supervisora, la retirada de la autorización para operar en el mercado. Ambos requisitos de capital permiten delimitar la intervención gradual del supervisor para alcanzar un nivel uniforme de protección de los tomadores, asegurados y beneficiarios.

Con anterioridad a Solvencia II el capital disponible de una entidad se calculaba en base al valor de mercado, tanto de sus activos como de sus pasivos bajo la misma curva de tipos de interés. Con Solvencia II el activo se calcula a partir de la curva de mercado y el pasivo según la curva de tipo de interés sin riesgo. Lo más sustancial es que el capital disponible siempre debe ser superior al capital requerido, es decir la situación de normalidad se cumple cuando la entidad alcanza con fondos propios el capital de solvencia obligatorio. Según se establece en la legislación actual: “Para el cálculo del capital de solvencia obligatorio se establece una fórmula estándar que adopta un enfoque modular, en el que se evalúa primero la exposición individual a cada categoría de riesgo y posteriormente se agregan los valores resultantes teniendo en cuenta, en su caso, el efecto de las correlaciones existentes entre los distintos módulos de riesgos y preveándose métodos simplificados para su cálculo. La fórmula estándar para calcular el capital de solvencia obligatorio pretende reflejar el perfil de riesgo de la mayor parte de las empresas de seguros y reaseguros. Sin embargo, es posible que, en algunos casos, el enfoque normalizado no refleje adecuadamente el perfil de riesgo muy específico de una empresa. Para estos casos se prevé la posibilidad de utilizar, previa autorización administrativa, modelos internos, totales o parciales. Adicionalmente, la normativa prevé otros supuestos de autorización administrativa tales como la utilización de parámetros específicos (Bermúdez et al., 2013), fondos propios complementarios y ajustes por casamiento en el cálculo de la provisión técnica. Todo ello supone la necesidad de reforzar los recursos disponibles de la autoridad de supervisión nacional, la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones. Se contempla un régimen especial de solvencia para aquellas entidades que no superan los umbrales que se regulen reglamentariamente”. Así pues, los requerimientos de capital se adaptan a las circunstancias de cada entidad aseguradora (Bermúdez et al., 2013).

Cabe añadir que Solvencia II no es la única regulación europea que tiene consecuencias en el mercado asegurador, dado que también tienen influencia la de prestación de servicios de inversión (PRIIPS, *Packaged Retail And Insurance-based Investment Products* en inglés, Reglamento 1286/2014) que introduce el documento de información simplificada que explica de forma clara y concisa las características del contrato, o la nueva Directiva de distribución de seguros (IMD, *Insurance Mediation Directive* en inglés) que requiere su trasposición a la le-

gislación española y que deberá abordar el tema de la distribución a través de bancaseguros.

La actividad aseguradora se regula en España en distintas normas fundamentales de referencia: (1) la Ley 50/1980 de Contrato de Seguro, de 8 de octubre (LCS), (2) la Ley 20/2015, de 14 de julio, de ordenación, supervisión y solvencia de las entidades aseguradoras y reaseguradoras (LOSSEAR) y su correspondiente desarrollo reglamentario, que sustituye a la primera en enero de 2016 y (3) el Plan Contable específico para las entidades aseguradoras. Con ellas se completa la adaptación del ordenamiento jurídico a las Directivas Comunitarias (Pons y Brías, 2010).

Según indica la propia normativa recientemente aprobada en España (Ley 20/2015, 2015) “la evaluación de la situación financiera de las entidades aseguradoras y reaseguradoras ha de basarse en sólidos principios económicos, incorporando en el proceso la información proporcionada por los mercados financieros, así como los datos disponibles sobre los riesgos asumidos. Con arreglo a este enfoque, los requisitos de capital deben estar cubiertos con fondos propios, que deben clasificarse con arreglo a criterios de calidad, seguridad y disponibilidad. El capital de solvencia obligatorio se calibrará de tal modo que se garantice que todos los riesgos cuantificables a los que una empresa de seguros o de reaseguros está expuesta se tengan en cuenta y cubrirá las actividades existentes y las nuevas actividades que se espere realizar en los siguientes doce meses. En relación con la actividad existente, deberá cubrir exclusivamente las pérdidas inesperadas. El capital de solvencia obligatorio será igual al valor en riesgo de los fondos propios de una empresa de seguros o de reaseguros, con un nivel de confianza del 99,5% a un horizonte temporal de un año”.

En el ámbito de Solvencia II los requerimientos de capital de solvencia vienen marcados por los dos niveles de exigencia antes descritos.

#### **LOS ORGANISMOS DE SUPERVISIÓN**

Los esquemas de supervisión financiera que rigen en los países desarrollados pueden clasificarse bajo la perspectiva de tres modelos: el modelo de supervisión sectorial, el modelo integrado y el funcional. El primero de ellos es el vigente

en España, donde el control se especializa por actividades de banca, servicios y prestación de servicios de inversión, a la vez que se mantiene el triple objetivo de garantizar la solvencia financiera de las entidades, el impulso de la competencia entre ellas y la garantía de protección a los consumidores. En el caso español, las actividades se regulan y supervisan respectivamente por parte del Banco de España, la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones y la Comisión Nacional del Mercado de Valores, existiendo convenios de colaboración bilaterales entre las tres autoridades reguladoras y supervisoras.

Si la coordinación entre organismos es eficaz, la supervisión garantiza el funcionamiento del sistema financiero atendiendo a las necesidades específicas de cada área. En contraposición, en un país que disponga de un modelo integrado, la autoridad es única y ello puede contribuir a una mayor facilidad de identificación de los fenómenos de carácter sistémico que pudieran afectar a las entidades. Finalmente, en un modelo funcional, se distingue entre un organismo dedicado al control de la solvencia de las entidades financieras en sentido amplio y otro con atribuciones para la supervisión del funcionamiento del mercado y transparencia en la información.

Las recomendaciones para España del Fondo Monetario Internacional y de la Asociación Internacional de Supervisores de Seguros han apuntado a la necesidad de intensificar el cumplimiento de su tercer principio que exige que “la autoridad supervisora sea operativamente independiente y responsable en el ejercicio de sus funciones y poderes”. En consecuencia, el organigrama español vigente actualmente no es plenamente compatible con dicho principio como se verá a continuación. Además, la existencia de supervisores para cada uno de los distintos países de la Unión Europea ya genera por sí misma la necesidad de coordinación, así como prever cómo se regula la actividad de entidades que tienen presencia en diferentes países. Cuestiones como la sucursalización de las compañías de seguros, que responde a la necesidad de vincular las filiales a una empresa matriz y, por consiguiente todas las actividades al supervisor de otro país, han suscitado una lógica preocupación. Actualmente se da el caso de entidades supervisadas por el regulador español que operan en otros países, así como operadores de multinacionales que son supervisadas en sus respectivos países que comercializan productos en territorio español.

## **Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones (DGSFP)**

La Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones es un órgano administrativo que depende de la Secretaría de Estado de Economía y Apoyo a la Empresa, adscrita al Ministerio de Economía y Competitividad.

La primera función que tiene es la preparación e impulso de proyectos normativos en las materias de competencia de la Dirección. Además debe encargarse de la coordinación de las relaciones en el ámbito de los seguros y reaseguros privados, mediación de seguros y reaseguros y planes y fondos de pensiones con las instituciones de la Unión Europea, con otros Estados y con organismos internacionales, de acuerdo con el Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación.

Uno de los asuntos más importantes que tiene atribuidos es la protección administrativa a los asegurados, beneficiarios, terceros perjudicados y partícipes en planes de pensiones mediante la atención y resolución de las reclamaciones y quejas presentadas contra las entidades y sujetos sometidos a su supervisión. En relación a la protección de los asegurados, la DGSFP debe contestar a las consultas formuladas en materia de seguros y reaseguros privados, mediación en seguros y reaseguros privados y gestoras y planes y fondos de pensiones.

Además, la DGSFP contribuye a la realización de estudios sobre el sector, labor a la que también se suma UNESPA, la asociación española que agrupa a entidades de seguros y presenta una estructura en delegaciones territoriales.

La DGSFP analiza la documentación que están obligadas a remitirle las entidades aseguradoras y reaseguradoras, los mediadores de seguros y reaseguros privados y las entidades gestoras de fondos de pensiones, para facilitar el control de su solvencia y actividad. Asimismo, debe abordar la supervisión financiera, mediante la comprobación de los estados financieros contables, el análisis económico financiero, la revisión del cumplimiento normativo, y la revisión y evaluación de los riesgos y de la solvencia de las entidades aseguradoras y reaseguradoras y grupos de entidades aseguradoras y reaseguradoras.

Una de las labores más visibles y necesarias de la DGSFP es precisamente la supervisión por inspección de las operaciones y de la actividad ejercida por las personas y entidades que actúen en el mercado de seguros y reaseguros, de la mediación de seguros y reaseguros privados y de los planes y fondos de pensiones y de las entidades gestoras de los mismos. Dicha inspección comprende la revisión contable, la revisión de la valoración de activos y pasivos, la revisión del cumplimiento normativo general y la revisión y evaluación de los riesgos y de la solvencia.

El seguimiento de las labores de control puede incluir los procedimientos de medidas posteriores, e incluso la intervención de la entidad.

Además de ello, y ya en su vertiente más técnica, la DGSFP debe encargarse de: (i) comprobar los cálculos actuariales aplicados en las operaciones de seguros y reaseguros, y por los planes y fondos de pensiones y entidades gestoras de fondos de pensiones, (ii) realizar el seguimiento y la realización de cálculos financieros en relación a los activos y pasivos de entidades aseguradoras y reaseguradoras, a los mediadores de seguros y reaseguros privados, y a los planes y fondos de pensiones y entidades gestoras de fondos de pensiones, y (iii) llevar a cabo los procedimientos vinculados a Solvencia II, como la autorización para el cálculo del capital regulatorio basado en modelos internos o parámetros específicos, o bien la clasificación de los fondos propios de entidades aseguradoras y los fondos propios complementarios, de acuerdo con la normativa de Solvencia II. También los procedimientos de las autorizaciones y comunicaciones iniciales relativas al gobierno corporativo en el nuevo régimen de solvencia aplicable a las entidades aseguradoras y reaseguradoras.

En una dimensión internacional debe participar en los grupos y comités internacionales o de la Autoridad Europea de Seguros y Pensiones de Jubilación, en especial en lo que se refiere al seguimiento activo de los estándares, directrices y recomendaciones, la participación en los Colegios de Supervisores, y los derivados del régimen de Solvencia II de entidades aseguradoras y reaseguradoras cuando éstas tienen un carácter multinacional.

El cumplimiento de los requisitos precisos para el acceso y la ampliación de la actividad aseguradora y reaseguradora privadas es controlado por la DGSFP, que

también revisa los requisitos exigibles a los administradores, socios y directores de las entidades que realizan dicha actividad, y a las demás personas físicas y jurídicas sujetas a la regulación de seguros privados.

Entre sus responsabilidades está el control en materia de fusiones, agrupaciones, cesiones de cartera, transformaciones, escisiones y otras operaciones entre entidades aseguradoras, y las iniciativas sobre medidas y operaciones que comporten una mejora en la estructura sectorial o en la de alguno de sus ramos, sin perjuicio de las funciones atribuidas a la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, así como el control previo para el acceso a la actividad de mediación en seguros y el desempeño de las demás funciones de vigilancia previstas en la regulación de la mediación.

No queda al margen tampoco la supervisión de las conductas y prácticas de mercado de las personas y entidades aseguradoras y reaseguradoras, mediadores de seguros y reaseguros privados, que operen en el mercado de seguros. De igual modo, se analizan las conductas y prácticas de mercado de las personas y entidades que operan en relación con los planes y fondos de pensiones, así como de las entidades gestoras de fondos de pensiones.

Y, finalmente, respecto a la regulación de Planes y Fondos de Pensiones, la DGSFP se ocupa del control del cumplimiento de los requisitos que han de cumplir dichos instrumentos, de los requisitos precisos para el acceso a la actividad por entidades gestoras de fondos de pensiones, la participación y colaboración con organismos e instituciones, en relación con la actividad desarrollada en el marco de la previsión social complementaria, y el seguimiento y la participación en la elaboración de la normativa europea o internacional referida a planes y fondos de pensiones y a las entidades gestoras.

### **European Insurance and Occupational Pension Authority (EIOPA)**

EIOPA es un órgano consultivo independiente para el Parlamento Europeo, el Consejo de la Unión Europea y la Comisión Europea.

La agencia europea tiene como objetivos principales la protección a los consumidores y la reconstrucción de la confianza en el sistema financiero. Para garanti-

zar un nivel de regulación y supervisión que tenga en cuenta los intereses diversos de todos los Estados miembros y la diferente naturaleza de las instituciones financieras, este organismo ha asumido la responsabilidad de promover las decisiones al más alto nivel sobre seguros y pensiones de un modo efectivo y coherente.

Su tarea es compleja y exige la armonización y la aplicación de normas para las instituciones financieras y los mercados en toda la Unión Europea. Las autoridades nacionales de supervisión de la Unión Europea son una fuente de conocimiento e información sobre cuestiones de seguros y pensiones de jubilación que son coordinados por EIOPA. Así, ésta se rige por su Junta de Supervisores, que integra a las autoridades nacionales competentes en el ámbito de los seguros y pensiones de jubilación en cada Estado miembro. Para tener en cuenta las condiciones específicas de los mercados nacionales y la naturaleza de las instituciones financieras, el Sistema Europeo de Supervisión Financiera es una red integrada por autoridades nacionales y europeas de supervisión, que proporciona los vínculos necesarios entre los niveles prudenciales macro y micro, dejando el día a día de supervisión a nivel de país a los órganos respectivos.

La coordinación en supervisión dentro de la Unión Europea no se ha conseguido completamente, pero las guías y especificaciones pretenden que poco a poco se vayan utilizando protocolos de regulación con unas bases comunes. Sin embargo, en algunas ocasiones la necesidad de dejar un cierto margen de actuación en cuestiones que pueden abordarse de forma diferente en los distintos países provoca una inseguridad respecto a cómo resolverá cada regulador temas transfronterizos o muy particulares. Es el caso, por ejemplo, del encaje de la función reaseguradora con un organismo como el Consorcio de Compensación de Seguros en el caso español, integrado en el sistema público y que no tiene comparación en otros países.

Algunas de las responsabilidades fundamentales de la EIOPA son apoyar la estabilidad del sistema financiero, la transparencia de los mercados y productos financieros, así como la protección de los asegurados, los miembros de los planes de pensiones y beneficiarios. Este organismo se ha encargado de monitorear e identificar las tendencias, los riesgos potenciales y los puntos vulnerables del nivel microprudencial, a través de las fronteras y entre sectores, y ha llevado a cabo numerosas pruebas cuantitativas de resistencia antes y durante el desarrollo de la directiva de Solvencia II.

