

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CREACIÓN DE TABLAS PROPIAS DE MORTALIDAD: PROPUESTA PARA CONTROL INTERNO



VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA

Alumno: **Javier Vidal Granel**

Tutor: **Francisco Gabriel Morillas Jurado**

Titulación: **Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras**

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

Resumen:

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar unas tablas propias de mortalidad para control interno. Para ello se realizará una revisión de la legislación vigente, de la metodología de derivación de las tablas PASEM2010 y PASEM2020, así como de las especificidades para el desarrollo de las tablas propias. Bajo este marco, se tratan adecuadamente los datos para la generación de la mortalidad bruta que posteriormente será suavizada. Los datos suavizados son utilizados para la generación de las tablas de mortalidad de segundo orden con el método propuesto y su comparación con el método actual en la compañía. Con el fin de que los resultados permitan derivar conclusiones útiles sobre las pólizas de la cartera de seguros de vida, se muestran los resultados al aplicar los recargos correspondientes y de derivar las tablas de mortalidad de primer orden.

Palabras clave: Tablas de mortalidad, Suavización, Enlace de tablas, Recargos, Validación.

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Marco teórico	4
2.1. Definiciones actuariales	4
2.2. Preliminares legales	5
3. Metodología	6
3.1 Datos	6
3.2 Tratamiento de los datos	7
3.2.1 Generación de tablas de mortalidad de 2º orden	9
3.2.2 Imputación de datos faltantes	9
3.2 Suavización de la mortalidad bruta	11
3.3 Enlace de tablas	13
3.4 Recargos	15
4. Validación	17
4.1 Definición de errores	19
4.2 Validación hombres	20
4.2.1 Errores sin enlace y sin acotar edades	20
4.2.2 Errores sin enlace y acotando edades	22
4.2.3 Errores con enlace y acotando edades	23
4.3 Validación mujeres	23
4.3.1 Errores sin enlace y sin acotar edades	23
4.3.2 Errores sin enlace y acotando edades	24
4.3.3 Errores con enlace y acotando edades	25
4.4 Análisis más profundos del error absoluto	25
4.5 Análisis más profundos con error absoluto relativo	28
5. Resultados	33
6. Conclusiones y valoración crítica	35
7. Bibliografía	37
Anexo 1: Resolución de 17 de diciembre de 2020. Definiciones	39
Anexo 2: Resolución de 17 de diciembre de 2020	41
Anexo 3: Circular 1/2021, de 17 de junio, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones (artículos 4, 5 y 6)	42
Anexo 4: Tratamiento de datos	45
Anexo 5: Tabla de fallecidos y expuestos por edad	48
Anexo 6: Tasas brutas de mortalidad por edad	50
Anexo 7: Años de exposición por edad y porcentaje sobre el total	52

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

Anexo 8: Tablas de 2º orden vs mortalidad bruta. Hombres	54
Anexo 9: Tablas de 2º orden vs mortalidad bruta. Mujeres.....	56
Anexo 10: Tabla de 2º orden vs PASEM 2020 recargada.	58
Anexo 11: Tablas de primer orden	60
Anexo 12: Error absoluto por edad sin enlace. Hombres.....	63
Anexo 13: Análisis más profundos con error absoluto. Mujeres	64
Anexo 14: Análisis más profundos con error absoluto relativo. Hombres.....	68
Anexo 15: Código de R.....	72

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

1. Introducción

Para una compañía aseguradora del ramo de vida, es de vital importancia disponer de tablas biométricas que permitan ajustar adecuadamente el riesgo de una cartera para así poder hacer frente, bien a los compromisos de pago, mensuales o anuales, en el caso de planes de pensiones, productos de supervivencia o longevidad; bien a los de pagos por siniestralidad en el caso de seguros de vida, y todo ello sin perder competitividad en el mercado por una estimación excesivamente conservadora. Así, entre las herramientas disponibles para realizar las estimaciones, la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones (DGSFP) pone a disposición de las compañías una serie de tablas de referencia junto con estrategias metodológicas para el ajuste a cada caso particular, como son las tablas PASEM (BOE-A-2020-17154) o PERM/F (BOE-A-2020-17154). Además de estas herramientas, la reglamentación del sector permite utilizar lo que se conocen como *modelos internos*, los cuales permiten la construcción de *tablas propias* derivadas a partir de la cartera y de la experiencia concreta de la aseguradora. En este sentido, aun utilizando las tablas recomendadas, publicadas por la DGSFP, PASEM2020 o PER2020, la entidad puede utilizar un modelo interno con la finalidad de realizar un seguimiento privado, ya sea a modo de auditoría interna o con el objetivo de comprobar si la tabla propuesta podría sustituir a las tablas recomendadas por la DGSFP.

Por otro lado, es habitual en el sector externalizar las auditorías internas dejando parte de esta tarea a entidades que desarrollen tareas de consultoría. Esto tiene ciertas ventajas como, por ejemplo, (i) que no es necesario que la aseguradora disponga de personal experto en todas las áreas, ya que estar al corriente de las últimas tendencias en cuanto a la medición del riesgo se refiere puede no estar al alcance de todas las compañías; (ii) que la implementación queda a cargo de la consultora, pudiendo incluir el que la aseguradora no gestione si quiera la plataforma donde se realicen los cálculos y transacciones telemáticas de información. Además, el que la implementación se realice en un lenguaje de programación actual, etc. No obstante, esta cesión de procesos presenta ciertas características que puede ser necesario salvar.

Entre los inconvenientes más importantes a salvar citamos (i) la pérdida de control de los procesos y algoritmos que la consultora implementa, ya que pueden convertirse en un proceso difícil de trazar para la aseguradora, con el riesgo que ello conlleva; además, (ii) la exposición a terceros de la información de la cartera, que generalmente es sensible para la aseguradora y sus asegurados y los expone a riesgos de otro tipo, y no sólo al meramente actuarial.

Así, este trabajo presenta un método de elaboración de tablas basadas en la experiencia de mortalidad propia para el control interno continuado, para una entidad aseguradora, que tiene en la actualidad un proyecto para externalizar el proceso de control interno, siendo el método de graduación propuesto para la compañía (de ahora en adelante método actual), en parte, un proceso más costoso de trazar que el modelo propuesto.

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

Los datos utilizados se basan en la experiencia fiable de un periodo de 5 años (2015-2019). El tamaño de la cartera [427703 asegurados y 1.244.220 años de exposición] permite realizar inferencias y esta no tiene grandes perturbaciones aleatorias.

Actualmente, el proceso de graduación de la mortalidad que la aseguradora propone es una variante del método de Whitaker-Henderson [(Tamayo Ayala , 2014), (W-H)] el cual, pensamos, realiza ciertos ajustes en las edades iniciales y finales que no están especificados y cuyos valores no se han podido reproducir con la aplicación estándar de dicho método.

Con el objetivo de clarificar el proceso de graduación que tenía planteado utilizar la aseguradora, se va a utilizar el método de Whitaker-Henderson que implementa el software R (The R Project, s.f.) en el paquete "*MortalityTables*" (Kainhofer , 2021) y se va a articular un procedimiento tanto de validación del método propuesto como de comparación con el que actualmente utiliza la aseguradora.

La implementación del método de validación y comparación de la metodología que se propone se realiza por simulación numérica. Se articula un proceso de replicación de la experiencia observada basado en el modelo biométrico (Ayuso, 2007) de manera que se obtiene un conjunto grande de realidades -realizaciones- sintéticas de mortalidad. Para cada una de estas realizaciones se aplican los dos métodos, (i) el actualmente utilizado por la consultora, implementado en Visual Basic para Aplicaciones, y (ii) el método propuesto, para el cual se ha desarrollado un script en R que ha permitido obtener tanto las realizaciones de la mortalidad simulada, como las realizaciones para la implementación del método graduación de W-H. El Script permite además realizar la estimación de las medidas de ajuste y de bondad utilizadas.

El resultado principal de este trabajo establece que la entidad adopte como método de suavización el método propuesto, abandonando el método que la consultora utiliza; pudiendo usar esta última como método de contraste, para verificar que no hay grandes diferencias. Los resultados de la comparación son similares entre ambos métodos, no obstante consideramos que el modelo que se propone es más adecuado, ya que este método mejora los resultados en un mayor porcentaje de escenarios sintéticos de mortalidad y, además, para aquellas realizaciones en que el método propuesto no es mejor que el método alternativo, el error absoluto relativo que comete en términos centrales (valor promedio y valor mediano), así como el error máximo y el error mínimo son menores que cuando se consideran estos errores al revés. No obstante, es importante señalar que en términos de error absoluto sucede lo contrario, aunque con diferencias mucho menores a favor del propuesto por la consultora.

Este trabajo se organiza como sigue. La sección segunda (la primera es esta de la introducción) muestra algunas definiciones y métodos necesarios para la correcta

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

lectura de este trabajo; así mismo se presentan el marco legal español, y se exponen los elementos clave para el desarrollo de una tabla de mortalidad basada en la experiencia propia. Esta sección presenta también los aspectos de construcción de las tablas PASEM2010 y PASEM2020. La tercera sección presenta la metodología de cálculo de las tablas propias de segundo orden¹, a modo de control interno, y su suavización, así como continuar con el proceso para generar las de primer orden, para exponer todo el proceso de generación de tablas propias. Además, en la primera parte de esta sección, se detalla el tratamiento realizado a los datos, los componentes de los mismos y la depuración de la base de datos. La sección cuarta desarrolla los aspectos de validación del método de suavización propuesto a partir de simulación por Montecarlo, combinando con la suavización por los dos métodos testados y se analizan varias medidas de bondad de ajuste, de error, constituyendo un criterio para determinar qué método ajusta mejor la mortalidad bruta. Los resultados se muestran en la sección 5, tanto las tablas de primer orden, como los resultados de comparación de métodos. Las conclusiones, Sección 6, cierran el cuerpo central del documento.

¹ Es importante destacar que en este trabajo no se van a generar las tablas propias reales de la compañía, ya que se va a tener en cuenta 2 años de efecto selección, es decir, se van a excluir del análisis los 2 primeros años que el asegurado está en la compañía. Por lo que la mortalidad será considerablemente mayor, ya que se está eliminando el efecto que se deriva de la selección de riesgos que lleva a cabo la entidad.

2. Marco teórico

En este apartado se realiza una revisión de la normativa vigente en relación con la generación de tablas propias y la construcción de las tablas PASEM2020, estas últimas elaboradas por la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones (DGSFP) para ser utilizadas en productos aseguradores de tipo vida-riesgo (tanto individuales como colectivos) y para seguros de decesos.

2.1. Definiciones actuariales

Para el desarrollo adecuado de este trabajo, se exponen los principales términos actuariales que se van a utilizar:

l_x : Número de hombres vivos a la edad x .

L_x : Población estacionaria a la edad x , corresponde al tiempo total vivido (medido en años) por los individuos de la cartera con edad cumplida x .

D_x : Número de muertes a la edad x durante el periodo de observación.

m_x : Tasa central de mortalidad entre la edad x y $x+1$, se define como el número individuos que fallecen con edad cumplida x por tiempo de exposición (en este caso años) al riesgo de muerte. Siguiendo la siguiente fórmula de cálculo:

$$(1) \quad m_x = \frac{D_x}{L_x}$$

q_x^{bruta} : Tasa de mortalidad bruta a la edad x . Para el desarrollo del trabajo se utilizará el método exponencial simple, siguiendo la siguiente fórmula para su cálculo:

$$(2) \quad q_x^{bruta} = 1 - e^{(-m_x)}$$

Ratio *actuals over expected*: Mide el número de fallecidos de la cartera en relación con los fallecidos que cabría esperar para la cartera, según la tabla de referencia (en este caso la PASEM2020 de segundo orden) y la L_x . Es calculado del siguiente modo:

$$(3) \quad \frac{A}{E} = \frac{\text{Fallecimientos observados}}{\text{Fallecimientos esperados}}$$

Siendo:

$$(4) \quad \text{Fallecimientos esperados} = -L_x * \ln(1 - q_x^{PASEM2020 \text{ 2º orden}})$$

Además, también se consideran importantes las definiciones que expone la DGSFP en la Resolución de 17 de diciembre de 2020 (ver anexo1).

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

2.2. Preliminares legales

Las tablas de mortalidad son una herramienta indispensable en los seguros de vida-riesgo, ya que de ellas se extrae, la probabilidad de muerte a cada edad, factor vital para la estimación del riesgo en este tipo de seguros. Por lo que son imprescindibles para el cálculo de las primas, de la solvencia o de las provisiones matemáticas, entre otras.

Es por ello, por lo que en el año 2020 la DGSFP publicó mediante Resolución en el Boletín Oficial del Estado (BOE), las nuevas tablas biométricas:

- A efectos de la valoración de la mejor estimación en el régimen general de solvencia, para los seguros de vida-riesgo, excluido decesos se utilizarán las PASEM2020_General_2ºorden.
- A efectos del cálculo de las provisiones técnicas contables, así como a efectos de la valoración de las provisiones técnicas en el régimen especial de solvencia, para los seguros vida-riesgo relacionados con otras operaciones se utilizarán las PASEM2020_Rel_1^{er}orden, mientras que para los seguros vida-riesgo no relacionados con otras operaciones se utilizarán las PASEM2020_NoRel_1^{er}orden.

Estas tablas sustituyen las utilizadas anteriormente para el mismo fin, y que son derogadas mediante la Resolución de 17 de diciembre de 2020 (BOE-A-2020-17154), ver Anexo 1.

En el caso de las PASEM2010, a diferencia de las PER2000, cumplían con el artículo 34 apartado c) del ROSSP (BOE-A-1998-27047), que indica que el final del periodo de observación considerado para la elaboración de las tablas no podrá ser anterior en más de 20 años a la fecha de provisión del cálculo. Pero como las PASEM2010 se elaboraron a partir de datos del periodo de observación de 2003 a 2007, cumplía con este apartado de la ley. Sin embargo, por diferentes motivos, el regulador consideró oportuno la modificación de las tablas PASEM2010, para crear las PASEM2020, a partir de las PASEM 2010, con ciertos ajustes que posteriormente se comentarán.

Para la generación de tablas propias, la DGSFP estableció una serie de principios (ver Anexo 2), además, con la Circular 1/2021, de 17 de junio, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones (BOE-A-2021-10870), se entró en más detalle, sobre la generación de tablas propias, sobre todo en la calidad y tratamiento del dato, pudiendo destacar los artículos 4, 5 y 6 (ver Anexo 3).

Para la realización de este trabajo se tiene en cuenta los puntos que se acaban de mencionar y se desarrollara con la metodología que se utilizó para la generación de las PASEM2010 (ICEA), no se aplicara la de las PASEM2020 (Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, 2019), ya que estas son derivadas a partir de un ajuste de las PASEM2010.

3. Metodología

En esta sección, se va a exponer la metodología de cálculo de las tablas propias de segundo orden de control interno. Para ello primero se explica en detalle el proceso seguido en el tratamiento de los datos, sus componentes, así como los detalles de la depuración de la base de datos. Una vez comentados estos aspectos se procede a la generación de la tabla de mortalidad bruta, en la cual en edades en las que la masa de la cartera es reducida, aparecen ciertas perturbaciones que posteriormente son tratadas utilizando la suavización de Whittaker-Henderson. Además, se realiza un enlace con las PASEM2020 en las edades en las que el volumen de cartera es demasiado bajo para obtener unos resultados consistentes. Para acabar, se aplican los recargos correspondientes a las tablas de segundo orden y se generan las tablas de primer orden.

3.1 Datos

El periodo que abarca es entre 2015 y 2019 contiene 602.777 pólizas. La información para cada póliza es la siguiente:

- Fecha de nacimiento.
- Sexo (1.Hombre/2.Mujer).
- Tipo de seguro (1.Individual/2.Colectivo).
- Producto (2. Vinculado/3. Vinculado (Producto no vinculado) / 4. No vinculado/ 5. Colectivo).
- Suma asegurada (Pólizas en Vigor: capital de fallecimiento a 31/12/2019 /Pólizas de Baja: capital de fallecimiento a fecha de baja).
- Fecha de efecto (Formato: 01.mm. aaaa).
- Fecha de terminación (Fecha de baja, excepto pólizas en vigor que será 01/01/2020, Formato: 01.mm. aaaa).
- Causa terminación (2. Fallecimiento por cualquier causa/3. Vencimiento/4. Petición cliente/5. Invalidez/0. En vigor).
- ID Asegurado.
- ID póliza.
- Garantías Póliza (1. Sólo fallecimiento/2. Fallecimiento + incapacidad absoluta permanente).

TABLA 1: NÚMERO DE AÑOS DE EXPOSICIÓN Y BAJAS POR FALLECIMIENTO DE LA CARTERA ANALIZADA. POR PÓLIZA

	AÑOS EXPUESTOS		BAJAS FALLECIMIENTO	
	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES
2015	200.341	163.694	297	93
2016	213.783	174.874	301	133
2017	225.040	183.162	318	123
2018	228.213	185.299	351	110
2019	224.617	181.985	322	160
TOTAL	1.091.993	889.015	1.589	619

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

La Tabla 1 muestra número años de exposición y bajas por fallecimiento de la cartera para cada año y el total para el periodo analizado, diferenciando por sexo.

3.2 Tratamiento de los datos

El primer paso a realizar es eliminar las pólizas de seguro colectivo para un correcto análisis de la mortalidad, ya que por norma general el seguro colectivo muestra un comportamiento diferente al resto. Lo cual no supone un impacto fuerte en el tamaño de la cartera, ya que el número de pólizas de colectivo solo son 30.018 frente a las 602.777 de toda la cartera.

Una vez eliminados los datos de colectivo, se realiza una adaptación de los datos, que, aunque ya han sido tratados y se ha realizado una correcta selección de estos, estos están presentados por pólizas y no por asegurados. Es por ello, por lo que se tratarán con el fin de usar a los asegurados para la creación de las tablas propias (como recomienda la DGSFP) y no por póliza.

En este proceso se van a eliminar ciertas variables, que ahora al pasar la base de datos de pólizas a asegurados, carecen de sentido, (como la variable tipo de seguro...) y las variables que se van a utilizar se agregan del siguiente modo:

- La fecha de nacimiento se mantiene igual.
- El sexo se mantiene igual.
- Para la causa de terminación se calcula solo si ha fallecido o no por simplicidad.
- Para obtener la fecha de efecto se coge la fecha de efecto más antigua de todas las pólizas del asegurado.
- Para la fecha de terminación escogemos la fecha de terminación más reciente de todas las pólizas de asegurado. De este modo se puede dar la situación de que un asegurado tenga un periodo sin ninguna póliza en vigor durante cierto tiempo en el periodo de análisis. En este tipo de situaciones se va a considerar que el individuo se ha encontrado en nuestra cartera durante el periodo de vigencia de sus pólizas y el periodo en blanco entre ellas.

