

ANÁLISIS DE SISTEMAS BONUS MALUS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN LOS SEGUROS DE AUTO EN MÉXICO MEDIANTE MATLAB Y R STUDIO

ANALYSIS OF BONUS MALUS SYSTEMS FOR IMPLEMENTATION IN AUTO INSURANCE IN MEXICO USING MATLAB AND R STUDIO

Diego Rodolfo Gorostieta Ortega

Facultad de Economía. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca de Lerdo, México.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3423-9773>

dgorostietao@alumno.uaemex.mx

Eva Boj del Val

Departamento de Matemática Económica, Financiera y Actuarial. Observatorio de los Sistemas Europeos de Previsión Social Complementaria. Universidad de Barcelona. Barcelona, España.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9487-0693>

evaboj@ub.edu

(Autor para correspondencia)

Fecha de recepción: 19 de marzo de 2023

Fecha de aceptación: 30 de junio de 2023

RESUMEN

El diseño de procesos de tarificación en los contratos de seguro permite una creciente y eficaz incorporación de pólizas en la cartera. En México, un sistema de este tipo tendría como objetivo llegar a los más de 37 millones de vehículos en circulación que aún no cuentan con seguro. Por su alta eficiencia y comprensibilidad, la tarificación a través del Sistema Bonus-Malus resulta ser, como se expondrá con Matlab y R Studio, una opción para este propósito. Así mismo, su gran adaptabilidad, según las necesidades y estrategias de la compañía aseguradora, lo posicionan como uno de los métodos de tarificación más utilizados en países desarrollados. El principal objetivo es revisar los sistemas Bonus-Malus de Bélgica, Brasil y España, así como un modelo que incorpora elementos del resto de los sistemas a fin de constituir un sistema para el mercado de seguros de auto mexicano.

Palabras clave: Tarificación; México; Sistema Bonus-Malus; Matlab; R Studio.

ABSTRACT

The design of pricing processes in insurance contracts allows a growing and efficient incorporation of policies in the portfolio. In Mexico, a system of this type would aim to reach the more than 37 million vehicles in circulation that still do not have insurance. Due to its high efficiency and comprehensibility, the pricing through the Bonus-Malus System turns out to be, as will be exposed with Matlab and R Studio, an option for this purpose. Likewise, its great adaptability, according to the needs and strategies of the insurance company, position it as one of the most widely used pricing methods in developed countries. The main objective is to review the Belgian, Brazilian and Spanish Bonus-Malus



systems, as well as a model that incorporates elements of the rest of the systems in order to constitute a system for the Mexican auto insurance market.

Key words: Pricing; Mexico; Bonus-Malus System; Matlab; R Studio.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), México se desempeña como el séptimo país con mayor número de ocurrencia de accidentes viales (Instituto Nacional de Salud Pública, 2022). Se estima que en el 2021 el costo promedio de la reparación de los daños materiales a causa de accidentes viales cubiertos por una póliza de seguro ascendía a más de \$18,000 en México, cantidad que un conductor promedio no lograba cubrir con sus propios recursos.

No obstante, si se cuenta con una póliza de seguro se tendrá protección económica y financiera ante la ocurrencia de un evento fortuito de esta índole. El incremento de más del 50% del monto total de primas emitidas en México durante los últimos cinco años previos a la pandemia (2015-2019) podría parecer un buen indicio del fortalecimiento de la cultura aseguradora y su relevancia. Desafortunadamente, las estadísticas arrojan cifras no tan alentadoras, ya que durante ese mismo periodo solo se tuvo un incremento del 3.40% de vehículos asegurados. Este incremento se atribuye a los más de cuatro millones de vehículos que iniciaron circulación y no a los ya existentes (SESA, 2021).

La Tabla 1 uno pretende ser un parteaguas en donde se concentran las cifras más relevantes de aquellos estados de la república mexicana en los cuales la congregación de la problemática a desarrollar es mayor. Para ello, se dispone de la frecuencia de siniestralidad, el costo medio de la cobertura de siniestros por reparación de daños, el número de vehículos en circulación y el porcentaje de parque asegurado.

El Estado de México es la región con el mayor número de vehículos en circulación, uno de los cinco estados donde el porcentaje de vehículos asegurados es menor y la frecuencia de siniestralidad de las más altas (superando a la media nacional). Aun con todas las situaciones descritas se prefiere alimentar la idea de tener cuidado para nunca ser partícipe de un accidente.

La totalidad de los actos mencionados sitúa al país en un panorama bastante adverso, ya que en el 2021 había más de 50 millones de vehículos en circulación en todo el territorio de los cuales solo el 29% contaba con un seguro, por lo que existe la obligación de emprender acciones de solución ante tal problemática. Lo primordial es efectuar una mejor educación vial en los conductores, sin embargo, la Estrategia Nacional de Seguridad Vial implementada desde 2011 nos ha dejado en claro que estos procesos suelen tomar años e incluso décadas.

