

## **SOLIDARIDAD ENTRE ASEGURADOS: ¿EXISTEN ALTERNATIVAS A LOS SISTEMAS BONUS-MALUS EN USO?**

Autores<sup>1</sup>: Margarita Carrillo, Lluís Bermúdez\* y Montserrat Guillén\*  
Actuaria de seguros, FIATC Mutua de seguros, España. \*RFA-IREA,  
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de  
Barcelona<sup>2</sup>.

### **RESUMEN**

Presentamos modelos teóricos de tarificación *a posteriori* que garantizan equilibrio financiero, a diferencia de los usados en el mercado asegurador español. Con los datos de una cartera real, contrastamos las consecuencias, ventajas e inconvenientes, de aplicar unos u otros sistemas. Para medir el grado de solidaridad entre los asegurados en los diferentes sistemas analizados, proponemos un nuevo indicador de severidad, el coeficiente de variación global ponderado. Mediante este indicador, concluimos que los sistemas en uso actualmente no reducen el grado de solidaridad entre los asegurados y, en cambio, los sistemas propuestos lo consiguen sin incidir en el margen técnico.

### **PALABRAS CLAVE**

Tarificación del seguro de automóvil, segmentación de la cartera, sistema Bonus-Malus, solidaridad entre asegurados, personalización de los riesgos, dureza del sistema.

---

<sup>1</sup> Facultat de Ciències Econòmiques i Empresariales, Edifici Principal, 3a planta, Av. Diagonal 690, 08034 Barcelona, Tel.: 934037039 Fax: 934021821. E-mails: [mguillen@ub.edu](mailto:mguillen@ub.edu), [lbermudez@ub.edu](mailto:lbermudez@ub.edu), [margacarrillo@ub.edu](mailto:margacarrillo@ub.edu)

<sup>2</sup> Los autores agradecen la ayuda recibida por el Ministerio de Educación y Ciencia / FEDER, proyecto SEJ2004-05052

## **Introducción**

En la mayoría de aseguradoras españolas del ramo de automóvil, desde hace años, se vienen aplicando cláusulas de corrección de las primas por siniestralidad que conocemos con el nombre de sistemas Bonus-Malus (SBM) o tarificación *a posteriori*. El objetivo de estos sistemas de tarificación es diferenciar a los asegurados para que paguen una prima acorde con el riesgo que aportan a la cartera, en otras palabras, reducir el grado de solidaridad entre los asegurados de manera que los causantes de siniestros asuman una mayor parte del riesgo soportado.

Sin embargo, como apuntamos en este trabajo, la mayoría de los sistemas aplicados en España no responden adecuadamente a este objetivo. En efecto, el uso de bonificaciones demasiado elevadas y la acumulación excesiva de asegurados en las clases con mayores bonificaciones ha respondido más a objetivos comerciales de captación y mantenimiento de clientes que al objetivo intrínseco de estos sistemas. Además, en demasiadas ocasiones, los sistemas aplicados han provocado desequilibrios en el margen técnico y el consiguiente incremento de las primas base.

En un contexto de tipos de interés bajos y margen financiero escaso, donde los resultados de las compañías deben obtenerse por un control eficiente del margen técnico, las entidades deberían replantearse si los sistemas de corrección de la prima que utilizan son los adecuados. Por ello, frente a unos sistemas convertidos con demasiada frecuencia en meras rebajas de las primas, abogamos por el uso de los sistemas óptimos integrados que, entre otras propiedades deseables, aseguran un equilibrio técnico estable.

En este trabajo, en primer lugar, presentamos los modelos teóricos que garantizan dicho equilibrio, al mismo tiempo que cumplen con el objetivo inicial de la tarificación *a posteriori*. Mediante el uso de los datos de una cartera real, contrastamos las consecuencias, ventajas e inconvenientes, de aplicar estos sistemas frente a las de utilizar un sistema similar al adoptado por las compañías aseguradoras en la actualidad.

En segundo lugar, con el objetivo de medir el grado de solidaridad entre los asegurados que se establece en cada uno de los diferentes sistemas analizados, proponemos un nuevo indicador de severidad, el coeficiente de variación global ponderado. Mediante el uso de este indicador, llegamos a la conclusión de que los sistemas en uso actualmente no conducen a reducir el grado de solidaridad entre los asegurados y, en cambio, los sistemas propuestos, en mayor o menor medida, tienden a diferenciar a los asegurados y, por lo tanto, a reducirlo.

En definitiva, a modo de perfil del trabajo, en los dos apartados siguientes abordamos la tarificación en el seguro del automóvil y seguidamente presentamos los distintos sistemas de tarificación *a posteriori*, comentando sus ventajas e inconvenientes. A continuación, mediante datos de una cartera real, comparamos los resultados de aplicar los distintos SBM. Veremos como los sistemas óptimos e integrados resultan los más eficientes para llevar a cabo su objetivo, es decir, definir unas primas adecuadas desde un punto de vista técnico que evalúen correctamente los riesgos asegurados. Más adelante, definimos nuevos indicadores de severidad global para poder evaluar todos los sistemas y, de este modo, verificar su viabilidad comercial. Finalmente, en el último apartado, resumimos las conclusiones a las que hemos llegado y su posible repercusión en el sector asegurador.

## **1. Tarificación del seguro de automóvil**

El sistema de tarificación en el seguro de automóvil se caracteriza por su complejidad. El gran número de factores que influyen en la valoración del riesgo y el elevado número de pólizas dan lugar a carteras de seguro muy heterogéneas. Así pues, los actuarios se enfrentan al problema de diseñar tarifas que distribuyan el coste de los siniestros de la forma más justa posible, es decir, que cada asegurado pague una prima acorde con el riesgo que aporta a la cartera.

Además, la peculiaridad del riesgo asegurado hace que algunos de esos factores sean conocidos con certeza por el asegurador en el momento de la contratación (edad y sexo del conductor, modelo y potencia del

vehículo, etc.) y otros, en cambio, que no puedan ser conocidos y valorados previamente, como la agresividad o pericia del conductor.

A partir de estas singularidades, observamos que el sistema de tarificación está diseñado en dos fases bien diferenciadas. La primera de ellas consiste en segmentar la cartera de vehículos asegurados en grupos homogéneos. Esta fase se conoce como tarificación *a priori*. El mecanismo de asignación de los individuos a los diferentes grupos se fundamenta en el análisis de las características personales y del vehículo que influyen en la siniestralidad. La finalidad perseguida al utilizar estas variables de clasificación del riesgo es agrupar a los asegurados en clases homogéneas respecto a su nivel esperado de siniestralidad y asignar a cada uno de estos grupos una prima diferente.

A pesar de la utilización de numerosas variables de clasificación del riesgo en la tarificación *a priori*, todavía se observan comportamientos muy heterogéneos en cada uno de los subgrupos obtenidos. Un factor que determina que no se alcance la segmentación deseada es la imposibilidad de medir ciertas variables, ya mencionadas, que influyen de forma muy importante sobre el número de accidentes, como reflejos y agresividad del conductor, conocimiento del código de circulación, etcétera.

Para salvar dicha heterogeneidad, se inicia una segunda fase de valoración del riesgo, la denominada tarificación *a posteriori*. Como quedó demostrado en Boyer y Dionne (1989), el factor más importante, y base de esta segunda fase, es el hecho que el mejor predictor del número de accidentes futuros es el historial de siniestralidad.

El mecanismo en que se fundamenta esta fase es la modificación de la prima en función del número de siniestros declarados en cada período de vigencia del seguro. Este ajuste *a posteriori* de la prima se realiza a través de la aplicación de penalizaciones o recargos sobre la prima de los conductores responsables civilmente de uno ó más accidentes (Malus). O bien, a través de bonificaciones o rebajas sobre la prima de aquellos asegurados que no hayan sufrido accidentes durante la vigencia de la cobertura (Bonus).

El principal objetivo de este mecanismo, aparte de incentivar la conducción prudente, es valorar mejor el riesgo individual para que todos los asegurados paguen una prima proporcional a su propia frecuencia de siniestros a largo plazo. Para conseguir este propósito se calcula la prima de cada asegurado, no sólo en función de la siniestralidad total de la cartera (prima *a priori*), sino también teniendo en cuenta la registrada para cada individuo (prima *a posteriori*).

El sistema Bonus-Malus (SBM) es una respuesta a la selección adversa definida, en palabras de Dionne (1983), como el resultado de disponer de información asimétrica sobre el comportamiento de los asegurados. Efectivamente, los asegurados conocen más acerca de su comportamiento en la conducción que la compañía aseguradora. En consecuencia, el SBM es una forma de modificar correctamente esta falta de conocimiento acerca de los patrones de conducción de los asegurados.

A partir de aquí, se pueden señalar algunas de las ventajas que ofrece la utilización de una tarificación *a posteriori*. La primera de ellas salva el principal inconveniente de la tarificación *a priori*, que como hemos visto, no proporciona una segmentación lo suficientemente precisa de la población, ver Lemaire (1980).

La segunda es su utilización como mecanismo para deshacerse de los “malos riesgos”, mediante la aplicación de fuertes penalizaciones a sus primas. Este tipo de asegurado sólo resultará rentable a la entidad si abandona la cartera o si paga lo suficiente para que el asegurador recupere su coste. Paralelamente, se atraen y conservan los “buenos riesgos” que verán reducida su prima al disminuir la siniestralidad media de la cartera y, en consecuencia, la prima base que aplicaremos el próximo período.