Máster en Ciencias Actariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

El análisis se realizará teniendo en cuenta el año selección, de cara a un control interno de la compañía, aunque de este modo no se refleje la mortalidad real de esta, ya que teniendo en cuenta el año selección la mortalidad es mayor, debido al proceso de selección de riesgos de la compañía. Para derivar las tablas propias reales, se llevaría a cabo el mismo proceso, pero sin tener en cuenta la selección de riesgos.

TABLA 2: NÚMERO DE AÑOS DE EXPOSICIÓN Y BAJAS POR FALLECIMIENTO DE LA CARTERA ANALIZADA CON SELECCIÓN. POR ASEGURADO

	AÑOS EXPUESTOS		BAJAS FALLECIMIENTO	
	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES
2015	125.220	107.759	200	77
2016	128.871	110.450	206	89
2017	134.093	114.628	207	91
2018	139.179	119.084	234	78
2019	143.018	121.918	238	117
TOTAL	670.381	573.839	1.085	452

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

La Tabla 2 muestra el número años de exposición y los fallecimientos de la cartera para cada año y el total, diferenciando por sexo, teniendo en cuenta la exclusión del año selección y de las pólizas de colectivo.

TABLA 3: RATIO ACTUALS OVER EXPECTED

	RATIO ACTUALS OVER EXPECTED (A/E)					
	HOMBRES			MUJERES		
	Observados	Esperados	(A/E)	Observados	Esperados	(A/E)
2015	200	146.1439	136.85%	77	64.06832	120.18%
2016	206	161.9173	127.23%	89	69.9523	127.23%
2017	207	182.2654	113.57%	91	77.71712	117.09%
2018	234	202.6115	115.49%	78	85.98285	90.72%
2019	238	219.0749	108.64%	117	92.33519	126.71%
TOTAL	1085	912.013	118.97%	452	390.0558	115.88%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

La Tabla 3 muestra la ratio *actuals over expected*, teniendo en cuenta el efecto selección, analizando esta ratio se puede apreciar que, a excepción del año 2018 para mujeres, la mortalidad de la compañía es mayor que la que cabría esperar con las tablas PASEM2020 en todos los años analizados, tanto para hombres como para mujeres. Aquí se puede apreciar claramente el efecto de la selección de riesgos que se comenta al principio del trabajo, ya que este indicador en realidad se sitúa ligeramente por encima del 100%, pero al excluir los 2 primeros años en los que el efecto de selección de riesgos puede

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

tener mayor incidencia en la mortalidad de los asegurados, este ratio llega a más del 117% (ponderando el A/E por los años de exposición de hombres y mujeres).

3.2.1 Generación de tablas de mortalidad de 2º orden

Una vez tratados y preparados los datos, se procede al cálculo de las probabilidades de mortalidad bruta para cada edad. Para ello antes se han realizado una serie de procesos intermedios.

Lo primero es crear una tabla para cada asegurado en la que se pueda desglosar toda la información de este, en los campos (fechas clave, edad en cada periodo, año selección de cada periodo, etc.) que son requeridos para un correcto tratamiento de los datos (ver Anexo 4). Después esta información es agregada en una tabla que resume para cada año el número de años de exposición y el número de fallecidos a cada edad, distinguiendo por género y teniendo en cuenta los años de selección. Luego se agregan en una única tabla que refleja los fallecidos y los años de exposición a cada edad, distinguiendo por género, para todo el periodo analizado.

Una vez agregados todos los datos (ver Anexo 5) se calcula la q_x^{bruta} para cada edad y sexo y el global aplicando la Fórmula 2, generando así la tabla de mortalidad bruta (ver Anexo 6).

3.2.2 Imputación de datos faltantes

El número de datos de la cartera es elevado, no obstante, la información se concentra en las edades centrales, lo cual se evidencia de la siguiente manera:

- A edades inferiores a los 16 años o superiores a los 72 años, no hay ningún dato.
- Hasta los 26 años y a partir de los 64 años aproximadamente, la cartera tiene muy pocos expuestos.
- En estas edades el número de fallecidos, al tener tan pocos expuestos, es muy bajo, con especial hincapié en las edades jóvenes que al tener una menor mortalidad y pocos expuestos, genera resultados muy volátiles. Destacando las edades por debajo de los 30 en las que en algunas no hay ningún fallecido, lo que genera valores $q_x^{bruta} = 0$, lo cual no es real.

Para solucionar los problemas que esto genera se utiliza la suavización de W-H, lo cual permite reducir las fluctuaciones aleatorias de las tasas brutas q_x^{bruta} , combinada con información de las PASEM2020 para aquellas edades sin registros o con registros claramente insuficientes (edades jóvenes y ancianas).

TABLA 4: AÑOS DE EXPOSICION POR EDAD Y PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL

EDAD	MUJERES	%	HOMBRES	%	TOTAL	%
15	0	0	0	0	0	0
16	1.57808219	2.75004E-06	1.48219	2.21E-06	3.06027	2.46E-06
...
24	1698.07397	0.00295914	2176.55	0.00324	3874.63	0.00311
25	2321.87671	0.00404621	2933.41	0.00437	5255.29	0.00422
26	3078.83561	0.00536532	3811.64	0.00568	6890.48	0.00553
27	4062.13424	0.00707887	4887.56	0.00729	8949.70	0.00719
28	5369.09863	0.00935645	6086.53	0.00907	11455.6	0.00920
29	6942.10684	0.01209765	7674.91	0.01144	14617.0	0.01174
30	8874.24383	0.01546468	9489.60	0.01415	18363.8	0.01475
31	11025.1178	0.01921290	11753.2	0.01753	22778.3	0.01830
...
40	27203.5753	0.04740626	31559.5	0.04707	58763.1	0.04722
41	26478.7205	0.04614309	31226.2	0.04658	57704.9	0.04637
...
57	8619.06027	0.01501999	10190.4	0.01520	18809.5	0.01511
58	7681.46027	0.01338608	9104.57	0.01358	16786.0	0.01349
59	6832.87671	0.01190730	8089.73	0.01206	14922.6	0.01199
60	5990.99726	0.01044020	7073.98	0.01055	13064.9	0.01050
61	5219.71506	0.00909612	6172.56	0.00920	11392.2	0.00915
62	4483.17534	0.00781259	5259.82	0.00784	9743	0.00783
63	3865.49863	0.00673620	4391.49	0.00655	8256.98	0.00663
64	3169.81643	0.00552387	3577.77	0.00533	6747.59	0.00542
65	2146.12328	0.00373993	2410.24	0.00359	4556.37	0.00366
66	1663.18904	0.00289835	1859.06	0.00277	3522.25	0.00283
67	1178.04931	0.00205292	1274.45	0.00190	2452.50	0.00197
68	813.452054	0.00141756	818.211	0.00122	1631.66	0.00131
...

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía (tabla completa en el Anexo 7)

En la Tabla 4 se puede ver la composición de la cartera de mujeres, de hombres y global, por edades. Mostrando primero los años de exposición para cada edad y después el porcentaje que representa cada edad sobre el total de años de exposición, de mujeres, hombres y global, respectivamente. Se ha marcado en amarillo los puntos de corte donde se empezará a enlazar las tablas generadas con las PASEM 2020 y en verde las edades en las que se realiza el enlace. Las edades entre amarillo y el naranja, ambas incluidas son aquellas cuya q_x^{bruta} calculada se excluye de las tablas, pero si se tienen en cuenta para la validación, ya que suponen más de un 0,5% de la cartera por lo que se siguen considerando importantes para el análisis.

TABLA 5: PORCENTAJE DE CARTERA EXCLUYENDO EDADES

PORCENTAJE MINIMO PARA ENTRAR	PORCENTAJE DE CARTERA REPRESENTADA		
	MUJERES	HOMBRES	GLOBAL
1%	92.38%	92.41%	92.40%
0.50%	97.48%	97.51%	97.50%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

La Tabla 5 muestra que, aunque se descartan muchos años, estos no suponen una gran pérdida de la cartera, ya que, si se excluyen las edades que suponen menos de un 1% de la cartera, se sigue contando con más del 92% de la cartera. Mientras que si excluyen solo a los que representan el 0.5% de la cartera se tiene en cuenta más del 97% de la cartera.

3.2 Suavización de la mortalidad bruta

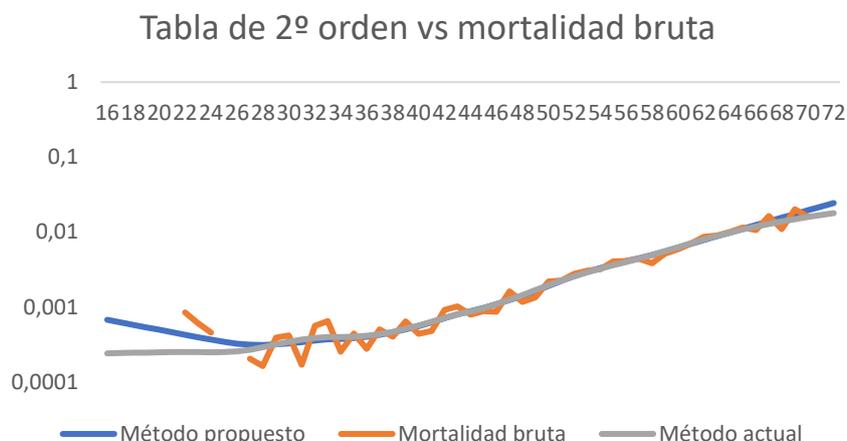
Una vez se obtiene la mortalidad bruta, es necesario someterla a un proceso de suavización con el objetivo de eliminar las perturbaciones de esta, aún más cuando se están utilizando datos de una compañía y no de la población en general, donde cabría esperar menores perturbaciones de esta mortalidad.

El método actual, utiliza el método de Whittaker – Henderson un grado de suavización de 2 y un factor de suavización = 0,5.

Esta suavización es calculada en Excel y en un afán de intentar modernizar el proceso, además de dar mayor agilidad y potencia de cálculo, se propone una alternativa con el software de R y en caso de que den unos resultados similares, si no mejores, aplicar el método propuesto.

Este método propuesto consiste en aplicar el método de Whittaker - Henderson incorporado en el paquete de R *MortalityTable* sobre datos tratados adecuadamente. Para ello se va a utilizar la mortalidad bruta de la compañía, y los años de exposición para cada edad y se procede a realizar la suavización con los mismos parámetros comentados anteriormente. Para después aplicar un factor de ajuste a toda la tabla de mortalidad generada, ya que se ha detectado cierto sesgo de infravaloración de la mortalidad, en el proceso de suavización.

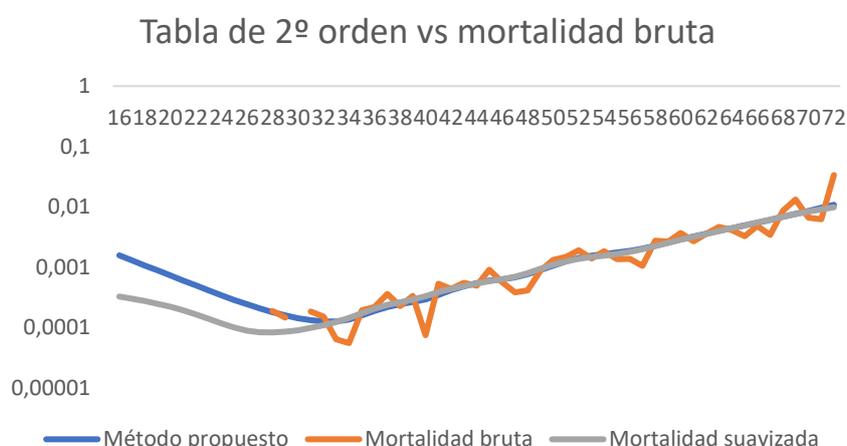
ILUSTRACIÓN 1: TABLAS DE 2º ORDEN SIN ENLACE VS MORTALIDAD BRUTA. HOMBRES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía (en escala logarítmica) datos en el Anexo 8

La Ilustración 1 muestra las tablas de segundo orden de hombres generadas tanto con la suavización por el método propuesto como por el método actual, como se puede apreciar las curvas suavizadas se ajustan bastante bien a la mortalidad bruta. Ambas curvas suavizadas son muy similares, pudiendo encontrar las mayores diferencias en las edades extremas, donde la curva del método actual parece ajustarse mejor o por lo menos dar resultados más lógicos (ya que en ambos extremos la mortalidad calculada por el método propuesto se dispara). Esto nos indica que la consultora realiza algún tipo de ajuste en estas edades; para no perturbar los resultados de la validación, dichas edades no se tendrán en cuenta, lo cual tiene poca repercusión para la aseguradora ya que dichas edades representan poco volumen de cartera.

ILUSTRACIÓN 2: TABLAS DE 2º ORDEN SIN ENLACE VS MORTALIDAD BRUTA. MUJERES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía (en escala logarítmica) datos en el Anexo 9

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

La Ilustración 2 muestra las tablas de segundo orden de mujeres generadas tanto con la suavización por el método propuesto como por el método actual, como se puede apreciar las curvas suavizadas se ajustan bastante bien a la mortalidad bruta. Ambas curvas suavizadas son muy similares, pudiendo encontrar las mayores diferencias en las edades iniciales, donde la curva del método actual parece tener un comportamiento más lógico (ya que con el método propuesto se dispara la mortalidad), pero como se ha comentado antes, estas edades no se tendrán en cuenta para la validación del método propuesto debido al poco volumen de cartera en dichas edades. También cabe destacar que se puede apreciar unas mayores perturbaciones de la mortalidad bruta a lo largo de toda la curva, esto posiblemente sea debido a que el tamaño de la cartera en mujeres es mejor que en hombres.

3.3 Enlace de tablas

Una vez suavizada la tabla de segundo orden, se debe completar los años faltantes. Para ello, utilizará un porcentaje de las PASEM2020, en este caso se ha considerado oportuno utilizar la ratio *actuals over expected*. Es decir, utilizaremos el 118,97% de las PASEM2020 (de hombres) para hombres y el 115,88% de las PASEM2020 (de mujeres) para mujeres. Estos porcentajes se van a aplicar con el objetivo de que el enlace entre ambas sea lo más suave posible y no se produzca un cambio brusco en la mortalidad en dichas edades, además de así reflejar la mortalidad real de la compañía, ya que si para todas las edades el porcentaje de mortalidad de la cartera sobre las PASEM2020 es el comentado anteriormente, suponemos que para las edades extremas, con poca masa, este porcentaje será similar al del resto de la cartera, aunque debido a la poca masa a estas edades, no se pueda corroborar.

Una vez conocido el porcentaje de las PASEM2020 que se aplicara para enlazarlas con las tablas suavizadas, se establece el siguiente criterio de enlace:

TABLA 6: ENLACE DE LAS TABLAS DE SEGUNDO ORDEN DE LA COMPAÑÍA CON LAS PASEM 2020

X<29	$q_x^{2^\circ \text{ orden}} = q_x^{\text{PASEM2020 recargada}}$
29<=x<=31	$q_x^{2^\circ \text{ orden}} = \frac{x - 28}{4} * q_x^r + \frac{32 - x}{4} q_x^{\text{PASEM2020recargada}}$
32<=x<=57	$q_x^{2^\circ \text{ orden}} = q_x^r$
58<=x<=60	$q_x^{2^\circ \text{ orden}} = \frac{61 - x}{4} * q_x^r + \frac{x - 57}{4} q_x^{\text{PASEM2020recargada}}$
60<x	$q_x^{2^\circ \text{ orden}} = q_x^{\text{PASEM2020recargada}}$

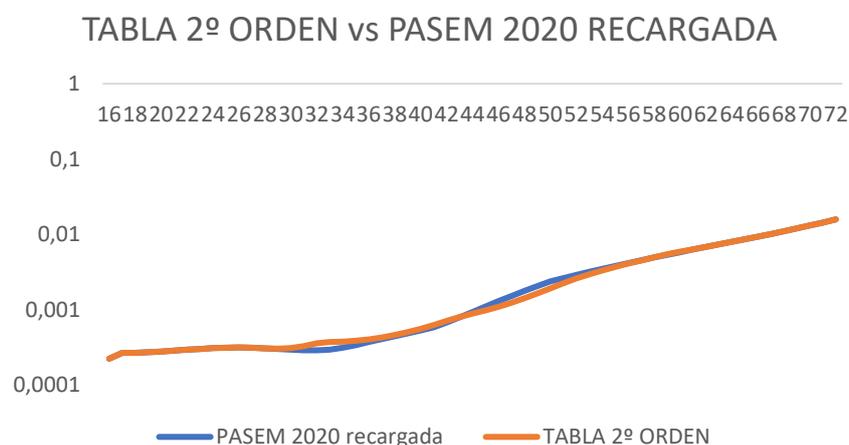
Fuente: Elaboración propia

Máster en Ciencias Actariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

La Tabla 6 muestra como para edades menores a 29 años se aplica el porcentaje de las PASEM2020. Para edades comprendidas entre los 29 y los 31 se aplica un porcentaje de las tablas de la compañía y del porcentaje de las PASEM 2020, para los 29 años el porcentaje es 25%-75% respectivamente, para los 30 este es 50%-50% y para los 31 el porcentaje es 75%-25%. Para edades comprendidas entre los 32 y los 57 ambos incluidos se aplica el 100% de las tablas de la compañía. Para edades comprendidas entre los 58 y los 60, ambos incluidos, se aplica un porcentaje de las tablas de la compañía y del porcentaje de las PASEM2020, para los 58 el porcentaje es 75%-25%, respectivamente, para los 59 años es 50%-50% y para los 60 dicho porcentaje es de 25%-75%, respectivamente. Para edades superiores a 60 años se aplica el porcentaje de las PASEM2020.

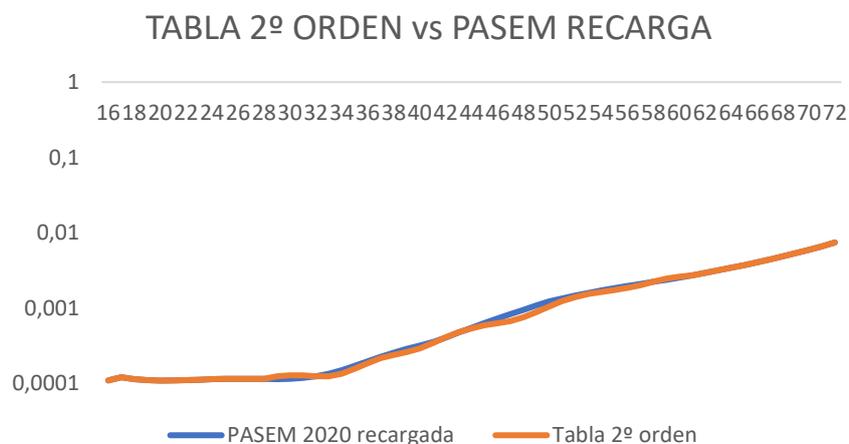
ILUSTRACIÓN 3: TABLA DE 2º ORDEN VS PASEM 2020 RECARGADA. HOMBRES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía y PASEM 2020 (en escala logarítmica), Datos en el Anexo 10

Como se puede ver en la Ilustración 3 las edades escogidas para el enlace de las tablas propias con las PASEM2020 recargadas son adecuadas, ya que el ajuste es suave y apenas se puede apreciar algún tipo de diferencia.