Adicionalmente, las limitaciones en recursos son las que impiden a la mayor parte de la población mexicana adquirir contratos de seguros que los protejan de contingencias. La adquisición de una póliza de seguro debe ser adecuada a las condiciones económicas de las personas.

Entidad	Frecuencia de siniestralidad	Costo medio (pesos mexicanos)	Vehículos en circulación	Parque asegurado
Quintana Roo	9.93%	\$15,359.11	766,662	28.18%
Sinaloa	9.42%	\$14,792.90	1,131,688	31.21%
Nuevo León	9.42%	\$13,252.03	2,132,849	64.41%
Ciudad de México	9.24%	\$10,917.41	5,453,284	51.70%
Estado de México	8.10%	\$11,822.58	6,902,222	17.95%

Tabla 1. Cifras relevantes por Estado. Fuente: elaboración propia.

2. OBJETIVOS

Los accidentes viales se han convertido en problema de salud pública a causa de las muertes que ocasionan, la conjunción de difusión de información con atractivas pólizas de seguros podrían ser parte de una vía de solución ante tal fenómeno. No obstante, es en este punto donde confluyen las opiniones divididas entre los conductores y las instituciones de seguros. Los primeros necesitan estar cubiertos y son conscientes de ello, aunque, en la mayoría de los casos las condiciones económicas promedio no lo permiten. En contraparte, las aseguradoras buscan maximizar sus ganancias y minimizar sus costos.

Ante estas dificultades, el presente documento pretende explicar distintos Sistemas Bonus-Malus (en adelante SBM) a manera de posible opción de solución a la problemática enmarcada. La estructura del trabajo se organiza de tal modo que se proporcionan definiciones y elementos de composición propios de los sistemas en el segundo apartado, mientras que en el tercero se explican brevemente algunos evaluadores de los SBM. En el siguiente punto se analizan cuatro modelos adaptados a las condiciones de siniestralidad mexicana y finalmente en el quinto se comunican algunas conclusiones distinguidas respecto a los resultados.

3. METODOLOGÍA

Un SBM es un método de tarificación a posteriori con incrementos y decrementos en el nivel de prima de cada póliza de acuerdo con el comportamiento siniestral reportado durante el periodo de cobertura (MAPFRE, 2022). Los SBM son muy útiles ya que permiten incorporar aquellos elementos que no son visibles de primera mano en la contratación de un seguro, como la aversión al peligro o la precaución que se toma al conducir.

De acuerdo con Lemaire (1995, 1998) una institución de seguros emplea un SBM cuando:

- Los asegurados pueden ser clasificados dentro de un número finito de clases denotado por C_i con $i = 1, 2, \dots, s$ de tal manera que la prima depende solo de la clase en la que se encuentre.
- Los asegurados empiezan en una clase C_{i_0} .
- La clase de un asegurado está determinada solo por la clase del periodo previo y el número de siniestros reportados durante el periodo.

De modo que el SBM se forma cuando se determinan los siguientes tres elementos:

1. Asignación de la prima $\bar{b} = (b_1, \dots, b_s)$.

2. La clase inicial C_{i_0} .
3. Las reglas de transición que determinan el cambio de una clase a otra cuando se conoce el número de siniestros.

Las reglas de transición se pueden ver como una transformación T_k tal que $T_k(i) = j$ si existe un cambio en la póliza de la clase C_i a la clase C_j cuando se han reportado k siniestros. De este modo la transformación T_k se puede ver como una matriz:

$$T_k = (t_{ij}^{(k)}),$$

donde $t_{ij} = 1$ si $T_k(i) = j$ y 0 en otro caso.

La probabilidad $p_{ij}(\lambda)$ para moverse de la clase C_i a la clase C_j en un periodo se caracteriza por el parámetro λ , que denota la frecuencia de siniestros y se expresa como:

$$p_{ij}(\lambda) = \sum_{k=0}^{\infty} p_k(\lambda) t_{ij}^{(k)},$$

donde $p_k(\lambda)$ es la probabilidad de que un conductor con una frecuencia de siniestros λ tenga k siniestros en un periodo. Así:

$$p_{ij}(\lambda) \geq 0 \quad \text{con} \quad \sum_{j=1}^s p_{ij}(\lambda) = 1.$$

La matriz $M(\lambda) = [p_{ij}(\lambda)] = \sum_{k=0}^{\infty} p_k(\lambda) T_k$ es la matriz de transición de la cadena de Markov y como se puede observar en su expresión, se construye a partir de las probabilidades del número de siniestros. Es importante mencionar que los asegurados deben contar con un registro en el que se especifique su historial de siniestros. Del mismo modo se destaca que las condiciones de transición para cada una de las aseguradoras e incluso para las regulaciones de cada país son cambiantes. Como ejemplos de esta mutabilidad se tienen: el SBM belga, el cual está compuesto por 23 clases; el sistema español, que divide la cartera en 15 o 20 clases según la entidad aseguradora y el sistema brasileño, formado con 7 clases.