Según el artículo 129 de la LOSSEAR, la DGSFP ha de proporcionar sin demora a EIOPA toda la información necesaria para que ésta cumpla sus obligaciones.

## **EL PROYECTO DE SOLVENCIA II Y SU RELACIÓN CON BASILEA III**

El proyecto de Solvencia II se inició en el seno de la Unión Europea para que las entidades aseguradoras operasen dentro de sus ámbitos de responsabilidad con un nivel de solvencia adecuado.

Su objetivo principal es mejorar el control y medición de los riesgos, promoviendo decididamente un modelo de supervisión basado en la visión global del funcionamiento de la entidad.

Con el nuevo sistema se pasa de fijar la cantidad de capital de solvencia en función únicamente del riesgo de suscripción, primas, para hacerlo depender del nivel de riesgo soportado en todas y cada una de las áreas donde se lleva a cabo la actividad aseguradora.

Esta nueva normativa prudencial propicia un cambio cultural en el funcionamiento de las entidades aseguradoras que afecta al conjunto de su organización, no sólo a los ámbitos financieros o actuariales. El principio de gestión integral del riesgo implica que se perciba el negocio de una forma agregada y se puedan conseguir logros de eficiencia debidos a la combinación de actividades aseguradoras diversas, a la vez que se logra una mayor diversificación dado que se suman líneas de negocio diferentes. El aumento de la transparencia y la información que se estipula en la regulación de Solvencia II exige una mayor gobernanza en las entidades, una relación renovada con el regulador en una forma genuina de abordar la supervisión, y un refuerzo de los mecanismos de tutela de los tomadores y beneficiarios del seguro

## **SINGULARIDADES EN ESPAÑA**

### **El Consorcio de Compensación de Seguros**

El Consorcio de Compensación de Seguros realiza una serie de funciones, unas de naturaleza aseguradora y otras no, que complementan el papel de la ini-

ciativa privada en el sector de los seguros. En realidad se trata legalmente de una entidad pública empresarial y por lo tanto, sin perjuicio de su consideración como organismo público, goza de carácter plenamente mercantil, dada la naturaleza de las operaciones que realiza y el sometimiento de su actividad al ordenamiento jurídico privado. Tiene que ser supervisado como el resto de entidades bajo la Ley 20/2015 recientemente aprobada.

El Consorcio tiene como objeto “satisfacer las indemnizaciones derivadas de siniestros extraordinarios a los asegurados que, habiendo pagado los correspondientes recargos en su favor, no tengan amparado el riesgo extraordinario de que se trate por póliza de seguro contratada con una compañía del mercado, o que, habiendo contratado ésta, la entidad aseguradora no pudiera hacer frente a sus obligaciones indemnizatorias por encontrarse en quiebra, suspensión de pagos o proceso de liquidación”. Se estructura en cinco ámbitos de actividad: riesgos extraordinarios, automóviles, seguros agrarios combinados y medio ambiente. Los riesgos extraordinarios atienden al enorme potencial de pérdidas que son susceptibles de generar fenómenos naturales o violentos o actos en los que intervengan Fuerzas Armadas, pero sin condicionar la protección a que se produzcan eventos que afecten a un número muy elevado de asegurados o a una extensión territorial muy amplia, ni a que ocasionen daños muy cuantiosos que permitan calificar el evento de catástrofe. El Consorcio, por lo tanto, actúa como una reaseguradora consorciada y es la entidad del parque de vehículos de los organismos públicos.

En los seguros de automóviles, el Consorcio atiende a los asegurados que no son aceptados en ninguna entidad y a las indemnizaciones que excedan de una cuantía máxima derivada de un contrato y a los casos de vehículos no asegurados, robados o sin identificar, sin que ello implique que no resulten responsabilidades sobre los culpables del accidente. En los seguros agrarios el Consorcio se preocupa de proteger las explotaciones agrarias y las pérdidas derivadas de los incendios forestales, por ello interviene el mercado, dado que apoya, controla, fomenta este seguro y fija anualmente las producciones a asegurar, así como los riesgos a cubrir, que los agricultores pueden luego suscribir o no. Se encarga de la suscripción de los seguros agrarios a través de las entidades que conforman Agroseguro, la sociedad responsable de la gestión del sistema que agrupa al conjunto de entidades participantes. Del mismo modo, el Pool Español de Riesgos Medioambientales ofrece, en régimen de reaseguro, cobertura para los daños y perjuicios causados

por contaminación que, en cualquier caso, ha de producirse de forma accidental. En lo que respecta a las funciones de liquidación, el Consorcio protege a los asegurados ante la posibilidad de insolvencia de la entidad en la que tienen suscrita su póliza. Por todo ello, es un organismo que dota al sistema asegurador español de una más que notable protección.

En la nueva ley, se encomiendan al Consorcio de Compensación de Seguros dos nuevas funciones de carácter informativo. Por una parte, la gestión del nuevo registro de seguros obligatorios y, por otra, la recopilación y suministro de la información relativa a la cobertura del ramo de incendios a efectos de mejorar la liquidación y recaudación de las tasas por la prestación del servicio de extinción de incendios, y contribuciones especiales por el establecimiento o ampliación del servicio de extinción. Por otro lado, se amplía el recargo del seguro de riesgos extraordinarios a los seguros obligatorios de responsabilidad civil de vehículos automóviles, lo que da lugar a la cobertura correspondiente. Asimismo, se habilita al Consorcio para informar a los acreedores por contrato de seguro en relación con los procesos de liquidación de entidades aseguradoras domiciliadas en otro Estado miembro de la Unión Europea, en lo que afecte exclusivamente a los contratos de seguro que se hubieran celebrado en España. En materia de liquidación de entidades aseguradoras por el Consorcio de Compensación de Seguros, la nueva Ley introduce modificaciones en relación con las normas sustantivas y de procedimiento para reforzar los mecanismos de liquidación administrativa en beneficio de los acreedores por contrato de seguro. Por último, actualiza la regulación de la actuación del Consorcio en los procedimientos concursales.

Los contratos de seguro celebrados en régimen de derecho de establecimiento o en régimen de libre prestación de servicios que afecten a riesgos localizados o asuman compromisos en España están sujetos a los recargos a favor del Consorcio de Compensación de Seguros. Ello permite cubrir las necesidades de éste en el ejercicio de sus funciones de compensación de pérdidas derivadas de acontecimientos extraordinarios acaecidos en España, de fondo nacional de garantía en el seguro de responsabilidad civil derivada de la circulación de vehículos automóviles, y en su función de liquidador de entidades aseguradoras, así como a los demás recargos y tributos legalmente exigibles en las mismas condiciones que los contratos suscritos con entidades aseguradoras españolas.

## **Grupos de entidades**

Se entiende que una “entidad matriz” es toda entidad que ostente o pueda ostentar, directa o indirectamente, el control de otra u otras, así como cualquier entidad que, a juicio de las autoridades de supervisión, ejerza de manera efectiva una influencia dominante en otra entidad.

Una entidad filial, en cambio, recibe una influencia dominante de la matriz. La participación significativa en una entidad aseguradora o reaseguradora implica la posesión en una entidad aseguradora o reaseguradora, de manera directa o indirecta, de al menos un 10 por 100 del capital o de los derechos de voto, o cualquier otra posibilidad de ejercer una influencia notable en la gestión de la entidad. Una entidad vinculada es una entidad que sea filial u otra entidad en la que se posea una participación o que esté vinculada a otra por hallarse sujetas a una dirección única o porque sus órganos de administración, de dirección o de control, se compongan mayoritariamente de las mismas personas. Finalmente un “grupo” es todo conjunto de entidades que esté integrado por una entidad participante, sus filiales y las entidades en las que la participante o sus filiales posean una participación, así como las entidades vinculadas entre sí por hallarse sujetas a una dirección única o porque sus órganos de administración, de dirección o de control, se compongan mayoritariamente de las mismas personas.

Las entidades conforman un grupo si se basan en un reconocimiento, contractual o de otro tipo, de vínculos financieros sólidos y sostenibles entre esas entidades, que puede incluir mutuas y mutualidades de previsión social, siempre que una de esas entidades, que será considerada la entidad matriz, ejerza efectivamente, mediante coordinación centralizada, una influencia dominante en las decisiones, incluidas las decisiones financieras, de todas las entidades que forman parte del grupo, que se considerarán entidades filiales.

La DGSFP ejerce las funciones de supervisor de grupo cuando todas las entidades del grupo tienen su domicilio social en España, o bien cuando en la cabeza del grupo figura una entidad aseguradora o reaseguradora que tiene su domicilio social en España, además del caso en el que en la cabeza del grupo figura una sociedad de cartera de seguros o sociedad financiera mixta de cartera, si todas las entidades aseguradoras o reaseguradoras filiales de la sociedad de cartera de se-

guros tienen su domicilio social en España, o bien cuando en la cabeza del grupo figura una sociedad de cartera de seguros o sociedad financiera mixta de cartera que tenga su domicilio social en España, si alguna de las entidades aseguradoras o reaseguradoras filiales de la sociedad de cartera de seguros o sociedad financiera mixta de cartera tiene también su domicilio social en España. Lo es también si a la cabeza del grupo figuran varias sociedades de cartera de seguros o sociedades financieras mixtas de cartera con domicilio social en España y en otros Estados miembros, si tiene su domicilio social en España la entidad aseguradora o reaseguradora cuyo balance total es el mayor de todas las entidades aseguradoras y reaseguradoras con domicilio social en la Unión Europea. De no existir matriz en España o en otro Estado miembro, el supervisor es aquel del país donde la filial presente el mayor balance.

Los grupos de entidades revisten un acopio de circunstancias que dificultan su supervisión y que la hacen mucho más compleja que la de las entidades individuales. Por esta razón se espera que la implementación de Solvencia II en los grupos discurra a un ritmo lento.

La LOSSEAR introduce como novedad la posibilidad de constituir grupos mutuales conforme a los requisitos que se determinen reglamentariamente, lo que es especialmente importante para estas mutuas y mutualidades de previsión social. Para ellas los requerimientos son inferiores a los de las entidades aseguradoras, pero hay que destacar que tienen limitadas las prestaciones económicas que garantizan y el ejercicio de reaseguro.

#### **LA PROTECCIÓN DEL ASEGURADO**

A diferencia de la legislación anterior, la Ley 20/2015 da un carácter más sustantivo, como sujetos supervisados, a los grupos de entidades aseguradoras y reaseguradoras, regulados en el título V. Una importante novedad en este ámbito es la posibilidad de creación de grupos sin vinculación de capital, en particular, los grupos de mutuas de seguros. La supervisión del grupo incluye la evaluación de su solvencia, de las concentraciones de riesgo y de las operaciones intragrupo. Las entidades aseguradoras y reaseguradoras pertenecientes a un grupo deben contar, también individualmente, con un sistema de gobierno eficaz que ha de estar sujeto a supervisión.

El fondo nacional de garantía es el organismo creado por cada Estado miembro, de acuerdo con sus propias disposiciones legales, reglamentarias y administrativas, que tiene como misión reparar, al menos hasta los límites de la obligación del aseguramiento, los daños materiales o corporales causados por un vehículo no identificado o por el cual no haya sido satisfecha la obligación de aseguramiento. En España el fondo nacional de garantía es el Consorcio de Compensación de Seguros.

Se establece la obligatoriedad de adhesión a los convenios de indemnización directa regulados por el Real Decreto Legislativo 8/2004, de 29 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre responsabilidad civil y seguro en la circulación de vehículos a motor, para los daños materiales. Para agilizar la asistencia a los lesionados de tráfico, las entidades aseguradoras se pueden adherir a convenios sectoriales de asistencia sanitaria para lesionados de tráfico así como a convenios de indemnización directa de daños personales.

Las reformas emprendidas en el seno de la Unión Europea van encaminadas a fortalecer la protección del asegurado, extremando la precaución en lo que se refiere al conocimiento financiero y a la necesidad de que el asegurado comprenda el tipo de producto que suscribe y en especial los riesgos que transfiere y los que retiene.

#### **PRINCIPALES RETOS EN LA REGULACIÓN DEL SECTOR ASEGURADOR.**

La regulación que afecta al sector asegurador es en general una regulación de elevada dificultad técnica y jurídica, lo que plantea un gran desafío a la hora de disponer de buenos profesionales. El salto del sector público al sector privado, asesoría y consultoría, y la diferencia salarial existente entre ambas esferas provocan un trasvase constante del primero al segundo, lo que desencadena una falta de personal cualificado y con experiencia en la administración pública.

Otro de los retos a los que se enfrenta el sector es la necesaria coordinación entre organismos reguladores europeos. En la implantación de Solvencia II, y a pesar de la lentitud y precaución para su puesta en marcha, se prevén contradicciones de criterio entre resoluciones dictadas en diferentes países, haciendo posible que algunos grupos se replanteen su domicilio social, para atribuir la empresa

a un determinado regulador. Esta visión exige tener en mente un cierto proceso de globalización, en el que no pueden descartarse las voces que defienden la creación de una autoridad única como ha ocurrido en el sector bancario.

Las operaciones transfronterizas, la armonización y la cultura aseguradora en los diferentes países exigirán notables esfuerzos de convergencia. El sector se dirige hacia una supervisión supranacional con un lenguaje común y un mismo idioma, aunque no exenta de singularidades.

La independencia del regulador es otro de los aspectos que puede cuestionarse. La DGSFP depende del Ministerio orgánicamente y ello puede plantear dudas sobre su imparcialidad frente a la agencia europea.

Un reto para 2016 es valorar los efectos económicos de la puesta en marcha de la Directiva de Solvencia, dado que las exigencias de capital pueden ser más elevadas que anteriormente y no afectar a todas las entidades por igual. Además, falta por ver cómo perciben las entidades aseguradoras y los consumidores la nueva regulación, y si la transparencia de información es suficiente para aportar a los inversores y los consumidores más datos y una imagen fiel de la situación de cada entidad.

La primera reacción a los desarrollos recientes y previos a la implementación de Solvencia II es que todavía existen confusiones en la gestión del riesgo, y como consecuencia de la resolución de preguntas Solvencia II ha afianzado una cierta tendencia a la hiperregulación.

Desde otro punto de vista, una dificultad añadida es que los productos aseguradores de generación digital se desarrollan a un ritmo que va por delante de la regulación. La existencia de comparadores, contratación telemática y mecanismos más sofisticados de transferencia de riesgo suponen un reto para la distribución de los productos y la protección de los asegurados.