ILUSTRACIÓN 4: TABLA DE 2º ORDEN VS PASEM 2020 RECARGADA. MUJERES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía y PASEM 2020 (en escala logarítmica) datos en el Anexo 10

En la Ilustración 4 se puede apreciar que para el caso de mujeres el análisis es el mismo, es decir, se puede ver que las edades escogidas para el enlace de las tablas propias con las PASEM 2020 recargadas son adecuadas, ya que el ajuste es suave y apenas se puede apreciar algún tipo de diferencia.

3.4 Recargos

Como se ha comentado al principio de este trabajo, las tablas de 2º orden son utilizadas para Solvencia II. Una vez se tienen las tablas de segundo orden, se deben aplicar los recargos, para obtener las tablas de primer orden, que se utilizarán para contabilidad o Solvencia I.

Para este apartado se va a calcular el recargo para el riesgo de desviación, mientras que los recargos para el riesgo de nivel y el riesgo de modelo se utilizarán los que determina la DGSFP.

Para el riesgo de desviación se va a utilizar la siguiente fórmula:

$$(5) s^\alpha = \frac{\sqrt{\sum_x l_x \times q_x^{2^\circ \text{Ord.}} \times (1 - q_x^{2^\circ \text{Ord.}}) + \sum_y l_y \times q_y^{2^\circ \text{Ord.}} \times (1 - q_y^{2^\circ \text{Ord.}})}}{\sum_x l_x \times q_x^{2^\circ \text{Ord.}} + \sum_y l_y \times q_y^{2^\circ \text{Ord.}}} \times u_{1-\alpha}$$

Siendo:

- x la edad para los hombres e y la edad para las mujeres.
- $l_{x/y}$ el número de personas (hombres o mujeres) vivas a 31/12/2019.
- $u_{1-\alpha}$: cuantil de la distribución de la normal estándar.

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

Una vez calculado este recargo, para el resto se aplica los que marca la DGSFP, es decir, para el recargo por riesgo de nivel se aplica un 5% y para el recargo por riesgo de modelo se aplica un 5%. Ahora se tiene que calcular el recargo total que se calcula del siguiente modo:

$$(6) \quad (1 + s^{\infty}) \times (1 + r) - 1$$
$$= (1 + 0,086007) \times (1 + 0,05 + 0,05) - 1 = 19,46\%$$

Por lo tanto, el recargo total es del 19,46%. Ahora para generar las tablas de primer orden solo hay que aplicar la siguiente formula:

$$(7) \quad q_x^{1er\ orden} = q_x^{2o\ orden} \times (1 + recargo\ total)$$

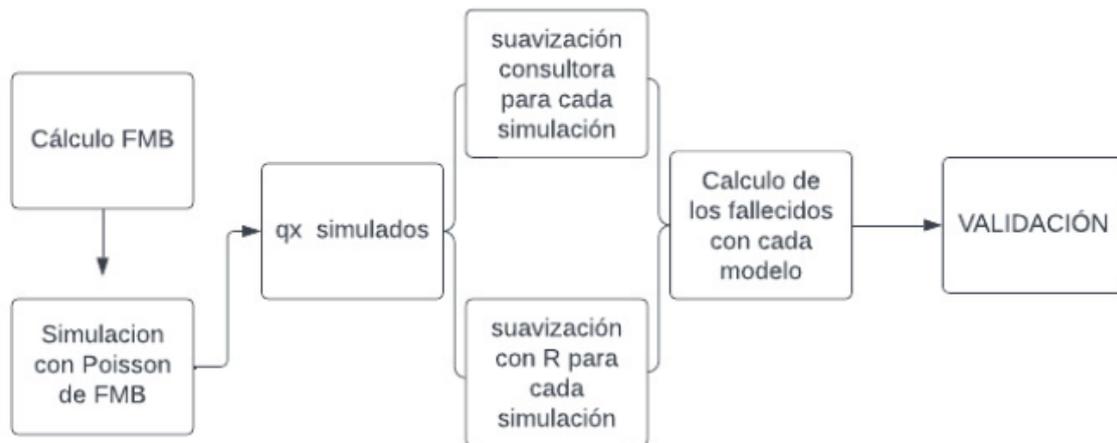
De este modo se obtienen las tablas de primer orden (Anexo 11)

$$q_x^{1er\ orden} = 1,1946 \times q_x^{2o\ orden}$$

4. Validación

Para comparar los resultados que se obtienen haciendo uso de los dos métodos testados, método Whittaker-Henderson actual que iba a utilizar la compañía, y método Whittaker-Henderson que implementa R mediante el paquete “MortalityTable”, se va a articular un mecanismo de validación por simulación numérica de Monte Carlo.

ILUSTRACIÓN 5: DIAGRAMA DE VALIDACIÓN



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

El método consiste en las siguientes etapas:

1. Utilizar una curva de mortalidad de referencia, como valores objetivo. Esta curva puede ser la de la población general, o la de la compañía o similar. En este trabajo se va a usar las tasas de mortalidad bruta calculadas anteriormente, para calcular los fallecidos teóricos que se tendrían a cada edad con la mortalidad bruta y el número de años de exposición para cada edad (x). Con la siguiente formula:

$$(8) \quad \text{Fallecidos Mortalidad bruta}_x = q_x^{\text{bruta}} \times L_x$$

2. Estos fallecidos por edad son utilizados para generar 1000 realizaciones sintéticas de mortalidad haciendo uso del Modelo Biométrico mediante simulación, utilizando la distribución de Poisson para obtener el número de fallecimientos de cada realización.

$$(9) \quad FMB_{\text{simulada}}(i,x) \sim \text{Poisson}(\lambda = \text{Fallecidos Mortalidad bruta}_x)$$

Siendo:

$FMB_{\text{simulada}}(i,x)$: una matriz (1000 X 57) que recoge las 1000 simulaciones de los fallecidos con la mortalidad bruta, para cada simulación i y para cada edad x.

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

Es importante destacar que esta ecuación implica que cada elemento de la matriz resultante, $FMBsimulada_{(i,x)}$, se simula independientemente utilizando la distribución de Poisson con su respectivo parámetro lambda, que será diferente para cada edad.

- Una vez se han calculado las 1000 simulaciones de los fallecidos, se procede a dividir cada simulación entre los pesos correspondientes a cada edad, del siguiente modo:

$$(10) \quad MBsimulada_{(i,x)} = FMBsimulada_{(i,x)} \div L_x$$

Siendo:

$MBsimulada_{(i,x)}$: una matriz (1000 X 57) que recoge las 1000 simulaciones de la mortalidad bruta, para cada simulación i y para cada edad x.

- Ahora con las q_x^{bruta} simuladas, se procede a la suavización de dichas tasas de mortalidad. Para la suavización de las q_x^{bruta} por el método actual se vuelca cada simulación de la mortalidad bruta en el Excel que dispone la compañía para la suavización y devuelve las tasas de mortalidad suavizadas. Mientras que en R se utiliza el paquete "MortalityTables". Ambas son suavizadas por el Método de Whittaker-Henderson con 2 grados de suavización y un factor de suavización igual a 0,5.
- Después de la suavización por ambos métodos de las tasas de mortalidad brutas simuladas, se va a proceder a la validación del método propuesto, comparándolo con el que actualmente usa la compañía.
La validación se realizará tanto para las edades que suponen un 0,5% o más de la cartera (de los 26 años a los 64 años), como para las edades que suponen más de un 1% de la cartera (de los 29 años a los 60 años).

Para ello, se multiplican las tasas suavizadas, con cada método, por los años de exposición a cada edad. De este modo se calculan los fallecidos con la mortalidad suavizada por cada método y después se procede con la validación del método propuesto.

$$(11) \quad Fall_{i,x}^{SIM_met(k)} = q_{(i,x)}^{Mortalidad\ suavizada\ método(k)} \times L_x$$

Una vez se han calculado los fallecidos de la mortalidad bruta y los fallecidos con la mortalidad suavizada para cada método, para todas las edades y

simulaciones, se procede a la validación del método propuesto. Para ello se va a realizar una serie de contadores y análisis que permitan reflejar que método de suavización se ajusta mejor a cada simulación de la mortalidad bruta.

4.1 Definición de errores

Ahora se van a definir los tipos de errores que se van a utilizar en este trabajo para la validación de los métodos.

- Suma en valor absoluto de las diferencias para cada simulación:

Para esta medida de bondad, primero se realiza la suma por simulación o realización, es decir se suma el valor de las diferencias en valor absoluto para todas las edades de una misma simulación.

$$(12) \quad EA[sim] = \sum_{x=16}^{64} |Fall_{i,x}^{simulados} - Fall_{i,x}^{SIM_met(k)}|$$

Donde:

- $Fall_{i,x}^{simulados}$: son las defunciones calculadas con la mortalidad bruta simulada
- $Fall_{i,x}^{SIM_met(k)}$: son las defunciones calculadas haciendo uso del método k, siendo k bien el método propuesto, bien el método actualmente utilizado por la compañía.
- Suma en valor absoluto de las diferencias para cada edad:

Para esta medida de bondad, primero se suma por edades, es decir se suma el valor de las diferencias en valor absoluto de todas las simulaciones para una misma edad.

$$(13) \quad EA[x] = \sum_{i=1}^{1000} |Fall_{i,x}^{simulados} - Fall_{i,x}^{SIM_met(k)}|$$

De este modo queda para cada una de las edades, un valor que recoge la suma de los valores absolutos de las diferencias de todas las simulaciones, para esa edad.

- Suma en valor cuadrático de las diferencias para cada simulación:

$$(14) \quad EC[sim] = \sum_{x=16}^{64} (Fall_{i,x}^{simulados} - Fall_{i,x}^{SIM_met(k)})^2$$

- Suma en valor cuadrático de las diferencias para cada edad:

$$(15) \quad EC[x] = \sum_{i=1}^{1000} \left(Fall_{i,x}^{simulados} - Fall_{i,x}^{SIM_met(k)} \right)^2$$

- Suma de los valores relativos de las diferencias absolutas para cada simulación:

$$(16) \quad EAR[sim] = \sum_{x=16}^{64} \frac{\left| Fall_{i,x}^{simulados} - Fall_{i,x}^{SIM_met(k)} \right|}{Fall_{i,x}^{simulados}}$$

- Suma de los valores relativos de las diferencias absolutas para cada edad:

$$(17) \quad EAR[x] = \sum_{i=1}^{1000} \frac{\left| Fall_{i,x}^{simulados} - Fall_{i,x}^{SIM_met(k)} \right|}{Fall_{i,x}^{simulados}}$$

- Suma en valor relativo de las diferencias cuadráticas para cada simulación:

$$(18) \quad ECR[sim] = \sum_{x=16}^{64} \frac{\left(Fall_{i,x}^{simulados} - Fall_{i,x}^{SIM_met(k)} \right)^2}{Fall_{i,x}^{simulados}}$$

- Suma en valor relativo de las diferencias cuadráticas para cada edad:

$$(19) \quad ECR[x] = \sum_{i=1}^{1000} \frac{\left(Fall_{i,x}^{simulados} - Fall_{i,x}^{SIM_met(k)} \right)^2}{Fall_{i,x}^{simulados}}$$

A continuación, se procederá a ver los indicadores los errores que se acaban de comentar.

Para el análisis del error por simulación de la realidad se cuenta el número simulaciones en las que el error del modelo propuesto es menor que el del modelo actual. Mientras que el análisis del error por edad cuenta el número de edades en las que el error del modelo propuesto es menor que el del modelo actual.

4.2 Validación hombres

Ahora se va a proceder a analizar los errores descritos anteriormente, para el caso de hombres.

4.2.1 Errores sin enlace y sin acotar edades

Este sería el caso concreto de comparar el método actual y el método propuesto, sin el enlace con las PASEM2020 (en las edades comentadas anteriormente) y con las edades que suponen más de un 0,5% de la cartera.

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras
Curso académico 2022-2023

TABLA 7: INDICADORES PARA TODAS LAS EDADES SIN ENLACE. HOMBRES

$N [EA[sim]^{propuesto} < EA[sim]^{consultora}]$	583 /1000	58,3%
$N [EC[sim]^{propuesto} < EC[sim]^{consultora}]$	516 /1000	51,6%
$N [ERA[sim]^{propuesto} < ERA[sim]^{consultora}]$	604 /1000	60,4%
$N [ERC[sim]^{propuesto} < ERC[sim]^{consultora}]$	966 /1000	96,6%
$N [EA[x]^{propuesto} < EA[x]^{consultora}]$	20/39	51,28%
$N [EC[x]^{propuesto} < EC[x]^{consultora}]$	18/39	46,15%
$N [ECR[x]^{propuesto} < ECR[x]^{consultora}]$	19/39	48,72%
$N [ECA[x]^{propuesto} < ECA[x]^{consultora}]$	20/39	51,28%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

En la Tabla 7 se puede ver en este caso los resultados de la suavización por el método propuesto son mejores que los del método actual en todos los indicadores por simulación, aunque por edad hablando en términos de error cuadrático y error absoluto relativo se ajusta peor, pero las son escasas.

TABLA 8: ERROR ABSOLUTO POR EDAD SIN ENLACE. HOMBRES

EDAD X	EA[X] MÉTODO ACTUAL	EA[X] MÉTODO PROPUESTO
26	295,4292	346,2057
27	510,403	565,2877
28	565,3789	694,2091
29	1163,925	1093,424
30	1445,471	1381,022
31	1963,059	1770,048
32	2641,707	2924,731
...
42	6488,899	6797,719
43	6872,341	6895,042
...
56	4903,648	4896,547
57	4633,88	4818,194
58	10448,02	10912
59	5503,586	5434,92
60	5348,97	5094,408
61	4918,319	4963,687
62	5811,654	6203,071
63	4392,701	4386,095
64	4425,795	4392,833

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

En la Tabla 8 se puede ver para cada edad que método se ajusta mejor, además se puede apreciar que el método propuesto se ajusta ligeramente mejor en las edades centrales. Esta tabla se podría replicar con los demás indicadores por edad que se van a analizar a continuación, pero no se considera necesario debido a que los resultados son muy similares. Como se puede ver las diferencias son bastante reducidas (tabla completa en el Anexo 12).

4.2.2 Errores sin enlace y acotando edades

Primero, viendo las tablas de los errores por edades se puede ver que la suavización de R se ajusta ligeramente peor en las edades extremas, que coinciden con las edades con menor volumen de cartera. Por lo tanto, se va a acotar las edades del análisis, solo para aquellas que suponen más de un 1% de la cartera es decir entre los 29 y los 60 años. Esto supone hacer el análisis con más del 92% de la cartera, por lo que no se pierde representatividad de la cartera.

TABLA 9: INDICADORES ACOTANDO EDADES. HOMBRES

$N [EA[sim]^{propuesto} < EA[sim]^{consultora}]$	724 /1000	72,4%
$N [EC[sim]^{propuesto} < EC[sim]^{consultora}]$	651 /1000	65,1%
$NERA[sim]^{propuesto} < ERA[sim]^{consultora} []$	906 /1000	90,6%
$N [ECR[sim]^{propuesto} < ECR[sim]^{consultora}]$	991 /1000	99,1%
$N [EA[x]^{propuesto} < EA[x]^{consultora}]$	18/32	56,25%
$N [EC[x]^{propuesto} < EC[x]^{consultora}]$	19/32	59,38%
$N [ERA[x]^{propuesto} < ERA[x]^{consultora}]$	18/32	56,25%
$N [ECA[x]^{propuesto} < ECA[x]^{consultora}]$	19/32	59,38%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

La Tabla 9 muestra como para este rango de edades el número de simulaciones en las que el método propuesto se ajusta mejor que el método actual, es elevado (más que para el rango de edades anterior). Sobre todo, si se atiende a los errores relativos en los que más del 90% de las simulaciones se ajustan mejor con el método propuesto. Si este análisis se realiza por edades, el número de edades en las cual se acierta disminuye ligeramente, pero ahora hay menos edades, por lo que el porcentaje de acierto es mayor. Por lo tanto, si el objetivo es ajustarse mejor en las edades en las que hay más masa en la cartera se podría decir que el ajuste del método propuesto es mejor, en este aspecto.

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

4.2.3 Errores con enlace y acotando edades

Como se ha comentado anteriormente, las tablas finales se enlazan con las PASEM 2020, en las edades en las que la masa de cartera de la compañía no es elevada. Por lo tanto, se considera importante realizar el análisis teniendo en cuenta esta especificad. También cabe destacar que este análisis solo tiene sentido cuando se realiza acotando las edades, ya que carece de sentido si se hace con las edades del primer análisis, ya que para edades inferiores a los 29 años y superiores a los 60 años las tablas serán iguales en ambos métodos.

TABLA 10: INDICADORES PARA TODAS LAS EDADES CON ENLACE. HOMBRES

$N [EA[sim]^{propuesto} < EA[sim]^{consultora}]$	618 /1000	61,8%
$N [EC[sim]^{propuesto} < EC[sim]^{consultora}]$	513 /1000	51,3%
$N [ERA[sim]^{propuesto} < ERA[sim]^{consultora}]$	942 /1000	94,2%
$N [ERC[sim]^{propuesto} < ERC[sim]^{consultora}]$	985 /1000	98,5%
$N [EA[x]^{propuesto} < EA[x]^{consultora}]$	16/32	50,00%
$N [EC[x]^{propuesto} < EC[x]^{consultora}]$	19/32	59,38%
$N [ERA[x]^{propuesto} < ERA[x]^{consultora}]$	16/32	50,00%
$N [ECA[x]^{propuesto} < ECA[x]^{consultora}]$	18/32	56,25%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Como se puede ver en la Tabla 10 en este caso los resultados de la suavización por el método propuesto siguen siendo mejores que los del método actual si se atiende al error por simulación. Mientras que si se atiende al análisis por edades el resultado es más ajustado, aunque el método propuesto lo sigue haciendo mejor o igual en todos los casos.

4.3 Validación mujeres

En este apartado se va a realizar el mismo proceso de validación que se acaba de realizar para hombres, pero en este caso para mujeres.

4.3.1 Errores sin enlace y sin acotar edades

Primero se van a mostrar los indicadores para el caso en el que no se enlazan las edades extremas con las PASEM2020 y no se acotan las edades.

TABLA 11: INDICADORES PARA TODAS LAS EDADES SIN ENLACE. MUJERES

$N [EA[sim]^{propuesto} < EA[sim]^{consultora}]$	556 /1000	55,6%
$N [EC[sim]^{propuesto} < EC[sim]^{consultora}]$	652 /1000	65,2%
$N [ERA[sim]^{propuesto} < ERA[sim]^{consultora}]$	655 /1000	65,5%
$N [ERC[sim]^{propuesto} < ERC[sim]^{consultora}]$	973 /1000	97,3%
$N [EA[x]^{propuesto} < EA[x]^{consultora}]$	21/39	53,85%
$N [EC[x]^{propuesto} < EC[x]^{consultora}]$	21/39	53,85%
$N [ERA[x]^{propuesto} < ERA[x]^{consultora}]$	20/39	51,28%
$N [ECA[x]^{propuesto} < ECA[x]^{consultora}]$	20/39	51,28%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

La Tabla 11 muestra los resultados de la suavización por el método propuesto son mejores que los del método actual en todos los indicadores, aunque por edad esa mejora sea casi insignificante.