Una cadena de Markov es un proceso probabilístico de corta memoria de una serie de eventos donde la probabilidad de ocurrencia de alguno en específico toma en cuenta el evento inmediato anterior (Vega, 2004). Matemáticamente, Boj *et al.* (2021) presenta la siguiente definición:

Sea $(X_t)_{t \in N}$ un proceso en tiempo discreto siendo el conjunto de estados (los valores posibles de las variables aleatorias X_t) una parte finita E de N . Entonces, $(X_t)_{t \in N}$ es una cadena de Markov finita si, para $n \in N, (i_0, i_1, \dots, i_n, i) \in E^{n+2}$, tenemos:

$$P[X_{n+1} = i \mid X_0 = i_0, \dots, X_n = i_n] = P[X_{n+1} = i \mid X_n = i_n].$$

Adicionalmente, para los SBM se emplean cadenas de Markov con probabilidades de transición estacionarias u homogéneas, ya que se puede pasar de un estado a otro independientemente del tiempo m en el que se encuentre:

$$P[X_{n+m} = j \mid X_m = i].$$

No obstante, apegándose a Kemeny y Snell (1976) un SBM se forma de una cadena de Markov regular, es decir, que todos los estados de la cadena de Markov son ergódicos¹. Así mismo, se plantea el vector $P_j^{(n)}$, por medio del cual se distribuyen los niveles de prima de las diferentes clases al tiempo n , tal que:

$P_j^{(0)}$ es el vector con las probabilidades iniciales,

$P^{(n)} = (M^n)^T \cdot P^{(0)}$ es el vector de probabilidades al tiempo n ,

¹ Se dice que es ergódico cuando las probabilidades de la matriz de transición son estrictamente mayores a cero, lo que es igual a decir que es posible acceder a cualquier estado desde cualquier otro estado.

$\Pi = \lim_{n \rightarrow \infty} P_i^{(n)}$, $i = 1, \dots, s$ es el vector de probabilidades estacionario.

Una vez que se han expuesto los elementos que erigen a los SBM, se deja en claro que sirven para discernir entre los buenos y los malos conductores dentro de una cartera asegurada, beneficiando a quienes lo merecen e incentivando a tener un buen comportamiento a malos conductores. Al mismo tiempo, busca beneficiar también a la institución aseguradora, pues trata de disuadir a los asegurados respecto a su condición de cobertura (disminuir el *riesgo moral* ²) con el fin de ahorrar costos administrativos en pequeños siniestros y no de evadir sus obligaciones contractuales.

Llegado este punto es necesario discutir más acerca de la probabilidad de transición, para efectos de este texto se empleará una distribución Poisson, ya que a pesar de la existencia de otras distribuciones como la Binomial Negativa o la Poisson-Inversa Gaussiana, la distribución de Poisson permite obtener una mejor comprensión del proceso sin la necesidad de profundizar en conocimientos avanzados de probabilidad.

La distribución de Poisson utiliza un parámetro de frecuencia de siniestros, el cual podemos denotar como λ . La distribución se puede ver como:

$$p_k = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

donde el parámetro de frecuencia es igual a la media y también a la varianza de la distribución:

$$E[k] = Var[k] = \lambda.$$

A continuación, en la Tabla 2 se muestran los elementos más básicos de un SBM en donde solo hacen falta las reglas de transición, que se ven reflejadas en la matriz de transición.

Clase	Prima	Transición en base a los siniestros reportados en el periodo				
		0 Siniestros	1 Siniestros	2 Siniestros	...	Z Siniestros
C_i	\bar{b}	$M(\lambda)$				
1	b_1					
.	.					
.	.					
S	b_s					

Tabla 2. Representación de un SBM. Fuente: elaboración propia a partir de Boj *et al.* (2021).

Para la apreciación del diseño de los SBM se pueden emplear algunos elementos de evaluación descritos en Lemaire (1995, 1998). Cada una de las pruebas permite hacer comparaciones entre diversos SBM. Para este documento solo se utilizarán cuatro, comenzando por el nivel medio estacionario relativo, RSAL por sus siglas en inglés (*Relative Stationary Average Level*), posteriormente se encuentra el coeficiente de variación de la prima asegurada, seguido de la elasticidad de la prima media estacionaria respecto a la frecuencia de siniestros y finalmente la tasa de convergencia del SBM.

El nivel medio estacionario relativo mide la posición del conductor promedio con una escala entre 0 y 1 una vez que el SBM ha alcanzado su condición estacionaria, evaluando con ello el grado de concentración de las pólizas en las clases más bajas del sistema. En efecto, tras varios periodos se observará que el nivel de prima media irá decreciendo debido a que la mayoría de los conductores buscan la zona de Bonus.