Para asegurar la protección de los tomadores, asegurados y beneficiarios, las previsiones legales sobre la actuación de las entidades aseguradoras y reaseguradoras deben complementarse adecuadamente con una supervisión eficaz. En la recientemente aprobada Ley 20/2015 se regula el conjunto de potestades y fa-

cultades que permitan a la autoridad supervisora española de seguros velar por el ejercicio ordenado de la actividad, incluidas las funciones o actividades externalizadas. Se incide en especial, en una de las actividades que tiene un mayor impacto directo, concretamente en la supervisión por inspección. Sin embargo, la formación de los especialistas en seguros requiere de una apertura de miras y de programas de especialización que sepan canalizar adecuadamente la inherente multidisciplinariedad necesaria en este sector.

Para finalizar, en el caso de España, uno de los aspectos en los que cabría mejorar es en la representación de profesionales y especialistas presentes en los diferentes organismos. En su composición actual la Junta Consultiva refleja una elevada presencia de entidades y organismos con sede en la capital española, sin que exista una pluralidad que plasme el peso específico del sector en otras comunidades a nivel estatal. Cataluña, por ejemplo, cuenta con las sedes de distintas entidades de primer nivel en el mercado.

En todo caso, como tanto para la supervisión de entidades individuales como de grupos de entidades, la Ley 20/2015 asume como principio rector la convergencia de la actividad supervisora europea en los instrumentos y las prácticas de supervisión, atribuyéndole a la Autoridad Europea de Seguros y Pensiones de Jubilación (EIOPA) un importante papel en su articulación, es obvio que se converge a un organismo unificado a nivel comunitario. Por ello, es imprescindible que profesionales especialistas tengan puesto su foco de atención en la participación en los órganos internacionales en una proporción razonable, atendiendo a la cuota con la que las entidades están presentes en el mercado.

#### **2.4. EL MODELO INTERNO EN SOLVENCIA II**

Según se indica en la propia regulación para la supervisión, en un modelo de solvencia elaborado internamente por parte de una entidad aseguradora, tiene que cumplir una serie de requisitos que garanticen la robustez de la aproximación cuantitativa. Por lo tanto, se debe asegurar que todos los riesgos descritos en el alcance del modelo están contemplados por el modelo interno y que las valoraciones de riesgo utilizadas en el modelo interno han sido validados mediante rigurosa metodología estadística.

Cuando se elabora un modelo interno para cuantificar el riesgo asumido por una entidad aseguradora, se deben considerar todas las carencias de forma que se contemplen: los riesgos que no están siendo analizados por el modelo interno, las limitaciones que tienen los modelos cuantitativos que se están empleando (extrapolaciones, simplificaciones en las especificaciones predictivas, ...), la naturaleza, grado y fuentes de incertidumbre que generan los resultados del modelo, la sensibilidad de los resultados para los supuestos clave que subyacen en el modelo interno, las deficiencias en los datos utilizados en la estimación del modelo interno y la falta de datos para el cálculo de las predicciones que proporciona el modelo, los riesgos derivados de la utilización de modelos y datos externos y, finalmente, las limitaciones de implementación en la política de gobernanza que se derivan de la puesta en práctica de decisiones derivadas de los resultados del modelo (beneficios de modificar estrategias sobre determinados ramos, identificación de nichos de mercado o decisiones sobre la optimización en la asignación de recursos).

Además de todo lo anterior, un modelo de solvencia tiene que identificar sus propias carencias y los planes para mejorar su propio proceso de construcción. Este último aspecto es esencial para garantizar que los reguladores podrán valorar la adecuación del modelo a la realidad y su capacidad de reflejar fielmente una imagen del comportamiento que va a tener la entidad.

#### **PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS EN MODELOS DE SOLVENCIA**

El planteamiento de escenarios consiste en una modificación de uno o varios supuestos que rigen la generación de valores del modelo interno.

La resistencia del modelo (stress testing) consiste en la evaluación de cómo reacciona el modelo ante el planteamiento de escenarios.

El análisis retrospectivo (backtesting) es una comparativa entre lo que el modelo predijo en un ejercicio que iba a suceder en el ejercicio siguiente y lo que efectivamente sucedió con posterioridad.

Todos los escenarios que se contemplen en la evaluación de la resistencia deben estar debidamente documentados. Para cada escenario considerado se indica el supuesto inicial y la alteración considerada.

## **Cuantificación del impacto por cambio de escenario**

La cuantificación de la resistencia ante cambios en los supuestos del modelo se expresa en términos absolutos o relativos respecto al capital requerido obtenido en el escenario base. Con carácter general se analizan un mínimo de dos escenarios: un escenario optimista, en el que la distribución de la cuenta de resultados tendrá un comportamiento más favorable que el esperado, y un escenario pesimista, en el que la cuenta de resultados tendrá un comportamiento peor al esperado.

No existe actualmente una guía de obligatorio cumplimiento que especifique cuáles son los escenarios que se exigen normativamente, por lo que éstos deben especificarse en base a las necesidades prácticas de uso del modelo en la gestión de la entidad.

Una consideración adicional previa a la construcción de escenarios complementarios es que el método de evaluación de la solvencia ya establece un nivel de riesgo suficiente para tener en cuenta que sólo un 0.5% de los casos pueden acarrear pérdidas superiores a las que el resultado del análisis pronostica. Por lo tanto, el establecimiento de escenarios optimistas y pesimistas debe realizarse para tener en cuenta situaciones especialmente adversas.

A modo de ejemplo, un escenario optimista en una entidad correspondería a un incremento de los beneficios esperados en todos los ramos, establecido como una disminución de la frecuencia esperada de siniestralidad. Ello supondría reducir en un determinado porcentaje previamente los parámetros que rigen dicha frecuencia esperada de siniestralidad. El escenario pesimista se conseguiría incrementando dichos parámetros.

Otra forma indirecta de abordar el análisis de escenarios correspondería a modificar el nivel de confianza al que se obtiene el capital requerido, que corresponde al 99.5%. Un escenario optimista consistiría en desplazar el cálculo a un nivel de tolerancia inferior, es decir al 95% por ejemplo, mientras que un escenario pesimista elevaría el nivel de confianza al 99.9%. En el primer caso, se exigiría menos capital de solvencia y en el segundo dicha cuantía aumentaría.

## 2.5. LA CALIDAD DE LOS DATOS EN LA MODELIZACIÓN DEL RIESGO

Los requisitos de calidad estadística de los datos (precisos, completos y apropiados) utilizados en la valoración de los parámetros en los que se fundamentan los modelos econométricos en general y en particular en los modelos de solvencia deben estar claramente establecidos (Guillén, 2012). Esta garantía de rigurosidad es clave para asegurar la calidad de los resultados de la valoración del riesgo de cara a los consumidores y, a la vez, para validar su uso en la gestión del riesgo de las entidades.

Los modelos utilizados para valorar la solvencia de las entidades aseguradoras parten de la información estadístico-contable de cada compañía, información del área de contabilidad, del área de control de gestión y planificación y del área de inversiones financieras e Inmobiliarias (cuentas de resultados, pólizas, primas, gastos, inflación futura esperada,...). Es decir, información adecuada y relevante de todos los ramos. Se supervisa que los departamentos implicados en la gestión comprueben que los datos no contienen errores u omisiones, y por lo tanto son fiables para el propósito que se quieren utilizar.

En el caso de las entidades que operan en España, los modelos que deben ser supervisados se nutren de información que debe poder ser verificada por la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones (DGSFP): por tanto, debe existir la certeza de que la información con la que se trabaja ha sido cotejada y validada antes de proceder a su envío a la DGSFP.

De este modo, se determina que el detalle de los datos es suficiente para permitir el uso de las técnicas cuantitativas actuariales y estadísticas apropiadas, y que los datos usados son una buena guía para el futuro más inmediato.

Si se dispone de información histórica y ésta se considera completa, entonces la modelización permite analizar cada ramo de manera individual, según la segmentación que cada compañía haya realizado.

Esta información permite observar la tendencia de cada uno de los conceptos que se va a modelizar en la valoración de la solvencia de cada uno de los ramos y contrastarla con información que proporcionan otros departamentos, de manera

que las estimaciones realizadas a futuro sean lo más ajustadas posibles a la realidad.

En general, la política interna sobre calidad y actualización de los datos vela porque éstos sean precisos, completos y apropiados, cumpliendo así los artículos de la directiva de solvencia.

Dada la importancia de este aspecto, las entidades llevan a cabo de forma regular controles sobre la calidad de los datos. Estos procesos internos forman parte de la política de la empresa sobre calidad y actualización de los datos. Además, al menos con una periodicidad fijada por el regulador, se procede a la actualización de los datos requeridos para los cálculos relativos al modelo de solvencia, por tanto, en el caso de modelos exigidos por la regulación con carácter anual se procede a la calibración del modelo de solvencia o gestión de riesgo por parte de cada entidad al menos una vez al año.

Mi propuesta para acabar este apartado es de nuevo abundar en una mayor rigurosidad, que se consideren de manera profunda los principios básicos del riesgo, desde la formulación de la pérdida hasta la medición y la precisión sobre qué instrumento se utiliza para evaluar dicho riesgo. Finalmente, es necesario que se progrese en la forma de incorporar el riesgo en la toma de decisiones, atendiendo a principios de modelización rigurosos y calidad en la información empírica utilizada, para garantizar la correcta concepción del seguro en todas sus vertientes. La regulación que se está promoviendo confirma esta tendencia a una visión integral y posiblemente sea la clave para mantener la solidez del sector asegurador en las próximas décadas.

### **3. APORTACIONES DE LA ECONOMETRÍA DEL RIESGO Y SEGURO**

La mayoría de galardonados con el premio en honor a Alfred Nobel en economía han contribuido de un modo u otro a la investigación sobre el riesgo y así, aunque indirectamente, a la investigación sobre el seguro. Friedman y Markowitz estudiaron las funciones de utilidad (Friedman y Savage, 1948 y Markowitz, 1952), Tobin (1958) la preferencia de la liquidez ante la aversión al riesgo, Samuelson (1963 y 1967) los beneficios de la diversificación, Arrow (1963 y 1965) las me-

didias de aversión y el análisis del porqué se asumen riesgos, Becker (Ehrlich y Becker, 1972) el papel de la sustitución de la auto-protección por los seguros y Kahneman cuestionó abiertamente los principios de la utilidad esperada (Kahneman y Tversky, 1979).

El desarrollo de la economía del seguro está vinculado a una corriente de pensamiento y análisis enraizada en la microeconomía teórica. No es de extrañar pues que se hayan producido aportaciones en torno a la teoría de los contratos, el modelo de Yaari (1965) y las contribuciones de Rothschild y Stiglitz (1970 y 1971) al equilibrio en el mercado de seguros. A este desarrollo contribuyeron Dionne y Eeckhoudt (1984 y 1985) conectando riesgo y seguro (Dionne et al., 1993), un tema que retomaron algunos autores más (Eeckhoudt et al., 2005, Gollier, 2001, Kimball, 1990 y Snow, 2011). Pero los economistas del seguro constituyen un colectivo poco numeroso, de carácter muy endogámico y selectivo con los ejercicios empíricos que no ha favorecido el progreso expansivo de la disciplina. No han desarrollado una colaboración estrecha con los actuarios y ambos incomprensiblemente han ido retrasando su adaptación a nuevos tiempos en los que millones de contratos y datos de alta frecuencia están a disposición de los agentes de negociación de la transferencia de riesgos.

El mercado de los seguros y las pensiones es un mercado en transformación. El desarrollo de los avances tecnológicos digitales es uno de los principales impulsores del cambio, porque influye en la forma como los ciudadanos toman sus decisiones. Los productos, servicios y ofertas son mucho más accesible en las actuales condiciones, y la apertura del mercado a una nueva generación de comparadores y empresas ricas en datos supone un reto para las entidades financieras y en concreto para los aseguradores tradicionales.

Las pensiones dejan de tener una componente de inversión pasiva para convertirse en instrumentos de enorme complejidad en los que las decisiones deben tener en cuenta tanto las características y perspectivas del sistema público, como las posibilidades reales de inversión durante la vida laboral (Drèze y Modigliani, 1972, Drèze, 1962). Sin embargo, reformar los sistemas y procesos es un desafío extraordinario para los seguros de vida y fondos de pensiones que no han experimentado grandes transformaciones en varias décadas consecutivas y cuando lo han hecho, al menos en el ámbito público, han resultado y van a resultar insuficientes.

La clave es innovar y desarrollar un mercado que no cesa de experimentar cambios a un ritmo trepidante.

Las posibilidades de identificar patrones, comparando ofertas y condiciones, al mismo tiempo que la capacidad de monitorizar la toma de decisiones a través del análisis de datos digitales abren una dimensión totalmente nueva que no se había planteado hasta este momento. Las prevenciones éticas y sobre privacidad cobran mayor importancia que nunca y además tienden a acrecentar la brecha entre países desarrollados que cuentan con normativas muy discrepantes en este aspecto concreto.

En la economía digital se dan las circunstancias ideales para que la actividad de seguimiento y control de las decisiones sobre los riesgos se centre casi exclusivamente en los individuos, en entender sus necesidades y en buscar soluciones personalizadas a su medida. Se dan las circunstancias para poder anticipar sus reacciones creando nuevas formas de optimizar planteamientos por parte de las empresas especializadas en la transferencia de los riesgos.

En economía del seguro se están produciendo una amalgama de condiciones únicas para que la ciencia económica realice un salto espectacular hacia el futuro. Los seguros están creando formas rápidas, flexibles y rentables para adaptarse a las nuevas generaciones integrando el uso de las nuevas tecnologías de captura de datos y creando planteamientos que tienen un horizonte muy largo. La investigación económica y financiera está innovando en planes de previsión, donde las soluciones de jubilación y seguro de vida deben adaptarse a las aspiraciones individuales, optimizar inversiones, sin pérdidas derivadas del ahorro. En los modelos de la economía digital se incrementa el protagonismo de la información individualizada y longitudinal, se prima la versatilidad frente a la simplicidad computacional y se da mucha más importancia a las decisiones complejas que en décadas anteriores.

Pero la transformación de la era digital que se plantea no sólo se produce a nivel tecnológico, sino que también impacta a nivel fundamental teórico y metodológico, en el diseño de sistemas de predicción de las decisiones económicas de anticipación de los fenómenos, de evaluación y control de las resoluciones económicas. Las siglas SMAC se refieren a la revolución tecnológica que suponen las

redes sociales (S), el uso del móvil (M), el análisis de los datos (A) y la utilización de la nube (C, del inglés cloud) como entorno físico de almacenaje y cálculo.

El aumento de recursos informáticos distintos a los convencionales con grandes bases de datos no estructuradas puede ayudar a mejorar el conocimiento, pero exige un cambio de enfoque en los métodos y una mayor personalización de las conclusiones atendiendo a las preferencias de cada ciudadano.