La tercera ventaja hace referencia al llamado riesgo moral. La utilización de un sistema de corrección de la prima hace que el interés del asegurado por no sufrir siniestros aumente considerablemente, ya que un aumento del número de accidentes por encima de la media de su clase hará que aumente su prima. Como resultado, al asegurado no le es beneficioso declarar siniestros fraudulentos, puesto que no le compensa por la sobrecarga que recibirá en la prima del próximo período.

Por último, la cuarta justificación está relacionada con la mejora que representa en los costes de gestión de la aseguradora. Para el asegurado, una forma de eludir futuras subidas de la prima, por aumento del número de reclamaciones, es evitar la declaración de pequeños siniestros. Así pues, en este aspecto, el SBM desempeña un papel parecido al de la franquicia.

No obstante, existen algunas desventajas derivadas de la utilización de los sistemas de corrección de la prima. El primer inconveniente que podemos apuntar es la constatación de la posible relación entre la corrección de las primas por siniestralidad y el aumento de las fugas de vehículos responsables de accidentes.

El segundo inconveniente es que sólo se tiene en cuenta el número de siniestros y no su coste. Se puede dar el caso de soportar un Malus elevado por haber causado siniestros con únicamente daños materiales de un coste muy bajo. Ante esta injusta situación, ha aparecido un nuevo concepto en el sector, la recompra de siniestros. Los asegurados que lo deseen, pueden al final del período reembolsar al asegurador los costes de los siniestros de poca cuantía para así conservar el Bonus obtenido.

Otro inconveniente está relacionado con las consecuencias de aplicar un SBM que no esté equilibrado financieramente, es decir, un sistema donde el promedio de las primas corregidas no es igual a la prima *a priori* inicial. Principalmente, estas distorsiones se deben al establecimiento de bonificaciones inadecuadas (valores máximos de Bonus desmesurados). En ciertas condiciones, como una acumulación excesiva de asegurados en las clases con bonificaciones, la tarifa *a priori*, que se corresponde con la prima base, se ve obligada a soportar un fuerte incremento para poder hacer frente al coste generado por dicho sistema. Como consecuencia, los nuevos conductores, que no tienen antecedentes ni positivos ni negativos en la entidad, sufren una sobretarifación derivada de una prima base recargada.

Finalmente, uno de los inconvenientes en el diseño de los SBM señalado por Dionne y Vanasse (1989) es que están formulados al margen de la selección y cuantificación de las otras variables de

clasificación. Es decir, las tarificaciones *a priori* y *a posteriori* son tratadas como problemas completamente independientes.

A partir de los inconvenientes apuntados hasta el momento, y centrándonos en los dos últimos, en el presente trabajo nos proponemos plantear algunas medidas para vencer tales desventajas. Por un lado, presentaremos los SBM óptimos que, entre otras propiedades, presentan equilibrio financiero. Por otro lado, una correcta aproximación a la tarificación *a posteriori* debe englobar todos los factores de riesgo *a priori* y *a posteriori* en el mismo análisis, para ello presentaremos los SBM integrados.

Una vez conocidas todas las posibles vías de cálculo de la tarifa, tendremos que evaluar las consecuencias de la utilización de los diferentes tipos de sistemas. Para evaluar los diferentes sistemas de corrección de la prima, se realizarán simulaciones sobre los diferentes sistemas de tarificación para comparar la rigidez o dureza de los mismos, o en otros términos, el grado de solidaridad entre asegurados. Para conseguir este propósito se utilizará uno de los instrumentos estadísticos presentados por Lemaire (1995) que proporcionará una ordenación de los diferentes sistemas según su dureza en la penalización de los siniestros. El objetivo principal de este análisis es evaluar los sistemas de tarificación sin por ello pretender asimilar esta ordenación a una forma de calificar la calidad del sistema.

En resumen, esta comparación permitirá a los aseguradores evaluar cómo es de severo su propio SBM respecto al resto de sistemas, bajo ciertas hipótesis de partida. Hay que tener en cuenta que la determinación de un sistema como severo no implica ningún juicio acerca de la calidad del sistema (bueno o malo) sino que el calificativo de severo está más relacionado con conceptos como: menor solidaridad, mayor segmentación, diferenciación de los precios y, por lo tanto, riesgos personalizados. En contrapunto, los sistemas no tan severos se relacionarán con actitudes más solidarias o más mutuales (compartir los costes entre los asegurados).

## **2. Sistemas de tarificación en el seguro de automóvil**

### **2.1 Sistema Bonus-Malus aplicado**

Cuando a lo largo del texto se utiliza el término “sistema aplicado” nos referimos a un SBM similar a los sistemas que en la actualidad utilizan la mayoría de entidades aseguradoras españolas. En concreto, para este trabajo, vamos a partir de un sistema que ha sido utilizado desde el año 2000 en una importante compañía del sector. Éste está formado por 18 clases, de las cuales 9 corresponden a la zona Bonus, 1 es la clase neutra o clase inicial y 8 son zona Malus, como se puede apreciar en la tabla siguiente.

<b>Zona</b>	<b>Bonus</b>									<b>Neutra</b>	<b>Malus</b>							
<b>Clase</b>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>
<b>Prima</b>	45	45	50	55	60	65	70	80	90	100	110	120	130	150	180	250	325	400

El sistema tiene establecidas una serie de normas de transición que determinan la circulación de los asegurados entre las diferentes clases.

Para el caso que nos ocupa son las siguientes:

1. Cuando se contrate la póliza se asignará al asegurado a la clase 10 (zona neutra).
2. A cada vencimiento de la póliza se establecerá el nuevo nivel según el número de siniestros computables ocurridos y declarados durante el período de observación.
3. Asignación de la clase en la escala Bonus-Malus.
  - a. En el caso de no sufrir siniestros:
    - Si la clase en el período pasado era igual o inferior a 10 (zona neutra o Bonus), a cada vencimiento descenderá una clase.

- Si el nivel en el período pasado era igual o superior a 11 (zona Malus), el primer año descenderá una clase y el segundo año consecutivo sin siniestros, regresará a la clase inicial (zona neutra).

Este tipo de bonificación se conoce como cláusula de retorno rápido.

b. En el caso de sufrir algún siniestro:

- Si la clase en el período pasado era igual o inferior a 10 (zona neutra o Bonus), por cada siniestro subirá dos clases.
- Si el nivel en el período pasado era igual o superior a 11 (zona Malus), por cada siniestro subirá tres clases.
- Si la clase en el período pasado era la 9 y el número de siniestros es 1, la nueva clase será la 10 (zona neutra).

A partir de esta información, podemos diseñar una tabla de corrección de las primas para la entidad aseguradora que utiliza este sistema. Para completar esta tabla partiremos de la clase inicial con un valor igual a 100. A continuación, para obtener el valor de la prima que debe pagar un asegurado que causa  $y$  accidentes en  $t$  períodos, utilizaremos las normas de transición (penalizaciones o bonificaciones) establecidas para esa situación en el sistema de la entidad aseguradora. Para finalizar, asignaremos a cada celda  $(t, y)$  el valor de la clase de destino tras aplicar las correcciones necesarias.

Como se puede observar en la Tabla 1, la tabla obtenida para el sistema aplicado está incompleta en sus celdas. Este hecho deriva de la utilización de la cláusula de retorno rápido. Si un asegurado permanece dos años libre de siniestros no puede estar situado en una clase superior a la inicial, por ello se le traslada directamente a esta clase. En definitiva, este sistema es un proceso con memoria<sup>3</sup> que diferencia a aquellos asegurados sobre los que ha de aplicar la cláusula de retorno rápido.

---

<sup>3</sup> Hemos de conocer cuál ha sido la siniestralidad del asegurado en los dos años anteriores para determinar a qué clase lo asignamos en el período precedente.

t	Accidentes acumulados					
	0	1	2	3	4	5
0	100					
1	90	120	150	250	400	400
2	80	110	Depende del momento en que ocurran los accidentes			
3	70	100				
4	65	90				
5	60	80				
6	55	70				
7	50	65				
8	45	60				
9	45	55				

Tabla 1. Prima base y primas corregidas en el sistema aplicado.

Como ya hemos apuntado, y como demostraremos en el siguiente apartado, este tipo de sistemas presentan dos inconvenientes destacables. En primer lugar, no presentan un equilibrio financiero a largo plazo, es decir, una acumulación excesiva de asegurados en las clases con bonificaciones lo convierten en un sistema deficitario, a no ser que se compense con una sobrecarga en la prima base. El SBM óptimo univariante que presentamos a continuación, intenta solucionar este primer inconveniente. En segundo lugar, los sistemas aplicados no tienen en cuenta la correlación que se establece con la tarificación *a priori*, previa a su aplicación. Para salvar este desajuste entre las dos fases de la tarificación, y manteniendo el equilibrio financiero propio de los sistemas óptimos, también proponemos y damos a conocer el SBM óptimo integrado o multivariante.