4.3.2 Errores sin enlace y acotando edades

Ahora se va a analizar los métodos en vez de para todas las edades solo para las edades que suponen más de un 1% de la cartera es decir entre los 29 y los 60 años. Esto supone hacer el análisis con más del 92% de la cartera, por lo que no se pierde representatividad de la cartera.

TABLA 12: INDICADORES ACOTANDO EDADES. MUJERES

$N [EA[sim]^{propuesto} < EA[sim]^{consultora}]$	555/1000	55,5%
$N [EC[sim]^{propuesto} < EC[sim]^{consultora}]$	667/1000	66,7%
$N [ERA[sim]^{propuesto} < ERA[sim]^{consultora}]$	664/1000	66,4%
$N [ERC[sim]^{propuesto} < ERC[sim]^{consultora}]$	945/1000	94,5%
$N [EA[x]^{propuesto} < EA[x]^{consultora}]$	17/32	53,13%
$N [EC[x]^{propuesto} < EC[x]^{consultora}]$	18/32	56,25%
$N [ERA[x]^{propuesto} < ERA[x]^{consultora}]$	17/32	53,13%
$N [ECA[x]^{propuesto} < ECA[x]^{consultora}]$	19/32	59,38%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

En la Tabla 12 se puede ver como para este rango de edades los resultados mejoran ligeramente, como era de esperar ya que las edades que tienen poco peso en la cartera

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

son las que mayor error aportan al método propuesto. Hay que destacar los indicadores por edad, los cuales, con esta mejora, ya se separan más del límite de ser menor del 50%, donde empezaría a ajustarse peor el método propuesto.

4.3.3 Errores con enlace y acotando edades

Como se ha comentado anteriormente, las tablas finales se enlazarán con las PASEM2020, en las edades en las que la masa de cartera de la compañía no es elevada. Por lo que se va a realizar el análisis hecho anteriormente con esta especificidad en hombres, para mujeres también.

TABLA 13: INDICADORES PARA TODAS LAS EDADES CON ENLACE. MUJERES

$N [EA[sim]^{propuesto} < EA[sim]^{consultora}]$	656/1000	65,6%
$N [EC[sim]^{propuesto} < EC[sim]^{consultora}]$	834/1000	83,4%
$N [ERA[sim]^{propuesto} < ERA[sim]^{consultora}]$	674/1000	67,4%
$N [ERC[sim]^{propuesto} < ERC[sim]^{consultora}]$	971/1000	97,1%
$N [EA[x]^{propuesto} < EA[x]^{consultora}]$	17/32	53,13%
$N [EC[x]^{propuesto} < EC[x]^{consultora}]$	18/32	56,25%
$N [ERA[x]^{propuesto} < ERA[x]^{consultora}]$	16/32	50,00%
$N [ECA[x]^{propuesto} < ECA[x]^{consultora}]$	18/32	56,25%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

La Tabla 13 muestra como en términos generales los resultados son muy similares a los del apartado anterior, es decir el método propuesto se ajusta igual o ligeramente mejor en todos los indicadores por edad y considerablemente mejor en los indicadores por simulación.

4.4 Análisis más profundos del error absoluto

A continuación, se va a proceder a hacer un análisis más profundo con el error absoluto con todas las edades y sin enlace de las tablas, para el caso de los hombres (para el caso de mujeres ver Anexo 13).

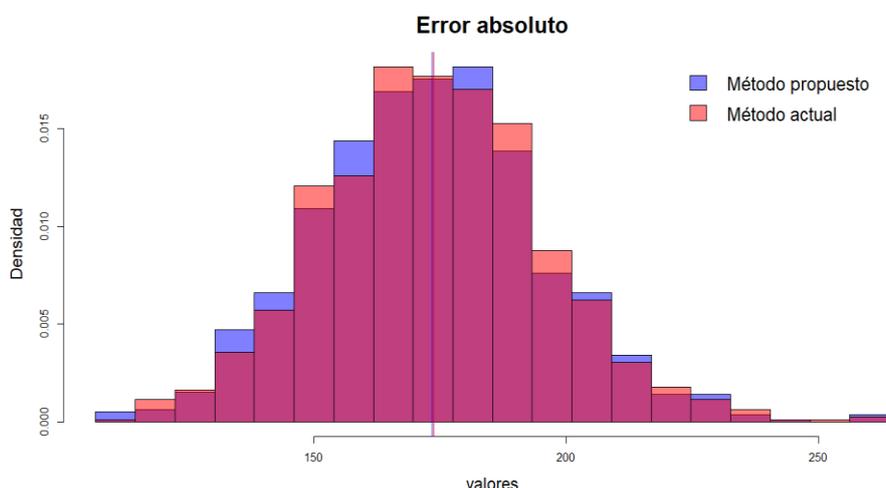
TABLA 14: MEDIDAS DESCRIPTIVAS DEL ERROR ABSOLUTO. HOMBRES

	EA MÉTODO ACTUAL	EA MÉTODO PROPUESTO
MEDIA	173.8128	173.1721
MÁXIMO	263.211	264.0459
MÍNIMO	111.5639	106.6535
MEDIANA	173.6188	173.3727

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

En la Tabla 14 se puede apreciar en términos absolutos tanto la media como el máximo, el mínimo y la mediana son prácticamente iguales, aunque con una ligera mejora utilizando el método propuesto, excepto en el máximo.

ILUSTRACIÓN 6: HISTOGRAMA DEL ERROR ABSOLUTO. HOMBRES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

En el histograma de errores de la Ilustración 6 no se puede ver un patrón claro que diferencie el comportamiento del error absoluto del método actual con el del método propuesto, ya que se puede apreciar como la mayor parte del histograma está en un tono morado, que representa la superposición de ambos métodos. Además, se debe comentar que como se puede ver sus medianas (líneas verticales), están prácticamente superpuestas.

Ahora se va a ver cuándo el método propuesto lo hace peor, cuál es su error y cuando el método actual lo hace peor cuál es su error, para luego compararlos. De este modo además de saber el número de veces que un método se ajusta mejor que el otro, como ya se ha visto, se verá en caso de que falle como es su error comparándolo con el otro método.

TABLA 15: MEDIDAS DESCRIPTIVAS DEL ERROR ABSOLUTO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE PEOR. HOMBRES

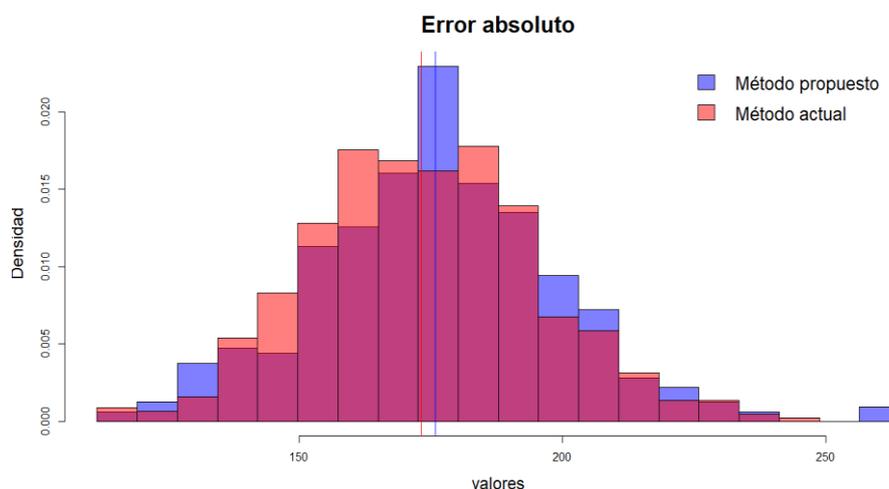
	EA MÉTODO ACTUAL	EA MÉTODO PROPUESTO
MEDIA	173.7521	176.1567
MÁXIMO	246.8842	264.0459
MÍNIMO	111.5639	116.554
MEDIANA	173.1628	175.8107

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

En la Tabla 15 se exponen las medidas descriptivas del error absoluto, cuando el método (k) lo hace peor respecto al otro método, siendo k bien el método actual o el método propuesto. Como se puede ver en todos los casos el error del método propuesto es

mayor, es decir cuando el método propuesto falla, el error absoluto es mayor que cuando el método actual falla. Por lo tanto, se puede concluir que en este aspecto el método actual es mejor, aunque las diferencias no son muy elevadas.

ILUSTRACIÓN 7: HISTOGRAMA DEL ERROR ABSOLUTO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE PEOR. HOMBRES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

En la Ilustración 7 se puede ver un histograma, donde se puede apreciar una mayor concentración del método actual en los valores que suponen un menor error absoluto. Además, se muestra la mediana del método propuesto (línea en azul) y la mediana del método actual (línea en rojo) y como se puede ver la del método actual es menor.

Ahora para completar el análisis se va a hacer el mismo análisis, pero en caso contrario, es decir analizar cuando el método propuesto lo hace mejor, cuál es su error y cuando el método actual lo hace mejor cuál es su error.

TABLA 16: MEDIDAS DESCRIPTIVAS DEL ERROR ABSOLUTO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE MEJOR. HOMBRES

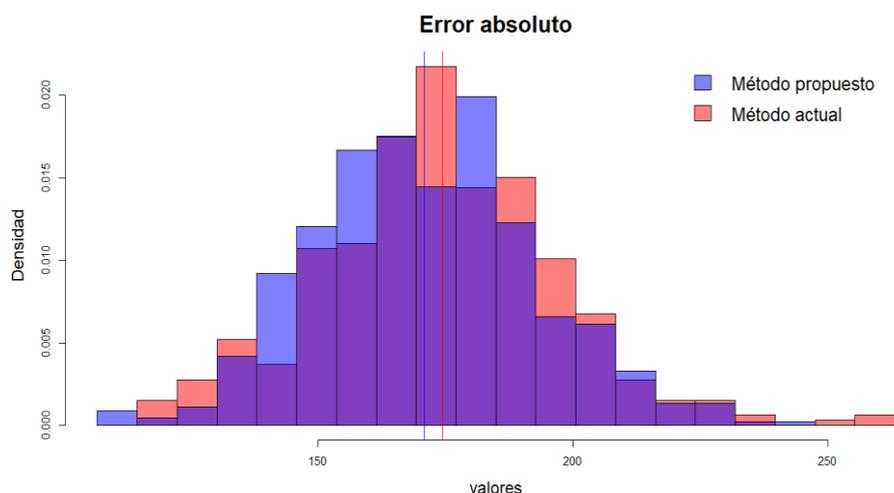
	EAR MÉTODO ACTUAL	EAR MÉTODO PROPUESTO
MEDIA	173.8976	171.0374
MÁXIMO	263.211	245.6491
MÍNIMO	116.3255	106.6535
MEDIANA	174.3494	170.8822

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

En la Tabla 16 se exponen las medidas descriptivas del error absoluto, cuando el método (k) lo hace mejor respecto al otro método. Como se puede ver en todas las medidas descriptivas el error del método propuesto es menor, es decir cuando el método propuesto acierta, el error absoluto es menor que cuando el método actual acierta. Por

lo tanto, se puede concluir que en este aspecto el método propuesto es mejor, aunque las diferencias no son muy elevadas, son ligeramente mayores a las diferencias que se veían en el apartado anterior.

ILUSTRACIÓN 8: HISTOGRAMA DEL ERROR ABSOLUTO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE MEJOR. HOMBRES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

El histograma de la Ilustración 8, refleja como los errores del método propuesto se concentran más en los valores en los que este es menor, por lo que en este aspecto se puede concluir que el método propuesto es mejor. Además, se muestra la mediana del método propuesto (línea en azul) y la mediana del método actual (línea en rojo) y como se puede ver la del método propuesto es menor.

Por lo tanto, de este análisis más profundo del error absoluto se pueden extraer varias conclusiones, la primera es que en términos generales el método propuesto se ajusta ligeramente mejor a la mortalidad simulada. Aunque cuando se ajusta peor que el método actual, su error es mayor que cuando falla el método actual. Pero cuando se ajusta mejor que el método actual, su error es menor que cuando acierta el método actual. Es decir, cuando el método propuesto acierta lo hace mejor que cuando acierta el método actual, pero cuando falla lo hace peor que cuando falla el método actual, entendiendo acertar por ajustarse mejor que el método actual. Cabe destacar que para el caso de las mujeres las conclusiones son las mismas (ver Anexo 13).

4.5 Análisis más profundos con error absoluto relativo

A continuación, se va a proceder a hacer un análisis más profundo con el error absoluto relativo con todas las edades y sin enlace de las tablas, para el caso de las mujeres (para el caso de hombres ver Anexo 14).

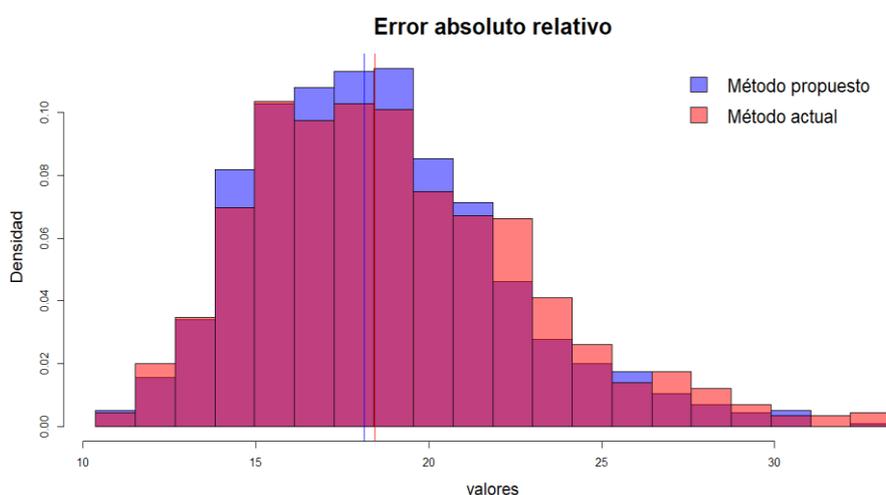
TABLA 17: MEDIDAS DESCRIPTIVAS DEL ERROR ABSOLUTO RELATIVO. MUJERES

	EAR MÉTODO ACTUAL	EAR MÉTODO PROPUESTO
MEDIA	18.95337	18.51123
MÁXIMO	33.33355	32.28037
MÍNIMO	10.4325	10.36935
MEDIANA	18.43162	18.13586

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

La Tabla 17 muestra como en general el método propuesto, lo hace mejor que el método actual. Ya que tanto la media, como el máximo, el mínimo y la mediana, son inferiores a los del método actual. A continuación, se muestra el histograma de los errores absolutos relativos.

ILUSTRACIÓN 9: HISTOGRAMA DEL ERROR ABSOLUTO RELATIVO. MUJERES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

En el histograma de la Ilustración 9, se puede ver cómo está distribuido el error absoluto relativo tanto del método propuesto (azul) como del método actual (rojo). Como se puede apreciar las diferencias son escasas, Pero hay que comentar que el error del método propuesto está más concentrado en torno a su mediana (línea azul), mientras que el error del método actual varía más, sobre todo de forma negativa (mayor error).

Ahora se va a ver cuándo el método propuesto lo hace peor, cuál es su error y cuando el método actual lo hace peor cuál es su error, para luego compararlos. De este modo además de saber el número de veces que un método se ajusta mejor que el otro, como ya se ha visto, se verá en caso de que falle como es su error comparándolo con el otro método.

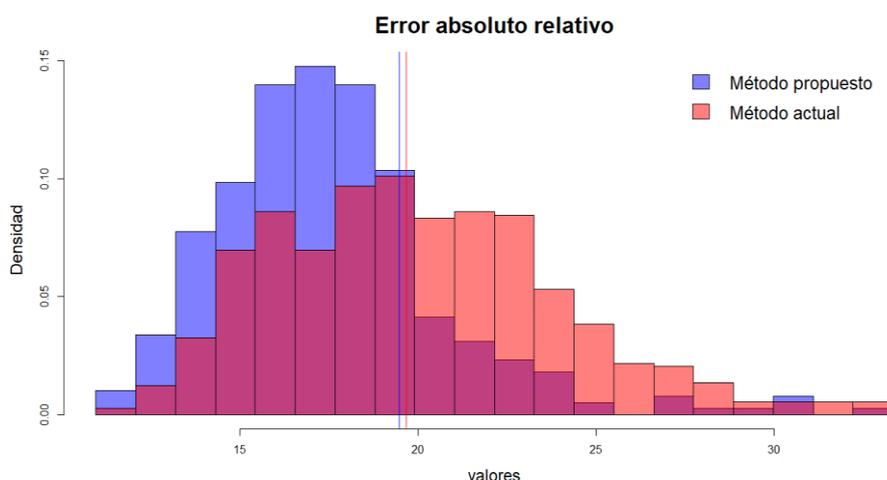
TABLA 18: MEDIDAS DESCRIPTIVAS DEL ERROR ABSOLUTO RELATIVO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE PEOR. MUJERES

	EAR MÉTODO ACTUAL	EAR MÉTODO PROPUESTO
MEDIA	19.96118	17.57741
MÁXIMO	33.33355	32.28037
MÍNIMO	11.23752	10.96652
MEDIANA	19.67102	17.26332

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

La Tabla 18 muestra como en general cuando el método propuesto falla, lo hace mejor que cuando el método actual falla. Ya que tanto la media, el máximo, el mínimo y la mediana son inferiores a los del método actual. A continuación, se muestra el histograma de los errores absolutos relativos, cuando el método actual o el propuesto fallan.

ILUSTRACIÓN 10: HISTOGRAMA DEL ERROR ABSOLUTO RELATIVO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE PEOR. MUJERES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Como se puede ver en la Ilustración 10, el error del método propuesto cuando falla está mucho más concentrado y en general es menor que el del método actual. En el histograma se puede ver el cuantil 80 del método propuesto (línea en azul) y la mediana del método actual (línea en rojo). Esto indica que el 80% del error del método propuesto se encuentra por debajo del 50% del error del método actual.

Ahora se va a hacer el mismo análisis, pero en caso contrario, es decir analizar cuando el método propuesto lo hace mejor, cuál es su error y cuando el método actual lo hace mejor cuál es su error.