Para entender por qué la econometría sufrirá una verdadera revolución hay que tener en cuenta que la digitalización no significa que el mercado del siglo XXI está en la red, sino que aun siendo vigentes las leyes generales de la oferta y la demanda hoy, ya es inevitable tener que singularizar y particularizar la oferta, facilitando así la toma de decisiones cuando el volumen de información es desbordante. A la vez, hay que identificar los patrones individuales de la demanda, sabiendo detectar cuáles son sus especificidades.

Además, la nueva era supone una revolución en la forma de analizar la información y de fundamentar nuestra comprensión de la realidad económica y financiera. Analytics es el concepto genérico que se refiere al análisis de datos para la toma de decisiones basadas en la información, y es un concepto nuevo que está desplazando a la econometría tradicional.

### **3.1. LA ECONOMETRÍA DEL BIG DATA**

En la definición de grandes bases de datos se pronuncian cuatro palabras mágicas de la ciencia de los datos: velocidad, volumen, variedad y valor. La velocidad se refiere a que nada es como hace tan sólo unas décadas, ahora los datos se registran continuamente debido a la rapidez con la que pueden ser grabados y al aumento de la capacidad de almacenamiento. Esta enorme potencia en la generación de información desemboca en la obtención de volúmenes de registros que pueden ser procesados en segundos y en una variedad de fuentes y tipologías (textos, gráficos, imágenes, audios y videos).

La diferencia respecto a lo que ocurría antes en economía es que ahora, en lugar de poder guardar tan sólo unas pocas variables relacionadas con un esce-

nario, en estos momentos se pueden almacenar y luego recuperar muchos más detalles de las circunstancias que constituyen las entradas que rodean a una toma de decisiones. El cuarto concepto, el valor de la información, inicialmente no se consideró como una característica de los big data, sin embargo cuando se cuestiona qué cantidad de utilidad explicativa puede proporcionar un dato, entonces sí se empieza a aceptar que no toda la información registrada es interesante y, a partir de ahí, se establece que sólo algunos datos aportan valor para el análisis posterior. De ahí que se evolucione a la noción del “smart data”, cuando además se exige veracidad a la información, es decir que no contenga errores que puedan hacer disminuir su capacidad de reflejar fielmente la realidad. El smart data es un nuevo concepto más avanzado que el big data, ya que adicionalmente a la velocidad, volumen y variedad, se le añaden los atributos de veracidad y valor de forma que el smart data constituye la base del análisis de los negocios (business analytics) y, por qué no, de la nueva econometría en economía y finanzas.

El seguro es una disciplina que se basa en los métodos estadísticos, y que desde siempre ha empleado las fuentes de datos disponibles en cada momento para pronosticar resultados de pérdidas y su verosimilitud. La estadística siempre ha tenido una posición prominente en la ciencia actuarial y el análisis de datos junto a la matemática actuarial forman parte de su propia esencia.

Aun así, el reciente crecimiento digital ha sido tan vigoroso que ha desafiado la manera de entender el marco teórico tradicional de forma que ha surgido la necesidad de integrar la ciencia de los datos y sus capacidades en los nuevos modelos que estudian los seguros y se nutren de grandes sistemas de información. Las crecientes posibilidades de análisis de riesgos tienen que integrarse en el pensamiento para revolucionar el avance de esta disciplina, y hacer que la teoría evolucione al mismo ritmo que los avances tecnológicos en el mundo real.

#### **APLICACIONES DEL USO INTENSIVO DE DATOS EN ECONOMÍA DEL SEGURO**

En este apartado se presentan tres ejemplos de utilización de la econometría en el ámbito asegurador en los que se ha trabajado recientemente. Se describen tres experiencias que están siendo investigadas, mostrando, siempre desde una perspectiva personal, cómo teoría y práctica pueden colaborar.

El primero de los ejemplos analiza un caso de tarificación y comercialización de seguros, que persigue maximizar beneficios pero en el que existen tensiones entre lograr retener a los clientes de menor riesgo, a la vez que establecer para ellos precios suficientemente competitivos en el mercado, pero necesariamente elevados para poder cubrir las cuantías de indemnización necesarias.

La segunda aplicación tiene que ver con la generación de datos telemáticos en la conducción de vehículos y cómo pueden aportar elementos de prevención de riesgos, así como de identificación de segmentos de conductores con conductas potencialmente más peligrosas que otros.

Finalmente, la tercera de las aportaciones se circunscribe en la tarificación dinámica en el contexto de los seguros de salud. En este caso se trata de lograr una evaluación del riesgo de fallecimiento conjuntamente con la predicción del número de servicios médicos demandados por el paciente, en función de las características personales y del histórico longitudinal de uso de los servicios de salud registrados por la entidad del asegurado.

#### **TARIFICACIÓN Y RETENCIÓN**

En las compañías aseguradoras, el departamento actuarial dispone de unidades de fijación de precios (pricing team) que calculan las tarifas y argumentan que incrementar los precios incrementa los beneficios por póliza, así como la reserva de seguridad para la solvencia.

En contraposición, el departamento de comercialización consigue su éxito mediante la retención de los buenos clientes, que se ve amenazada si los precios son excesivamente altos. Se ha valorado en estudios empíricos que atraer a un nuevo cliente cuesta tres veces más que conseguir retener a un cliente existente.

La cancelación de pólizas y la pérdida de cartera son aspectos esenciales en el negocio de una entidad aseguradora porque pueden afectar a la estabilidad de su cuota de mercado y a los niveles de riesgo que se asumen agregadamente. Por esta razón, la interrupción de la vigencia de un contrato y su no renovación es uno de los factores del riesgo de suscripción que se contempla en los modelos de

riesgo de Solvencia II y los argumentos a favor de retener a los buenos contratos son siempre escuchados por la alta dirección de la entidad (Guillén et al., 2008).

El debate entre los equipos de tarificación y de comercialización es en realidad una lucha por lograr un equilibrio óptimo entre precios suficientemente bajos para mantener una situación interesante en el mercado y necesariamente altos para alcanzar los capitales mínimos exigidos.

Hay un tercer elemento que provoca una cierta contaminación en la anterior cuestión. Existe un contagio entre los diferentes contratos dentro de una misma entidad aseguradora que a menudo no se tiene en cuenta como debería. Esta relación de contagio viene dada por el hecho de que algunos clientes tienen más de un contrato en la misma entidad, posiblemente con coberturas diferentes (Brockett et al., 2008). Cuando un contrato no se renueva, es posible que haya existido algún hecho que haya influido en esta decisión y que, tal como se ha comprobado en numerosos estudios, también influya en el resto de contratos que posee el mismo tenedor. De esta forma, es posible que si se cancela una póliza de un asegurado que tenga suscritas más pólizas, se produzcan una serie de cancelaciones encadenadas. Incluso se ha llegado a observar que este fenómeno viene provocado por una política agresiva de mercado, en la que los competidores ofrecen precios por debajo de lo esperado para poder conseguir todos los productos contratados por un asegurado, una vez ya se han hecho con el primero de ellos.

De forma similar, una de las posibilidades más elementales para que una entidad crezca es ofrecer nuevos productos aseguradores a los tenedores de alguna póliza de seguro. Esta práctica se denomina venta-cruzada en la propia empresa y sólo tiene la desventaja de generar dependencias entre contratos de diferentes ramos, con las consecuencias potencialmente atribuibles a los vínculos existentes entre los contratos antes mencionadas.

Retomando el problema de la venta y cálculo de precios, la literatura científico-académica sobre los seguros y sobre el marketing ha ignorado la estrecha relación entre tarificación y comercialización. Sin embargo, es muy conveniente tratar ambos conceptos conjuntamente, toda vez que además exigen la necesaria consideración del riesgo y las implicaciones que supone en la solvencia de las entidades aseguradoras.

En línea con esta tradición, la aproximación clásica ha trabajado en silos durante mucho tiempo, como si precios y ventas fueran problemas independientes.

En contraposición con los métodos predictivos clásicos, las nuevas técnicas de modelización predictiva permiten pronosticar un nivel de prima basado en factores de riesgo, junto con una puntuación para retención y un objetivo para una acción que cruzada al mismo tiempo. Ello permite construir un puente entre los tres objetivos: tarificar, comercializar y fidelizar.

Como las aproximaciones clásicas están basadas en datos observacionales, pero de hecho los aseguradores poseen información que puede ser entendida como dato experimental, han surgido nuevas formas de abordar la modelización econométrica.

Un ejemplo ilustrativo muy sencillo es el de una campaña de marketing diseñada por un banco (Guelman, 2015) en la que el grupo de control no recibió ninguna publicidad por correo, mientras el grupo de promoción estuvo formado por clientes a quienes se contactó por carta y se les llamó para ofrecerles un producto nuevo. Sólo el 14.83% de los clientes en el grupo de control compró el producto nuevo, mientras más de doble (38.40%) compró el producto entre quienes tuvieron acceso la acción de venta mediante esa oferta.

La diferencia entre dichos dos porcentaje es 23.57%, que constituye el efecto medio de tratamiento, o el uplift, lo que además, al ser significativamente diferente de cero, demuestra el impacto de la campaña de promoción.

A partir de este ejemplo se pueden plantear tres cuestiones.

(1) ¿Cómo puede implementarse la replicación de un experimento controlado en el contexto de los seguros?

Mediante las nuevas aproximaciones metodológicas se puede hallar la forma de aproximar planteamientos experimentales como el anterior a partir de la información histórica en la cartera de asegurados.

Si consideramos que los descuentos ofrecidos a los clientes son los “tratamientos” y las compras son en realidad las renovaciones, es decir las “respuestas”, se puede decir que la respuesta positiva a un tratamiento implica un éxito de comercialización, y entonces se puede calcular cuál es el efecto medio de una campaña de promoción.

## (2) Heterogeneidad

Tras el planteamiento del binomio tratamiento-respuesta o causa-efecto, se pasa a tratar la cuestión de decidir si la influencia de las campañas es necesariamente igual para todos los asegurados y contratos. Este problema se puede resolver con un modelo de uplift en función de factores conocidos como la edad, sexo, lugar de residencia, tipo de póliza y antigüedad en la compañía, entre otros.

## (3) ¿Puede vincularse este modelo a la maximización de beneficios y a la minimización del riesgo?

Efectivamente puede plantearse una especificación que contemple tarificación y retención a la vez que maximización de beneficios (Guelman et al., 2012, Guelman y Guillén, 2014).

Si se supone que  $P_{im}$  es el precio de la prima de seguros para el titular de la póliza  $i = 1, \dots, N$  para un contrato dado en un horizonte de un año, en el año  $m$  para un conjunto de  $N$  asegurados, se puede considerar que el precio está compuesto por tres partes:

- Un precio de prima justo, resultado de una evaluación de las características de riesgo cubierto por la póliza y del asegurado, es decir, una valoración de la compensación que se espera que se produzca por las reclamaciones o pérdidas,
- Un precio que recarga la prima base, capturando requisitos de solvencia, gastos de gestión y capacidad de la entidad; y, finalmente,
- Un beneficio que refleja un nivel mínimo de ganancia que puede proporcionar dividendos a los accionistas o retorno por su inversión a propietarios de la compañía.

Por otra parte, se puede definir la renovación  $D_{im}$  como una variable binaria que toma el valor 1 si el titular de la póliza  $i$  la renueva, y 0 en caso contrario.

La renovación  $D_{im}$  depende de acciones de marketing, lo que a efectos prácticos quiere decir esencialmente que depende de los descuentos o recargos en el precio. Igualmente depende de competidores externos, por lo que éstos se deberían tener en cuenta como reflejo del entorno de competencia comercial.

La renovación y el precio son mutuamente dependientes.

Si los aumentos de precio son significativos respecto a los competidores muchos clientes abandonan la compañía, pero si se produce una rebaja entonces la renovación es más probable, aunque se espera que la reducción de márgenes implique una disminución de beneficios.

Lo que importa en esta forma de abordar el problema es aproximar el efecto medio de tratamiento bajo cada escenario de precio posible. De hecho la estrategia final consiste en personalizar el precio de modo que se maximice la probabilidad de renovación, bajo la restricción de que agregadamente aumenten los beneficios de la cartera. De esta forma el modelo acaba contemplando tarificación y retención simultáneamente, donde es la componente de beneficios la que se adapta para lograr una adecuada individualización. En otras palabras, el margen de precios que se atribuye a los beneficios no tiene por qué ser el mismo para todos los asegurados, ni para todas las pólizas.

A esta modificación se la denomina cambio de precio (rate change)  $RC_t$  donde  $t$  ( $t = 1, \dots, T$ ) indica una estrategia de marketing concreta entre un conjunto de  $T$  posibilidades, por ejemplo un descuento de un cierto porcentaje en el precio. En el caso de un único producto, el planteamiento del problema de optimización es el siguiente, fijado el año  $m$ ,

$$\max_{z_{imt} \forall i \forall t} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T z_{it} [P_i (1 + RC_t) (1 - \widehat{LR}_{it}) (1 - \widehat{r}_{it})]$$

con dos restricciones:

$$\sum_{t=1}^T Z_{it} = 1, Z_{it} \in \{0,1\} \text{ y } \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T Z_{it} \hat{R}_{it}}{N} \leq \omega,$$

donde  $P_i$  es un precio pagado por  $i$ ,  $i = 1, \dots, N$ ,  $N$  es el número total de clientes,  $RC_t$  es el cambio de precio categorizado en  $T$  valores posibles,  $t = 1 < 2 < \dots < T$ ,  $\hat{R}_{it}$  es la proporción esperada de coste, concretamente, el coste dividido por la prima,  $\hat{r}_{it}$  se refiere a la probabilidad de cancelación para el cliente  $i$  si se aplica el cambio de precio  $t$ , es decir si  $Z_{it} = 1$  y  $\omega$  es la proporción de la cartera que cancela sus pólizas, de forma que  $(1 - \omega)$  es el índice de retención mínimo admitido.

El objetivo de la maximización requiere anticipar la reacción del cliente a cada tratamiento y, en definitiva, pronosticar la probabilidad de retención en cada nivel de precio. La solución del problema implica maximizar los beneficios globales para encontrar un equilibrio entre el precio personalizado a cobrar a cada cliente, su probabilidad de retención y finalmente, el beneficio total esperado para la cartera.

Este problema de optimización crea una frontera eficiente, cuando se producen aumentos de probabilidad de retención, los precios se reducen y en general hay una disminución de los beneficios relativos.

Este ejercicio proporciona una visión directiva de un problema que se está solucionando en base a utilizar los principios del análisis de datos y la nueva econometría. El tratamiento personalizado que combina tarificación y comercialización es, en mi opinión, el futuro en la forma de concebir los seguros generales.