## 2.2 Sistema Bonus-Malus óptimo univariante

Para establecer el mecanismo de cálculo de un SBM óptimo debemos partir de una serie de hipótesis generales. En el caso del sistema óptimo univariante vamos a seguir las hipótesis del modelo de Bichsel (1964), que son las siguientes:

- Cada riesgo  $i$  está caracterizado por un parámetro de riesgo  $\lambda_i$  siendo  $i = 1, 2, \dots, s$ . Donde  $s$  es el número total de riesgos.

- Las variables aleatorias número de siniestros del riesgo  $i$  en cada período  $j$ , dado el parámetro  $\lambda_i$ , son independientes y están idénticamente distribuidas según una ley Poisson de parámetro  $\lambda_i$ :  $N_{ij} | \lambda_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i)$  siendo  $j = 1, 2, \dots, t$ . Y donde  $t$  es el número total de períodos observados.
- Los parámetros de riesgo  $\lambda_i$  son independientes y están idénticamente distribuidos según una ley de probabilidad Gamma de parámetros  $a$  y  $b$ :  $\lambda_i \sim \Gamma(a, b)$ .

Si observamos el número de siniestros del riesgo  $i$  durante  $t$  períodos  $(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it})$  podemos estimar la frecuencia media de siniestralidad,  $\hat{\lambda}_i$ , mediante un enfoque bayesiano. Así pues, sea  $(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it})$  una muestra aleatoria simple procedente de  $N_{ij} | \lambda_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i)$ , y sea la distribución *a priori* del parámetro  $\lambda_i$  una Gamma de parámetros  $a$  y  $b$  ( $\lambda_i \sim \Gamma(a, b)$ ). Si establecemos la función de pérdida cuadrática como referencia:  $L(\lambda_i, \hat{\lambda}_i) = (\hat{\lambda}_i - \lambda_i)^2$ , el estimador de Bayes para  $\lambda_i$  es aquel que minimiza el valor esperado de la pérdida *a posteriori*, que en las condiciones establecidas, nos define como estimador del parámetro  $\lambda_i$  el valor esperado de la distribución *a posteriori* del parámetro  $\lambda_i$ :

$$\hat{\lambda}_i(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it}) = E[\lambda_i | (n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it})].$$

Si tenemos en cuenta que la distribución *a posteriori* del parámetro  $\lambda_i$  es una Gamma de parámetros  $a + n_{i\cdot}$  y  $b + t$ , es decir,  $\lambda_i | (n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it}) \sim \Gamma(a + n_{i\cdot}; b + t)$ , entonces su valor esperado será,

$$\hat{\lambda}_i(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it}) = \frac{a + n_{i\cdot}}{b + t} = \frac{b}{b + t} \cdot \left(\frac{a}{b}\right) + \frac{t}{b + t} \cdot \left(\frac{n_{i\cdot}}{t}\right), \text{ con } n_{i\cdot} = \sum_{j=1}^t n_{ij}.$$

De la expresión anterior, podemos observar que la estimación del número medio de siniestros para cada individuo no es más que la ponderación entre su propio número medio de siniestros y el del total de la cartera o media *a priori*. Podemos ver que cuanto mayor sea el historial de siniestralidad que disponemos del asegurado ( $t \rightarrow \infty$ ), mayor será la ponderación relativa que daremos a la media muestral

individual. En cambio, si tenemos poca experiencia de ese asegurado la ponderación relativa dada a la media *a priori* será mayor.

Por otro lado, cabe destacar que el parámetro  $b$ , que define la distribución del parámetro  $\lambda_i$ , es un indicador de la heterogeneidad de la cartera. Si el parámetro toma un valor casi nulo ( $b \rightarrow 0$ ) nos indicará que en la cartera existe heterogeneidad entre los riesgos asegurados, y estará justificando la aplicación del sistema de corrección de la prima para adecuar la prima al riesgo real del individuo.

En definitiva, los factores del SBM, que llamaremos FBM, para un individuo que ha declarado  $n_i$  siniestros en  $t$  años son el porcentaje de incremento o decremento de la prima base *a priori*,

$$FBM(n_i, t) = \frac{\hat{\lambda}_i(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it})}{E(\lambda_i)} = \frac{a+n_i/b+t}{a/b} = \frac{a+n_i}{b+t} \cdot \frac{b}{a}$$

En la Tabla 2, como en la correspondiente al sistema aplicado, también hemos construido la tabla de correcciones de las primas.

Accidentes acumulados						
t	0	1	2	3	4	5
0	100					
1	82	217	351	485	620	754
2	70	184	298	412	526	640
3	61	160	259	358	457	556
4	54	141	229	317	404	492
5	48	127	205	284	362	441
6	44	115	186	257	328	399
7	40	105	170	235	300	365
8	37	97	156	216	276	336
9	34	89	145	201	256	312
10	32	83	135	187	239	290

Tabla 2. Prima base y primas corregidas en el sistema óptimo univariante.

Este sistema está financieramente equilibrado, es decir, en todo momento presenta la estabilidad financiera o equilibrio técnico deseable debido a que la media de las frecuencias de siniestros individuales es igual a la frecuencia media *a priori* de todo el colectivo:

$$E\left[\hat{\lambda}_i(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it})\right] = \frac{a}{b}.$$

En otras palabras, las bonificaciones que se otorgan a los buenos conductores vienen compensadas, en su totalidad, por los recargos que imponemos a los conductores con siniestralidad. De este modo, globalmente, aplicar la tarificación *a posteriori* tiene el mismo efecto en las cuentas de la compañía que no aplicarlo.

Si bien esta propiedad resulta, desde un punto de vista técnico, muy interesante, conlleva la aplicación de bonificaciones más reducidas y de penalizaciones más severas que los sistemas aplicados, actualmente en uso. Desde el punto de vista comercial, estas características pueden ser no deseables y, de hecho, representan la mayor crítica a este tipo de sistemas.

### 2.3 Sistema Bonus-Malus óptimo multivariante o integrado

Como ya hemos comentado, una correcta aproximación a la tarificación *a posteriori* debe englobar todos los factores de riesgo *a priori* y *a posteriori* en el mismo análisis, para ello presentamos una modificación del sistema óptimo anterior, el SBM óptimo integrado.

Consideremos una cartera con  $s$  pólizas y la variable aleatoria  $N$ , número de siniestros declarados por una póliza durante un período. El actuario dispone de un conjunto de variables observadas  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_k\}$  (edad, potencia, etc.) para explicar la variable aleatoria. No obstante,  $N$  también depende de otras variables no observables  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots\}$  (reflejos, agresividad, etc.). Por lo tanto, las variables que definen el riesgo son  $\Omega = X \cup Z$  y la “verdadera” media de siniestralidad  $E[N|\Omega]$ . Sin embargo, *a priori*, el actuario sólo puede estimar  $E[N|X]$ . En el proceso de la tarificación *a priori*, el actuario

asume una varianza residual en su estimación. Una parte de dicha variabilidad es debida a las variaciones sobre los siniestros esperados explicados por las características no observadas  $Z$ . Esta parte de la heterogeneidad residual es la que puede ser corregida por un sistema de tarificación *a posteriori*.

La idea que justifica la tarificación *a posteriori* es que la experiencia de siniestralidad ( $N^*$ ) de cada póliza nos informa sobre las características no observables  $Z$ . De esta manera, la información contenida en  $(X, N^*)$  llega a ser similar a  $\Omega = X \cup Z$  a medida que pasa el tiempo y acumulamos información del asegurado. Así pues, parece obvia la correlación que existe entre las dos fases de tarificación: si el asegurador incorpora más variables *a priori* para explicar  $N$ , entonces se reduce la heterogeneidad residual de la cartera y la necesidad de correcciones *a posteriori*.

Como ya se ha dicho, el procedimiento habitual de tarificación consta de dos fases, en la primera, a partir de ciertas variables observables, se calculan las primas *a priori* para cada subgrupo o clase de asegurados; en la segunda, un único sistema de corrección de las primas se aplica a todas ellas. Este procedimiento, ampliamente utilizado, es desde el punto de vista metodológico, erróneo por dos razones. En primer lugar, el SBM debe corregir las primas por la heterogeneidad residual que existe dentro de cada clase, causada por las variables no observadas  $Z$ . Por lo tanto, la corrección ha de ser distinta para cada clase. En segundo lugar, como hemos visto, el sistema aplicado y el sistema óptimo univariante no tienen en cuenta las variables explicativas  $X$  y, por lo tanto, son función de la heterogeneidad global de la cartera ( $\Omega = X \cup Z$ ), la que existe antes de aplicar la tarificación *a priori*. En otras palabras, aplicar estos SBM sobre la prima base *a priori* de cada clase, es penalizar otra vez (después de las correcciones *a priori*) a las pólizas con alto riesgo y premiar de nuevo a las que tienen menor riesgo, según las características  $X$ , cuando sólo lo deberían hacer para corregir la heterogeneidad debida a las variables no observables  $Z$ .

Por todo ello, o aplicamos el SBM sobre una única prima base, sin tarificación *a priori*, o bien, proponemos un SBM que integre adecuadamente las dos tarificaciones.

