

**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN FINANZAS, BANCA Y SEGUROS**

***Aplicación del modelo Smith-Wilson a la Estructura Temporal de Tipos de Interés. Efectos sobre las provisiones matemáticas de una entidad aseguradora del ramo de vida.***

***Realizado por:***

***Thierry Faria da Silva Gregorio<sup>1</sup>***

***Dirigido por:***

***Eduardo Trigo Martínez<sup>2</sup>***

**UNIVERSIDAD DE MÁLAGA**

**Málaga, 27 de septiembre de 2013**

---

<sup>1</sup> Profesor Colaborador. Departamento de Estadística. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Campus Maracanã. Calle São Francisco Xavier, 524. 20550-900 – Rio de Janeiro, Brasil. Email: [thierrygregorio@ime.uerj.br](mailto:thierrygregorio@ime.uerj.br)

<sup>2</sup> Profesor Colaborador. Departamento de Finanzas y Contabilidad. Universidad de Málaga. Campus de El Ejido, s/n. 29071 – Málaga, España. Email: [etrigom@uma.es](mailto:etrigom@uma.es)

**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**  
**MÁSTER UNIVERSITARIO EN FINANZAS, BANCA Y SEGUROS**

Reunido el tribunal evaluador en el día de la fecha, constituido por:

Presidente/a D./D.<sup>a</sup>.....

Secretario/a D./D.<sup>a</sup>.....

Vocal D./D.<sup>a</sup> .....

Para juzgar el trabajo fin de máster titulado:

.....  
.....  
.....

Del alumno/a D./D.<sup>a</sup> :.....

Dirigido por D./D.<sup>a</sup> .....

ACORDÓ POR ..... OTORGAR LA CALIFICACIÓN DE  
..... Y PARA QUE CONSTE, SE EXTIENDE FIRMADA POR LOS  
COMPARECIENTES DEL TRIBUNAL, LA PRESENTE DILIGENCIA.

Málaga, a .....de..... del 20....

El/La Presidente/a

El/La Secretario/a

El/La Vocal

Fdo:

Fdo:

Fdo:

## RESUMEN

Bajo la actual normativa en vigor, Directiva de Solvencia I, las provisiones matemáticas de las entidades aseguradoras del ramo vida que ofrecen seguros de vida con garantías de tipos de interés habitualmente son calculadas utilizando el método prospectivo. Asimismo, cabe destacar que el factor de descuento financiero aplicado es el mismo tipo de interés garantizado al asegurado. Por otro lado, la futura Normativa de la Directiva de Solvencia II implantará las técnicas de valoración consistente con el mercado lo que implica aplicar la pertinente Estructura Temporal de Tipos de Interés a las provisiones matemáticas.

En este sentido, en el presente trabajo se aplica el modelo Smith-Wilson para realizar la interpolación y extrapolación de la ETTI obtenida de la información que proporcionan los *swaps* de tipos de interés negociados en el mercado interbancario de la zona euro. Por consiguiente, se evalúa el efecto de la ETTI en las provisiones matemáticas de una entidad aseguradora del ramo vida (Directiva de Solvencia II) en contraste con las provisiones matemáticas calculadas utilizando el tipo de interés fijo garantizado por la entidad aseguradora (Directiva de Solvencia I). Por último lugar, se elabora un análisis de sensibilidad de las provisiones matemáticas a los principales parámetros del modelo Smith-Wilson, es decir, la *Ultimate Forward Rate* y  $\alpha$ .

Palabras clave: Solvencia II, Estructura Temporal de Tipos de Interés, Curva *Swap*, Smith-Wilson, *Ultimate Forward Rate*.

## RESUMO

Sob a atual normativa em vigor, Diretiva de Solvência I, as provisões matemáticas das entidades seguradoras do ramo vida que oferecem seguros de vida com garantias de taxa de juros habitualmente são calculadas utilizando o método prospectivo. Além disto, cabe destacar que o fator de desconto financeiro aplicado é a mesma taxa de juros garantida ao segurado. Por outro lado, a futura Normativa da Diretiva de Solvência II implantará as técnicas de valorização consistente com o mercado o que implica aplicar a pertinente Estrutura a Termo de Taxa de Juros às Provisões Matemáticas.