En un ejercicio empírico (Guelman y Guillén, 2014) en el que se estudiaron más de trescientas mil pólizas de seguro de automóvil de un asegurador canadiense que recibieron una oferta de renovación entre junio de 2010 y mayo de 2012 con un precio más bajo, igual o más alto que una prima base, se examinó la reacción de los asegurados, combinándose dicha información con 60 variables adicionales sobre características de la póliza, del vehículo y del conductor.

En términos generales se observó que si el precio baja, entonces la probabilidad de cancelación también disminuye, de modo que aumentos de precio, van asociados a incrementos en la probabilidad de cancelación. Sin embargo, comparando quien tuvo accidentes y quien no, se observa una reacción diferente, siendo este último grupo menos sensible a los incrementos de precio. Lo mismo ocurre al comparar asegurados con niveles de prima distintos o jóvenes frente a asegurados más mayores. Como pudo apreciarse, los clientes más jóvenes tienen una reacción más directa a un aumento de precio, es decir, como consecuencia de un incremento de precio para ellos aumenta la probabilidad de cancelación mucho más rápidamente que para los titulares de edad más avanzada. Además de las anteriores heterogeneidades en la elasticidad, se compararon segmentos con diferentes formas de pago, número de vehículos asegurados, clientes con seguro del hogar o no y grupos de pólizas con cobertura a todo riesgo frente al resto. En todos los casos se observaron diferencias significativas entre los segmentos de la cartera en la reacción al cambio de precio medida como la frecuencia de renovación.

En el lenguaje del análisis experimental, la evidencia de heterogeneidad indica que el uplift o el efecto medio de tratamiento no es igual para todo el mundo. La modelización empleada permite aproximar el cambio en la probabilidad de renovación cuando al cliente se le ofrece un precio diferente para su póliza bajo todos los escenarios posibles.

Evidentemente, el fenómeno que se ha descrito tiene conexiones con los sistemas bonus-malus que, en definitiva premian a los asegurados que no han presentado ninguna declaración de accidente con la finalidad de afianzar su fidelidad y recompensar por la ausencia de siniestros (Brouhns et al., 2003).

Se pueden encontrar más detalles de este ejemplo en los artículos publicados recientemente. En particular, el algoritmo para la modelización del uplift que está basado en maximizar la distancia entre las distribuciones del conjunto de observaciones que recibe el tratamiento y el grupo de control es objeto de análisis (Guelman et al. 2015a y 2015b) y se encuentra implementado el programa R.

En resumen, la estrategia para medir efectos causales atribuibles a los tratamientos es obtener o reconstruir datos experimentales y, posteriormente, aproximar la capacidad de reacción.

En el contexto del estudio de la elasticidad-precio, si sólo se pudiera disponer de datos observacionales, esto implicaría randomizar clientes a varios niveles de cambio de precios. Esta posibilidad raramente se da en la práctica, ya que normalmente los cambios están basados en las valoraciones de riesgo de los asegurados o en la experiencia observada. Así, lo que ocurre es que se suelen obtener datos observacionales en lugar de datos experimentales.

Sin embargo, bajo determinadas condiciones todavía es posible obtener estimaciones insesgadas del efecto causal cuando sólo se dispone de datos observacionales, es decir, se pueden estimar las elasticidades de precio mediante la utilización de dos conceptos clave: las puntuaciones de propensión y los algoritmos matching. Estos métodos pueden reconstruir razonablemente una aproximación de un estudio aleatorizado experimental a partir de datos observados anteriormente sin un diseño previo.

El modelo finalmente planteado en los casos reales comentados tiene como característica que combina tres dimensiones: evaluación de riesgo, retención y beneficio esperado.

Este apartado concluye viniendo a demostrar que dos departamentos pueden colaborar para mejorar el desempeño de la compañía de seguros, a la vez que consiguen optimizar la oferta personalizada para el asegurado de forma que éste también se beneficie. Esto tiene que animar a realizar más investigación en este área, donde el aprovechamiento de los datos y las posibilidades de la modelización predictiva proporcionan un elevado valor añadido.

#### **PREVENCIÓN DE ACCIDENTES Y TELEMETRÍA**

La segunda aplicación que se expone trata de la tarificación y la telemetría, que parte de la premisa de que los vehículos asegurados tienen instalado un dispositivo GPS que graba la localización de cada momento.

Una de las cuestiones que más ha preocupado socialmente en el seguro obligatorio de automóvil es que tradicionalmente, los hombres han pagado más que las mujeres por su seguro de automóvil. De hecho esa era una excepción reconocida en la Unión Europea en la Directiva de Género (Directiva 2004/113/EC de 13 di-

ciembre 2004) que implementa el principio de tratamiento igual entre hombres y mujeres en el acceso y suministro de bienes y servicios. Desde diciembre de 2012, las entidades de seguro no pueden cobrar precios diferentes según el sexo a raíz de una sentencia que el Tribunal Europeo de Justicia emitió el 1 de marzo de 2011, invalidando el uso de género como factor de riesgo en los seguros, a pesar de que exista evidencia actuarial y estadística de la diferencia entre las siniestralidad de hombres y mujeres en el seguro del automóvil, por ejemplo.

En este marco legal nuevo, las entidades aseguradoras han tenido que solucionar el problema de establecer un sistema de tarifas unisex a fin de aplicar el mismo precio y a raíz de este hecho la proporción de hombres y mujeres en la cartera ha adquirido una importancia considerable, porque puede inclinar el precio hacia el que corresponda al riesgo del colectivo mayoritario.

La siguiente pregunta que se formula es si existen factores basados en los hábitos de uso que pueden sustituir al sexo y que puedan actuar como factores para reemplazar la información de género que se suprime de la tarifa.

Pues efectivamente, es relativamente fácil identificar factores de riesgo para compensar la eliminación de género del cálculo de la prima. En particular, la tarea se simplifica si es posible disponer de datos proporcionados por los sistemas telemáticos del pago por uso (PAYD, pay-as-you-drive o sistemas basados en el uso, UBS). En este sentido, la telemetría proporciona una cantidad de información inmensa que puede después ser utilizada en la modelización predictiva y suplir el desconocimiento de otros factores tradicionales.

En el seguro de automóvil del sistema PAYD, la prima está calculada en base al uso del vehículo y, ya de por sí, la distancia recorrida revela además algunos patrones de conducción. De este modo, las primas se personalizan, y en definitiva los conductores ocasionales pagan menos que los usuarios frecuentes. Además, se tienen en cuenta los hábitos generales de conducción al calcular la prima y así, los distintos perfiles de velocidad, el tipo de carreteras por el que se circula habitualmente y el tiempo de día en que se conduce, pueden tenerse en cuenta en el nuevo sistema de tarificación. En realidad, dichos factores se demuestra que sirven para explicar la probabilidad de que el conductor se vea implicado en un accidente.

Hoy en día, muchas compañías de seguro del mundo comercializan contratos PAYD, especialmente para conductores jóvenes, pero aun así, dada la introducción tan reciente de este sistema, éste es todavía escasamente conocido y su fundamento técnico no ha sido investigado excesivamente.

Lo más sencillo es fijar la prima proporcional al número de kilómetros viajados y la frecuencia de uso del coche. Así, el esquema PAYD normalmente ofrece un descuento que depende de la distancia viajada durante el año y los patrones de conducción más básicos. Además, las compañías establecen ciertos umbrales para el número de kilómetros anuales recorridos, el porcentaje de conducción en territorio urbano frente a interurbano, la proporción de conducción nocturna frente a diurna o, por ejemplo, el porcentaje de kilómetros que se recorre por encima del límite de velocidad obligatorio. De este modo, los asegurados que respetan dichos umbrales reciben una bonificación mientras que el resto tiene que satisfacer un precio más alto.

La dificultad de la tarificación de este tipo de mecanismo es precisamente fijar los valores de umbral, los descuentos y los recargos correspondientes. Para ello hay que saber cómo influye la distancia viajada y el patrón de conducción en el riesgo de accidente de un conductor.

La ventaja de comercializar PAYD es que la exposición de cada conductor al riesgo de sufrir un accidente se mide con más exactitud, por lo que se supone que las primas acaban siendo más justas. Además, el asegurador también puede obtener una segmentación más sofisticada de su cartera en comparación con las clases de riesgo tradicionales. Para los clientes, la ventaja es que se paga una prima más baja si se conduce menos kilómetros con una actitud prudente y sin incidentes. En definitiva, muchos autores defienden que el PAYD transforma el seguro del automóvil en un producto más asequible y, además, premia la conducción responsable, previniendo accidentes. Aquellos que no lo comparten, suelen argumentar que la telemetría en realidad puede ser una amenaza para la preservación de la intimidad, ya que permite detectar la localización del vehículo y en consecuencia, los desplazamientos del conductor.

Del análisis de una muestra de más de ocho mil conductores que suscribieron una póliza PAYD en una entidad de seguros se obtuvo información del GPS y se

efectuó un seguimiento completamente anonimizado de la siniestralidad y del uso del vehículo durante tres años. Solamente se tomaron medidas de resumen de hábito y no de localización. Se recogió el número total de kilómetros recorridos, los porcentajes respectivos de conducción por zona urbana, en horario nocturno y el porcentaje de kilómetros recorridos superando el límite de velocidad (Ayuso et al., 2014a y 2014b).

Se concluyó, como se esperaba, que existe una diferencia significativa entre la siniestralidad de hombres y mujeres en igualdad de condiciones, siendo la distancia promedio hasta el primer accidente igual a 53.2 miles de kilómetros para mujeres frente a 62.2 miles de kilómetros para los hombres. A raíz de estos resultados, parece concluirse que el riesgo es mayor en las mujeres que en los hombres pero, sin embargo, lo que ocurre es que como el promedio de distancia recorrida al día es muy inferior en las mujeres, éstas tardan mucho más tiempo en haber viajado el total de kilómetros acumulados hasta llegar a la distancia promedio estimada y además como ellas suelen respetar más los límites de velocidad y no tienen tanta frecuencia de conducción por la noche, su riesgo de accidente en un periodo de tiempo de un año acaba siendo inferior al de los hombres.

Las conclusiones del estudio permiten esbozar un buen número de resultados. En primer lugar, los conductores de sexo diferente pueden tener primas diferentes si presentan patrones de conducción diferente. En segundo lugar, la distancia recorrida antes del primer accidente difiere en promedio entre hombres y mujeres. En tercer lugar, los excesos de velocidad reducen la distancia recorrida hasta el primer accidente para los hombres. Finalmente, si aumenta la conducción nocturna se produce antes el accidente para las mujeres.

De los anteriores resultados se desprende cómo abordar los mensajes en campañas de prevención. Además se pueden lograr sistemas de tarificación equitativos sin necesidad de recurrir a la discriminación por sexos.

En resumen, por tanto, un sistema PAYD incorpora variables que de alguna manera permiten compensar el efecto de eliminar el género como factor de discriminación del sistema de tarificación. Así, en el contexto nuevo impuesto por la Directiva de Género y la sentencia posterior, el concepto de seguro basado en el uso puede, en algunos casos, contribuir a la proporcionalidad entre riesgo y prima sufragada.

Este avance constituye una verdadera revolución en la manera de abordar el precio de los seguros, de forma que en lugar de valorar el tiempo como factor de riesgo, se supone la distancia recorrida como la verdadera variable de exposición al riesgo y, además, se tienen en cuenta los hábitos de conducción particulares de cada asegurado. Como en el caso del transporte aéreo frente al terrestre la diferencia entre considerar tiempo o bien distancia recorrida es un elemento que condiciona la medición del riesgo asumido, y según cuál sea la elección, es decir distancia o intervalo de tiempo, arroja resultados diferentes.

En síntesis, la abundancia de datos y la modelización predictiva suponen una oportunidad para canalizar la teoría del riesgo hasta la predicción de las pérdidas. Los modelos pueden ser mucho más personalizados incluso bajo la presencia de restricciones legales y reglamentarias. La modelización predictiva y la telemetría están suponiendo un cambio radical en la forma de plantear el seguro del automóvil.

#### **EVALUACIÓN DINÁMICA DEL RIESGO Y DIVERSIFICACIÓN**

Actualmente se está intensificando la investigación en la tarificación dinámica, entendiéndose que ello significa que los precios cambian continuamente, porque en realidad la evaluación del riesgo está cambiando a cada instante. Así, la información que llega al conocimiento de una entidad aseguradora inmediatamente sirve para registrar en el sistema y para actualizar en tiempo real la valoración del riesgo de la póliza correspondiente. Seguidamente se puede reconfigurar tanto la tarifa como los restantes indicadores de agregación de la cartera.

En el ejemplo que se presenta a continuación se desea analizar la supervivencia a la vez que la información longitudinal sobre el uso de servicios médicos asociados a una póliza de enfermedad. La clave es la modelización conjunta de la supervivencia y la información longitudinal en el contexto del seguro de salud.

Cuando una persona se siente enferma y visita al médico, se produce una reclamación en términos de cobertura de su póliza. Simultáneamente, la probabilidad de supervivencia disminuye debido a que la presencia de una enfermedad se asocia a una reducción repentina de las condiciones de salud, sin embargo, casi de inmediato, la aplicación de un tratamiento médico implica aumentar las posi-

bilidades de sobrevivir. Por lo tanto, se produce un efecto de disminución de las condiciones de salud y de aumento de las perspectivas de supervivencia sin que se sepa cuál de los dos efectos es mayor.

La estrategia de modelización utilizada en este caso permite:

- Establecer el grado de asociación entre el valor de la variable que mide el fenómeno longitudinal dado por las visitas médicas y relacionarlo con la longevidad.
- Estimar probabilidades de supervivencia concretas sujetas a la información sobre las condiciones de salud y
- Actualizar las valoraciones de las probabilidades de supervivencia personalizadas a partir de la información longitudinal adicional recogida.

Se modeliza conjuntamente el número de reclamaciones de seguro de salud acumuladas y la función de supervivencia y se comprueba que existe una correlación contemporánea positiva entre ambos fenómenos.

Con este modelo, se puede pronosticar la probabilidad de supervivencia dinámicamente cuando la información concreta de petición o uso de servicio entra en conocimiento de la entidad aseguradora. De este modo se puede comprobar si el riesgo de longevidad se equilibra con el riesgo de enfermedad, y de hecho lo que se observa es que la probabilidad de supervivencia disminuye cuando hay un aumento en el número de demandas de servicio médico. Eso quiere decir que un seguro combinado de renta vitalicia y de salud podría constituir un producto diversificado, aunque debería analizarse en qué momento se equilibra el riesgo derivado de los dos fenómenos conjuntos.

Si la evaluación de riesgo para calcular la prima es proporcional al número esperado de peticiones de servicio al año multiplicado por la probabilidad de sobrevivir todo el año, la aproximación de modelo conjunto puede proporcionar una herramienta dinámica para generar una evaluación de riesgo continua e individualizada.