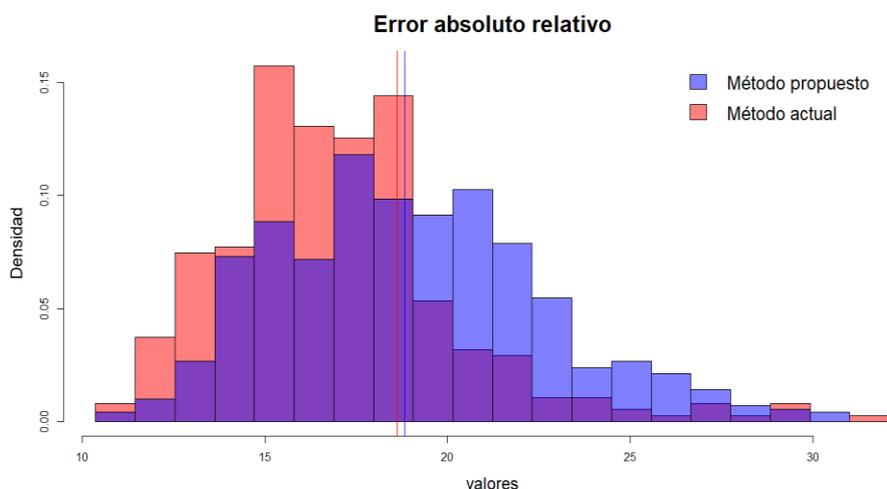
TABLA 19: MEDIDAS DESCRIPTIVAS DEL ERROR ABSOLUTO RELATIVO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE MEJOR. MUJERES

	EAR MÉTODO ACTUAL	EAR MÉTODO PROPUESTO
MEDIA	17.04	19.00308
MÁXIMO	32.08699	30.30847
MÍNIMO	10.4325	10.36935
MEDIANA	16.59569	18.8195

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Como se puede ver en la Tabla 19 cuando el método actual acierta, pasa lo contrario que cuando falla y es que se ajusta mejor. Tanto la media como la mediana se ajustan mejor cuando acierta que el método propuesto. Para este análisis el mínimo y el máximo sí que son inferiores en el método propuesto cuando acierta, a cuando el método actual cuando acierta.

ILUSTRACIÓN 11: HISTOGRAMA DEL ERROR ABSOLUTO RELATIVO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE MEJOR. MUJERES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Como se puede ver en la Ilustración 11, el error del método actual cuando acierta está mucho más concentrado y en general es menor que el del método propuesto. En el histograma se puede ver el cuantil 75 del método actual (línea en rojo) y la mediana del método propuesto (línea en azul). Esto indica que el 75% del error del método actual se encuentra por debajo del 50% del error del método propuesto.

Por lo tanto, tampoco hay un resultado claro que arroje una conclusión inequívoca de que método es mejor, ya que el método propuesto se ajusta en un mayor número de veces y, además, cuando se ajusta peor que el método actual su error es menor que cuando falla el método actual. Pero cuando se ajusta mejor que el método actual, su

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

error es mayor, que cuando acierta el método actual. Aunque hay que destacar que el método propuesto tiene una menor variabilidad lo cual también es importante. Es decir, por norma el error del método propuesto es relativamente constante, en cambio el método actual tiene mayor volatilidad y cierta tendencia a hacerlo peor que el propuesto. Cabe destacar que para el caso de los hombres las conclusiones son las mismas (ver Anexo 14).

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

5. Resultados

En esta sección se van a mostrar los resultados obtenidos en el trabajo, el resultado de las tablas de primer orden, siendo conscientes que están sobrecargadas por el motivo de los años de selección comentado anteriormente, así como los resultados de la validación del método propuesto de suavización.

A continuación, se puede ver un extracto de la tabla de primer orden que se ha generado:

TABLA 20: TABLAS DE PRIMER ORDEN

EDADES	TABLA DE PRIMER ORDEN HOMBRES	TABLAS DE PRIMER ORDEN MUJERES
0	0,002584508	0,002203146
1	0,000186038	0,000157142
2	0,000155329	0,000129373
...
30	0,000372676	0,000153902
31	0,000393752	0,000153002
32	0,000430014	0,000149091
...
50	0,002300486	0,001267114
51	0,002682356	0,001484573
52	0,003100803	0,0016829
53	0,003538569	0,001839678
54	0,003986542	0,001966448
55	0,004444044	0,002079933
56	0,004908338	0,00221877
57	0,005400562	0,002415473
58	0,005942052	0,00268673
59	0,006515276	0,002937101
60	0,00706795	0,003133062
61	0,007533684	0,003259684
...
80	0,044275911	0,025123216
81	0,049566617	0,029023493
82	0,055556396	0,033660923
...
105	0,77516415	0,742878747
106	0,941888065	0,905787241
107	1	1
...
120	1	1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía y PASEM 2020 (tablas completas en el Anexo 11)

Ahora se muestra una tabla resumen con los resultados de la validación del método propuesto comparándolo con el método actual.

TABLA 21: RESULTADOS VALIDACIÓN

INDICADOR	MÉTODO PROPUESTO	MÉTODO ACTUAL
N.º REALIDADES QUE SE AJUSTA MEJOR	<input checked="" type="checkbox"/>	
N.º EDADES QUE SE AJUSTA MEJOR	<input checked="" type="checkbox"/>	
CUANDO FALLA EL MÉTODO EL ERROR ABSOLUTO ES MENOR		<input checked="" type="checkbox"/>
CUANDO ACIERTA EL MÉTODO EL ERROR ABSOLUTO ES MENOR	<input checked="" type="checkbox"/>	
CUANDO FALLA EL MÉTODO EL ERROR ABSOLUTO RELATIVO ES MENOR	<input checked="" type="checkbox"/>	
CUANDO ACIERTA EL MÉTODO EL ERROR ABSOLUTO RELATIVO ES MENOR		<input checked="" type="checkbox"/>

Fuente: Elaboración propia

6. Conclusiones y valoración crítica

Este trabajo se ha realizado con el objetivo de proporcionar unas tablas propias para los sistemas de control interno de la compañía, es por ello que en las estimaciones realizadas no se ha utilizado la base de datos al completo, se ha tenido en cuenta un efecto selección de 2 años, excluyendo del análisis el primer y segundo año del asegurado en la compañía. Este aspecto es importante, ya que como se ve a lo largo del desarrollo del trabajo, la mortalidad estimada es considerablemente superior a la mortalidad real de la compañía, debido a que al tener en cuenta el año selección se está excluyendo el efecto de selección de riesgos de la compañía. Este hecho hace que los resultados que se derivan de las tablas obtenidas estén sobrecargados.

Se puede afirmar que las tablas generadas serán de gran utilidad para el control interno de la compañía, no obstante, estas no podrán ser consideradas como *tablas propias de compañía*. Es importante señalar que el proceso que se ha llevado a cabo en este estudio permite la elaboración de unas *tablas propias* las cuales si reflejen la experiencia de mortalidad de la compañía. El proceso articulado, así como los scripts creados, podrán ser actualizados para la derivación de unas *tablas propias reales*.

Respecto a la suavización de las tablas de mortalidad se ha propuesto una variante metodológica del método de Whittaker-Henderson (W-H) con el objetivo de mejorar la actual, la cual también utiliza W-H, aunque con matices diferentes y desarrollado en otro lenguaje de programación (VBA en Ms Excel). La validación realizada se hace a partir de errores absolutos y errores relativos. De esta manera se concluye que el método propuesto se ajusta ligeramente mejor a la mortalidad bruta, así. (i) en términos relativos para cada realización, el número de veces que el modelo propuesto se ajusta mejor que el actual es bastante elevado; en términos absolutos por realización y analizando por edades, el método propuesto también es mejor que el actual, aunque los resultados son más ajustados.

Al realizar un análisis más fino, por ejemplo comparando los errores cuando uno de los métodos es peor que el otro y viceversa, no se han podido encontrar diferencias claras: en términos de error absoluto el método propuesto tiene mayor error cuando falla y menor error cuando acierta; sucede lo contrario cuando se analiza de esta manera con el error absoluto relativo. En base a esto no se puede asegurar que el método propuesto se ajusta mejor que el actual.

Así, aun no pudiendo concluir que el método propuesto mejore al método actual (de la consultora) en todos los indicadores de error considerados, se puede asegurar que el método propuesto es, al menos, igual de válido que el actual y, además, elimina ciertas lagunas metodológicas del método actual, como por ejemplo el tratamiento de los datos

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

faltantes, lo que aporta mayor transparencia, trazabilidad del proceso, y en general control de este.

Para ampliar los resultados obtenidos en este trabajo convendría aplicar el proceso seguido con diversos tratamientos de los datos brutos y, así, por comparación, determinar la importancia de los mismos en la tabla de control interno o la tabla propia que se generen.

7. Bibliografía

Ayuso, M. (2007). *Estadística actuarial vida*. Barcelona: Universitat de Barcelona.

BOE-A-2020-17154 Resolución de 17 de diciembre de 2020, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, relativa a las tablas de mortalidad y supervivencia a utilizar por las entidades aseguradoras y reaseguradoras, y por la que se aprueba la guía técnica relativa a los criterios de supervisión en relación con las tablas biométricas, y sobre determinadas recomendaciones para fomentar la elaboración de estadísticas biométricas sectoriales. (s/f). Boe.es. Recuperado el 14 de agosto de 2023, de [https://www.boe.es/eli/es/res/2020/12/17/\(4\)](https://www.boe.es/eli/es/res/2020/12/17/(4))

BOE-A-1998-27047 Real Decreto 2486/1998, de 20 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados. (s/f). Boe.es. Recuperado el 14 de agosto de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1998-27047>

BOE-A-2021-10870 Circular 1/2021, de 17 de junio, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, relativa a aspectos cuantitativos y cualitativos necesarios para garantizar la adecuación de las hipótesis biométricas aplicadas en el cálculo de las tarifas de primas, de las provisiones técnicas contables y de las provisiones técnicas de solvencia; y de modificación de la Circular 1/2018, de 17 de abril, por la que se desarrollan los modelos de informes, las guías de actuación y la periodicidad del alcance del informe especial de revisión del informe sobre la situación financiera y de solvencia, individual y de grupos, y el responsable de su elaboración. (s/f). Boe.es. Recuperado el 14 de agosto de 2023, de <https://www.boe.es/eli/es/cir/2021/06/17/1>

Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones. (2019). *Proceso abierto de consulta sobre tablas biométricas* .

ICEA. (s.f.). *Tablas de Mortalidad de la Población Asegurada Española PASEM 2010*.

Kainhofer , R. (18 de 08 de 2021). *MortalityTables: A Framework for Various Types of Mortality / Life Tables*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/web/packages/MortalityTables/index.html>

Tamayo Ayala , S. (2014). *Propuesta Metodológica de graduación no Paramétrica de Whittaker-Henderson*. Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires Centro Interamericano de Estudios de Seguridad Social. Buenos Aires, Argentina: Centro Interamericano de Estudios de Seguridad Social (CIESS).

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras
Curso académico 2022-2023

The R Project. (s.f.). The R Project for Statistical Computing. Obtenido de <https://www.r-project.org/>

Anexo 1: Resolución de 17 de diciembre de 2020. Definiciones

“A efectos de lo establecido en esta resolución se utilizan las siguientes definiciones:

- 1. ‘Seguro de supervivencia’: Seguro que supone para el asegurador una exposición sustancial al riesgo de longevidad, tal como se define en el artículo 72.b) del Real Decreto 1060/2015, de 20 de noviembre, de ordenación, supervisión y solvencia de las entidades aseguradoras y reaseguradoras, realizándose la evaluación de dicha exposición al inicio del contrato, con las bases técnicas utilizadas en el cálculo de la prima.*
- 2. ‘Seguro de vida-riesgo’: Seguro que supone para el asegurador una exposición sustancial al riesgo de mortalidad, tal como se define en el artículo 72.a) del Real Decreto 1060/2015, de 20 de noviembre, realizándose la evaluación de dicha exposición al inicio del contrato, con las bases técnicas utilizadas en el cálculo de la prima. En esta definición se incluyen los seguros de decesos.*
- 3. ‘Seguro individual’: Seguro en el que cada asegurado dispone de autonomía incondicional para suscribir o no el contrato de seguro, con independencia de que la cobertura se formalice en un seguro para cada asegurado o un seguro de grupo con un único tomador. No se entenderán incluidas en este tipo de seguro las prestaciones otorgadas por las mutualidades de previsión social en su condición de alternativas al Régimen Especial de la Seguridad Social de los trabajadores por cuenta propia o autónomos.*
- 4. ‘Seguro vida-riesgo relacionado con otras operaciones’: Seguro vida-riesgo en el que el tomador acepta la contratación básicamente por estar relacionado con otra operación, que es la que constituye el propósito principal del cliente. Pertencerán a esta categoría aquellos productos de seguro comercializados con otros productos o servicios a través de una modalidad de venta vinculada o de venta combinada, así como seguros individuales o seguros colectivos si el propósito principal del asegurado no es el de contratar el seguro vida-riesgo.*
- 5. ‘Tabla biométrica de segundo orden’: Tabla que recoge la estimación central de los tantos de mortalidad sin incorporar los riesgos de modelo, nivel, volatilidad, tendencia, incertidumbre paramétrica, riesgos de base y, en general, cualquier otro riesgo biométrico que sea considerado por el mercado para transferir carteras o asumir riesgos.*
- 6. ‘Recargos técnicos’: Recargos sobre las tablas biométricas de segundo orden que reflejan los riesgos de modelo, nivel, volatilidad, tendencia, incertidumbre paramétrica, riesgos de base y en general cualquier otro riesgo biométrico que sea considerado por el mercado para transferir carteras o asumir riesgos.*
- 7. ‘Tabla biométrica de primer orden’: Tabla que recoge la estimación central de los tantos de mortalidad y además los recargos técnicos que capturan los riesgos de modelo,*

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

nivel, volatilidad, tendencia, incertidumbre paramétrica, riesgos de base y en general cualquier otro riesgo biométrico que sea considerado por el mercado para transferir carteras o asumir riesgos.

8. *‘Tabla de experiencia propia de la entidad’: Cualquier tabla de longevidad o de mortalidad diferente de las tablas declaradas admisibles y publicadas en los anexos de esta resolución. Se incluye en esta definición toda tabla biométrica derivada de las tablas a las que se da publicidad en esta resolución mediante la aplicación de un ajuste de cualquier naturaleza sobre los tantos de mortalidad, los factores de mejora o los recargos técnicos que derivan las tablas biométricas de primer orden.*

9. *‘Tablas PER2000’: Cualquiera de las tablas biométricas publicadas mediante Resolución de 3 de octubre de 2000, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, por la que se da cumplimiento a lo previsto en el número 5 de la disposición transitoria segunda del Reglamento de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados, aprobado por el Real Decreto 2486/1998, de 20 de noviembre, en relación con las tablas de mortalidad y supervivencia a utilizar por las entidades aseguradoras.*

10. *‘Tablas PASEM2010’: Las tablas biométricas publicadas mediante la Resolución de 6 de julio de 2012, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones, por la que se da cumplimiento a lo previsto en la disposición adicional única del Real Decreto 1736/2010, de 23 de diciembre, por el que se modifica el Plan de Contabilidad de las Entidades Aseguradoras, aprobado por el Real Decreto 1317/2008, de 24 de julio, en relación con las tablas de mortalidad y supervivencia a utilizar por las entidades aseguradoras y al artículo único de la Orden EHA/69/2011, de 21 de enero, por la que se prorroga la utilización de las tablas de supervivencia GRM95 y GRF95 y las tablas de fallecimiento GKM95 y GKF95 en el sistema de planes de pensiones.*

11. *‘Año central base de una tabla biométrica’: Intervalo anual cuya mortalidad refleja de forma suficientemente aproximada la mortalidad promedio del período de experiencia tomado como referencia para el cálculo de los tantos anuales de mortalidad base de la tabla biométrica.’’*

Anexo 2: Resolución de 17 de diciembre de 2020

“Declaración en relación con determinadas tablas biométricas objeto de resoluciones previas de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones. Se declara que las tablas para seguros de supervivencia GR95 y PER2000 y las tablas para seguros de vida-riesgo GK95 y PASEM2010 no cumplen ya los requisitos exigidos por la normativa vigente para ser aplicadas a los siguientes fines:

1. Para el cálculo de las tarifas de primas. A la vista de la antigüedad de su período de observación y de la experiencia biométrica disponible, se declara que, transcurrido un plazo de tres meses desde la entrada en vigor de esta resolución, dichas tablas no serán compatibles con la protección de los intereses de los tomadores, asegurados y beneficiarios exigida por el artículo 1 de la Ley 20/2015, de 14 de julio, de ordenación, supervisión y solvencia de las entidades aseguradoras y reaseguradoras.

2. Para el cálculo de las provisiones técnicas contables, salvo que su aplicación sea imperativa bien por el artículo 34.2 del Reglamento de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados, aprobado por el Real Decreto 2486/1998, de 20 de noviembre, o bien por la aplicación del principio de prudencia del marco conceptual del Plan de Contabilidad de las Entidades Aseguradoras y Reaseguradoras y normas sobre la formulación de las cuentas anuales consolidadas de los grupos de entidades aseguradoras y reaseguradoras, aprobado por el Real Decreto 1317/2008, de 24 de julio.

3. Para el cálculo de las provisiones técnicas previstas en el régimen especial de solvencia, salvo que su aplicación sea imperativa por disposición del artículo 133.2 del Real Decreto 1060/2015, de 20 de noviembre.

4. Para el cálculo de la mejor estimación de las provisiones técnicas usada en el informe sobre la situación financiera y de solvencia regulado en el capítulo III del título III del Real Decreto 1060/2015, de 20 de noviembre. A la vista de la experiencia biométrica disponible se declara que las entidades no pueden asumir como hipótesis de partida sin evidencia adicional que las tablas mencionadas en este apartado reflejan la mejor estimación a efectos de solvencia.

5. Para el cálculo de las magnitudes actuariales asociadas a la cobertura de las prestaciones de fallecimiento y supervivencia en el ámbito de los planes de pensiones”

Anexo 3: Circular 1/2021, de 17 de junio, de la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones (artículos 4, 5 y 6)

Artículo 4: Metodología para la elaboración de las tablas biométricas de segundo orden de experiencia propia.

Las tablas de 2º orden de experiencia propia de la entidad se aplicarán en un marco adecuado que debe cumplir los siguientes requisitos:

- Implantación de procesos de gobierno para determinar las hipótesis biométricas, garantizando la calidad del dato, un control interno continuado.
- Las tablas deben basarse en experiencia fiable y datos de calidad, de al menos los últimos 5 años naturales completos, desde el cálculo de la provisión técnica.
- La cartera debe tener un tamaño suficiente para permitir la inferencia estadística y no presentar una volatilidad excesiva.
- La metodología de cálculo y los mecanismos de monitorización y validación deben ser verificados externa e independientemente, al menos cada 2 años.
- Deben evidenciar que las tablas de experiencia propia se adecuen al comportamiento de la cartera y que se ajusta mejor que las tablas publicadas por la DGSFP.

Artículo 5: Metodología para la elaboración de las tablas biométricas de primer orden de experiencia propia.