Así pues, cuando exista una tarificación previa *a priori*, que establezca grupos “homogéneos” dentro de la cartera, debemos fijar otro tipo de hipótesis para definir un SBM que tenga en cuenta la información recogida en la segmentación de la cartera. Las hipótesis serán las siguientes:

– Cada grupo de riesgo  $i$  en el período  $j$  está caracterizado por un parámetro de riesgo  $\lambda_{ij}$  (valor esperado del grupo  $i$  en el período  $j$ ), con  $i = 1, 2, \dots, s$  (siendo  $s$  el número de clases o grupos) y  $j = 1, 2, \dots, t$  (siendo  $t$  el número de períodos observados).

• El comportamiento del parámetro  $\lambda_{ij}$  puede ser modelizado a través de las características observables sobre el individuo:

$$\lambda_{ij} = \exp(X_{ij} \cdot \beta_i + \varepsilon_i) = \exp(X_{ij} \cdot \beta_i) \cdot U_i,$$

donde,  $X_{ij}$  recoge las  $k$  características individuales del asegurado  $i$  observables en el momento  $j$  y  $\varepsilon_i$  refleja la posible omisión de características no observables o efectos puramente aleatorios.

• Los parámetros de riesgo que recogen las características no observables o los efectos puramente aleatorios,  $U_i$ , son independientes y están idénticamente distribuidos según una distribución de probabilidad Gamma de parámetro  $a$  (que denotaremos  $U_i \sim \Gamma(a, a)$ ). Tal y como hemos definido estos términos de perturbación, en promedio no tienen efecto sobre el número de siniestros, ya que su valor esperado es igual a uno.

• Las variables aleatorias número de siniestros del grupo de riesgo  $i$  dado el parámetro  $\lambda_{ij}$  son independientes y están idénticamente distribuidas según una Binomial Negativa.

Si disponemos del número de siniestros del riesgo  $i$  durante  $t$  períodos ( $n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it}$ ) y seguimos otra vez el enfoque bayesiano, obtenemos la distribución *a posteriori* del factor aleatorio  $U_i$ :

$$U_i | (n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it}) \sim \Gamma(a + n_{i\cdot}, a + \lambda_{i\cdot}), \text{ con } n_{i\cdot} = \sum_{j=1}^t n_{ij} \text{ y } \lambda_{i\cdot} = \sum_{j=1}^t \lambda_{ij}.$$

En estas condiciones, el estimador de Bayes para  $\lambda_{ij}$  será:

$$\hat{\lambda}_{ij}(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it}) = E[\lambda_{ij} | (n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it})] = E[\exp(X_{ij} \cdot \beta_i) \cdot U_i | (n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it})]$$

$$\hat{\lambda}_{ij}(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it}) = E[\lambda_{ij} | (n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it})] = E[\exp(X_{ij} \cdot \beta_i) \cdot U_i | (n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{it})]$$

$$\hat{\lambda}_{ij}(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{in}) = E[\exp(X_{ij} \cdot \beta_i) | (n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{in})] \cdot E[U_i | (n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{in})]$$

$$\hat{\lambda}_{ij}(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{in}) = \exp(X_{ij} \cdot \hat{\beta}_i) \cdot \frac{a + n_{in}}{a + \lambda_{in}} = (\text{Prima base})_i \cdot \text{FBM}_i$$

A partir de esta expresión, que permite calcular las primas en un SBM integrando ambas tarificaciones, podemos concluir que, cuanto más grande sea la varianza de las perturbaciones (las variables no observables explican en gran parte la siniestralidad) mayor es el peso asociado al historial de siniestralidad de la póliza.

Para ilustrar las afirmaciones realizadas sobre las características del sistema multivariante se presenta la Tabla 3. En la misma se pueden observar la prima base y las primas corregidas en un sistema integrado. En concreto estos valores corresponden a un grupo de edad determinado y a un área de circulación prefijada, puesto que estos dos factores de riesgo han sido los seleccionados en el diseño del sistema integrado. Pero no olvidemos que en este sistema no tenemos una única tabla de correcciones, sino que tenemos tantas como grupos de riesgo hayamos establecido en la tarificación *a priori*.

		Accidentes acumulados					
t	0	1	2	3	4	5	
0	100						
1	86	187	288	389	490	591	
2	76	165	254	343	431	520	
3	68	147	227	306	386	465	
4	59	129	198	267	336	406	
5	53	114	176	237	298	360	
6	47	103	158	213	268	323	
7	43	93	143	193	243	294	
8	39	85	131	177	223	269	
9	36	79	121	163	206	248	
10	34	73	112	151	191	230	

Tabla 3. Prima base y primas corregidas en el sistema óptimo integrado

Para una comprensión más detallada de los sistemas óptimos, aquí resumidos, el lector puede dirigirse a Lemaire (1995), Guillén et al. (2003), Bermúdez et al. (2001) y Morillo y Bermúdez (2003). En las

dos últimas referencias, se presenta una variedad del SBM óptimo multivariante o integrado, el denominado SBM óptimo exponencial. Este sistema trata de dar una salida a la crítica que, desde un punto de vista comercial, reciben los sistemas óptimos.

En los sistemas óptimos descritos hasta el momento se ha utilizado para la estimación del FBM una función de pérdida cuadrática, que como hemos visto conducen a unas penalizaciones muy elevadas, siendo el problema más grave para los riesgos con una prima *a priori* menor. Desde el punto de vista de los asegurados, este sistema puede parecer injusto. De hecho, con la pérdida cuadrática las desviaciones positivas en la estimación del FBM, respecto de su valor teórico (sobrecargas), son tratadas del mismo modo que las desviaciones negativas (infracargas). Para solucionar este inconveniente el SBM exponencial utiliza una función de pérdida exponencial, donde la simetría entre sobrecargas e infracargas se rompe. Y, en tal caso, se recoge el sentimiento del asegurado que pagar demasiado por su seguro es más preocupante que no pagar lo suficiente. Por ello, el SBM exponencial, al favorecer a los asegurados, puede resultar más atractivo desde el punto de vista comercial.

### 3. Comparación entre los diferentes SBM

Una vez establecidas las características y las diferencias en la forma de construir la tabla de correcciones en los distintos sistemas de tarificación *a posteriori* es el momento de confrontarlos a una situación real. En concreto, vamos a partir del sistema en uso de una entidad aseguradora española (sistema aplicado) y lo compararemos con los sistemas óptimos (univariante y multivariante) que construiremos sobre la información disponible de una cartera real de seguros de automóvil.

Cuando llevemos a cabo esta comparación debemos tener presente que la mayoría de sistemas aplicados presentan una serie de inconvenientes. Como ya hemos comentado, uno de los principales problemas es la utilización de penalizaciones mucho menos severas que en los sistemas óptimos. El segundo factor que influye en el sistema, e íntimamente ligado con el anterior, es la excesiva acumulación de los asegurados en las zonas Bonus frente a una paupérrima ocupación de las zonas Malus.

La suma de estos dos inconvenientes tienen un claro reflejo sobre el valor de la prima media de los asegurados en esa cartera. Por este motivo vamos a dedicar las próximas líneas a constatar los efectos sobre la distribución de los asegurados y sobre la prima media de valerse de un sistema aplicado o de sus versiones óptimas como mecanismo de corrección.

Así pues, analizando la evolución de los sistemas durante un período de 30 años (momento en que la mayoría de sistemas alcanza el nivel estacionario) nos permite constatar el cumplimiento o no de las características técnicas en cada uno de los sistemas. Para llevar a cabo este análisis debemos observar en primer lugar las probabilidades de transición en 30 períodos,  $a(\lambda)$ , presentadas en la Tabla 4, y utilizarlas en el cálculo de la prima media estacionaria, que también aparece en la misma.

Estas probabilidades nos permiten valorar la probabilidad de trasladarse de una clase a otra utilizando para ello  $n$  transiciones. En concreto, si observamos las probabilidades en los sistemas aplicados constatamos que estos sistemas no consiguen discriminar los riesgos individuales y, en consecuencia, no clasifican a los asegurados de una forma efectiva. Es decir, los sistemas aplicados ofrecen una acumulación excesiva de asegurados en las clases con bonificaciones frente a una paupérrima ocupación de las clases penalizadas, resultando financieramente desequilibrados.

Esta situación conduce a un descenso progresivo del nivel de prima medio a lo largo de la vida del sistema. Por lo tanto, las penalizaciones recaudadas resultan insuficientes para hacer frente a todas las bonificaciones otorgadas, puesto que el sistema está clasificando como buenos conductores a asegurados que no tienen una siniestralidad media inferior a la de la cartera, sino que tienen una siniestralidad inferior a la utilizada en el diseño del sistema de corrección de las primas. Para que el sistema no resulte deficitario, como consecuencia directa de este desequilibrio, la compañía debe sobrecargar la prima base para aquellos conductores que quieran acceder al sistema (conductores inexpertos o nuevos asegurados provenientes de otros sistemas).

Frente a la precaria situación de los sistemas aplicados, el análisis de los sistemas óptimos (univariante o multivariante) nos confirma el cumplimiento de todos los supuestos establecidos sobre sus propiedades. Además obtenemos una distribución equilibrada de los asegurados entre las clases del sistema. Así mismo como resultado de la adecuada clasificación de los individuos obtenemos un nivel de prima medio estable en su valor inicial, evitando la sobrecarga de los nuevos asegurados que acceden al sistema. Por lo tanto, los sistemas óptimos discriminan los niveles de riesgo de una forma efectiva y mantienen el nivel de prima medio estable, garantizando el cumplimiento de los requisitos de equilibrio financiero.