² "El concepto de riesgo moral es adoptado desde la disciplina de la economía y alude a la omisión de conductas debido a que el sistema lo protege de las consecuencias de sus errores" (Reyes, 2015).

$$RSAL = \frac{b^* - b_1}{b_s - b_1},$$

donde $b^* = \sum_{i=1}^s \Pi_i b_i$.

Un valor bajo de RSAL indica una alta concentración de pólizas en las clases con primas más bajas. Por el contrario, un alto valor de RSAL indica una mejor repartición de primas entre las diversas clases. De este modo, esta medida se ve influenciada por el nivel de prima más alto el cual se encuentra escasamente poblado. Por esta razón la mayoría de los sistemas alrededor del mundo se sitúan en valores bajos.

El coeficiente de variación indica el nivel de apoyo existente en una cartera atendiendo al principio de solidaridad de la teoría del seguro. En ese sentido, sin la existencia de un sistema de tarificación la variabilidad de los pagos realizados por los asegurados es cero, mientras que con un SBM la cifra es voluble periodo tras periodo de acuerdo con el comportamiento siniestral. Para medir este efecto, Lemaire (1995, 1998) menciona que el mejor indicador es el coeficiente de variación, ya que al dividirse la desviación estándar por la media resulta un valor adimensional. Partiendo de Boj *et al.* (2021) la fórmula para el cálculo es:

$$CV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^s \Pi_i (b_i - b^*)^2}}{b^*}.$$

La elasticidad del SBM mide la respuesta de un sistema al cambio en la frecuencia de siniestros, donde intuitivamente se espera que para una póliza donde la frecuencia de siniestro es mayor al de otra póliza con menor frecuencia de siniestro, la prima para el primer caso sea mayor que para el segundo. En definitiva, un incremento relativo en la frecuencia de siniestros debe producir el mismo incremento relativo en la prima.

Un SBM es llamado perfectamente elástico si

$$\frac{d\lambda/\lambda}{dP(\lambda)/P(\lambda)} = 1.$$

Como una regla general, Lemaire (1995, 1998) estipula que el cambio en la prima es menor que el cambio en λ . La idea de la elasticidad de la prima media estacionaria con respecto a la frecuencia de siniestros se introdujo en 1972 como eficiencia de Loimaranta y se calcula como:

$$\eta(\lambda) = \frac{\frac{dP(\lambda)}{P(\lambda)}}{\frac{d\lambda}{\lambda}} = \frac{d \ln P(\lambda)}{d \ln \lambda},$$

donde $P(\lambda)$ es la prima estacionaria media de con frecuencia de siniestros λ .

La última medida de evaluación es la tasa de convergencia del SBM, que no es más que un indicador del grado de tendencia del sistema después de n transiciones y que definió Bonsdorff en 1992.

$$(TV)_n = \sum_{j=1}^s |p_{ij}^n(\lambda) - \Pi_j|.$$

Esta tasa de convergencia del SBM toma valores en el rango de 0 a 2 y resulta ser una herramienta muy útil para la selección de elementos del SBM como la clase inicial, el número de clases y las reglas de transición, ya que son estos puntos los que determinan la convergencia a la estacionariedad.

4. RESULTADOS

Si bien los SBM, han arrojado buenos resultados en países desarrollados, para el caso de México es necesario realizar mayores esfuerzos, ya que así lo exige el numeroso parque en circulación que no cuenta con seguro. Más aún, la Encuesta Nacional de Inclusión Financiera (ENIF) en su versión 2021 expone las principales razones por las que los mexicanos han sido usuarios de seguros; dentro de las ocho causas que se exponen sobresalen tres, no obstante, es importante mencionar que estas razones no han sido impedimento para el crecimiento en la contratación de seguros observado hasta antes de la pandemia.

Dentro de estas razones, en primer lugar, se encuentra con un 31% la variabilidad en los ingresos o la poca disponibilidad de estos. En segunda posición se sitúa la falta de interés o la poca utilidad que el 25% de los encuestados percibe respecto a las pólizas y, por último, en menor grado (15%) el alto costo de las primas.

Todas las situaciones citadas enmarcan el contexto asegurador del sector automotriz mexicano, que como se puede resaltar se encuentra en condiciones no tan favorables y mucho menos alentadoras. A continuación, se procederá a analizar, a través de los elementos de evaluación expuestos y haciendo uso de Matlab y R Studio, la aplicación de cuatro SBM con la frecuencia de siniestralidad de México en 2021 de 6.11% con distribución Poisson:

$$p_k = \frac{e^{-0.0611} 0.0611^k}{k!} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Con lo anterior se espera obtener un bosquejo general de los sistemas y poder resaltar aquellos que se apeguen mejor a las condiciones y necesidades del conductor promedio mexicano y de las aseguradoras. Los SBM a discutir serán el belga, con 23 clases; el brasileño, con 7 clases y el español con 15 clases, adicionalmente se propondrá la construcción de un sistema simulado con 12 clases, el cual pretende ser una propuesta innovadora que intente incorporar la vasta cantidad de vehículos en México que no están asegurados.