Otra vez, en este ejemplo, la personalización se consigue a través de la modelización que considera las características particulares de cada asegurado, pero además, cuando existe una actualización de la información, las probabilidades de supervivencia automáticamente pueden ser recalculadas para pronosticar la demanda futura de servicios médicos y las perspectivas de longevidad de la persona afectada.

En esta aplicación, se dan distintos elementos de innovación:

- Personalización en la evaluación de riesgo.
- Valoración de riesgo dinámico, y
- Predicción en tiempo real que puede ser integrada en el sistema de información. Esto significa que cuando las reclamaciones se comunican a la entidad, el perfil de riesgo del titular de la póliza se modifica automáticamente.

En conclusión, los nuevos métodos de los que puede beneficiarse la ciencia económica y las finanzas proporcionan bases sólidas para estudios empíricos de gran dimensión y abren posibilidades enormes en los seguros y gestión de riesgos que eran inalcanzables hace tan solo unos cuantos años.

### **3.2. NUEVOS PLANTEAMIENTOS EN LA PLANIFICACIÓN DE LA JUBILACIÓN**

Déjenme que destaque un último ejemplo en uno de los temas que más he trabajado en estos últimos años y que sirva como sincero homenaje a quienes me precedieron en la medalla número 4 de esta Real Academia, los Excm. Srs. D. Alejandro Camino Castañé, D. José Cervera Bardera y D. José Barea Tejeiro, a quien también preocupaba la sostenibilidad y suficiencia del Sistema de Pensiones, un sistema público con numerosas carencias de eficiencia y equidad (Ayuso et al., 2013).

Las “tontinas” son sistemas de previsión ideados por Lorenzo di Tonti, un banquero italiano del siglo XVII, que consistían en legar a los supervivientes de un

grupo el derecho a cobrar los réditos de una inversión inicial. La estructura desordenada de estos mecanismos recuerda a un esquema piramidal y lo que sucedió durante el siglo XIX es que las disputas entre los miembros partícipes, así como la desviación de los fondos de las inversiones para financiar otros proyectos, acabaron por desprestigiarlos.

Hoy por hoy, cuando es posible realizar contratos evitando toda presencia física, las “tontinas” han vuelto a ser reconocidas como uno de los productos aseguradores que contempla la reciente Ley 20/2015 de ordenación, supervisión y solvencia de las entidades aseguradoras y reaseguradoras.

La agrupación del riesgo de longevidad en colectivos heterogéneos es posible gracias a avances recientes que transforman la forma de entender la jubilación. Inversiones a más largo plazo, con riesgo compartido, con límites en los resultados que amortizan los excesos y los defectos para amortiguar el riesgo y, finalmente, la forma de comunicar a los clientes ganancias ajustadas por riesgo, son las líneas de futuro que abren estos nuevos horizontes y han sido desarrolladas en Donnelly et al. (2013) para abordar la transferencia de riesgo de longevidad y en Donnelly et al. (2014) para plantear mecanismos transparentes en rentas vitalicias. Dichos trabajos se iniciaron en Guillén et al. (2006 y 2012) con los sistemas de suavizado de las fluctuaciones de valor de las pensiones y rentas vitalicias, cuando el riesgo financiero recae en el rentista y que ahora ya han sido adoptados por algunos fondos de pensiones en Europa impulsados por destacadas entidades aseguradoras.

La adecuación de los sistemas de pensiones, así como las reformas sobre la sostenibilidad del sistema público constituyen medidas clave para garantizar la previsión para la jubilación. Para evaluar la suficiencia, la definición tradicional de las tasas de sustitución de ingresos y de equilibrio entre gastos e ingresos de la Seguridad Social siguen siendo esenciales, pero pueden ser considerados criterios excesivamente restrictivos. En estos momentos, el impulso de los sistemas complementarios es imprescindible y reclama una nueva revisión del análisis que se ha realizado en el sistema público.

Se ha demostrado que los conceptos de adecuación y sostenibilidad comprenden más alcance que las consideraciones de estabilidad financiera. Por ello, debe darse un paso más allá y superar la necesaria sostenibilidad de los sistemas de

pensiones para incorporar el concepto de suficiencia. Ello es posible al incorporar en el análisis diferentes parámetros: el tipo y la forma de pensión y cómo se accede a la prestación, cómo se conoce y cómo se obtiene la renta. No es posible evaluar la calidad de un sistema de reparto sin tener en cuenta todos y cada uno de esos factores. Con ello se reflejan los diferentes aspectos y objetivos de bienestar que se desean alcanzar tanto a nivel individual como de la sociedad.

Los avances en el desarrollo de las nuevas formas de compartir el riesgo actuarial en planes privados inspirados en los esquemas de Tontí y convenientemente renovados, suponen una ventana abierta a materializar la colaboración público-privada y la complementariedad entre los sistemas tantas veces reclamada pero todavía no resuelta.

## CONCLUSIÓN

El estudio de riesgos es un proceso analítico y sistemático para evaluar, gestionar y comunicar los riesgos, que pretende entender la naturaleza de las consecuencias no deseadas que afectan a vidas humanas, salud, medio ambiente, economía, finanzas y todo tipo de actividades que comporten la posibilidad de una amenaza, con el objeto de reducirla o eliminarla. Comprende cuatro etapas:

1. Análisis del entorno. Se recogen la información y consecuencias en forma de pérdidas posibles.
2. Evaluación de riesgos. Se recopila la información sobre el alcance y las características de riesgos atribuidos a una amenaza, mediante la valoración de la probabilidad de que dicha pérdida se llegue a producir y su magnitud, usando modelos y datos adecuados.
3. Gestión de riesgos. Se ponen en práctica mecanismos para controlar las amenazas y medidas de protección para mitigar las pérdidas o transferir los riesgos.
4. Comunicación de riesgos. Se exponen los elementos informativos y opiniones sobre los riesgos retenidos.

No quisiera dar por finalizado este discurso sin dejar la debida constancia de la relevancia de este ámbito de estudio que he tenido hoy el placer de exponer ante tan distinguidas personalidades. Es un tema apasionante, tanto por lo que representa en la vertiente de la investigación como de la práctica en el ámbito financiero y asegurador.

He propuesto una serie de planteamientos con la esperanza de que sean recogidos y profundizados por otros estudiosos. Sólo de esta manera se podrá contribuir a la construcción del conocimiento y al progreso científico, al que como he dicho al principio espero poder volcarme con el máximo esmero.

Muchas gracias por su amable atención.



## REFERENCIAS

- Aas, K., Czado, C., Frigessic, A. y Bakkend, H. (2009) "Pair-copula constructions of multiple dependence" *Insurance: Mathematics and Economics*, 44, 2, 182-198.
- Abu-Mostafa, Y.S. (2012) "Machines that think for themselves" *Scientific American*, 307, 1, 78-81.
- Ai, J., Brockett, P.L., Golden, L. y Guillén, M. (2013) "A robust unsupervised method for fraud rate estimation" *Journal of Risk and Insurance*, 80, 1, 121-143.
- Alcañiz, M., Guillen, M., Santolino, M., Sánchez-Moscona, D., Llatje, O y Ramón, Ll. (2014) "Prevalence of alcohol-impaired drivers based on random breath tests in a roadside survey in Catalonia (Spain)" *Accident Analysis and Prevention*, 65, 131-141.
- Alemaný, R. y Guillén, M. (2013) "The history of the insurance market in Spain" *Insurance and Risk Management Journal*, 81, 1-2, 103-118.
- Alemaný, R., Bolancé, M. y Guillén, M. (2013) "A nonparametric approach to calculating value-at-risk" *Insurance: Mathematics and Economics*, 52, 2, 255-262.
- Angrist, J. D. y Pischke, J. S. (2014). *Mastering'metrics: The Path from Cause to Effect*. Princeton University Press, USA.
- Arrow, K.J. (1963) "Uncertainty and the welfare economics of medical care" *American Economic Review* 53, 941-976.
- Arrow, K.J. (1965) "The theory of risk aversion, in *Aspects of the Theory of Risk Bearing*", by Yrjo Jahanssonin Saatio, Helsinki. Reprinted in Arrow, K.J. (1971), *Essays in the Theory of Risk-Bearing*. Markham Publishing Company, Chicago.
- Artís, M., Ayuso, M. y Guillén, M. (1999) "Modelling different types of automobile insurance fraud behaviour in the Spanish market" *Insurance: Mathematics and Economics*, 24, 1-2, 67-81.

- Artís, M., Ayuso, M. y Guillén, M. (2002) “Detection of automobile insurance fraud with discrete choice models and misclassified claims” *Journal of Risk and Insurance*, 69, 3, 325-340.
- Ayuso, M., Guillén, M. y Alcañiz, M. (2010) “The impact of traffic violations on the estimated cost of traffic accidents with victims” *Accident Analysis and Prevention*, 42, 2, 709-717.
- Ayuso, M., Guillen, M. y Pérez-Marín, A.M. (2014a) “Driving habits by gender in insurance pay-as-you-drive or usage-based [Los hábitos de conducción al volante según el género en los seguros pay-as-you-drive o usage-based]” *Anales del Instituto de Actuarios Españoles*, 20, 17-32.
- Ayuso, M., Guillén, M. y Pérez-Marín, A.M. (2014b) “Time and distance to first accident and driving patterns of young drivers with pay-as-you-drive insurance” *Accident Analysis and Prevention*, 73, 125-131.
- Ayuso, M., Guillén, M. y Valero, D. (2013) “Sostenibilidad del sistema de pensiones en España desde la perspectiva de la equidad y la eficiencia” *Presupuesto y Gasto Público*, 71, 193-204.
- Balbás, A., Garrido, J. y Mayoral, S. (2009) “Properties of distortion risk measures” *Methodology and Computing in Applied Probability*, 11, 3 SI, 385-399.
- Bel, G., Bolancé, C., Guillén, M. y Rosell, J. (2015) “The environmental effects of changing speed limits: A quantile regression approach” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 36, 76-85.
- Belles-Sampera, J., Guillén, M. y Santolino, M. (2014a) “Beyond Value-at-Risk: GlueVaR Distortion Risk Measures” *Risk Analysis*, 34, 1, 121-134.
- Belles-Sampera, J., Guillén, M. y Santolino, M. (2014b) “GlueVaR risk measures in capital allocation applications” *Insurance: Mathematics and Economics*, 58, 1, 132-137.
- Belles-Sampera, J., Merigó, J.M., Guillén, M. y Santolino, M. (2013) “The connection between distortion risk measures and ordered weighted averaging operators” *Insurance: Mathematics and Economics*, 52, 2, 411-420.

- Belles-Sampera, J., Merigó, J.M., Guillén, M. y Santolino, M. (2014c) “Indicators for the characterization of discrete Choquet integrals” *Information Sciences*, 267, 201-216.
- Bellini, F. y Gianin, E.R. (2012) “Haezendonck-Goovaerts risk measures and Orlicz quantiles” *Insurance: Mathematics and Economics*, 51, 1, 107-114.
- Bellini, F., Klar, B., Mueller, A. y Gianin, E.R. (2014) “Generalized quantiles as risk measures” *Insurance: Mathematics and Economics*, 54, 41-48.
- Bermúdez, L., Ferri, A. y Guillén, M. (2013) “A correlation sensitivity analysis of non-life underwriting risk in solvency capital requirement estimation” *Astin Bulletin*, 43, 1, 21-37.
- Bernoulli, D. (1954) “Exposition of a new theory on the measurement of risk” *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 23-36.
- Bernstein, P.L. (1996) *Against the Gods: The Remarkable Story of Risk*, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Bolancé, C., Guillén, M. y Nielsen, J.P. (2008a) “Inverse Beta transformation in kernel density estimation” *Statistics & Probability Letters*, 78, 1757-1764.
- Bolancé, C., Ayuso, M. y Guillén, M. (2012) “A nonparametric approach to analysing operational risk with an application to insurance fraud” *The Journal of Operational Risk*, 7, 1, 1-16.
- Bolancé, C., Buch-Larsen, T., Guillén, M. y Nielsen, J.P. (2005) “Kernel density estimation for heavy-tailed distributions using the Champernowne transformation” *Statistics*, 39, 6, 503-518.
- Bolance, C., Guillén, M. y Nielsen, J.P. (2003a) “Kernel density estimation of actuarial loss functions” *Insurance: Mathematics and Economics*, 32, 1, 19-36.
- Bolance, C., Guillén, M. y Pinquet, J. (2003b) “Time-varying credibility for frequency risk models” *Insurance: Mathematics and Economics*, 33, 272-282.
- Bolancé, C., Guillén, M., Pelican, E. y Vernic, R. (2008b) “Skewed bivariate models and nonparametric estimation for the CTE risk measure” *Insurance: Mathematics and Economics*, 43, 3, 386-393.

- Boucher, J.P. y Guillén, M. (2009) "A survey on models for panel count data with applications to insurance" *RACSAM, Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Serie A, Matemáticas*, 103, 2, 277-294.
- Boucher, J.P., Denuit, M. y Guillén, M. (2007) "Risk classification for claim counts: a comparative analysis of various zero-inflated mixed Poisson and hurdle models" *North American Actuarial Journal*, 11, 4, 110-131.
- Boucher, J.P., Denuit, M. y Guillén, M. (2008) "Models of insurance claim counts with time dependence based on generalisation of Poisson and negative binomial distributions" *Variance*, 2, 1, 135-162.
- Boucher, J.P., Denuit, M. y Guillén, M. (2009) "Number of accidents or number of claims? An approach with zero-inflated Poisson models for panel data" *Journal of Risk and Insurance*, 76, 4, 821-846.
- Breiman, L. (2001) "Random forests" *Machine learning*, 45, 1, 5-32.
- Brockett, P.L. (1981) "A note on the numerical assignment of scores to ranked categorical data" *Journal of Mathematical Sociology*, 8, 91-101.
- Brockett, P.L., Derrig, R.A., Golden, L.L., Levine, A. y Alpert, M. (2002) "Fraud classification using principal component analysis of RIDITs" *Journal of Risk and Insurance*, 69, 3, 341-371.
- Brockett, P.L., Golden, L., Guillén, M., Nielsen, J.P., Parner, J. y Pérez-Marín, A.M. (2008) "Household multiple policy retention effects of first policy cancellation: How much time do you have to stop total customer defection?" *Journal of Risk and Insurance*, 75, 3, 713-737.
- Brouhns, N., Denuit, M., Guillén, M. y Pinquet J. (2003) "Bonus-malus scales in segmented tariffs with stochastic migration between segments" *Journal of Risk and Insurance*, 70, 577-599.
- Caudill, S., Ayuso, M. y Guillén, M. (2005) "Fraud detection using a multinomial logit model with missing information" *Journal of Risk and Insurance*, 72, 4, 539-550.
- Choquet, G. (1954) "Theory of capacities" *Annales de l'Institut Fourier*, 5, 131-295.