- Las tablas de primer orden deben estar basadas en tablas de segundo orden.
- Las tablas biométricas de segundo orden se ajustarán incorporando los recargos técnicos necesarios para cubrir el riesgo de modelo, de nivel, tendencia, volatilidad, incertidumbre paramétrica y en general, cualquier otro elemento biométrico considerado por el mercado para transferir carteras o asumir riesgos. Para garantizar su suficiencia, los recargos técnicos capturarán los riesgos con referencia a la duración de los contratos de seguro.
- El nivel de confianza de los recargos técnicos reflejará la situación del mercado. Un nivel de confianza del 75 por ciento con metodología valor en riesgo (VAR) y con un horizonte temporal correspondiente a la duración de los contratos de seguro refleja la situación del mercado, sin perjuicio de situaciones concretas que pudiesen necesitar un nivel de confianza superior.
- La estimación de recargos técnicos sobre la base de la experiencia propia de la entidad será admisible cuando el elemento correspondiente de la mejor estimación haya sido determinado también con la experiencia propia de la entidad.

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

Cuando la experiencia de la entidad permita inferir una insuficiencia en la aplicación de las tablas biométricas de segundo orden de la DGSFP y la entidad no puede derivar no puede crear tablas de experiencia propia según lo establecido en los artículos 4 y 5 de esta circular. Será admisible la corrección de las tablas de la DGSFP mediante la aplicación de un porcentaje, desplazamiento de edades o una combinación de ambas.

Artículo 6: Criterios de buen gobierno de los procesos referidos a tablas biométricas y recargos técnicos basados en experiencia propia.

Las tablas y los recargos técnicos deberán ser adecuados, no sólo para el conjunto de asegurados al que se aplican, sino para cada uno de los tramos de edad significativos, no considerándose idónea la compensación de desviaciones materiales en unos tramos de edad con desviaciones en otros tramos.

A efectos de valorar el buen gobierno de los procesos indicados se exigirá que dispongan, al menos, de los siguientes elementos:

Metodología e hipótesis empleadas:

- La adecuación de la metodología al perfil de riesgo del producto o productos de la entidad, en caso de duraciones superiores a 5 años se deberá tener en cuenta la mejora en la supervivencia.
- Los criterios aplicados en la definición de grupos biométricamente homogéneos. Exclusivamente a efectos de verificar la suficiencia del cálculo de las provisiones técnicas, la entidad deberá capturar las diferencias de comportamiento biométrico por sexo, salvo justificación sólida de que tal diferenciación no es necesaria para monitorizar el riesgo de base asociado al uso de tablas unisex en relación con el colectivo asegurado. Esta diferenciación, a los efectos citados, en ningún caso podrá suponer distinto trato entre hombres y mujeres en las primas y prestaciones de las personas aseguradas.
- Definir las hipótesis, justificación y explicación de los factores de riesgo considerados
- Identificación de las limitaciones de la metodología empleada.
- Actuaciones previstas por la entidad en caso de incumplimiento de las hipótesis en que se fundamente la metodología empleada.
- Forma en que se han tenido en cuenta futuras evoluciones en ámbitos tales como el demográfico, médico, social, económico o cualquier otro con incidencia sobre los riesgos biométricos estimados.
- Procedimientos establecidos para revisar la metodología e hipótesis adoptadas, y verificación continuada de su adecuación al perfil de riesgo de la entidad.

Calidad de los datos empleados:

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

- Justificar que dispone de un número de observaciones suficiente para la estimación del nivel del riesgo biométrico considerado, así como de información histórica suficiente para la estimación de su tendencia.
- Demostrar que ningún dato pertinente ha sido excluido.
- Realizar análisis de sensibilidad para justificar la inclusión o exclusión de datos
- Justificar los criterios e hipótesis adoptados en aquellos tramos en los que hubiera insuficiencia de datos.
- Acreditar que el suavizado de los datos brutos que, en su caso, hubiera realizado no implica una infravaloración del riesgo.
- Demostrar que los datos se han ido registrando de forma coherente y oportuna en el tiempo y no contienen errores significativos.
- Identificar las limitaciones existentes respecto de los datos disponibles.
- Haber documentado el procedimiento a seguir para la correcta actualización de los datos.
- Cuando se haga uso de una fuente de datos externa, deberá demostrar:
 - Conocer el origen de los datos.
 - Conocer la metodología e hipótesis empleadas en su cálculo.
 - Son mejores para la correcta estimación del riesgo biométrico de la entidad, que los propios datos de la entidad.
 - Son representativos de la población asegurada.

Validaciones y auditoria, la entidad deberá demostrar:

- Que tiene implantados procedimientos para realizar validaciones sobre la metodología e hipótesis adoptadas.
- Que desarrolla análisis de sensibilidad de los resultados con respecto a las principales hipótesis y datos empleados en la estimación de los riesgos biométricos.
- Contrastar periódicamente las estimaciones con la realidad, justificando criterios metodologías periodicidad y datos empleados para los contrastes, los procesos que se llevarán a cabo en caso de incumplimiento y los resultados obtenidos.
- Al menos cada 3 años, realizar una auditoría de los datos empleados, para verificar que son adecuados y el procedimiento aplicado para su mantenimiento es sólido, realista y fiable.
- La entidad deberá identificar la persona o personas encargadas de las pruebas de validación, la periodicidad con que se realizan, la persona o personas a quienes se reportan los resultados, los umbrales definidos para considerar las desviaciones detectadas como significativas y las acciones a adoptar en este caso.

Anexo 4: Tratamiento de datos

TABLA 22: DESGLOSE DE LA INFORMACIÓN DE CADA ASEGURADO

		Columnas Auxiliares													
		Fecha efecto	Fecha Nacimiento	Fecha calendario	Fecha Baja	Inicio	Fin	Año Póliza	Edad	Frac. Año Expuesto	Eventos Observados	Tipo Baja	Sexo	Año Calendario	Año Selección
Sub-Contador	1	01/05/2017	01/12/1988	31/12/2014	01/01/2020										
Registro Actual	427701	01/05/2017	30/11/2017	31/12/2017	01/01/2020	01/05/2017	01/05/2017	0	28	0.00274	0	0	H	2017	0
		01/05/2017	30/11/2017	31/12/2017	01/01/2020	02/05/2017	30/11/2017	0	28	0.58356	0	0	H	2017	0
Fecha Efecto	01/05/2017	01/05/2017	30/11/2017	31/12/2017	01/01/2020	01/12/2017	31/12/2017	0	29	0.08493	0	0	H	2017	0
Fecha Baja	01/01/2020	01/05/2018	30/11/2018	31/12/2018	01/01/2020	01/01/2018	01/05/2018	0	29	0.33151	0	0	H	2018	0
Fecha Nacimiento	01/12/1988	01/05/2018	30/11/2018	31/12/2018	01/01/2020	02/05/2018	30/11/2018	1	29	0.58356	0	0	H	2018	1
Sexo	H	01/05/2018	30/11/2018	31/12/2018	01/01/2020	01/12/2018	31/12/2018	1	30	0.08493	0	0	H	2018	1
Tipo Baja	0	01/05/2019	30/11/2019	31/12/2019	01/01/2020	01/01/2019	01/05/2019	1	30	0.33151	0	0	H	2019	1
Tipo Producto	0	01/05/2019	30/11/2019	31/12/2019	01/01/2020	02/05/2019	30/11/2019	2	30	0.58356	0	0	H	2019	2
Capital Asegurado	56.154	01/05/2019	30/11/2019	31/12/2019	01/01/2020	01/12/2019	31/12/2019	2	31	0.08493	0	0	H	2019	2
		01/05/2020	30/11/2020	31/12/2020	01/01/2020	01/01/2020	01/01/2020	-	-	-	-	-	-	-	-
		01/05/2020	30/11/2020	31/12/2020	01/01/2020	02/01/2020	01/05/2020	-	-	-	-	-	-	-	-
		01/05/2020	30/11/2020	31/12/2020	01/01/2020	02/05/2020	30/11/2020	-	-	-	-	-	-	-	-
		01/05/2020	30/11/2020	31/12/2020	01/01/2020	01/12/2020	31/12/2020	-	-	-	-	-	-	-	-
		01/05/2021	30/11/2021	31/12/2021	01/01/2020	01/01/2021	01/05/2021	-	-	-	-	-	-	-	-
		01/05/2021	30/11/2021	31/12/2021	01/01/2020	02/05/2021	30/11/2021	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

Lo primero es crear una tabla para cada asegurado en la que se pueda desglosar toda la información de este. Para ello se crea una tabla referenciada a la base de datos, que busca en referencia al ID Asegurado los datos clave en dicha base de datos. En esta tabla para cada asegurado van variando las fechas clave de las columnas auxiliares, según las necesidades de cálculo y a partir de ahí se genera el resto de los datos de la tabla.

Al introducirse el código que va referenciado al ID de asegurado, primero se vuelcan los datos del asegurado, fecha de efecto fecha de baja fecha de nacimiento sexo y tipo de baja.

La primera columna auxiliar muestra el día y mes que se suscribió la primera póliza del asegurado y el año de la columna inicio que ya se verá más adelante en que consiste dicha columna.

La segunda columna auxiliar muestra el año de la columna de inicio y el día y mes de la fecha de nacimiento, restándole un día.

La tercera columna auxiliar refleja el último día del año que aún sigue vigente.

Y por último la cuarta columna auxiliar simplemente refleja la fecha de baja del asegurado.

La columna de inicio también muestra una fecha, en este caso para la primera fila, indica que si la fecha de efecto es más antigua que la del día que empieza el análisis (01/01/2015), se pone la fecha 01/01/2015 y si la fecha de efecto es mayor se pone la fecha de efecto. Para el resto de las filas simplemente es la fecha de fin y una fila más arriba y añadirle un día.

La fecha fin se calcula aplicando el mínimo por filas de todas las columnas auxiliares.

Una vez calculadas todas las columnas auxiliares y la de inicio y fin, que en un principio parecen carecer de sentido, ahora se puede ver claramente su finalidad. Y esta no es más que dividir el periodo de cobertura en diferentes periodos:

- El primer periodo sería el que va desde el inicio de la cobertura hasta el cumpleaños del asegurado. esto es importante ya que el siguiente periodo ya tendrá un año más y se deberá computar como exposición y fallecimiento (en caso de fallecimiento) con un año más.
- El segundo periodo va desde el día que cumple los años hasta el día que firmó el contrato (hablando de día y mes, pero el año en el que se encuentra en ese momento). Esta separación también es importante para poder calcular en número de años de póliza.
- El tercer periodo va desde que firmó el contrato (hablando de día y mes, pero el año en el que se encuentra en ese momento) hasta el final de año. Este periodo se debe

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

obtener ya que a partir del año siguiente los expuestos y los fallecidos se agregan en la tabla de expuestos y fallecidos del año siguiente.

Por último, hay que destacar que estas particiones se han calculado para el caso del ejemplo, pero podrían ser otras en diferentes asegurados. Por ejemplo, podría seguir la siguiente casuística:

- Primero, fecha de inicio del año hasta fecha de inicio de la cobertura.
- Segundo, fecha de inicio de la cobertura hasta fecha cumpleaños.
- Tercero, fecha cumpleaños hasta fecha fin de año.

El año póliza muestra en cada periodo de los que acabamos de ver, cuantos años lleva en vigor la póliza, lo cual es muy importante para este análisis ya que se va a trabajar excluyendo los periodos en los que el asegurado tenga 0 y 1 año de año póliza. Para realizar el cálculo simplemente es la resta de la fecha de la columna de inicio menos la fecha de efecto y el año es siempre truncado, es decir si el resultado es que lleva 0,9 años se considerará como 0.

La edad que se utiliza es, como así recomienda la DGSFP, “a edad cumplida”. Para ello se hace la diferencia de fechas de la columna de inicio menos la fecha de nacimiento y en este caso la edad también es truncada, es decir 17 años y 355 días se considerarán 17 años.

El número de años expuestos se calcula periodo a periodo como fracción de año: la diferencia entre la fecha fin y la fecha inicio del periodo.

Los eventos observados muestran si ha fallecido el individuo y lo sitúa en el periodo en el que ha fallecido indicando con 2 que ha fallecido, mientras que si no fallece son 0, como ya comentamos en su momento había más tipos de baja, pero por simplicidad al agregar las pólizas de un mismo asegurado, se optó por fallecer o no fallecer.

La columna sexo indica el género del asegurado en cada periodo.

Al año calendario muestra el año en el que se encuentra cada periodo.

Por último, la columna año selección muestra el mismo concepto que el año póliza, pero una vez llega a 2 que es el momento en el que empezamos a contabilizar los datos para el análisis, se mantiene en 2 el resto de los periodos siguientes.

Anexo 5: Tabla de fallecidos y expuestos por edad

TABLA 23: TABLA DE FALLECIDOS Y EXPUESTOS POR EDAD

EDAD	FALLECIDOS		AÑOS DE EXPOSICIÓN	
	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES
16	0	0	1,482192	1,578082
17	0	0	22,08219	24,83562
18	0	0	62,8	63,55068
19	0	0	139,3397	127,8082
20	0	0	441,8137	361,9671
21	0	1	794,9644	674,474
22	1	0	1174,89	957,1671
23	1	0	1641,493	1274,444
24	1	0	2176,556	1698,074
25	0	0	2933,414	2321,877
26	0	0	3811,647	3078,836
27	1	0	4887,567	4062,134
28	1	1	6086,534	5369,099
29	3	1	7674,918	6942,107
30	4	0	9489,608	8874,244
31	2	2	11753,22	11025,12
32	8	2	14172,81	13320,21
33	11	1	16806,99	15767,99
34	5	1	19566,35	18338,91
35	10	4	22358,53	20933,07
36	7	5	25158,71	23204,25
37	14	9	27659,7	25196,2
38	12	6	29672,55	26596,59
39	20	9	30954,62	27226,8
40	14	2	31559,53	27203,58
41	15	14	31226,22	26478,72
42	28	11	30271,98	25252,01
43	30	13	29103,52	23724,72
44	22	11	27570,56	22427,29
45	23	19	25857,35	20959,06
46	21	11	24172,36	19568,47
47	37	7	22643,16	18387,57
48	25	7	21187,86	17261,56
49	27	14	19946,39	16095,22
50	41	20	18675,48	15185,79
51	40	21	17660,98	14218,93
52	46	25	16467,03	13208,93
53	47	17	15320,39	12302,36
54	45	21	13998,31	11449,99
55	52	14	12702,72	10383,93

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

56	47	13	11407,47	9477,737
57	45	9	10190,48	8619,06
58	35	21	9104,575	7681,46
59	42	18	8089,732	6832,877
60	42	22	7073,981	5990,997
61	44	14	6172,564	5219,715
62	46	16	5259,825	4483,175
63	40	18	4391,49	3865,499
64	36	13	3577,775	3169,816
65	28	7	2410,249	2146,123
66	20	8	1859,066	1663,189
67	21	4	1274,458	1178,049
68	9	7	818,211	813,4521
69	10	7	489,6986	527,9452
70	4	2	245,6822	301,9808
71	0	1	117,9205	160,6822
72	2	3	54,54247	87,85479
73	0	0	23,02466	45,39178
74	0	0	12,06027	22,57534
75	0	0	0,920548	2,189041
76	0	0	0,583562	0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Anexo 6: Tasas brutas de mortalidad por edad

TABLA 24: TASAS BRUTAS DE MORTALIDAD POR EDAD

QX MUJERES	QX HOMBRES
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0,001481538	0
0	0,000851
0	0,000609
0	0,000459
0	0
0	0
0	0,000205
0,000186234	0,000164
0,000144038	0,000391
0	0,000421
0,000181388	0,00017
0,000150137	0,000564
6,34176E-05	0,000654
5,45274E-05	0,000256
0,000191067	0,000447
0,000215455	0,000278
0,000357133	0,000506
0,000225567	0,000404
0,000330502	0,000646
7,3517E-05	0,000444
0,000528587	0,00048
0,000435514	0,000925
0,000547802	0,00103
0,000490354	0,000798
0,000906119	0,000889
0,000561971	0,000868
0,00038062	0,001633
0,000405443	0,001179
0,000869445	0,001353
0,001316154	0,002193
0,001475814	0,002262
0,001890868	0,00279
0,001380894	0,003063
0,001832382	0,00321
0,001347328	0,004085
0,001370695	0,004112

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras
Curso académico 2022-2023

0,001043652	0,004406
0,002730122	0,003837
0,002630856	0,005178
0,003665442	0,00592
0,002678545	0,007103
0,003562538	0,008707
0,004645754	0,009067
0,004092785	0,010012
0,003256382	0,01155
0,004798487	0,0107
0,003389686	0,016343
0,008568382	0,010939
0,013171439	0,020214
0,006601054	0,016149
0,006204139	0
0,033570817	0,036005
0	0
0	0
0	0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras
Curso académico 2022-2023

Anexo 7: Años de exposición por edad y porcentaje sobre el total

TABLA 25: AÑOS DE EXPOSICIÓN POR EDAD Y PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL

E D A D	MUJERES	PESOS MUJERES	HOMBRES	PESOS HOMBRES	TOTAL	PESOS TOTAL
16	1,578082	2,75004E-06	1,482192	2,21097E-06	3,060274	2,45959E-06
17	24,83562	4,32797E-05	22,08219	3,29398E-05	46,91781	3,77086E-05
18	63,55068	0,000110746	62,8	9,36781E-05	126,3507	0,00010155
19	127,8082	0,000222725	139,3397	0,000207852	267,1479	0,000214711
20	361,9671	0,000630781	441,8137	0,000659049	803,7808	0,000646012
21	674,474	0,001175371	794,9644	0,00118584	1469,438	0,001181012
22	957,1671	0,001668006	1174,89	0,001752572	2132,058	0,00171357
23	1274,444	0,002220907	1641,493	0,002448598	2915,937	0,002343586
24	1698,074	0,002959146	2176,556	0,003246746	3874,63	0,003114104
25	2321,877	0,004046215	2933,414	0,004375743	5255,29	0,004223763
26	3078,836	0,005365328	3811,647	0,005685794	6890,482	0,005537994
27	4062,134	0,007078872	4887,567	0,007290733	8949,701	0,007193022
28	5369,099	0,009356451	6086,534	0,00907922	11455,63	0,00920708
29	6942,107	0,012097651	7674,918	0,011448596	14617,02	0,011747943
30	8874,244	0,015464686	9489,608	0,014155551	18363,85	0,014759329
31	11025,12	0,019212904	11753,22	0,017532152	22778,33	0,018307321
32	13320,21	0,023212439	14172,81	0,021141436	27493,02	0,022096591
33	15767,99	0,027478056	16806,99	0,025070812	32574,98	0,026181042
34	18338,91	0,031958276	19566,35	0,029186919	37905,26	0,03046508
35	20933,07	0,036478973	22358,53	0,033351987	43291,59	0,034794165
36	23204,25	0,040436852	25158,71	0,037528983	48362,96	0,038870104
37	25196,2	0,043908112	27659,7	0,041259687	52855,9	0,042481151
38	26596,59	0,046348498	29672,55	0,044262242	56269,14	0,045224431
39	27226,8	0,047446743	30954,62	0,04617469	58181,42	0,046761366
40	27203,58	0,047406266	31559,53	0,047077028	58763,11	0,047228874
41	26478,72	0,046143099	31226,22	0,046579825	57704,94	0,046378405
42	25252,01	0,04400538	30271,98	0,045156401	55523,99	0,044625546
43	23724,72	0,041343845	29103,52	0,043413413	52828,24	0,04245892
44	22427,29	0,039082876	27570,56	0,041126714	49997,84	0,040184088
45	20959,06	0,036524267	25857,35	0,038571139	46816,41	0,037627114
46	19568,47	0,034100969	24172,36	0,036057667	43740,84	0,03515523