En las siguientes tablas se muestran las clases, las primas para las respectivas clases y las probabilidades de transición de la cadena de Markov de cada uno de los SBM, en donde la posición en la fila indica la clase actual y la posición en la columna la posible clase futura. Para el sistema belga se tiene una construcción elaborada en la que por cada siniestro reportado se agregan cuatro clases y solo se avanza una clase en caso de no tener ninguna actividad (ver Tabla 3). La Tabla 4 muestra que para el sistema brasileño por un periodo sin siniestros el asegurado disminuye una clase, por el contrario, cada siniestro reportado aumenta una clase. Cabe aclarar que en este último sistema no se presentan recargos sobre la prima inicial.

El SBM español tiene las mismas reglas que el SBM brasileño, sin embargo, en este sistema sí se realizan recargos por reporte de siniestralidad sobre la prima inicial, los cuales se aplican en la mitad de las clases existentes (ver Tabla 5). Respecto al SBM simulación las reglas de transición, como se muestra en la Tabla 6, son bastante peculiares: en cuanto a las tres primeras clases se permite avanzar a la primera si no se reportan siniestros, para el resto de las clases se promoverá una clase adelante tras un periodo sin siniestros y para todo el sistema se degradará una clase por un siniestro reportado y a partir del segundo se degradarán dos clases por cada uno.

Particularmente, las razones de cómo se presentan las reglas de transición para el SBM simulación se fundamentan en el análisis realizado, el cual demuestra que mantiene un comportamiento competitivo al nivel de los otros sistemas. Así mismo, pretenden cubrir las características comunes del consumidor mexicano; se ofrecen mayores beneficios en la adquisición del producto a la par de recompensas alcanzables en cortos periodos de tiempo.

Prima	C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
54	0	0.94	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0		
54	1	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	
54	2	0	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	
57	3	0	0	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	
60	4	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	
63	5	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	
66	6	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.00	0	0	
69	7	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.00	0	
73	8	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.00	
77	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	
81	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	
85	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0.00	0	0	
90	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0.00	0	
95	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0.00	
100	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	
105	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0	0.05	0	0	0	
11	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0	0.05	0	0	
117	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0	0.05	0	
123	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0	0.05	
130	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0.05	
140	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0.05	
160	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.94	0	0.05	
200	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.05

Tabla 3. SBM belga (Clase inicial 14). Fuente: elaboración propia a partir de Lemaire (1995, 1998).

Análisis de sistemas bonus malus para la implementación en los seguros de auto en México ...

Prima	Clase	1	2	3	4	5	6	7
65	1	0.94072	0.05748	0.00176	0.00004	0.00000	0.00000	0.00000
70	2	0.94072	0.00000	0.05748	0.00176	0.00004	0.00000	0.00000
75	3	0.00000	0.94072	0.00000	0.05748	0.00176	0.00004	0.00000
80	4	0.00000	0.00000	0.94072	0.00000	0.05748	0.00176	0.00004
85	5	0.00000	0.00000	0.00000	0.94072	0.00000	0.05748	0.00180
90	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.94072	0.00000	0.05928
100	7	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.94072	0.05928

Tabla 4. SBM brasileño (Clase inicial 7). Fuente: elaboración propia a partir de Lemaire (1995, 1998).

Prima	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
60	1	0.940	0.0574	0.0017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
65	2	0.940	0.000	0.0574	0.0017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70	3	0.000	0.940	0.000	0.0574	0.0017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
75	4	0.000	0.000	0.940	0.000	0.0574	0.0017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80	5	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.0574	0.0017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
85	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.0574	0.0017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90	7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.0574	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100	8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.0574	0.0017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110	9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.0574	0.0017	0.000	0.000	0.000	0.000
115	10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.0574	0.0017	0.000	0.000	0.000
125	11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.0574	0.0017	0.000	0.000
135	12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.0574	0.0017	0.000
150	13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.0574	0.0018
180	14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.059
200	15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.059

Tabla 5. SBM español (Clase inicial 8) Fuente: elaboración propia a partir de Guillén *et al.* (2005).