- Denneberg, D. (1994) *Non-Additive Measure and Integral*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Denuit, M., Dhaene, J., Goovaerts, M. y Kaas, R. (2005) *Actuarial Theory for Dependent Risks. Measures, Orders and Models*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- Dhaene, J., Kukush, A., Linders, D. y Tang, Q. (2012) “Remarks on quantiles and distortion risk measures” *European Actuarial Journal*, 2, 2, 319-328.
- Dionne, G. y Eeckhoudt, L. (1984) “Insurance and saving: Some further results” *Insurance: Mathematics and Economics*, 3, 2, 101-110.
- Dionne, G. y Eeckhoudt, L. (1985) “Self-insurance, self-protection and increased risk aversion” *Economics Letters*, 17, 3942.
- Dionne, G., Artís, M. y Guillén, M. (1996) “Count data models for a credit scoring system” *Journal of Empirical Finance*, 3, 3, 303-325.
- Dionne, G., Eeckhoudt, L. y Gollier, C. (1993) “Increases in Risk and Linear Payoffs” *International Economic Review*, 34, 309-319.
- 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 (Solvencia II). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/>
- DIRECTIVA 2004/113/CE DEL CONSEJO, de 13 de diciembre de 2004, por la que se aplica el principio de igualdad de trato entre hombres y mujeres al acceso a bienes y servicios y su suministro. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/>
- DIRECTIVA 2002/92/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 9 de diciembre de 2002, sobre la mediación en los seguros. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/>
- Donnelly, C., Guillén, M. y Nielsen, J.P. (2013) “Exchanging uncertain mortality for a cost” *Insurance: Mathematics and Economics*, 52, 1, 65-76.
- Donnelly, C., Guillén, M. y Nielsen, J.P. (2014) “Bringing cost transparency to the life annuity market” *Insurance: Mathematics and Economics*, 56, 14-27.

- Drèze, J (1962) “L’utilité sociale d’une vie humaine” *Revue Française de Recherche Opérationnelle*, 6, 93–118.
- Drèze, J. y Modigliani, F. (1972) “Consumptions decisions under uncertainty” *Journal of Economic Theory*, 5, 308-335.
- Eeckhoudt L, Gollier, C. y Shlesinger, H. (2005) *Economic and Financial Decisions under Risk*, Princeton University Press, USA.
- Ehrlich, I. y Becker, G.S. (1972) “Market insurance, self-insurance, and self-protection” *The Journal of Political Economy*, 623-648.
- Fledelius, P., Guillén, M., Nielsen, J.P. y Vogelius, M. (2004) “Two-dimensional hazard estimation for longevity analysis” *Scandinavian Actuarial Journal*, 2,133-156.
- Frawley, W.J., Piatetsky-Shapiro, G. y Matheus, C.J. (1992) “Knowledge discovery in databases: An overview” *AI magazine*, 13, 3, 57.
- Friedman, M. y Savage, L.J. (1948) “Utility analysis of choices involving risk” *Journal of Political Economy*, 56, 279-304.
- Gollier, C. (2001), *The Economics of Risk and Time*, The MIT Press, USA.
- Goovaerts, M., Linders, D., Van Weert, K. y Tank, F. (2012) “On the interplay between distortion, mean value and Haezendonck-Goovaerts risk measures” *Insurance: Mathematics and Economics*, 51, 1, 10-18.
- Guelman, L. (2015) *Optimal personalized treatment learning models with insurance applications*. PhD Dissertation in Economics. Universidad de Barcelona.
- Guelman, L. y Guillén, M. (2014) “A causal inference approach to measure price elasticity in Automobile Insurance” *Expert Systems with Applications*, 41, 2, 387-396.
- Guelman, L., Guillén, M. y Pérez-Marín, A.M. (2012) “Random forests for uplift modeling: An insurance customer retention case” *Lecture Notes in Business Information Processing*, 115, 123-133.
- Guelman, L., Guillén, M. y Pérez-Marín, A.M. (2014) “A survey of personalized treatment models for pricing strategies in insurance” *Insurance: Mathematics and Economics*, 58, 1, 68-76.

- Guelman, L., Guillén, M. y Pérez-Marín, A.M. (2015a) “A decision support framework to implement optimal personalized marketing interventions” *Decision Support Systems*, 72, 24-32.
- Guelman, L., Guillén, M. y Pérez-Marín, A.M. (2015b) “Uplift random forests” *Cybernetics & Systems*, Special issue on “Intelligent Systems in Business and Economics”, 46, 3-4, 230-248.
- Guillén, M. (2004) “Fraud in insurance” *Encyclopedia of Actuarial Science*, J. L. Teugels and B. Sundt, eds. Chichester: John Wiley & Sons, vol. 2, 729-739.
- Guillén, M. (2012) “Sexless and beautiful data: from quantity to quality” *Annals of Actuarial Science*, 6, 2, 231-234.
- Guillén, M. (2014) “Regression with categorical dependent variables” en *Predictive Modeling Applications in Actuarial Science (Vol 1)*. Frees, E.W, Derrig, R., Meyer, G. (Eds). Cambridge University Press, New York.
- Guillén, M., Jorgensen, P.L. y Nielsen, J.P. (2006) “Return smoothing mechanisms in life and pension insurance: Path-dependent contingent claims” *Insurance, Mathematics and Economics*, 38, 2, 229-252.
- Guillén, M., Linton, O., Nielsen, J.P. y Buch-Kromann, T. (2011) “Multivariate density estimation using dimension reducing information and tail flattening transformations» *Insurance: Mathematics and Economics*, 48, 1, 99-110.
- Guillén, M., Nielsen, J.P. y Pérez-Marín, A.M. (2008) “The need to monitor customer loyalty & business risk in the European insurance industry” *Geneva Papers on Risk and Insurance-Issues and Practice*, 33, 2, 207-218.
- Guillén, M., Nielsen, J.P., Pérez-Marín, A.M. y Petersen, K. (2012) “Performance measurement of pension strategies: A case study of Danish life cycle products” *Scandinavian Actuarial Journal*, 4, 258-277.
- Guillén, M., Prieto, F. y Sarabia, J.M. (2011) “Modelling losses and locating the tail with the Pareto Positive Stable distribution» *Insurance: Mathematics and Economics*, 49, 3, 454-461.
- Guillén, M., Sarabia, J.M. y Prieto, F. (2013) “Simple risk measure calculations for sums of positive random variables” *Insurance: Mathematics and Economics*, 53, 1, 273-280.

- Handbook of Insurance (2013) 2 Edition, Georges Dionne (Ed.), Springer, New York.
- Holland, P.W. (1986) "Statistics and causal inference" Journal of the American statistical Association, 81, 396, 945-960.
- Jewell, W.S. (1980) Models in Insurance: Paradigms, Puzzles, Communications and Revolutions (No. ORC-80-10). California University. Berkeley Operations Research Center.
- Jha, S., Guillen, M. y Christopher Westland, J. (2012) "Employing transaction aggregation strategy to detect credit card fraud" Expert Systems with Applications, 39, 16, 12650-12657.
- Kahneman, D. y Tversky, A. (1979) "Prospect theory: An analysis of decision under risk" Econometrica, 47, 263-291.
- Keynes, J.M. (1921) A Treatise on Probability. London: Macmillan. Reprint. Macmillan, 1948, London.
- Kimball, M.S. (1990) "Precautionary savings in the small and in the large" Econometrica, 58, 53-73.
- Knight, F.H. (1921) Risk, Uncertainty, and Profit. Houghton Mifflin Company, Boston.
- LEY 20/2015 de 14 de julio, de ordenación supervisión y solvencia de las entidades aseguradoras y reaseguradoras. Boletín Oficial del Estado.
- LEY 50/1980, de 8 de octubre, de Contrato de Seguro (Vigente hasta el 1 de Enero de 2016). Boletín Oficial del Estado
- Lin, T. y Guillén, M. (1998) "The rising hazards of party incumbency: a discrete renewal analysis" Political Analysis, 7, 31-59.
- MacKenzie, C. A. (2014) "Summarizing risk using risk measures and risk indices" Risk analysis, 34, 12, 2143-2162.
- Markowitz, H. (1952) "The utility of wealth" Journal of Political Economy, 60, 151-158.
- McCullagh, P. y Nelder, J.A. (1983) Generalized Linear Models (Vol. 37). CRC press, New York.

- McNeil, A.J., Frey, R. y Embrechts, P. (2005) *Quantitative Risk Management*, Princeton University Press, USA.
- Pinquet, J., Ayuso, M. y Guillén, M. (2007) "Selection bias and auditing policies for insurance claims" *Journal of Risk and Insurance*, 74, 2, 425-440.
- Pinquet, J., Guillén, M. y Ayuso, M. (2011) "Commitment and lapse behavior in long-term insurance: a case study" *Journal of Risk and Insurance*, 78, 4, 983-1002.
- Pinquet, J., Guillén, M. y Bolancé, C. (2001) "Long-range contagion in automobile insurance data: estimation and implications for experience rating" *Astin Bulletin*, 31, 2, 337-348.
- Pons, J. P. y Brías, M.Á.P. (Eds.). (2010). *Investigaciones históricas sobre el seguro español*. Fundación Mapfre, Madrid.
- Porta, M., Gasull, M., Puigdomènech, E., Garí, M., de Basea, M.B., Guillén, M., López, T., Bigas, E., Pumarega, J., Llebaria, X., Grimalt, J.O. y Tresserras, R. (2010) "Distribution of blood concentrations of persistent organic pollutants in a representative sample of the population of Catalonia" *Environment International*, 36, 7, 655-664.
- Posso, M., Brugulat, P., Mompert, M., Medina, A., Alcañiz, M., Guillén, M. y Tresserras, R. (2014) "Prevalence and determinants of obesity in children and young people in Catalonia, Spain, 2006-2012" *Medicina Clínica*, 143, 11, 475-483.
- Pratt, J.W. (1964) "Risk aversion in the small and in the large" *Econometrica*, 32, 122-134.
- REGLAMENTO (UE) No 1286/2014 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 26 de noviembre de 2014 sobre los documentos de datos fundamentales relativos a los productos de inversión minorista vinculados y los productos de inversión basados en seguros. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/>
- Rosenbaum, P.R. y Rubin, D.B. (1983) "The central role of the propensity score in observational studies for causal effects" *Biometrika*, 70, 1, 41-55.
- Rothschild, M. y Stiglitz, J. (1970) "Increasing risk: I. A definition" *Journal of Economic Theory*, 2, 225-243.

- Rothschild, M. y Stiglitz, J. (1971) “Increasing risk: II. Its economic consequences” *Journal of Economic Theory*, 3, 66-84.
- Samuelson, P.A. (1963) “Risk and uncertainty: The fallacy of the law of large numbers” *Scientia*, 98, 108-113.
- Samuelson, P.A. (1967) “General proof that diversification pays” *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 2, 1-13.
- Sarabia, J.M. y Guillén, M. (2008) “Joint modelling of the total amount and the number of claims by conditionals” *Insurance: Mathematics and Economics*, 43, 2, 466-473.
- Savage, L.J. (1954) *The Foundations of Statistics*, John Wiley and Sons, New York.
- Seidl, C. (2013) “The St. Petersburg paradox at 300” *Journal of Risk and Uncertainty*, 46, 247-264.
- Snow, A. (2011) “Ambiguity aversion and the propensities for self-insurance and selfprotection” *Journal of Risk and Uncertainty*, 42, 27-43.
- Solé-Auró, A., Guillén, M. y Crimmins, E.M. (2012) “Health care usage among immigrants and native-born elderly populations in eleven European countries: results from SHARE” *European Journal of Health Economics*, 13, 6, 741-754.
- Tobin, J. (1958) “Liquidity preference as behavior toward risk” *Review of Economic Studies*, 25, 65-85.
- Tsanakas, A. y Desli, E. (2005) “Measurement and pricing of risk in insurance markets” *Risk Analysis*, 25, 6, 1653–1668.
- Tversky, A. y Kahneman, D. (1981) “The framing of decisions and the psychology of choice” *Science, New Series*, 211, 4481. 453-458.
- Tversky, A. y Kahneman, D. (1992) “Advances in prospect theory: cumulative representation of uncertainty” *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 297-323.
- Urbina, J. y Guillén, M. (2014) “An application of capital allocation principles to operational risk and the cost of fraud” *Expert Systems with Applications*, 41, 16, 7023-7031.

- Vidiella-i-Anguera, A. y Guillén, M. (2005) "Forecasting Spanish natural life expectancy" *Risk Analysis*, 25, 5, 1161-1170.
- von Neumann, J. y Morgenstern, O. (1944) *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, Princeton.
- Wang, S.S. (1995) "Insurance pricing and increased limits ratemaking by proportional hazard transforms" *Insurance: Mathematics and Economics*, 17, 1, 43-54.
- Wang, S.S. (1996) "Premium calculation by transforming the layer premium density" *ASTIN Bulletin*, 26, 1, 71-92.
- Willett, A.H. (1901) *The economic theory of risk and insurance* (No. 38). The Columbia University Press, New York.
- Yaari, M.E. (1965) "Uncertain lifetime, life insurance, and the theory of the consumer" *The Review of Economic Studies*, 137-150.
- Yaari, M.E. (1987) "The dual theory of choice under risk" *Econometrica*, 55, 1, 95-115.
- Zhu, L. y Li, H. (2012) "Tail distortion risk and its asymptotic analysis" *Insurance: Mathematics and Economics*, 51, 1, 115-121.



Discurso de contestación por la Académica de Número

EXCMA. SRA. DRA. ANA MARÍA GIL LAFUENTE



EXCMA. SRA. DRA. ANA MARÍA GIL LAFUENTE

Excelentísimo Señor Presidente  
Excelentísimas y Excelentísimos Señores Académicos  
Señoras y Señores

Permítanme que manifieste, en estas primeras palabras, mi profundo agradecimiento a esta Real Corporación por haberme otorgado el privilegio de dar respuesta al discurso de la nueva académica de número Excelentísima Doctora Montserrat Guillén Estany. Y más allá de recibir este honor por la excelencia de la trayectoria y méritos de quien acaba de ingresar, es representar a una Institución capaz de trabajar en sintonía con los valores de la sociedad en la que vivimos, a la vez que seguir bregando en los principios que le fueron fijados en sus ya lejanos orígenes.