Clase	Sistema aplicado		Sistema óptimo Univariante		Sistema óptimo Multivariante	
	Prima	$a(\lambda)$	Prima	$a(\lambda)$	Prima	$a(\lambda)$
30			680	3,56E-12	476	1,00E-10
29			657	9,27E-12	461	2,52E-10
28			635	3,29E-11	446	8,63E-10
27			613	1,15E-10	431	2,90E-09
26			591	3,97E-10	415	9,54E-09
25			569	1,35E-09	400	3,07E-08
24			546	4,52E-09	385	9,69E-08
23	400	1,19E-05	524	1,49E-08	369	2,98E-07
22	325	9,07E-06	502	4,81E-08	354	8,96E-07
21	325	1,14E-05	480	1,53E-07	339	2,62E-06
20	250	5,17E-06	458	4,74E-07	324	7,44E-06
19	250	8,53E-06	435	1,44E-06	308	2,05E-05
18	180	2,20E-05	413	4,28E-06	293	5,48E-05
17	180	4,81E-06	391	1,24E-05	278	1,41E-04
16	150	3,83E-05	369	3,47E-05	262	3,50E-04
15	150	0,0000	347	0,0001	247	0,0008
14	130	0,0000	324	0,0002	232	0,0019
13	130	0,0000	302	0,0006	217	0,0041
12	120	0,0002	280	0,0015	201	0,0085
11	120	0,0000	258	0,0036	186	0,0166
10	110	0,0002	235	0,0079	171	0,0302
9	100	0,0011	213	0,0165	156	0,0512

Clase	Sistema aplicado		Sistema óptimo Univariante		Sistema óptimo Multivariante	
	Prima	$a(\lambda)$	Prima	$a(\lambda)$	Prima	$a(\lambda)$
8	90	0,0022	191	0,0320	140	0,0798
7	80	0,0036	169	0,0576	125	0,1134
6	70	0,0077	147	0,0944	110	0,1444
5	65	0,0120	124	0,1383	94	0,1616
4	60	0,0281	102	0,1764	79	0,1547
3	55	0,0368	80	0,1887	64	0,1215
2	50	0,1121	58	0,1589	49	0,0736
1	45	0,0974	36	0,0939	33	0,0305
0	45	0,6984	13	0,0293	18	0,0065
<b>Prima media</b>	<b>47,12</b>		<b>100,00</b>		<b>100,76</b>	

Tabla 4. Distribución de los asegurados entre las clases (probabilidades en 30 transiciones) y prima media en los diferentes sistemas de corrección de la prima.

En resumen, el análisis de las probabilidades de transición (distribución de los asegurados entre las clases) y el valor obtenido para la prima media estacionaria nos permite constatar la debilidad de los sistemas aplicados frente a los sistemas óptimos.

Además, todos los desequilibrios observados en el sistema aplicado tienen un único origen común: la disparidad entre la frecuencia media utilizada en el diseño del sistema y la real de la cartera. Todos estos inconvenientes se ven superados si aplicamos los sistemas óptimos, puesto que se caracterizan por utilizar la frecuencia media real en cada momento. Es decir, diseñamos las correcciones de la prima en función de la evolución de la siniestralidad media del asegurado. Así pues, el equilibrio observado en los sistemas óptimos tiene su origen en la adaptación de las bonificaciones y de las penalizaciones del sistema en función de la evolución de la frecuencia media del asegurado en cada momento, en lugar de mantener un patrón estático en el diseño del sistema. Ésta es la gran diferencia respecto a los sistemas aplicados.

Podemos concluir que, los sistemas óptimos aplican las correcciones necesarias y suficientes en cada situación. Una vez más, los argumentos establecidos en el diseño de estos sistemas óptimos se confirman:

- La distribución de los asegurados entre las clases se ajusta a una selección adecuada de los diferentes niveles de riesgo individual.
- El equilibrio financiero entre las primas de las diferentes clases permanece estable en todo momento.

#### **4. Análisis de la dureza: solidaridad *versus* severidad**

Una vez hemos llevado a cabo el análisis de los diferentes sistemas presentados y hemos constatado las debilidades que presentan los sistemas aplicados frente a las cualidades de los sistemas óptimos, se nos plantean nuevas preguntas sobre estos sistemas. En concreto, nos preguntamos sobre la idoneidad en el uso de los sistemas óptimos frente a los aplicados.

Si bien ha quedado demostrado que los sistemas óptimos cumplen todas las propiedades deseables de un sistema de corrección de la prima, nos queda por constatar si este equilibrio técnico tiene asociado también un equilibrio comercial. Es decir, tenemos que constatar cuál es el efecto de aplicar cada uno de estos sistemas sobre una cartera de asegurados. En otras palabras, debemos evaluar cuál es la percepción de dureza que provoca la aplicación de cada uno de estos sistemas y, por consiguiente, su viabilidad comercial.

Una evaluación similar de la rigidez de los sistemas de tarificación, pero estableciendo las comparaciones a nivel territorial, se puede ver en Lemaire (1995). En concreto, presenta la comparación de 26 sistemas diferentes correspondientes a 19 países. La finalidad de esta comparación es determinar la rigidez o dureza de los sistemas analizados a través de un instrumento estadístico.

A partir de esta idea, compararemos el sistema aplicado, el sistema óptimo univariante y el óptimo multivariante. La evaluación de los dos primeros, al tratarse de sistemas univariantes, no supone dificultad alguna, puesto que es aplicación directa de la metodología presentada en Lemaire (1995). En cambio, el tercer sistema se caracteriza por la coexistencia de tantas tablas de tarificación como grupos de riesgos definamos sobre la cartera. En tal caso, la aplicación directa de la

metodología se ve limitada a una evaluación individual de cada segmento.

Ante esta limitación nos planteamos cuál sería la mejor forma de comparar la dureza de los sistemas univariantes con la de los sistemas multivariantes, sin restringirnos a una comparación a nivel individual. Así pues, optamos por definir una nueva medida de la dureza *global* del colectivo teniendo en cuenta todas las tablas individuales que forman el conjunto del sistema. Este nuevo instrumento nos permitirá poder evaluar la dureza global del sistema y, a su vez, la dureza parcial de ciertos colectivos con alguna característica en común, como por ejemplo: por grupos de edades o por zonas de circulación.

En resumen, nuestro próximo objetivo será establecer la dureza de cada uno de los grupos de riesgos definidos sobre la cartera y, una vez obtenidos, estableceremos la forma de combinar estos resultados para llegar a calcular una medida de la dureza de ciertos colectivos particulares y una medida global de la cartera que nos permita comparar los sistemas univariantes con los sistemas multivariantes.

Para llevar a cabo el desarrollo de este nuevo instrumento, debemos considerar los instrumentos estadísticos presentados en Lemaire (1995) como indicadores de la severidad del sistema. En concreto, el autor nos presenta los siguientes indicadores: el nivel estacionario medio, el coeficiente de variación de las primas, la elasticidad de las primas y la retención óptima media. La aplicación de estos instrumentos sobre los 26 sistemas presentados en su estudio y el posterior análisis de los resultados le permitió concluir que el mejor indicador de la dureza del sistema es el coeficiente de variación. Con este indicador se pretende dar una medida de la variabilidad de la prima en su nivel estacionario, demostrando que la introducción del SBM proporciona una reducción del nivel de variabilidad del sistema.

A partir de las conclusiones extraídas por Lemaire (1995) es inmediato establecer que si queremos construir un nuevo indicador de la dureza *global* sobre el sistema multivariante, éste tendrá que basarse en el instrumento que mejor determine la severidad del sistema.

#### **4.1 El coeficiente de variación como indicador de dureza**

La naturaleza del seguro se fundamenta en un contrato entre dos partes. La característica que diferencia a este contrato de cualquier otro es la causa por la cual se decide firmar este contrato. El motivo que provoca el nacimiento del contrato de seguro es la aparición de una situación de riesgo, entendiendo como tal cualquier perjuicio personal y/o material que un individuo puede sufrir como consecuencia de un hecho que escapa a su control.

Ante la incertidumbre que provoca esta situación de riesgo, las partes firmantes del contrato de seguro deciden realizar una transferencia del riesgo desde el asegurado al asegurador a cambio de una contraprestación económica. En esta situación, el asegurado transfiere todas las posibles consecuencias derivadas del riesgo al asegurador que se hará responsable de todas las acciones derivadas del mismo.

Esta transferencia de riesgo puede realizarse de forma total o condicionada al número de siniestros acaecidos durante la vigencia del seguro. Así, en el caso que se produzca una transferencia total del riesgo, el asegurado paga una prima constante que no se altera aunque sufra o cause algún siniestro. Es decir, las primas que pagan los asegurados no sufren ningún tipo de modificación y, por lo tanto, la variabilidad de las primas es cero y, diremos que existe una solidaridad perfecta entre los asegurados, puesto que comparten los costes de los siniestros entre todos. Una transferencia de este tipo viene ligada a una concepción mutualista del seguro, es decir, a la cooperación entre los miembros asegurados para subsanar los daños sufridos por aquellos individuos que por azar han sufrido las consecuencias del riesgo.