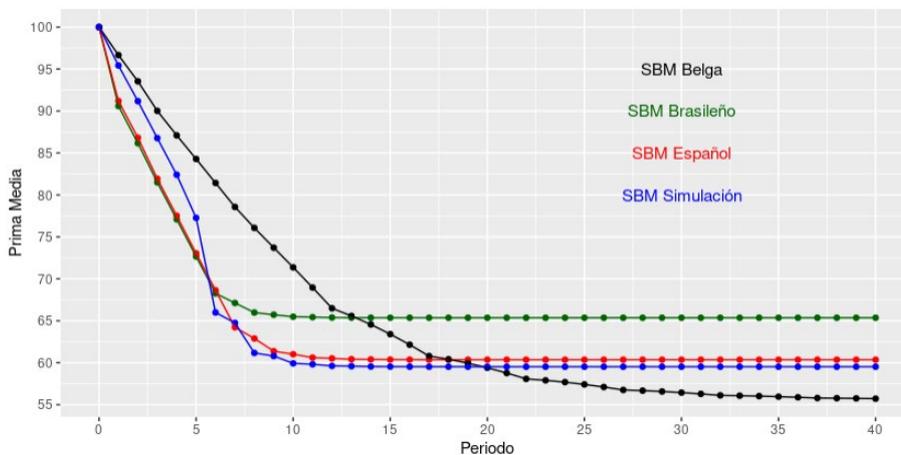
Prima	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
59	1	0.940	0.057	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
67	2	0.940	0.000	0.057	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
74	3	0.940	0.000	0.000	0.057	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80	4	0.000	0.000	0.940	0.000	0.057	0.001	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
85	5	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.057	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.057	0.001	0.0000	0.000	0.000	0.000
95	7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.057	0.001	0.000	0.000	0.000
100	8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.057	0.001	0.000	0.000
102	9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.057	0.001	0.000
105	10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.057	0.001
110	11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.000	0.059
125	12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.940	0.059

Tabla 6. SBM simulación (Clase inicial 8). Fuente: elaboración propia.

Ya que están planteados los SBM, lo primero es obtener el vector estacionario de cada uno de los sistemas mediante Matlab y con el uso de R Studio, a través del comportamiento de la prima media, podemos observar este fenómeno, ya que una vez que se aproxima la estabilidad, la prima no presentará variaciones o estas serán insignificantes. Los resultados obtenidos se presentan tanto en la Tabla 7 como en la Gráfica 1:

SBM	Periodo	Error	Vector Estacionario
Belga	78	9.00e-5	[0.7380,0.0465,0.0494,0.0525,0.0558,0.0142,0.0123,0.0101,0.0075,0.0045,0.0026,0.0019,0.0013,0.0008,0.0005,0.0003,0.0002,0.0001,0.0001,0.00007,0.00004,0.00003,0.00001]
Brasileño	31	5.82e-10	[0.93502,0.05892,0.00550,0.00049,0.00004,0.0000,0]
Español	35	8.44e-10	[0.935028,0.058921,0.005502,0.0004992,0.000044,0.000003,0.00000035,0.000000032,0.0000000028,0.0000000002,0.00000000023,0.0000000000020,0,0,0]
Simulación	33	9.76e-10	[0.94019,0.05404,0.00520,0.00047,0.00008,0.000008,0.0000009,0.00000009,0.00000001,0.00000001,0,0]

Tabla 7. Vectores estacionarios (Obtenida con Matlab). Fuente: elaboración propia.



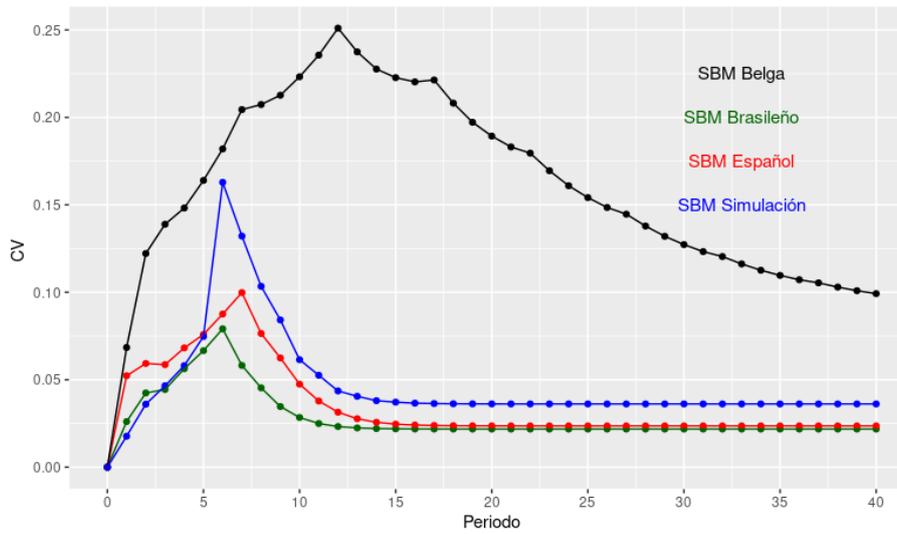
Gráfica 1. Evolución de la Prima Media (Obtenida con R Studio). Fuente: elaboración propia.