Neste sentido, no presente trabalho se aplica o modelo Smith-Wilson para realizar a interpolação e extrapolação da ETTJ obtida da informação que proporcionam os *swaps* de taxa de juros negociados no mercado interbancário da zona euro. Por conseguinte, se avalia o efeito da ETTJ nas provisões matemáticas de uma entidade seguradora do ramo vida (Diretiva de Solvência II) em contraste com as provisões matemáticas calculadas utilizando a taxa de juros fixa garantida pela entidade seguradora (Diretiva de Solvência I). Por último lugar, se elabora uma análise de sensibilidade das provisões matemáticas aos principais parâmetros do modelo Smith-Wilson, ou seja, a *Ultimate Forward Rate* e  $\alpha$ .

Palavras-chave: Solvência II, Estrutura a Termo de Taxa de Juros, Curva *Swap*, Smith-Wilson, *Ultimate Forward Rate*.

## ABSTRACT

Under current legislation in force, Solvency I Directive, the mathematical provisions of life insurance companies that offer life insurance with guaranteed interest rates are usually calculated using the prospective method. Likewise, it should be pointed out that the financial discount factor applied is the same guaranteed interest rate to the insured. On the other hand, the future Solvency II Directive implements the market consistent valuation techniques which involve applying the relevant Term Structure of Interest Rate to the mathematical provisions.

In this respect, in the present Project the Smith-Wilson model is applied to interpolate and extrapolate the Term Structure of Interest Rate obtained from the information provided by interest rate swaps negotiated in the interbank market of the eurozone. Therefore, the effect of the Term Structure of Interest Rate in the mathematical provisions of a life insurance company is evaluated (Solvency II Directive) in contrast to the mathematical provisions calculated using the fixed guaranteed interest rate by the insurer (Solvency I Directive). To conclude with, it is elaborated an analysis of sensitivity of the mathematical provisions to the main parameters of the Smith-Wilson model, i.e., the Ultimate Forward Rate and  $\alpha$ .

Keywords: Solvency II, Term Structure of Interest Rate, Swap Curve, Smith-Wilson, Ultimate Forward Rate.

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>9</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 2. EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DEL RAMO VIDA .....</b>	<b>15</b>
2.1. PRIMERA DIRECTIVA DEL RAMO VIDA .....	16
2.2. SEGUNDA DIRECTIVA DEL RAMO VIDA .....	17
2.3. TERCERA DIRECTIVA DEL RAMO VIDA .....	17
2.4. DIRECTIVA DE SOLVENCIA I .....	18
2.5. DIRECTIVA DE SOLVENCIA II .....	22
<b>CAPÍTULO 3. ESTRUCTURA TEMPORAL DE TIPOS DE INTERÉS .....</b>	<b>28</b>
3.1. TIPOS DE INTERÉS AL CONTADO Y A PLAZO .....	28
3.2. ESTRUCTURA TEMPORAL DE TIPOS DE INTERÉS .....	30
3.3. LA CURVA SWAP .....	32
3.3.1. CONCEPTO DE SWAP .....	32
3.3.2. LOS SWAPS DE TIPOS DE INTERÉS .....	32
3.3.3. OBTENCIÓN DE LA ETTI A PARTIR DE LA INFORMACIÓN QUE PROPORCIONAN LOS SWAPS DE TIPOS DE INTERÉS .....	36
<b>CAPÍTULO 4. MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN .....</b>	<b>40</b>
4.1. LINEAL .....	40
4.2. TIPOS DE INTERÉS <i>FORWARD</i> CONSTANTES .....	43
4.3. SMITH-WILSON .....	44