Máster en Ciencias Actariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

47	18387,57	0,032043069	22643,16	0,033776562	41030,73	0,032977068
48	17261,56	0,030080827	21187,86	0,031605713	38449,42	0,030902429
49	16095,22	0,028048312	19946,39	0,029753819	36041,61	0,028967232
50	15185,79	0,02646349	18675,48	0,02785802	33861,27	0,027214857
51	14218,93	0,024778602	17660,98	0,026344707	31879,92	0,025622413
52	13208,93	0,023018528	16467,03	0,024563695	29675,96	0,023851058
53	12302,36	0,02143869	15320,39	0,022853266	27622,75	0,022200858
54	11449,99	0,0199533	13998,31	0,020881134	25448,3	0,020453213
55	10383,93	0,018095546	12702,72	0,018948521	23086,66	0,018555126
56	9477,737	0,016516363	11407,47	0,017016403	20885,21	0,016785783
57	8619,06	0,015019991	10190,48	0,015201033	18809,54	0,015117536
58	7681,46	0,013386084	9104,575	0,013581201	16786,04	0,013491212
59	6832,877	0,011907301	8089,732	0,012067369	14922,61	0,011993545
60	5990,997	0,010440202	7073,981	0,010552184	13064,98	0,010500537
61	5219,715	0,009096128	6172,564	0,009207551	11392,28	0,009156162
62	4483,175	0,007812598	5259,825	0,007846026	9743	0,007830609
63	3865,499	0,006736205	4391,49	0,006550741	8256,989	0,006636278
64	3169,816	0,005523875	3577,775	0,005336931	6747,592	0,00542315
65	2146,123	0,003739938	2410,249	0,003595344	4556,373	0,003662031
66	1663,189	0,002898354	1859,066	0,002773149	3522,255	0,002830894
67	1178,049	0,002052926	1274,458	0,001901095	2452,507	0,00197112
68	813,4521	0,001417561	818,211	0,001220517	1631,663	0,001311394
69	527,9452	0,000920023	489,6986	0,000730478	1017,644	0,000817897
70	301,9808	0,000526246	245,6822	0,000366482	547,663	0,000440166
71	160,6822	0,000280013	117,9205	0,000175901	278,6027	0,000223918
72	87,85479	0,0001531	54,54247	8,13604E-05	142,3973	0,000114447
73	45,39178	7,91019E-05	23,02466	3,43456E-05	68,41644	5,49874E-05
74	22,57534	3,93409E-05	12,06027	1,79902E-05	34,63562	2,78372E-05
75	2,189041	3,81473E-06	0,920548	1,37317E-06	3,109589	2,49923E-06
76	0	0	0,583562	8,70493E-07	0,583562	4,69018E-07

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Las edades faltantes se excluyen por no tener años de exposición

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras
Curso académico 2022-2023

Anexo 8: Tablas de 2º orden vs mortalidad bruta. Hombres

TABLA 26: TABLAS DE 2º ORDEN VS MORTALIDAD BRUTA. HOMBRES

	MÉTODO PROPUESTO	MORTALIDAD BRUTA	MÉTODO ACTUAL
16	0,000679037	0	0,000242550826
17	0,000628907	0	0,000244661382
18	0,000582479	0	0,000246770864
19	0,000539478	0	0,000248862083
20	0,000499652	0	0,000250871609
21	0,000462765	0	0,000252632555
22	0,000428602	0,000850781	0,000253647345
23	0,000396961	0,000609016	0,000252819203
24	0,000368572	0,000459336	0,000251144508
25	0,000344676	0	0,000251364102
26	0,000326679	0	0,000257570786
27	0,000315763	0,00020458	0,000271657435
28	0,00031321	0,000164284	0,000292587773
29	0,000318836	0,000390807	0,000318347382
30	0,000329263	0,000421425	0,000344591914
31	0,000342734	0,000170152	0,000368636237
32	0,000359965	0,000564302	0,000389970568
33	0,000372685	0,000654275	0,000401125019
34	0,000379083	0,000255508	0,000402001329
35	0,000388787	0,000447157	0,000405195309
36	0,000403472	0,000278195	0,000414750931
37	0,000429662	0,000506024	0,000437511306
38	0,000463412	0,000404332	0,000470069374
39	0,000507153	0,000645898	0,000514671969
40	0,000558118	0,000443508	0,000567746272
41	0,000626977	0,00048025	0,000637838802
42	0,000715071	0,00092452	0,000721797877
43	0,000804178	0,001030272	0,000801790117
44	0,000887974	0,000797634	0,000878291552
45	0,000981009	0,0008891	0,000971617673
46	0,001096521	0,000868383	0,001095449283
47	0,001245829	0,001632713	0,001257101256
48	0,001422674	0,001179225	0,001447512639
49	0,001646463	0,001352713	0,001682997646
50	0,001925738	0,002192984	0,001962910728
51	0,002245401	0,002262317	0,002266950799
52	0,002595683	0,002789563	0,002587636244
53	0,002962137	0,003063106	0,002917241260
54	0,003337136	0,003209512	0,003257960724
55	0,003720111	0,004085243	0,003618656857
56	0,004108771	0,004111632	0,004006168458

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

57	0,004520812	0,004406151	0,004445017525
58	0,004985183	0,003836841	0,004963315465
59	0,005540862	0,005178313	0,005587991991
60	0,006200549	0,00591966	0,006315377405
61	0,006969597	0,007102972	0,007131913975
62	0,007844917	0,008707408	0,008015692153
63	0,008821193	0,009067168	0,008944269384
64	0,009903854	0,010011665	0,009906058144
65	0,011103109	0,011549838	0,010891081150
66	0,012433578	0,01070043	0,011890488410
67	0,013918076	0,016342586	0,012900167109
68	0,015573459	0,010939334	0,013909403655
69	0,017430065	0,020213632	0,014920573898
70	0,019509369	0,016149374	0,015928803256
71	0,021839617	0	0,016936950495
72	0,024449815	0,036004523	0,017948036061

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras
Curso académico 2022-2023

Anexo 9: Tablas de 2º orden vs mortalidad bruta. Mujeres

TABLA 27: TABLAS DE 2º ORDEN VS MORTALIDAD BRUTA. MUJERES

	MÉTODO PROPUESTO	MORTALIDAD BRUTA	MORTALIDAD SUAVIZADA
16	0,00155668	0	0,00032406
17	0,00128518	0	0,00029763
18	0,00106104	0	0,00027119
19	0,00087599	0	0,00024472
20	0,00072321	0	0,00021814
21	0,00059708	0,00148154	0,00019124
22	0,00049294	0	0,00016356
23	0,00040794	0	0,00013765
24	0,00033921	0	0,00011554
25	0,00028409	0	9,8621E-05
26	0,0002402	0	8,762E-05
27	0,00020552	0	8,2459E-05
28	0,00017839	0,00018623	8,2119E-05
29	0,00015744	0,00014404	8,4415E-05
30	0,00014192	0	8,9111E-05
31	0,00013118	0,00018139	9,7411E-05
32	0,0001248	0,00015014	0,00010777
33	0,00012462	6,3418E-05	0,00012185
34	0,00013477	5,4527E-05	0,00014331
35	0,00015731	0,00019107	0,00017258
36	0,00018675	0,00021545	0,00020441
37	0,00021669	0,00035713	0,00023491
38	0,00024034	0,00022557	0,00026108
39	0,00026242	0,0003305	0,00029065
40	0,00029047	7,3517E-05	0,00032807
41	0,00034566	0,00052859	0,00038157
42	0,00041204	0,00043551	0,00043521
43	0,00048052	0,0005478	0,00048667
44	0,00054137	0,00049035	0,00053363
45	0,00059173	0,00090612	0,00057881
46	0,00062838	0,00056197	0,00062159
47	0,00067395	0,00038062	0,00068521
48	0,00075636	0,00040544	0,00078889
49	0,00088966	0,00086945	0,0009323
50	0,0010607	0,00131615	0,00109205
51	0,00124274	0,00147581	0,00124121
52	0,00140876	0,00189087	0,00136473
53	0,00153999	0,00138089	0,00145917
54	0,00164611	0,00183238	0,00154534
55	0,00174111	0,00134733	0,00164067
56	0,00185733	0,0013707	0,00177405

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras
Curso académico 2022-2023

57	0,00202199	0,00104365	0,00196376
58	0,00225451	0,00273012	0,00221475
59	0,00253602	0,00263086	0,00250433
60	0,00285516	0,00366544	0,00282361
61	0,0031998	0,00267855	0,00316671
62	0,0035747	0,00356254	0,00354532
63	0,00397792	0,00464575	0,00396227
64	0,00441045	0,00409279	0,00442065
65	0,00488842	0,00325638	0,00493275
66	0,0054339	0,00479849	0,00550724
67	0,00606115	0,00338969	0,00614027
68	0,00678553	0,00856838	0,00682385
69	0,00760895	0,01317144	0,00753871
70	0,00853663	0,00660105	0,00827054
71	0,00958268	0,00620414	0,00901537
72	0,01076104	0,03357082	0,00976749

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras
Curso académico 2022-2023

Anexo 10: Tabla de 2º orden vs PASEM 2020 recargada.

TABLA 28: TABLA DE 2º ORDEN VS PASEM 2020 RECARGADA

EDAD	PASEM 2020 HOMBRES RECARGADAS	TABLA 2º ORDEN HOMBRES	PASEM 2020 MUJERES RECARGADAS	TABLA 2º ORDEN MUJERES
16	0,00022444	0,000224437	0,000109912	0,000109912
17	0,00026746	0,000267461	0,000121502	0,000121502
18	0,00026742	0,000267418	0,000114015	0,000114015
19	0,00027288	0,000272879	0,000110728	0,000110728
20	0,00027961	0,000279607	0,000109442	0,000109442
21	0,00028678	0,000286778	0,000109475	0,000109475
22	0,00029512	0,000295118	0,00011075	0,00011075
23	0,00030272	0,000302715	0,000112264	0,000112264
24	0,00030959	0,000309592	0,000113862	0,000113862
25	0,0003147	0,000314696	0,00011514	0,00011514
26	0,00031612	0,000316119	0,000115527	0,000115527
27	0,00031408	0,000314084	0,000115339	0,000115339
28	0,00030885	0,000308847	0,000114886	0,000114886
29	0,00030111	0,000305544	0,00011454	0,000125265
30	0,00029467	0,000311967	0,00011574	0,000128831
31	0,00029024	0,00032961	0,000118773	0,000128078
32	0,00029015	0,000359965	0,000124604	0,000124804
33	0,00029716	0,000372685	0,000134538	0,000124619
34	0,00031361	0,000379083	0,000149949	0,000134771
35	0,00033998	0,000388787	0,000171456	0,000157311
36	0,00037253	0,000403472	0,000197392	0,00018675
37	0,00040912	0,000429662	0,000226375	0,000216691
38	0,0004476	0,000463412	0,000256638	0,000240345
39	0,00048808	0,000507153	0,000287418	0,000262416
40	0,00053323	0,000558118	0,00031943	0,000290472
41	0,00058561	0,000626977	0,00035335	0,00034566
42	0,00067825	0,000715071	0,000408259	0,000412038
43	0,00079674	0,000804178	0,000474354	0,000480521
44	0,00094006	0,000887974	0,000549912	0,000541371
45	0,00110677	0,000981009	0,000633437	0,00059173
46	0,00129974	0,001096521	0,0007266	0,000628379
47	0,00152565	0,001245829	0,000833613	0,000673951
48	0,00177958	0,001422674	0,000952555	0,000756363
49	0,0020656	0,001646463	0,001086398	0,000889659
50	0,00237998	0,001925738	0,001233345	0,001060701
51	0,0026359	0,002245401	0,001348193	0,001242737
52	0,00290801	0,002595683	0,001468358	0,001408756

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

53	0,00319597	0,002962137	0,001591272	0,001539995
54	0,00350093	0,003337136	0,001715099	0,001646114
55	0,00382508	0,003720111	0,001839403	0,001741112
56	0,00417147	0,004108771	0,001965388	0,001857333
57	0,00454275	0,004520812	0,002095409	0,002021993
58	0,00494082	0,004974093	0,002232723	0,002249062
59	0,00536702	0,00545394	0,002381274	0,002458648
60	0,00582193	0,005916583	0,002545195	0,002622687
61	0,00630645	0,006306449	0,002728683	0,002728683
62	0,0068236	0,006823596	0,002935929	0,002935929
63	0,00737827	0,007378266	0,003170521	0,003170521
64	0,00797756	0,007977563	0,003435689	0,003435689
65	0,00863056	0,008630558	0,00373449	0,00373449
66	0,00934782	0,009347819	0,004070613	0,004070613
67	0,01014216	0,01014216	0,004450045	0,004450045
68	0,01102829	0,01102829	0,004881905	0,004881905
69	0,01202234	0,012022345	0,005379122	0,005379122
70	0,0131432	0,013143198	0,005958809	0,005958809
71	0,01441261	0,014412613	0,006641755	0,006641755
72	0,01585545	0,015855446	0,00745045	0,00745045

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras
Curso académico 2022-2023

Anexo 11: Tablas de primer orden

TABLA 29: TABLAS DE PRIMER ORDEN

EDADES	TABLAS DE PRIMER ORDEN. HOMBRES	TABLAS DE PRIMER ORDEN. MUJERES
0	0,002584508	0,002203146
1	0,000186038	0,000157142
2	0,000155329	0,000129373
3	0,000127734	0,000104468
4	0,000105036	8,41211E-05
5	8,90135E-05	6,97349E-05
6	7,89441E-05	6,05573E-05
7	7,39354E-05	5,56591E-05
8	7,15498E-05	5,2965E-05
9	7,17737E-05	5,22175E-05
10	7,63796E-05	5,4349E-05
11	8,62233E-05	5,94267E-05
12	0,000104392	6,87426E-05
13	0,000131716	8,16468E-05
14	0,000169082	9,74104E-05
15	0,000216122	0,000114837
16	0,000268112	0,000131301
17	0,000319509	0,000145146
18	0,000319457	0,000136202
19	0,000325981	0,000132276
20	0,000334019	0,000130739
21	0,000342585	0,000130779
22	0,000352548	0,000132302
23	0,000361624	0,000134111
24	0,000369839	0,00013602
25	0,000375936	0,000137546
26	0,000377636	0,000138009
27	0,000375205	0,000137784
28	0,000368949	0,000137243
29	0,000365003	0,000149641
30	0,000372676	0,000153902
31	0,000393752	0,000153002
32	0,000430014	0,000149091
33	0,00044521	0,000148869
34	0,000452852	0,000160998
35	0,000464445	0,000187924
36	0,000481988	0,000223091
37	0,000513274	0,000258859
38	0,000553592	0,000287116
39	0,000605845	0,000313482
40	0,000666728	0,000346998

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras
Curso académico 2022-2023

41	0,000748986	0,000412926
42	0,000854224	0,000492221
43	0,000960672	0,000574031
44	0,001060774	0,000646722
45	0,001171913	0,00070688
46	0,001309904	0,000750661
47	0,001488267	0,000805102
48	0,001699526	0,000903551
49	0,001966865	0,001062787
50	0,002300486	0,001267114
51	0,002682356	0,001484573
52	0,003100803	0,0016829
53	0,003538569	0,001839678
54	0,003986542	0,001966448
55	0,004444044	0,002079933
56	0,004908338	0,00221877
57	0,005400562	0,002415473
58	0,005942052	0,00268673
59	0,006515276	0,002937101
60	0,00706795	0,003133062
61	0,007533684	0,003259684
62	0,008151467	0,003507261
63	0,008814076	0,003787504
64	0,009529997	0,004104274
65	0,010310064	0,004461222
66	0,011166904	0,004862755
67	0,012115824	0,005316024
68	0,013174396	0,005831924
69	0,014361893	0,006425899
70	0,015700864	0,007118393
71	0,017217308	0,00793424
72	0,018940915	0,008900307
73	0,020902528	0,010041055
74	0,023134279	0,011375051
75	0,025668947	0,012917039
76	0,028541762	0,014687077
77	0,031792909	0,016722799
78	0,035465959	0,019083914
79	0,039609438	0,021852046
80	0,044275911	0,025123216
81	0,049566617	0,029023493
82	0,055556396	0,033660923
83	0,062325111	0,03913826
84	0,069958271	0,045551156
85	0,078542275	0,052987237

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

86	0,088159779	0,061525725
87	0,098888851	0,071240884
88	0,110795276	0,082202064
89	0,123921865	0,094470558
90	0,138287005	0,108103442
91	0,153880517	0,123155114
92	0,170681892	0,13969023
93	0,188669238	0,157781485
94	0,207842888	0,177498744
95	0,228236765	0,198883494
96	0,249884417	0,221894352
97	0,272800222	0,246390947
98	0,296969182	0,272147481
99	0,322345434	0,298899843
100	0,348857752	0,326419853
101	0,366015714	0,344792489
102	0,421940693	0,399549273
103	0,505437821	0,480699924
104	0,623486165	0,595307328
105	0,77516415	0,742878747
106	0,941888065	0,905787241
107	1	1
108	1	1
109	1	1
110	1	1
111	1	1
112	1	1
113	1	1
114	1	1
115	1	1
116	1	1
117	1	1
118	1	1
119	1	1
120	1	1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras
Curso académico 2022-2023

Anexo 12: Error absoluto por edad sin enlace. Hombres

TABLA 30: ERROR ABSOLUTO POR EDAD SIN ENLACE. HOMBRES

EDAD X	EA[X] MODELO ACTUAL	EA[X] MODELO PROPUESTO
26	295,4292	346,2057
27	510,7403	565,2877
28	565,3789	694,2091
29	1163,925	1093,424
30	1445,471	1381,022
31	1963,059	1770,048
32	2641,707	2924,731
33	4590,272	5120,985
34	3017,783	2442,599
35	2252,204	2522,983
36	3669,43	3090,188
37	2934,339	3265,068
38	2940,292	2689,87
39	4454,744	4896,468
40	4247,342	3840,821
41	5318,7	4841,233
42	6488,899	6797,719
43	6872,341	6895,042
44	3772,987	3831,589
45	3818,235	3900,268
46	5788,683	5786,924
47	8552,346	8781,239
48	6146,78	5760,203
49	7171,578	6610,484
50	5765,375	6170,669
51	4361,601	4358,039
52	5516,885	5389,503
53	5271,726	5033,302
54	4778,051	5062,976
55	7109,93	6207,295
56	4903,648	4896,547
57	4633,88	4818,194
58	10448,02	10912
59	5503,586	5434,92
60	5348,97	5094,408
61	4918,319	4963,687
62	5811,654	6203,071
63	4392,701	4386,095
64	4425,795	4392,833

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Anexo 13: Análisis más profundos con error absoluto. Mujeres

Ahora se va a proceder a realizar un análisis más profundo del error absoluto con todas las edades y sin enlace para el caso de las mujeres.