El siguiente punto por evaluar es el nivel medio estacionario relativo, partiendo de los vectores estacionarios que a continuación se detallan en la Tabla 8:

SBM	Prima Media Estacionaria	RSAL
Belga	55.4835	0.010161603942762
Brasileño	65.3581	0.010231939634526
Español	60.3581	0.011937251054982
Simulación	59.5227	0.014520490114891

Tabla 8. RSAL (Obtenida con Matlab). Fuente: elaboración propia.

En la Gráfica 2 se muestra el comportamiento del coeficiente de variación durante los primeros 40 periodos, aunque con tendencias constantes notorias desde periodos previos muy similares a las de la Gráfica 1.



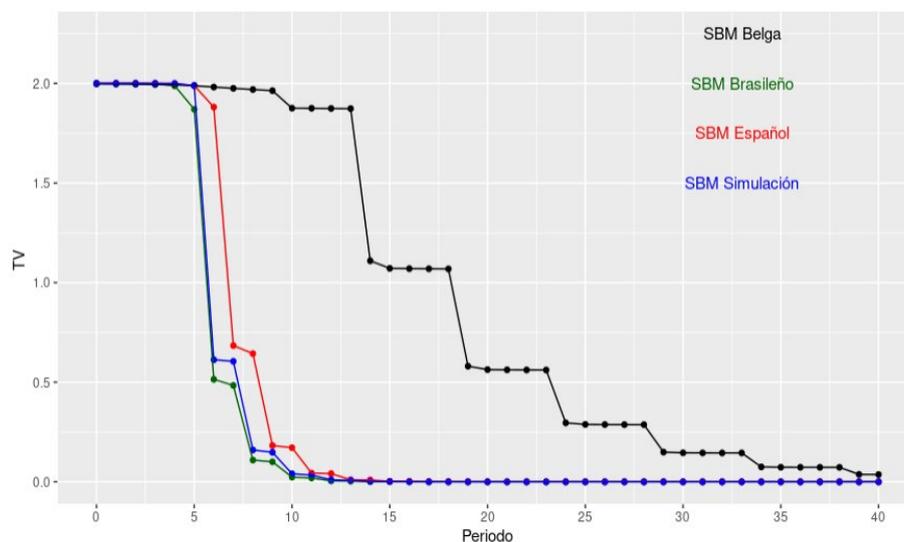
Gráfica 2. Evolución del Coeficiente de Variación (Obtenida con R Studio). Fuente: elaboración propia.

Para el caso de la eficiencia de Loimaranta se implementaron aproximaciones mediante incrementos siguiendo los pasos de Boj *et al.* (2021), las cifras que se obtuvieron se presentan en la Tabla 9.

SBM	Eficiencia de Loimaranta
Belga	0.05332953
Brasileño	0.006376834
Español	0.006905078
Simulación	0.009511423

Tabla 9. Eficiencia de Loimaranta (Obtenida con R Studio). Fuente: elaboración propia a partir de Boj *et al.* (2021).

Finalmente, la variación total de cada uno de los SBM se ve reflejada en la Gráfica 3 que se presenta a continuación:



Gráfica 3. Evolución de la Variación Total (Obtenida con R Studio). Fuente: elaboración propia.

5. DISCUSIÓN

El primer punto a abordar en cuanto la aplicación de SBM en México es la implementación de una robusta base de datos en común para las compañías aseguradoras a semejanza del SINCO español o el IVASS italiano en la que se contenga la información siniestral de por lo menos los últimos cinco periodos de cada asegurado. Con esta información, las aseguradoras estarían en condiciones de efectuar el SBM que les resulte más conveniente, describiendo las características de cada uno en las condiciones generales de la emisión de sus pólizas en favor de que el asegurado conozca como serán los pagos de sus primas y seleccione el más conveniente.

En cuanto a la estacionariedad se observa que el más tardío es el SBM belga, mientras que los otros tardan periodos muy similares, aunque se observa que entre mayor es el número de clases más tardarán en alcanzar el vector estacionario. Así mismo, se observa que la manera en que quedan distribuidas las probabilidades conduce a más del 93% de la cartera a la primera clase para el caso brasileño, español y simulación, mientras que para el belga solo el 73.8%. Las repercusiones de estos hechos las encontramos en la prima media, ya que el SBM belga es el que logra mantener los niveles más bajos, mientras que el brasileño los más elevados, con esto se destaca que no se contraerán desequilibrios financieros en la entidad aseguradora debido al tiempo que toma alcanzar tales valores para el primer caso.

Para el RSAL se notan comportamientos bajos muy similares para los cuatro SBM lo que indica que la cartera tendrá mayores concentraciones de asegurados en las clases más bajas, no obstante, destaca el SBM simulación ya que es el que mayor valor obtuvo, lo cual exterioriza que la clase con mayor nivel de prima cuenta con la menor proporción de asegurados. Bajo este panorama de variabilidad, el pago en el nivel de prima agrupa los mayores coeficientes de variación dentro de los primeros diez periodos para todos los SBM, a excepción del SBM belga.