Por el contrario, si la transferencia de riesgo se realiza condicionada al número de siniestros, las primas varían de año en año en función del historial de siniestros de cada asegurado. Es decir, estaremos aplicando un modelo de corrección de la prima en función de la siniestralidad observada, que hemos estado llamando SBM y, por lo tanto, las primas de los asegurados se personalizan y cada uno asume sus propios costes derivados de la divergencia entre su propia frecuencia y la frecuencia media de la cartera. En esta situación se debilita la cooperación entre los asegurados, anteriormente enunciada como solidaridad.

Una vez considerada la transferencia que se produce entre asegurado y aseguradora, tenemos que considerar qué relación existe entre esta transferencia y la calificación del sistema como severo. En concreto, si la variación de la prima ante un siniestro es elevada, es decir, se transfiere una gran parte de las pérdidas o costes causados por el siniestro, el sistema se considerara como severo. Por el contrario, si la transferencia de las pérdidas o costes es pequeña se dirá que el sistema es poco severo.

Como nuestro objetivo es la comparación entre los diferentes sistemas se propone, como indicador de la variabilidad de las primas, el coeficiente de variación. La elección de este instrumento se fundamenta en la ventaja de ser un indicador adimensional que permite la comparación entre diferentes distribuciones. Así pues, se define el coeficiente de variación (CV) con la expresión siguiente:

$$CV = \frac{D.S.(PR)}{PR(\lambda)}$$

siendo,  $D.S.(PR)$  la desviación estándar de las primas a nivel estacionario y  $PR(\lambda)$  la prima media estacionaria para una frecuencia media de siniestros  $\lambda$ . En definitiva, este índice evalúa la reducción en la variabilidad de la prima introducida al aplicar un SBM, puesto que nos da una referencia sobre la proporción de costes que se transfiere al asegurado después de sufrir algún siniestro.

Para facilitar la interpretación del CV pasaremos a definir un índice que toma valores en el intervalo  $[0, 1]$ . Para conseguirlo se divide el CV de las primas a nivel estable entre el valor del coeficiente de referencia<sup>4</sup>. Así pues tenemos que:

- Un índice igual a 1 se corresponde con una total transferencia de los costes, es decir, el asegurado se hace cargo del 100% del coste, y es equivalente a no estar asegurado.

---

<sup>4</sup> Ver Lemaire (1993).

- Un índice igual a 0 se corresponde con una falta de transferencia de los costes a los asegurados. Es por lo tanto, equivalente a estar asegurado pero sin tener en cuenta el historial de siniestros.
- Los valores intermedios de este índice, por ejemplo si el índice resultara del 7%, representa que la Aseguradora transfiere el 7% de los costes al asegurado (porcentaje retenido) y, en consecuencia, se reduce la variación de los pagos en un 93% (porcentaje transferido).

Una vez conocemos los detalles de este indicador de severidad ha llegado el momento de extrapolar esta definición inicial para poder aplicarla a todos los grupos de riesgo que forman el sistema multivariante. En concreto, podemos establecer el CV por tipo de asegurado,  $CV_i$ , para poder evaluar el grado de dureza de cada grupo de riesgo, y para ello describiremos la expresión anterior de la siguiente forma:

$$CV_i = \frac{D.S.(PR_i)}{PR(\lambda_i)} = \frac{\sqrt{2 \sum_{j=1}^s (PR_{ij} - PR(\lambda_i))^2 \cdot W_{ij}}}{PR(\lambda_i)}$$

siendo  $D.S.(PR_i)$  la desviación estándar de las primas a nivel estacionario correspondiente al tipo de asegurado  $i$ ;  $PR(\lambda_i)$  la prima media estacionaria correspondiente al tipo de asegurado  $i$  con una frecuencia media de siniestros  $\lambda_i$ ;  $s$  el número de clases de primas que forman el sistema multivariante;  $PR_{ij}$  la prima correspondiente a un asegurado que pertenecen al tipo de asegurado  $i$  y está en la clase  $j$  del sistema; y  $W_{ij}$  el porcentaje de asegurados de la cartera que pertenecen al tipo de asegurado  $i$  y está en la clase  $j$  del sistema.

Tipo de asegurado	Número de asegurados	Frecuencia esperada media	Prima media	Coefficiente Variación
Tipo 1	38	0,1341	100,76	0,3796
Tipo 2	125	0,0924	100,76	0,4575
Tipo 3	293	0,1341	100,76	0,3796
Tipo 4	210	0,0935	100,76	0,4547
Tipo 5	374	0,1040	100,76	0,4312

Tipo de asegurado	Número de asegurados	Frecuencia esperada media	Prima media	Coefficiente Variación
Tipo 6	91	0,1839	100,00	0,3774
Tipo 7	325	0,1266	100,00	0,4548
Tipo 8	649	0,1839	100,00	0,3774
Tipo 9	515	0,1282	100,00	0,4520
Tipo 10	773	0,1425	100,00	0,4287
Tipo 11	65	0,1839	100,00	0,3774
Tipo 12	69	0,1266	100,00	0,4548
Tipo 13	146	0,1839	100,00	0,3774
Tipo 14	121	0,1282	100,00	0,4520
Tipo 15	164	0,1425	100,00	0,4287

Tabla 5. Distribución de los asegurados según sus características de edad y zona de circulación: número de asegurados, frecuencia esperada media, prima media y CV en cada grupo de riesgo.

Una vez tenemos clara la forma del instrumento que vamos a priorizar como básico para el estudio de la dureza de los SBM, se nos plantean diferentes cuestiones relativas a cómo vamos a conjugar los diferentes coeficientes individuales obtenidos a partir de cada una de las quince tablas que forman el sistema multivariante para obtener esa nueva medida global.

La primera idea que podría surgir al pensar en una medida global, sería tratar el sistema como una unidad sin tener en cuenta que existen diferentes segmentos de tarificación. Pero esta forma de actuación presenta como principal inconveniente que estamos obviando la estructura que caracteriza a estos sistemas. Si prescindimos de la existencia de los diferentes segmentos y sobre todo despreciamos considerar que estos estratos están desigualmente poblados no estaremos dando una imagen correcta de la percepción de dureza que tiene la cartera. Así pues, tenemos en primer lugar el CV global *no ponderado*,  $CV_{NP}$ , que definiremos como si se tratará de un sistema con una única tabla de correcciones, siendo entonces la expresión de cálculo la siguiente,

$$CV_{NP} = \frac{D.S.(PR)}{PR(\lambda)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^s (PR_{ij} - PR(\lambda))^2 \cdot W_{ij}}}{PR(\lambda)}$$

siendo  $D.S.(PR)$  la desviación estándar de las primas a nivel estacionario para la cartera;  $PR(\lambda)$  la prima media estacionaria para la cartera con una frecuencia media de siniestros  $\lambda$ ;  $k$  y  $s$ , respectivamente, el número de grupos de riesgos y el número de clases de primas que forman el sistema multivariante;  $PR_{ij}$  la prima correspondiente a un asegurado que pertenece al tipo de asegurado  $i$  y está en la clase  $j$  del sistema; y  $W_{ij}$  el porcentaje de asegurados de la cartera que pertenecen al tipo de asegurado  $i$  y está en la clase  $j$  del sistema.

A partir de estas consideraciones establecidas sobre el CV global *no ponderado* se va a plantear como alternativa, más ajustada a las características de este tipo de sistemas, una conjugación de los sistemas individuales de tarificación teniendo en cuenta sus propias características individuales y su peso específico dentro de la cartera, el CV global *ponderado*,  $CV_P$ . Este nuevo instrumento se calcula a partir de los diferentes coeficientes obtenidos para cada tipo de asegurado ( $CV_i$ ) y de sus respectivos pesos específicos dentro de la cartera,  $W_i$ . En resumen, tenemos que este CV global será una media aritmética ponderada de la forma siguiente,

$$CV_P = \sum_{i=1}^k CV_i \cdot W_i = \sum_{i=1}^k \left( \frac{D.S.(PR_i)}{PR(\lambda_i)} \right) \cdot W_i$$

donde  $CV_i$  es el CV para el tipo de asegurado  $i$ ;  $W_i$  es el porcentaje de asegurados de la cartera que pertenecen al tipo de asegurado  $i$ ;  $k$  es el número de grupos de riesgos que forman el sistema multivariante;  $D.S.(PR_i)$  es la desviación estándar de las primas a nivel estacionario para el tipo de asegurado  $i$  y  $PR(\lambda_i)$  es la prima media estacionaria correspondiente al tipo de asegurado  $i$  con una frecuencia media de siniestros  $\lambda_i$ .