Hoy se inaugura el septuagésimo quinto aniversario de la refundación de esta Real Academia, a lo largo de cuyos años esta Magna Institución ha sido capaz de irse adaptando a las vicisitudes de su entorno, a la continua evolución de la sociedad y a la configuración y defensa de sus principios. Al volver la vista atrás, se hace realidad hoy, en esta ceremonia y por primera vez, que es una Académica de Número quien contesta el discurso de ingreso de otra Académica de Número. Representa un alto honor pertenecer a una institución que, junto a las más altas cotas de prestigio alcanzado en el ámbito académico, es capaz de integrar los valores en constante evolución de la compleja sociedad en la que se nos ha dado vivir.

El discurso que hemos tenido el privilegio de escuchar en un obligado breve espacio de tiempo constituye sólo una pequeña muestra de la larga trayectoria que la nueva académica ha ido desarrollando a lo largo de más de cinco lustros. Su actividad ha ido más allá de la labor docente e investigadora propias de un profesor universitario, lo que le ha labrado un prestigio en su ámbito que ha traspasado todas las fronteras.

Ejemplo de trabajo, esfuerzo, constancia y superación, permítanme que me tome la licencia de exponer una obligada síntesis de su extensa trayectoria. En este intento, ciertamente complejo, de resumir la trayectoria de la Dra. Guillén, he asumido el riesgo de seleccionar aquellos méritos que, a mi entender, constituyen los pilares fundamentales de su actividad universitaria, obviamente sin menoscabo de la larga relación de logros que completan su *curriculum vitae*. Espero que en la necesaria brevedad de esta intervención haya sido capaz de no desmerecer la calidad científica de la recipiendaria.

Montserrat Guillén Estany es Catedrática de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa en la Universidad de Barcelona desde 2001 y Profesora Visitante Honoraria en la Facultad de Ciencias Actuariales y Seguros de la City University de Londres.

Se licenció en Ciencias en Matemáticas (especialidad en Estadística Matemática) por la Universidad de Barcelona en 1987 y obtuvo el doctorado en Ciencias Económicas y Empresariales en 1992. Realizó el Máster en Análisis de Datos en la Universidad de Essex (Reino Unido) y fue investigadora visitante de la Universidad de Texas en Austin (Estados Unidos) y de la Universidad de Paris II (Francia). Previamente había cursado estudios de economía en la Universidad de Cambridge del Reino Unido.

Actualmente dirige el grupo de investigación consolidado del Riesgo en Finanzas y Seguros (UBriskcenter) con veinticinco investigadores permanentes y veinticinco afiliados de universidades e instituciones académicas de todo el mundo. Es miembro de honor del Colegio de Actuarios de Cataluña. En 2011 fue elegida presidenta del Grupo Europeo de Economistas del Riesgo y Seguro, fundado por la Asociación de Ginebra, una organización con sede en EE.UU. y Suiza que reúne a dirigentes de los principales grupos aseguradores del mundo.

Ha publicado más de 100 artículos en revistas con evaluación anónima, la gran mayoría de los cuales en revistas de primer nivel como *Risk Analysis*. Sus trabajos han sido citados por centenares de autores. Estos indicadores le otorgan un lugar muy destacado entre los investigadores más reconocidos internacionalmente en el ámbito de la gestión cuantitativa de riesgos y la economía del seguro.

Es editora de cuatro revistas que ocupan posiciones destacables en los rankings de índices internacionales: SORT-Statistics and Operations Research Transactions (chief-editor), ASTIN Bulletin – The Journal of the International Actuarial Association (senior editor), Journal of Risk and Insurance y Geneva Risk and Insurance Review. Además, forma parte del consejo editorial de otras revistas científicas tan reconocidas como el Journal of Financial Risk Management, siendo co-editora del North American Actuarial Journal.

Ha publicado numerosos libros y capítulos de libros, así como monografías y artículos por invitación. Destaca su libro *Quantitative Models for Operational Risk* publicado en 2012 con C. Bolancé, J. Gustafsson y J.P. Nielsen en Chapman and Hall, una de las editoriales del mayor prestigio académico.

Ha dirigido catorce tesis doctorales en la UB y ha sido codirectora externa de dos tesis doctorales en la Universidad de Copenhague y la City University London, respectivamente. Ha formado parte de tribunales de tesis doctorales tanto en España como en otros países tales como Francia, Bélgica, Reino Unido y EE.UU.

Ha recibido numerosos premios a la investigación. Fue galardonada por la Casualty Actuarial Society (EE.UU.) y recibió el Premio Internacional de Seguros Julio Castelo. Desde 2012 tiene la distinción ICREA Academia de la Generalitat de Catalunya por su trayectoria investigadora tras ser seleccionada entre los mejores investigadores de todos los ámbitos de la ciencia.

Ha participado en muchos proyectos de investigación, la mayoría de las veces como investigadora principal, obtenidos en convocatorias públicas competitivas, así como en varios proyectos financiados por entidades privadas (Fundación Mapfre, Fundación BBVA, Fundación de Estudios Financieros, AXA Research Fund,...). Su grupo de investigación ha recibido financiación en el programa Re- cerCaixa para el estudio del envejecimiento activo y, además, su equipo impulsa la cátedra UB-Zurich de seguros, para la promoción de la innovación y formación de postgrado de los actuarios.

Ha impartido conferencias plenarias por invitación en congresos de carácter internacional (IME; IAA, ASTIN, ISI, etc.), destacando su participación en el

Pension Research Council de la Wharton School en la Universidad de Pennsylvania. Ha presentado ponencias en congresos nacionales e internacionales. Ha sido nombrada Guest Lecturer en el SKKU Graduate School of Global Insurance and Pension en Corea.

Ha formado parte de consejos científicos en programas internacionales y comités de administración y dirección y también ha llevado a cabo formación y desarrollo de programas R+D+I con numerosas empresas. Es miembro del Patronato de la Fundación Mapfre. Ha realizado estancias y colaboraciones en universidades europeas, estadounidenses y canadienses y su grupo atrae a científicos de todo el mundo que, con sus investigaciones, incrementan la participación exterior y el prestigio de las abundantes actividades organizadas por el equipo que dirige.

Es evaluadora de distintas agencias públicas para la investigación y lo ha sido de más de 30 revistas especializadas. Ha organizado congresos, formando parte de sus respectivos comités científicos. Es miembro de American Risk and Insurance Association, International Actuarial Association, American Statistical Association, Sociedad Española de Estadística e Investigación Operativa, Societat Catalana d'Estadística y Societat Catalana de Matemàtiques. Es Académica de Número de la Reial Acadèmia de Doctors, academia asociada al Instituto de España.

Todo este bagaje, que de forma muy sucinta se presenta, ha llevado a la nueva académica a participar a menudo en los medios de comunicación (TV, radio y prensa escrita) como especialista de una disciplina relativamente reciente tal y como la entendemos actualmente.

No es hasta bien entrados los años 90, en los que en España irrumpe la sociedad de la información, que se produce un cambio radical en la forma en que las entidades de seguros y financieras utilizan los datos para conocer las tipologías de riesgos. Es entonces cuando la estadística adquiere un desarrollo exponencial y se aplica a gran escala. En este contexto, la Dra. Guillén crea en 1992 en la Universidad de Barcelona un grupo de investigación que denomina *Riesgo en Finanzas y Seguros*. En él se empieza a trabajar en el análisis de datos y la modelización econométrica aplicada. En la vertiente docente se impulsa la for-

mación en estadística y el acceso a la profesión de actuario desde esta vertiente de la disciplina.

A finales de los 90 el grupo de investigación se convierte en un referente internacional en la especialidad con el apoyo de empresas del sector asegurador que precisa innovar en el terreno de la cuantificación de riesgos. Se realizan entonces aportaciones en los sistemas de detección del fraude, modelización predictiva a través de paneles de datos con componente temporal, modelos no paramétricos y, más recientemente, sistemas de riesgo para la gerencia y fidelización de clientes.

Desde hace una década esta disciplina se ha implantado en los estudios de la Universidad de Barcelona en una asignatura denominada *Cuantificación de Riesgos* en el *Master de Investigación en Empresa* y más recientemente, hace cinco años, se incorpora a la especialización en Estadística Económica Financiera y Actuarial del Master de Estadística e Investigación Operativa. Paralelamente esta materia empieza a impartirse en la ETH de Zurich, en Suiza, con una orientación similar. Poco a poco la cuantificación de riesgos pasa a formar parte habitual de la formación de postgrado de los especialistas en seguros y finanzas, en ocasiones bajo la denominación de Enterprise Risk Management. A partir del 2013 la Society of Actuaries de los Estados Unidos de Norteamérica incluye la *modelización predictiva* como requisito para los actuarios profesionales y reclama a la Dra. Guillén para participar en la elaboración de los programas formativos.

La cuantificación de riesgos tiene unas aplicaciones que ya están resultando fundamentales para el desarrollo y la evolución del sector de los seguros y las finanzas, así como para la evaluación de las políticas públicas en las últimas dos décadas. Un ámbito al que se dedican grandes esfuerzos es el relativo a la eficiencia de los sistemas de pensiones para reducir el riesgo de pobreza en el colectivo de los pensionistas. Así mismo se está trabajando arduamente en otros campos tales como el relativo al incremento de la salud, el aumento de la calidad de vida, la mejora del proceso de envejecimiento y la planificación financiera, entre otros muchos.

La Dra. Guillén es consciente de que, a medida que los fenómenos relativos al ámbito de las finanzas y los seguros se hacen más complejos e interconectados,

resulta más difícil conocer la estructura de riesgos que condiciona la adopción de decisiones. En este sentido son frecuentes las veces en las que surgen importantes perturbaciones que afectan y determinan cambios inesperados en los planteamientos iniciales, obligando a asumir desviaciones importantes respecto de las previsiones primigenias. La ilustre recipiendaria, consecuente con el hecho de que las componentes inciertas siempre se encuentran al acecho de la planificación aseguradora, amplía una vez más el alcance de sus investigaciones con la introducción de los elementos propios de la incertidumbre.

Así, en el continuo proceso de toma de decisiones, cuando, como sucede muy a menudo, nos encontramos que no existe una única solución, o cuando las soluciones que nos ofrecen los elementos teóricos o técnicos clásicos no son lo suficientemente adecuados para dar curso al complejo proceso de tratamiento del riesgo, se hace necesario recurrir a sistemas que permitan incorporar toda una gama de variables difícilmente expresables en términos numéricos.

Es así como se pone de relieve la utilización práctica de modelos no numéricos, a menudo en combinación con el instrumental numérico, para determinar todo el complejo sistema de planificación en el ámbito de los seguros, desde los procesos de relación y asignación, hasta los de agrupación y ordenación (Gil Aluja, 1999, en *Elements for a Theory of Decision in Uncertainty*). Es, precisamente, la causa de que, cuando no existe una solución adecuada y deseable o, por el contrario, existen varias alternativas adecuadas (y ello es lo que suele suceder en la mayoría de los casos), la evidencia experimental se puede hacer compatible con teorías distintas y, en ocasiones, incluso incompatibles entre sí.

Permítanme que, llegados a este punto, pueda expresar algunos rasgos más personales de la nueva académica que ingresa hoy en nuestra Real Corporación.

La Dra. Guillén inició sus estudios de primaria en las Escolapias de Sant Martí de Provençals de Barcelona, para continuar en las Escolapias de Llíria y en la Escuela Pía de Sarriá-COU Jaume Bofill. Parece ser que ya de niña destacaba por su carácter inquieto, lo que llevó a sus padres a ocuparla en actividades extraescolares. Es entonces cuando, atraída por los idiomas, compatibiliza el colegio,

primero, con estudios de lengua francesa en el Instituto Francés de Barcelona, en donde acabará estudiando historia y literatura. Posteriormente incorporó a su agenda el estudio del inglés, seguido del ruso y finalmente el alemán.

Su interés por las matemáticas y las ciencias sociales pudo cristalizar en su elección de la econometría como especialidad, una materia en la que desarrollaría su vocación por acercar el pensamiento abstracto a la resolución de cuestiones que mejorasen la vida de las personas. En octubre de 1987, ya como profesora, impartió su primera clase con toda naturalidad en una de las aulas de la actual Facultad de Economía y Empresa ante un aforo de más de doscientos cincuenta estudiantes. De esta etapa confiesa que lo que más la satisfizo fue colaborar en el impulso del programa de detección precoz de cáncer mediante la identificación estadística de los segmentos de población a quien dirigir las campañas.

Sus inicios en el mundo de la investigación fueron difíciles, muy difíciles. Trabajadora incansable, pronto destacó en su papel de liderazgo. Su posición al frente de un grupo de investigación de la envergadura del que formó en 1992 es el resultado de muchos años de trabajo y dedicación. Posee una gran capacidad para sobrellevar frustraciones, superar escollos inesperados, y hace gala de una especial tenacidad para alcanzar los retos asumidos. Es reconocida su habilidad para tejer alianzas internacionales manteniendo siempre un substrato de mucha calidad en las investigaciones, a la vez que saber presentar aquello que más llama la atención ante la comunidad científica. Todas estas cualidades que nuestra académica evidencia en el ámbito universitario y científico han dado como fruto la consideración de su grupo de investigación como uno de los más importantes en Europa en lo concerniente a las ciencias actuariales y análisis de riesgos.

Desde una perspectiva personal es justo reconocer que la Dra. Guillén sabe, como nadie, aprovechar el tiempo disponible, siempre escaso en las tareas investigadoras. Su permanente ilusión por la investigación no le impide en absoluto una devota dedicación a su familia. Persona con grandes dotes diplomáticas, hace gala de trato cercano, sensible a las dificultades de quienes forman parte de su entorno. Siempre está dispuesta a tender una mano a quién lo necesita, aunque no por ello deja de ser firme, inflexible y expeditiva cuando las circunstancias lo exigen. Y añadiría, que es más luchadora e implacable cuando se trata de defender a quienes

se encuentran a su alrededor, tanto familiar como investigador, que cuando se ve obligada a preservar sus propios intereses.

Permítanme, finalmente, el placer de reiterar mi enhorabuena a la Excelentísima Dra. Montserrat Guillén Estany por su magnífico discurso. Su trabajo constituye una nueva aportación que enriquece los hallazgos de nuestra ya de por sí Magna Institución. También desearía manifestar, una vez más, mi más profundo agradecimiento a la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras por haberme honrado designándome para elaborar este discurso de contestación. Para terminar no puedo más que agradecer a todos quienes, con su labor, contribuyen, día tras día, a que nuestra Real Corporación vaya alcanzando las cotas de mayor prestigio internacional.

Gracias por su atención.



*Real Academia  
de Ciencias Económicas y Financieras*

PUBLICACIONES DE LA REAL ACADEMIA  
DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y FINANCIERAS

\*Las publicaciones señaladas con el símbolo  están disponibles en formato PDF en nuestra página web:  
<https://racef.es/es/publicaciones>

\*\*R.A.C.E.F. T.V. en   
El símbolo  indica que hay un reportaje relacionado con la publicación en el canal RACEF TV en 