Debido a las reglas de penalización, donde destacan las del sistema belga por su severidad y las de bonificación del sistema simulación por su flexibilidad, los valores de eficiencia Loimaranta son proporcionales; para el primer caso con el mayor valor y para el segundo con la cuantía más baja.

Desde la visualización de la Gráfica 3, referente a la variación total, se puede explicar que, a excepción del caso belga, los periodos con mayores cambios son los que van del quinto

al décimo periodo, es decir, son aquellos donde se percibirán más disminuciones en la prima media por parte de las instituciones aseguradoras.

6. CONCLUSIONES

Una vez enunciadas todas las cualidades de cada uno de los SBM es momento de emitir una sugerencia acerca de cuál es o son los SBM más factibles para el sector asegurador del ramo automotriz mexicano. La primera conclusión que se puede emitir al respecto es que el SBM belga podría ser el que menor cabida pudiera tener, pues a pesar de contener la prima más baja entre todos los sistemas, su larga temporalidad, así como sus rigurosas reglas de transición lo tornan poco atractivo para el conductor mexicano que busca obtener beneficios lo más pronto posible.

Con lo que respecta a los otros tres sistemas restantes encontramos características similares, por lo que sería interesante evaluar sus comportamientos en la práctica. Por un lado, el SBM brasileño podría parecer bastante atractivo y favorecedor para el asegurado, pues solo tiene zonas de beneficios, sin embargo, este hecho podría no resultar tan factible para la aseguradora la cual buscaría mantener su equilibrio financiero y para ello fijar una prima de entrada elevada. El SBM español encuentra muy buenas oportunidades para ser seleccionado por las instituciones de seguro vigentes en México, no obstante, en este punto se encuentran discrepancias entre el conocimiento y el respeto hacia las reglas de tránsito entre un conductor español y un conductor mexicano, donde el primero recibe mejores comentarios dado su comportamiento en la praxis.

Finalmente, el SBM simulación intenta ser un híbrido entre los otros sistemas donde se incorporen severas penalizaciones del sistema belga, mayores zonas de beneficio como el sistema brasileño al facilitar la transición a la mejor clase a partir de la tercera y un equilibrio en la cartera entre los buenos y malos conductores como el sistema español, aunque ofreciendo más beneficios al público meta, en favor de que esta creciente incorporación de pólizas al mismo tiempo sea factor para el beneficio del equilibrio financiero de las instituciones aseguradoras.

7. AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría agradecer al Dr. Edgar Vargas Villagrán porque fue quien hizo posible el vínculo con la Universidad de Barcelona y principal impulsor del proyecto. Autor b agradece el soporte del Ministerio de Ciencia e Innovación, proyectos PID2021-123592OB-I00 y TED2021-129316B-I00.

8. REFERENCIAS

- Boj, E., Claramunt, M. y Costa, T. (15 de abril de 2021). *Tarificación y provisiones (Tercera edición)*. Colección OMADO (Objetos y Materiales Docentes) de la Universidad de Barcelona. <http://hdl.handle.net/2445/149241>
- Bonsdorff, H. (1992). On the Convergence Rate of Bonus-Malus Systems. *ASTIN Bulletin: The Journal of the IAA*, 217-223.
- ENIF (2021). *Encuesta Nacional de Inclusión Financiera*. Aguascalientes. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. https://www.inegi.org.mx/programas/enif/2021/#Informacion_general
- Guillén, M., Ayuso, M. y Bolancé, C. (2005). *El seguro de automóviles: estado actual y perspectiva de la técnica actuarial*. Madrid. Fundación MAPFRE.
- Instituto Nacional de Salud Pública. (Diciembre de 2022). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://www.insp.mx/avisos/4761-seguridad-vial-accidentes-transito.html#sup4>
- Kemeny, J. and Snell, J. (1976). *Finite Markov Chains*. New York. Springer.

- Lemaire, J. (1995). *Bonus-Malus systems in automobile insurance*. Norwell. Kluwer Academic Publisher.
- Lemaire, J. (31 de mayo de 1998). Bonus-Malus Systems. *North American Actuarial Journal*, 2:1, 26-38.
- MAPFRE (diciembre de 2022). *Diccionario de Seguros*. Obtenido de <https://www.fundacionmapfre.org/publicaciones/diccionario-mapfre-seguros/bonus-malus/>
- Reyes, S. (enero de 2015). *Estándares de prueba y "moral hazard"*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5549033>
- SESA (2021). *Sistema Estadístico del Sector Asegurador del ramo Automóviles*. Obtenido de <https://centroestadisticoamis.mx/wp-content/uploads/N1-SESA-Automoviles-2021.pdf>
- Vega, M. (26 de abril de 2004). *Cadenas de Markov de tiempo continuo y aplicaciones*. Obtenido de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/5442/6/uy24-17833.pdf>