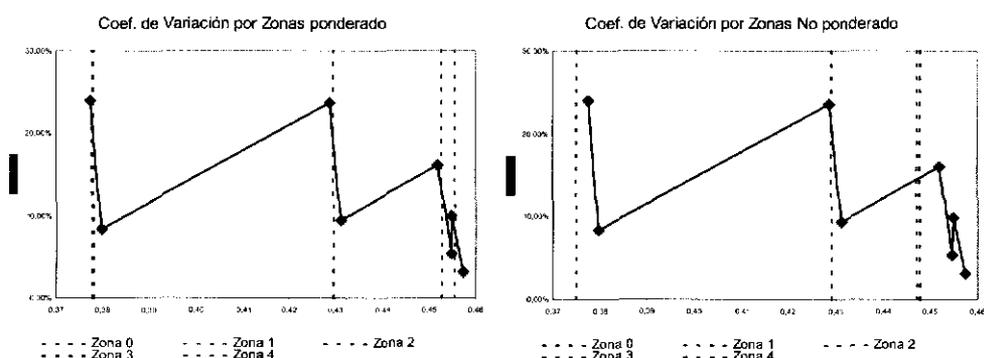
El análisis de la información relativa al CV global nos muestra resultados diferentes según hayamos optado por la opción *ponderada* o *no ponderada*. La característica que diferencia estos dos resultados es que al ponderar el instrumento estadístico alcanzamos valores superiores a los obtenidos sin ponderar. Esta diferencia se mantiene tanto a nivel global como si analizamos los segmentos de edad y de zona de circulación. Es decir, la cartera en su conjunto o por segmentos tendrá una mayor percepción de dureza si utilizamos un indicador ponderado.

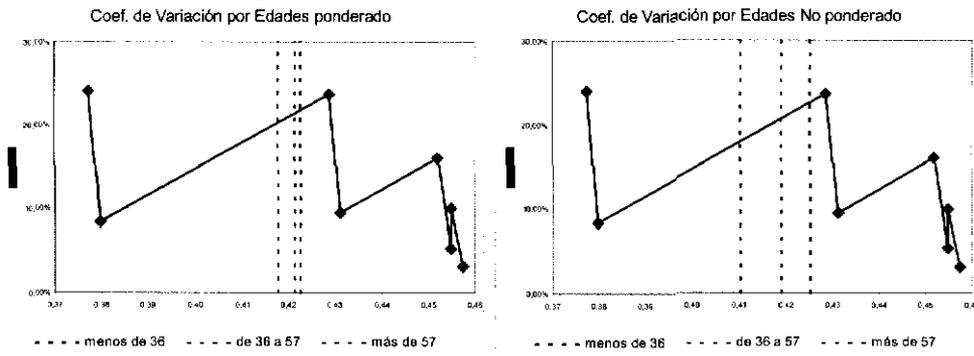
Núm. Aseg.	Frec. esperada media	Prima media	Global NO ponderado	Global Ponderado
3.958	0,1400	100,20	0,4187	0,4211

Tabla 6. Coeficiente de Variación Global ponderado y No ponderado.

En concreto para el caso de los segmentos de edad y de zona el análisis de los gráficos contiguos confirma que la ponderación de los resultados hace que obtengamos valores más similares entre sí que si optamos por la opción no ponderada. Es decir, la ponderación reduce las diferencias en la percepción de dureza obtenida en cada uno de los estratos.

En resumen, podemos concluir que a pesar que la ponderación o no de los resultados individuales conduce a resultados muy parejos, debemos decantarnos por una opción ponderada como medida global del grado de severidad. Esta elección parece razonable puesto que, nos ha proporcionado resultados adecuados a la cartera, respeta la existencia de diferentes segmentos dentro de la cartera, puesto que no prescinde de la existencia de más de una tabla de correcciones dentro del sistema, y, por último, considera que los estratos están desigualmente poblados, e introduce esta condición en la valoración global.





## 4.2 Conclusiones sobre la dureza de los sistemas

Una vez hemos concluido el análisis del instrumento estadístico de evaluación de la dureza de los sistemas, es el momento de llevar a cabo una síntesis de las principales conclusiones que podemos extraer sobre los sistemas analizados.

Así mismo, podemos señalar que el indicador de dureza, ya sea ponderado o no, es inferior al valor obtenido para el sistema óptimo univariante, pero resulta superior a los sistemas aplicados. Es decir, la utilización de un sistema con componente regresiva nos proporciona una percepción de dureza, ya sea a nivel individual (Tabla 5) o a nivel global (Tabla 6 y 7), inferior a la obtenida a partir de un sistema univariante.

Tipo de sistema	Coef. Variación
Sistema óptimo univariante	0,4797
Global Ponderado	0,4211
Global <i>NO</i> ponderado	0,4187
Sistema aplicado	0,1293

Tabla 7. Comparación del Coeficiente de Variación en cada uno de los sistemas presentados: aplicado, óptimo univariante, óptimo integrado (global ponderado y No ponderado).

Si nos detenemos a analizar esta clasificación podemos concluir que el sistema univariante resulta más severo que el sistema multivariante, puesto que transfiere un porcentaje mayor de los costes a los

asegurados. Esta mayor transferencia es necesaria porque el sistema óptimo sólo corrige la prima por siniestralidad y, en cambio, el sistema multivariante combina siniestralidad y características del asegurado. Esta diferencia hace que las correcciones aplicadas en el sistema univariante sean superiores a las aplicadas en el sistema multivariante. Esta consideración coincide con lo que denunciábamos en el apartado 1.3, aplicar un SBM univariante sobre la prima base *a priori* de cada clase, es penalizar otra vez a las pólizas con alto riesgo *a priori*.

En definitiva, podemos concluir, a partir de los resultados presentados en este cuadro, que las correcciones introducidas por los sistemas óptimos proporcionan una transferencia mayor del coste de los siniestros a los asegurados que los sistemas aplicados. Es decir, personalizan más cada riesgo y, por lo tanto, son menos solidarios o mutualistas.

A partir de estas conclusiones podemos retomar el debate que siempre ha existido entre la aplicación de los sistemas óptimos y su viabilidad comercial. El mercado siempre ha defendido que la aplicación de los sistemas óptimos se veía frenada por la imposibilidad comercial de sustentar estas correcciones, aunque éstas proporcionarían el equilibrio técnico. En estas líneas hemos demostrado que podemos evolucionar hacia los sistemas óptimos integrados, que cumplen las propiedades técnicas, y además proporcionan unas correcciones más suaves, a nivel individual y a nivel global, que el sistema óptimo univariante.

Si aún nos sigue preocupando que las correcciones del sistema integrado sean superiores a las del sistema aplicado existe otra posibilidad más. Esta posibilidad pasa por sustituir la función de pérdida cuadrática por la función de pérdida exponencial (ver apartado 1.3). El precio a pagar por esta sustitución es romper la simetría de las correcciones en pro de un mayor grado de satisfacción del asegurado desde el punto de vista comercial.

## **5. Conclusiones finales**

El debate sobre la idoneidad de los sistemas utilizados en la práctica por las entidades aseguradoras sigue candente en el sector y en el

entorno de la investigación (ver, por ejemplo, Pitrebois, et al., 2005 y 2006). Por este motivo nos hemos planteamos dar nuestra visión sobre la situación actual en el mercado español a través de este artículo.

Por lo tanto, la finalidad de este artículo era presentar las ventajas e inconvenientes de utilizar los sistemas óptimos integrados de tarificación *a posteriori* frente a los sistemas aplicados y óptimos univariantes. Y en concreto, las diferencias que existen a nivel de percepción de dureza entre los dos sistemas óptimos y el sistema aplicado. También, en este apartado, queremos apuntar algunas consideraciones sobre las repercusiones que en el ejercicio de la actividad aseguradora puede suponer la aplicación de los distintos tipos de tarificación *a posteriori*.

El análisis de las diferentes medidas estadísticas planteadas aquí ha ratificado algunas conclusiones sobre el funcionamiento de los sistemas aplicados, y que podemos resumir en los siguientes puntos:

- Las penalizaciones son demasiado pobres y las bonificaciones demasiado generosas. Cuando nos encontramos con riesgos de frecuencia superior a la global su penalización es insuficiente y la aplicación de la cláusula de retorno rápido resulta inapropiada.
- Resulta fácil acceder a la clase de máximo descuento y mantenerse allí. Cuando nos encontramos con riesgos de frecuencia inferior a la global, aunque sólo sea ligeramente, la bonificación excesiva de estos riesgos les permite mantenerse casi permanentemente en la clase de bonificación máxima.
- Existe una disparidad evidente entre la frecuencia utilizada en el diseño del sistema y la realidad sobre la que se aplica. La rigidez del sistema hace que no pueda modificarse a la vez que se modifica su entorno, así el sistema responde a una visión estática que no será capaz de adaptarse a los cambios, ya sean de mejora o de empeoramiento de la frecuencia.
- El sistema aplicado no discrimina adecuadamente a los individuos. El sistema no es capaz de diferenciar los riesgos, tan sólo distingue de forma absoluta entre buenos y malos comparados con la frecuencia del sistema. Por ejemplo, un asegurado puede ser clasificado como bueno si tiene una frecuencia inferior a la del sistema, pero no se ha tenido en

cuenta si esta frecuencia es superior a la del colectivo global al que pertenece.

– No se cumple la finalidad del sistema: hacer que los malos conductores paguen más que la mayoría. La caída de la prima media por debajo de la prima de acceso al sistema está definiendo una situación en que la falta de información sobre el nuevo asegurado es gravada con una sobreprima. Por lo tanto, hemos pasado de un sistema de penalización de la siniestralidad a un sistema de penalización de los nuevos riesgos.

– Ha dejado de ser un sistema de personalización del riesgo a un sistema de compensación entre riesgos. El sistema no es perfectamente elástico con lo cual si no trasladamos estos aumentos a sus causantes es porque los trasladamos a la totalidad del colectivo.