<b>CAPÍTULO 5. EFECTO DE LA INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN DE LA ETTI EN LAS PROVISIONES MATEMÁTICAS DE UNA ENTIDAD ASEGURADORA .....</b>	<b>50</b>
<b>5.1. LA INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN DE LA ETTI OBTENIDA DE LA INFORMACIÓN QUE PROPORCIONAN LOS SWAPS DE TIPOS DE INTERÉS Y EL MÉTODO DE SMITH-WILSON .....</b>	<b>50</b>
<b>5.2. EFECTO DE LA ETTI EN LAS PROVISIONES MATEMÁTICAS DE UNA ENTIDAD ASEGURADORA DEL RAMO DE VIDA .....</b>	<b>53</b>
<b>5.2.1. CONTRASTE ENTRE LA APLICACIÓN DE TIPOS DE INTERÉS FIJO (DIRECTIVA DE SOLVENCIA I) Y LA ETTI (DIRECTIVA DE SOLVENCIA II) EN LAS PROVISIONES MATEMÁTICAS .....</b>	<b>53</b>
<b>5.2.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LAS PROVISIONES MATEMÁTICAS A LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DEL MODELO SMITH-WILSON (<math>UFR</math> y <math>\alpha</math>) .....</b>	<b>58</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO: CÓDIGO DE <i>VISUAL BASIC</i> PARA SIMULAR LAS PROVISIONES MATEMÁTICAS .....</b>	<b>65</b>
<b>A.1. TABLA DE MORTALIDAD .....</b>	<b>65</b>
<b>A.2. ETTI2 .....</b>	<b>67</b>
<b>A.3. <math>l_x</math> .....</b>	<b>70</b>
<b>A.4. <math>k_{px}</math> .....</b>	<b>70</b>
<b>A.5. <math>a_x</math> .....</b>	<b>71</b>
<b>A.6. CARTERASIMULADAFULL .....</b>	<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>75</b>
<b>LEGISLACIÓN .....</b>	<b>79</b>

## INDICE DE GRÁFICOS:

<i>Gráfico 1. Evolución de la normativa de supervisión y control del Ramo Vida hacia las Directivas de Solvencia I y Solvencia II.....</i>	<i>15</i>
<i>Gráfico 2. Los tres pilares de la Directiva de Solvencia II.....</i>	<i>23</i>
<i>Gráfico 3: Balance económico y recursos propios exigibles .....</i>	<i>24</i>
<i>Gráfico 4: Relación entre tipos al contado y a plazo.....</i>	<i>29</i>
<i>Gráfico 5: Estructura Temporal de Tipos de Interés Creciente.....</i>	<i>31</i>
<i>Gráfico 6: Swap de tipo de interés fijo-por-flotante.....</i>	<i>34</i>
<i>Gráfico 7: Swap de tipo de interés flotante-por-flotante.....</i>	<i>35</i>
<i>Gráfico 8: Tipos de Interés al contado de los Interest Rate Swap – Agosto/2013.....</i>	<i>39</i>
<i>Gráfico 9: Equivalencia de triángulos – Método Lineal .....</i>	<i>41</i>
<i>Gráfico 10: Interpolación - tipos de interés forward constante.....</i>	<i>43</i>
<i>Gráfico 11: Curva de tipos de interés a plazo interpolada y extrapolada obtenida empleando información de los swaps de tipos de interés y el método de Smith-Wilson.....</i>	<i>51</i>
<i>Gráfico 12: Curva de tipos de interés al contado interpolada y extrapolada obtenida empleando información de los swaps de tipos de interés y el método de Smith-Wilson.....</i>	<i>52</i>
<i>Gráfico 13: Solvencia I x Solvencia II: El efecto de la ETTI en las provisiones matemáticas de una entidad aseguradora del ramo vida .....</i>	<i>56</i>