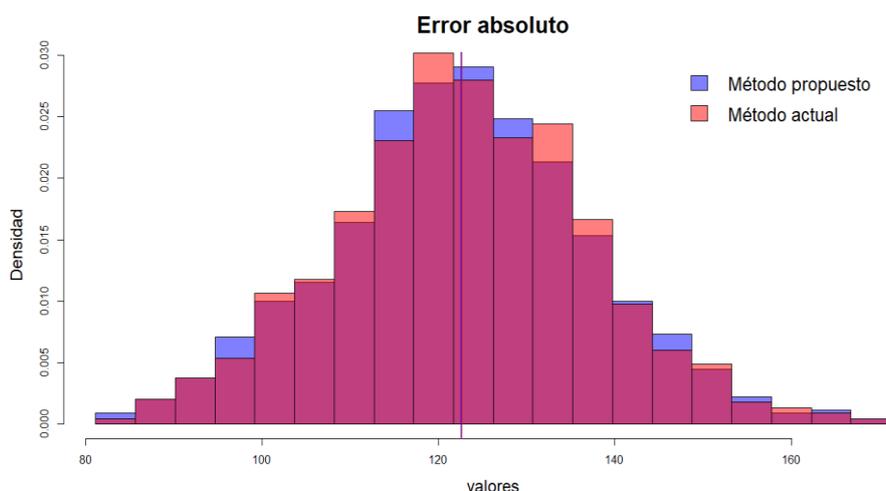
TABLA 31: MEDIDAS DESCRIPTIVAS DEL ERROR ABSOLUTO. MUJERES

	EA MÉTODO ACTUAL	EA MÉTODO PROPUESTO
MEDIA	122.955	122.6541
MÁXIMO	168.9667	171.2785
MÍNIMO	82.18996	81.13358
MEDIANA	122.6432	122.5385

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Como se puede apreciar en la Tabla 31, en términos absolutos tanto la media como el máximo, el mínimo y la mediana son prácticamente iguales, aunque con una ligera mejora utilizando el método propuesto, excepto en el máximo.

ILUSTRACIÓN 12: HISTOGRAMA DEL ERROR ABSOLUTO. MUJERES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

En el histograma de la Ilustración 12, se puede ver cómo está distribuido el error absoluto relativo tanto del método propuesto (azul) como del método actual (rojo). Como se puede apreciar las diferencias son escasas. Se podría comentar que el error del método actual está ligeramente más concentrado en torno a su mediana, pero las diferencias son prácticamente insignificantes. Además, se puede ver como las medianas están prácticamente superpuestas.

Ahora se va a ver cuándo el método propuesto lo hace peor, cuál es su error y cuando el método actual lo hace peor cuál es su error, para luego compararlos. De este modo además de saber el número de veces que un método se ajusta mejor que el otro, como ya se ha visto, se verá en caso de que falle como es su error comparándolo con el otro método.

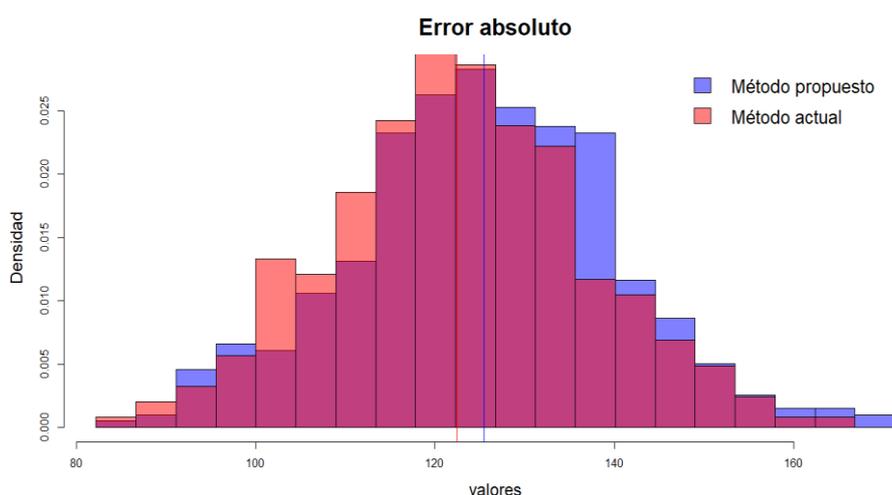
TABLA 32: MEDIDAS DESCRIPTIVAS DEL ERROR ABSOLUTO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE PEOR. MUJERES

	EA MÉTODO ACTUAL	EA MÉTODO PROPUESTO
MEDIA	122.7477	125.5203
MÁXIMO	166.0643	171.2785
MÍNIMO	82.18996	86.14521
MEDIANA	122.4168	125.4168

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

La Tabla 32 muestra como en general cuando el método propuesto falla, lo hace peor que cuando el método actual falla. Ya que en todas las medidas descriptivas los errores son mayores a los del método actual. A continuación, se muestra el histograma de los errores absolutos, cuando el método actual o el propuesto fallan.

ILUSTRACIÓN 13: HISTOGRAMA DEL ERROR ABSOLUTO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE PEOR. MUJERES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Como se puede ver en la Ilustración 13, el error del método actual cuando falla en general es menor que el del método propuesto. En el histograma se puede ver la mediana del método propuesto (línea en azul) y la mediana del método actual (línea en rojo) y como se puede ver la del método actual es menor.

Ahora para completar el análisis se va a hacer el mismo análisis, pero en caso contrario, es decir analizar cuando el método propuesto lo hace mejor, cuál es su error y cuando el método actual lo hace mejor cuál es su error.

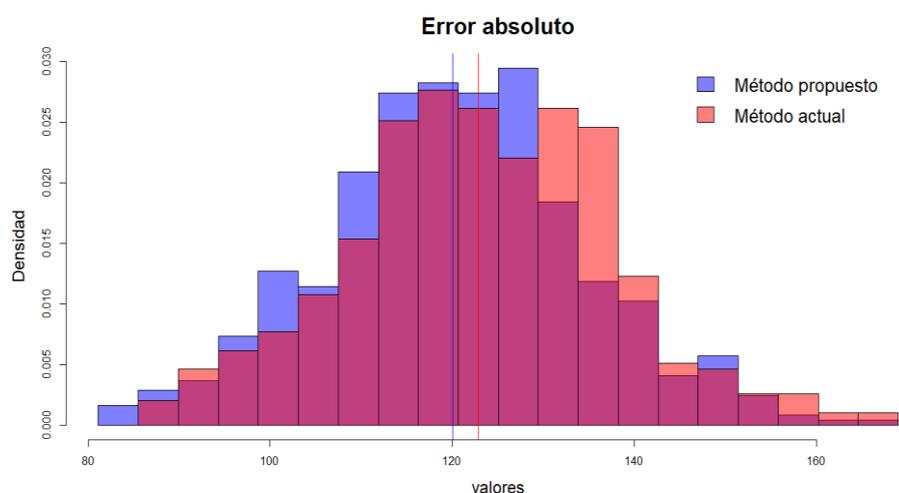
TABLA 33: MEDIDAS DESCRIPTIVAS DEL ERROR ABSOLUTO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE MEJOR. MUJERES

	EAR MÉTODO ACTUAL	EAR MÉTODO PROPUESTO
MEDIA	123.2147	120.3652
MÁXIMO	168.9667	164.8247
MÍNIMO	85.5257	81.13358
MEDIANA	122.858	120.0447

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

La Tabla 33 expone las medidas descriptivas del error absoluto, cuando el método (k) lo hace mejor respecto al otro método (k). Como se puede ver en todas las medidas descriptivas el error del método propuesto es menor, es decir cuando el método propuesto acierta, el error absoluto es menor que cuando el método actual acierta. Por lo tanto, se puede concluir que en este aspecto el método propuesto es mejor, aunque las diferencias no son muy elevadas. A continuación, se va a mostrar un histograma que refleja dichos errores.

ILUSTRACIÓN 14: HISTOGRAMA DEL ERROR ABSOLUTO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE MEJOR. MUJERES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

La Ilustración 14 muestra un histograma que refleja el error absoluto cuando el método (k) lo hace mejor que el otro método, siendo k bien el método actual o el método propuesto. Como se puede ver claramente los errores del método propuesto se concentran más en los valores en los que este es menor, por lo que en este aspecto se puede concluir que el método propuesto se ajusta mejor. Además, en el histograma se puede ver la mediana del método propuesto (línea en azul) y la mediana del método actual (línea en rojo) y como se puede ver la del método actual es menor.

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

Por lo tanto, de este análisis más profundo del error absoluto se pueden extraer las mismas conclusiones que para el caso de los hombres. Es decir, que en términos generales el método propuesto se ajusta ligeramente mejor a la mortalidad simulada, aunque cuando se ajusta peor que el método actual, su error es mayor que cuando falla el método actual. Pero cuando se ajusta mejor que el método actual su error es menor que cuando acierta el método actual. Es decir, cuando el método propuesto acierta lo hace mejor que cuando acierta el método actual, pero cuando falla lo hace peor que cuando falla el método actual, entendiendo acertar por ajustarse mejor que el método actual.

Anexo 14: Análisis más profundos con error absoluto relativo. Hombres

A continuación, se va a proceder a hacer un análisis más profundo con el error absoluto relativo con todas las edades y sin enlace de las tablas para los hombres.

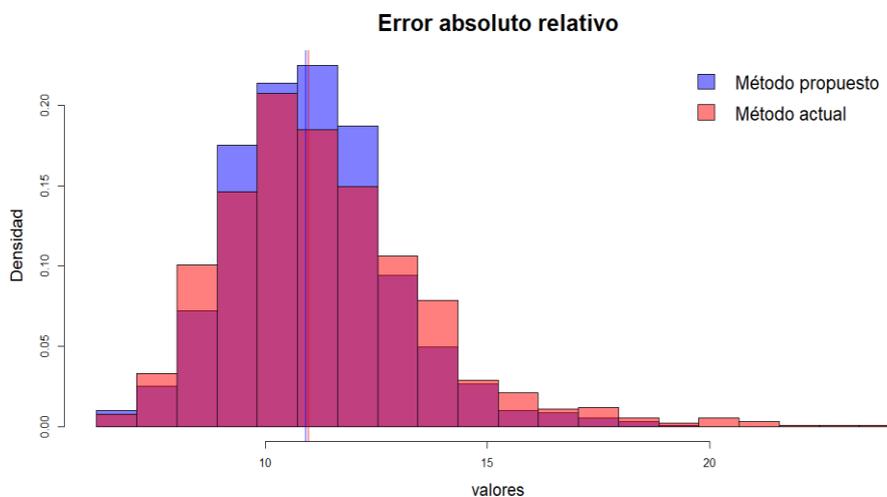
TABLA 34: MEDIDAS DESCRIPTIVAS DEL ERROR ABSOLUTO RELATIVO. HOMBRES

	EAR MÉTODO ACTUAL	EAR MÉTODO PROPUESTO
MEDIA	11.34476	11.06818
MÁXIMO	24.26586	18.97583
MÍNIMO	6.21023	6.53935
MEDIANA	10.97896	10.91624

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

En la Tabla 34 se puede ver como en general el método propuesto, lo hace mejor que el método actual. Ya que tanto la media, como el máximo y la mediana, son inferiores a los del método actual. A continuación, se muestra el histograma de los errores absolutos relativos.

ILUSTRACIÓN 15: HISTOGRAMA DEL ERROR ABSOLUTO RELATIVO. HOMBRES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

En el histograma de la Ilustración 15. se puede ver cómo está distribuido el error absoluto relativo tanto del método propuesto (azul) como del método actual (rojo). Como se puede apreciar las diferencias son escasas. Además, se puede ver como las medianas (línea en azul y en rojo) están muy próximas entre sí. Hay que comentar que el error del método propuesto está más concentrado en torno a su mediana (línea azul), mientras que el error del método actual varía más tanto de forma positiva (menor error) como de forma negativa (mayor error).

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

Ahora se va a ver cuándo el método propuesto lo hace peor, cuál es su error y cuando el método actual lo hace peor cuál es su error, para luego compararlos. De este modo además de saber el número de veces que un método se ajusta mejor que el otro, como ya se ha visto, se verá en caso de que falle como es su error comparándolo con el otro método.

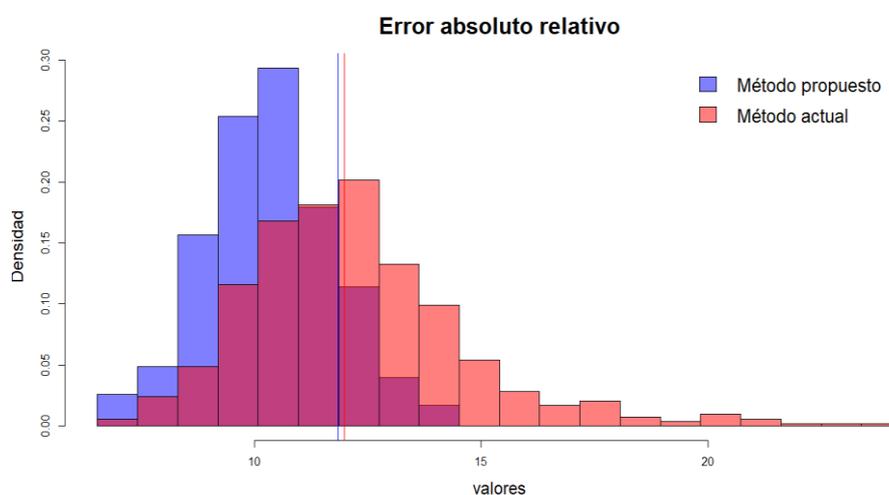
TABLA 35: MEDIDAS DESCRIPTIVAS DEL ERROR ABSOLUTO RELATIVO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE PEOR. HOMBRES

	EAR MÉTODO ACTUAL	EAR MÉTODO PROPUESTO
MEDIA	12.21468	10.35306
MÁXIMO	24.26586	14.14441
MÍNIMO	7.145123	6.53935
MEDIANA	11.979	10.35127

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

En la Tabla 35 se puede ver como en general cuando el método propuesto falla, lo hace mejor que cuando el método actual falla. Ya que en todas las medidas descriptivas los errores son inferiores a los del método actual. A continuación, se muestra el histograma de los errores absolutos relativos, cuando el método actual o el propuesto fallan.

ILUSTRACIÓN 16: HISTOGRAMA DEL ERROR ABSOLUTO RELATIVO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE PEOR. HOMBRES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Como se puede ver en la Ilustración 16 el error del método propuesto cuando falla está mucho más concentrado y en general es menor que el del método actual. En el histograma se puede ver el cuantil 85 del método propuesto (línea en azul) y la mediana del método actual (línea en rojo). Esto indica que el 85% del error del método propuesto se encuentra por debajo del 50% del error del método actual.

Ahora para completar el análisis se va a hacer el mismo análisis, pero en caso contrario, es decir analizar cuando el método propuesto lo hace mejor, cuál es su error y cuando el método actual lo hace mejor cuál es su error.

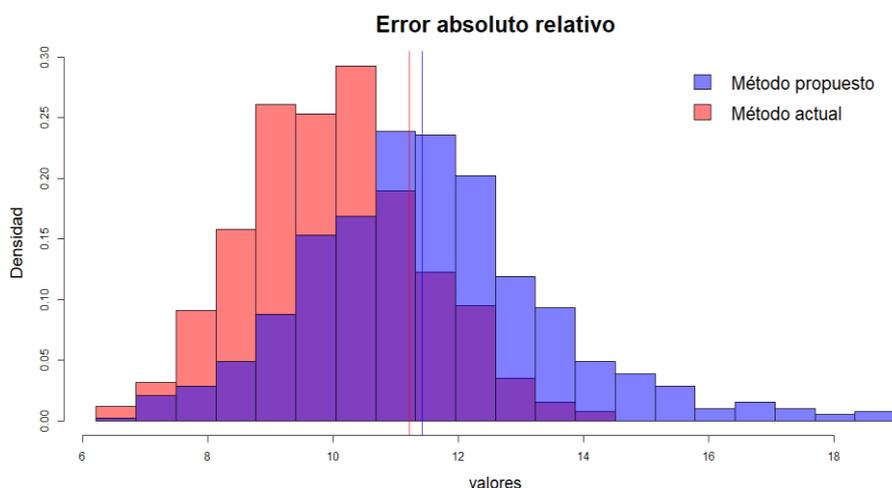
TABLA 36: MEDIDAS DESCRIPTIVAS DEL ERROR ABSOLUTO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE MEJOR. HOMBRES

	EAR MÉTODO ACTUAL	EAR MÉTODO PROPUESTO
MEDIA	10.01791	11.53704
MÁXIMO	14.02271	18.97583
MÍNIMO	6.21023	6.793667
MEDIANA	10.00211	11.4197

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Como se puede ver en la Tabla 36 cuando el método de actual acierta, pasa lo contrario que cuando falla y es que se ajusta mejor. Ya que en todas las medidas descriptivas se ajustan mejor cuando acierta que el método propuesto. Aunque las diferencias no son tan elevadas como en el caso anterior se pueden apreciar claramente.

ILUSTRACIÓN 17: HISTOGRAMA DEL ERROR ABSOLUTO RELATIVO CUANDO EL MÉTODO (K) LO HACE MEJOR. HOMBRES



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la compañía

Como se puede ver en la Ilustración 17 el error del método actual es menor que el del método propuesto, cuando acierta. En el histograma se puede ver el cuantil 80 del método actual (línea en rojo) y la mediana del método propuesto (línea en azul). Esto indica que el 80% del error del método actual se encuentra por debajo del 50% del error del método propuesto.

Máster en Ciencias Actuariales Y Financieras

Curso académico 2022-2023

Por lo tanto, tampoco hay un resultado claro que arroje una conclusión inequívoca de que método es mejor, ya que el método propuesto se ajusta en un mayor número de veces y, además, cuando se ajusta peor que el método actual su error es menor que cuando falla el método actual. Pero cuando se ajusta mejor que el método actual, su error es mayor, que cuando acierta el método actual. Aunque hay que destacar que el método propuesto tiene una menor variabilidad lo cual también es importante. Es decir, por norma el error del método propuesto es relativamente constante, en cambio el método actual tiene mayor volatilidad y cierta tendencia a hacerlo peor que el propuesto.

Anexo 15: Código de R

A través del siguiente enlace se puede acceder al código de R que ha sido creado para la realización de este trabajo:

<https://github.com/Javividalg/Codigo-R-para-TFM-Javier-Vidal-?search=1>