– En definitiva, podemos decir que el sistema aplicado utiliza un mecanismo de corrección de la prima que podríamos calificar a todos los efectos como poco severo. Como ya hemos comentado, este tipo de calificativo hace referencia a una filosofía de mayor o menor solidaridad entre los asegurados. La valoración de este grado de solidaridad como adecuado o no a las necesidades de la cartera corresponden a la dirección de la aseguradora.

A pesar de estos inconvenientes, los sistemas de Bonus-Malus usados en la actualidad por las compañías aseguradoras siguen, a grandes rasgos, el esquema del sistema aplicado analizado. Por consiguiente, cabe preguntarse qué ventaja perciben las aseguradoras con su utilización. A todos los efectos, parecen ser ventajas comerciales las que animan a las compañías a seguir utilizando este tipo de sistemas. Para entender este hecho debemos remontarnos a los años en que estos sistemas empezaron a aplicarse en nuestro país.

Los primeros sistemas de corrección de primas por siniestralidad se implementaron en España en los 80. En aquella época los tipos de interés altos marcaban la política económica de las compañías aseguradoras, el margen financiero obtenido mediante la inversión de las provisiones técnicas era la mejor manera de conseguir excelentes resultados. Por esa razón, la máxima de las compañías era conseguir el mayor volumen de primas, entrando por ello en una guerra de precios con el resto de compañías y, en consecuencia, sacrificando el margen

técnico, que llegaba a ser negativo, aunque compensable con el superávit del margen financiero.

En el contexto descrito, unido a la imposibilidad que tenían las entidades para conocer el historial de siniestralidad de los asegurados que venían de otras compañías, la aplicación de los primeros SBM puede ser considerada de “defectuosa”. En efecto, el uso de bonificaciones inadecuadas (demasiado elevadas) y la acumulación excesiva de asegurados en las clases con bonificaciones respondían más al objetivo comercial de captación y mantenimiento de clientes que al objetivo intrínseco de estos sistemas: diferenciar a los asegurados para que paguen una prima acorde con el riesgo que aportan a la cartera. No obstante, no hay que olvidar que dicha aplicación defectuosa implicaba un desequilibrio técnico importante.

Desde nuestro punto de vista, el mantenimiento hoy en día de estos sistemas puede ser considerado un lastre del pasado. En el contexto actual de tipos de interés bajos y margen financiero escaso, donde el punto de vista técnico, para el control del margen técnico, gana cada vez más puntos, las compañías deberían replantearse el uso de los sistemas aplicados actualmente. Por ello, frente a dichos sistemas, comparables a rebajas de las primas, abogamos por el uso de los sistemas óptimos integrados que, entre otras propiedades deseables, aseguran el equilibrio técnico.

Además, como ya hemos comentado, el desajuste o déficit provocado por los sistemas actuales suele ser compensado mediante un incremento de la prima base, es decir, aquella que aplicamos a los asegurados de los que no disponemos historial de siniestralidad, en su mayoría, jóvenes conductores con una prima ya elevada por sus características *a priori*.

El primero de los sistemas óptimos presentado, el univariante, cumple con el requisito de presentar, en todo momento, la estabilidad financiera o equilibrio técnico deseable. En otras palabras, las bonificaciones que se otorgan a los buenos conductores vienen compensadas, en su totalidad, por los recargos que imponemos a los conductores con siniestralidad. De este modo, globalmente, aplicar la tarificación *a posteriori* tiene el mismo efecto en las cuentas de la

compañía que no aplicarlo, consiguiendo un mayor control sobre el margen técnico.

Sin embargo, como normalmente existe una tarificación *a priori*, previa a la corrección por siniestralidad, el SBM óptimo univariante no es aplicable directamente y, por ello, proponemos un SBM que integre adecuadamente las dos tarificaciones, el SBM óptimo integrado o multivariante. Como sistema óptimo, mantiene la propiedad de equilibrio financiero y, como sistema integrado o multivariante, tiene en cuenta las variables incluidas en la tarificación *a priori* a la hora de hacer las correcciones por siniestralidad.

No todo son ventajas en el uso de los SBM óptimos. Si bien la propiedad de equilibrio financiero resulta, desde un punto de vista técnico, muy interesante, conlleva la aplicación de bonificaciones más reducidas y de penalizaciones más severas que los sistemas aplicados en uso actualmente. Desde el punto de vista comercial, estas características pueden ser no deseables y, de hecho, representan la mayor crítica a este tipo de sistemas. No obstante, en el trabajo ya hemos apuntado el SBM óptimo exponencial como intento de dar una salida a esta crítica, a través de igualar los niveles de penalización con los de los sistemas aplicados.

Además, también somos conscientes de los problemas que puede acarrear el éxodo de unos sistemas a otros. Desde dificultades legales, por la substitución de las cláusulas en los contratos de seguros renovables, pasando por otras de tipo comercial, cuál es la primera compañía que decide reducir las bonificaciones para conseguir un equilibrio técnico estable, y terminando por dificultades de tipo técnico y administrativo implícitas en todo cambio de tarificación. No obstante, pensamos que las ventajas descritas anteriormente superan los inconvenientes que pueden plantearse.

Desde un punto de vista más técnico, en este trabajo hemos querido abordar el tema de la severidad de un SBM, en otras palabras, cuán solidario o mutualista es. Uno de los primeros objetivos que nos habíamos planteado era conseguir superar las limitaciones que los instrumentos estadísticos presentados por Lemaire (1995) tenían ante los sistemas multivariantes. Estos instrumentos sólo permitían evaluar

la percepción de dureza de un único tipo de asegurado, puesto que estaban pensados para ser utilizados sobre una única tabla de correcciones. Pero esta concepción unidimensional tropezaba con una realidad caracterizada por carteras heterogéneas que aconsejan la utilización de sistemas de tarificación segmentados por niveles de riesgo.

Por este motivo se estableció la necesidad de definir un indicador global. Este nuevo indicador global nos permitía evaluar la cartera en su estadio inicial, forma estática, y llevar a acabo un seguimiento de su evolución cada vez que se produzcan modificaciones voluntarias o impuestas de la composición de los diferentes segmentos, forma dinámica. Este seguimiento proporciona una imagen detallada del efecto de las actuaciones llevadas a cabo en pro de una política de severidad y, por lo tanto, individualización del riesgo o por el contrario una política más indulgente y, en definitiva más mutualista en la evaluación de los riesgos.

La forma más sencilla de obtener un indicador global ha sido aprovechar directamente el instrumento presentado por Lemaire (1995). Así pues, teniendo en cuenta las particularidades del sistema multivariante teníamos que mantener las características individuales de cada segmento y respetar la importancia relativa de cada uno de ellos dentro de la cartera. Esta nueva opción se ha denotado a lo largo del texto con el nombre de indicador ponderado.

Una vez establecido el indicador global adecuado y analizados los resultados obtenidos por el mismo, concluimos que este indicador global permite controlar los cambios a realizar para transformar la severidad, o solidaridad entre asegurados, de la cartera, según cuál sean las directivas de la entidad aseguradora en cada momento.

#### **BIBLIOGRAFIA**

Bermúdez, L. et al. (2001), *Exponential bonus-malus systems integrating a priori risk classification*. Journal of Actuarial Practice 9, 67-98.

- Bichsel, F. (1964), *Erfahrung-tarifierung in der motorfahrzeughaftpflichtversicherung*, Mitteilungen der vereinigung schweizerischer versicherungsmathematiker, 119-129.
- Boyer, M. y G. Dionne (1989), *An empirical analysis of moral hazard and experience rating*, Review of Economics and Statistics, LXXI, 128-134.
- Dionne, G. (1983), *Adverse selection and repeated insurance contracts*, The Geneva Papers on Risk and Insurance, 8 (nº29, october 1983), 316-332.
- Dionne, G. y C. Vanasse (1989), *A generalization of automobile insurance rating models: The Negative Binomial distribution with a regression component*, ASTIN Bulletin, 19, 199-212.
- Guillen, M.; Ayuso, M.; Bolance, C.; Bermúdez, L.; Morillo, I.; Albarrán, I. (2005) *El Seguro de Automóviles: Estado Actual y Perspectiva de la Técnica Actuarial*. Madrid: Fundación MAPFRE Estudios.
- Lemaire, J. (1980), *L'assurance automobile*, Nathan ed.
- Lemaire, J. (1993), *Selecting a fitting distribution for taiwanese automobile losses*, No publicado.
- Lemaire, J. (1995), *Bonus-Malus systems in automobile insurance*, Boston, Kluwer.
- Morillo, I. y L. Bermúdez (2003), *Bonus-malus system using an exponential loss function with an Inverse Gaussian distribution*. Insurance: Mathematics & Economics 33, 49-57.
- Pitrebois, S., Walhin, J.-F. y Denuit, M. (2006) *How to transfer policyholders from one bonus-malus scale to the other?* Working paper. Institut de Sciences Actuarielles. Université Catholique de Louvain.
- Pitrebois, S., Denuit, M. y Walhin, J.-F. (2005) *An actuarial analysis of the French bonus-malus system*. Working paper. Institut de Sciences Actuarielles. Université Catholique de Louvain.