## INDICE DE TABLAS:

<i>Tabla 1: Matriz de correlaciones para los módulos de riesgo.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2: Tipos de Interés al contado de los Interest Rate Swap – Agosto/2013.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 3 : Matriz Solvencia I x Solvencia II: El efecto de la ETTI en las provisiones matemáticas de una entidad aseguradora del ramo vida .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 4: Análisis de sensibilidad de las provisiones matemáticas de la cartera a los parámetros UFR y <math>\alpha</math> .....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 5 : Matriz de variación del análisis de sensibilidad .....</i>	<i>59</i>

## **AGRADECIMIENTOS:**

Agradezco a todos los amigos que a lo largo de mi trayectoria me han dedicado palabras de cariño como forma de apoyo, en especial, a Eduardo Trigo Martínez por su orientación, a Rocío Alberto Lechuga por su apoyo constante y a mi familia por darme ánimo y fuerza, incluso a la distancia.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La elaboración de este trabajo de investigación ha requerido un estudio interdisciplinar que abarca un enfoque económico, estadístico, matemático y actuarial cuyo objeto de investigación es analizar los pasivos de las entidades aseguradoras que ofrecen productos de vida-ahorro, en especial las provisiones matemáticas, mediante las técnicas de valoración consistente con el mercado (*market consistent valuation*) que han surgido en el ámbito de la Directiva de Solvencia II.

La implantación de la Directiva de Solvencia II en la Unión Europea tendrá implicaciones directas en el cálculo de las provisiones matemáticas de las entidades aseguradoras, visto que se basa en medir los activos y pasivos a valor de mercado, independiente de si son líquidos o no.

Al respecto, cabe destacar que los pasivos de las entidades aseguradoras que ofrecen productos de largo plazo, en la mayoría de las situaciones, son principalmente ilíquidos. En este sentido, en el caso de que una entidad aseguradora desee traspasar al mercado su cartera del Ramo Vida, este pasivo actuarial carece de liquidez. También es interesante resaltar que desde la óptica del asegurado, en la mayoría de los países pertenecientes a la Unión Europea, la posibilidad de negociar las inversiones realizadas en un seguro de vida-ahorro en el mercado es escasa, y la posibilidad de rescatar o movilizar la provisión matemática está sujeta a restricciones contractuales.

Los factores que han motivado la realización de este trabajo están relacionados con las incertidumbres del mercado asegurador acerca de la implantación del Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II. A continuación se mencionan los principales motivos:

1. El objetivo de la Directiva de Solvencia II es medir los derechos y las obligaciones a valor de mercado, esto implica que los flujos futuros de cobros y pagos de las entidades aseguradoras deben ser actualizados a valor presente utilizando un tipo de interés consistente con el mercado.
2. Se prevé que con la implantación del Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II, las autoridades de supervisión y control exigirán que las entidades aseguradoras mantengan en su balance mayores cifras de requisitos de capital que los exigidos bajo el Marco Normativo de la Directiva de Solvencia I.
3. En entornos económicos de tipos de interés bajos, las provisiones técnicas se elevan significativamente, aumentando así el valor actual de las obligaciones de las entidades aseguradoras frente a los asegurados.
4. El hecho de valorar las provisiones matemáticas en base a un tipo de interés consistente con el mercado conlleva adoptar nuevos enfoques en la Estructura Temporal de Tipos de Interés para que ésta cubra todo el horizonte temporal de las obligaciones de una entidad aseguradora.

Con la finalidad de llevar a cabo un cálculo razonable del factor de descuento a ser aplicado a los pasivos financieros actuariales de las entidades del Ramo Vida, se establecen los siguientes objetivos:

1. Examinar cómo las aseguradoras calculan, bajo la actual Normativa de la Directiva de Solvencia I, las provisiones matemáticas para seguros de vida a largo plazo con un tipo de interés técnico garantizado; esto se ilustrará desde un enfoque financiero-actuarial.
2. Detallar las principales medidas establecidas en el Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II en relación a las provisiones técnicas, el margen de riesgo y los requisitos de capital.
3. Analizar la curva de tipo de interés de un activo financiero libre de riesgo apropiado para ser utilizada como factor de descuento financiero en las provisiones matemáticas.
4. Como las aseguradoras tienen obligaciones a muy largo plazo cuyo vencimiento, en muchas ocasiones, son superiores al último valor líquido observado en la curva de tipos, es necesario establecer el modelo empleado para la extrapolación de la curva de tipos de interés libre de riesgo.
5. Por su parte, es imprescindible determinar la interpolación que será utilizada pues normalmente las curvas de tipos de interés presentan valores ilíquidos en diversos vencimientos anteriores al último valor líquido de la curva (*Last Liquid Point* o, simplemente, *LLP*).
6. Debido a la gran dificultad de tener acceso a los datos de una entidad aseguradora, realizar una simulación de una cartera basada en productos de vida-ahorro de media y alta duración. Mediante esta cartera simulada se pondrá en práctica los conceptos teórico-prácticos desarrollados a lo largo de este trabajo, observando así las repercusiones que tienen la interpolación y extrapolación de la curva de tipos en las provisiones técnicas de una entidad aseguradora del Ramo Vida.

Las principales hipótesis asumidas en la realización del presente trabajo de investigación son las siguientes:

1. Las entidades aseguradoras que ofrecen productos de vida-ahorro se distinguen sustancialmente en relación a las entidades bancarias en lo que se refiere a la exigencia de sus obligaciones. La exigibilidad de las obligaciones de una entidad aseguradora es a medio-largo plazo y resulta más fácil predecir sus flujos de salida, ya que una entidad financiera bancaria posee en su estructura financiera diversos productos de corta duración que posibilitan a los inversores transformar sus activos en efectivo con facilidad.
2. La implementación del Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II conlleva importantes cambios en la gestión de la actividad aseguradora,

que van desde la valoración de los activos y pasivos empleando una nueva metodología, hasta la asignación del capital económico basado en el riesgo.

3. Las entidades aseguradoras que ofrecen productos de vida-ahorro gozan de unas características específicas en relación a sus obligaciones, en general son de medio-largo plazo y pueden estimarse. Esto posibilita que dichas entidades realicen inversiones a largo plazo en activos que carecen de liquidez, lo que les generan mayores rentabilidades debido a la prima de liquidez. El hecho de que el pasivo asegurador sea predecible es de gran relevancia pues permite a las entidades aseguradoras invertir en instrumentos ilíquidos sin que tengan la necesidad de cerrar sus posiciones antes de los vencimientos. De esta forma la entidad es capaz de cubrir los flujos de pagos (prestaciones) con los flujos de cobros (inversiones y rendimientos afectos).
4. En el mercado de seguros de vida operan entidades aseguradoras heterogéneas en relación a los productos ofertados. Estas entidades deben realizar una Gestión de Activo-Pasivo (*Asset Liability Management* o, simplemente, *ALM*) eficiente para que los pasivos de la compañía estén completamente de acuerdo con los activos y puedan así cumplir con sus obligaciones frente a los asegurados.

El presente trabajo se estructura en cinco capítulos, incluyendo éste introductorio:

1. En el segundo capítulo se describe las principales medidas adoptadas en el ámbito de la Unión Europea hacia la homogeneización normativa en el sector asegurador con el actual marco normativo en vigor, Directiva de Solvencia I y, a continuación, se detallará las principales propuestas del futuro Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II. Se dará especial importancia a las medidas adoptadas por medio de las Directivas de Solvencia I (actualmente en vigor) y de Solvencia II cuya implantación se prevé para 2016.
2. En el tercer capítulo, se exponen los conceptos de los tipos de interés al contado y a plazo. A continuación se define la Estructura Temporal de Tipos de Interés y, por último, se explica como obtener la curva de tipos por medio de la información que proporcionan los *swaps* de tipos de interés.
3. En el cuarto capítulo se exponen los principales métodos de interpolación y extrapolación debatidos por el mercado asegurador y por los organismos de supervisión y control en los últimos años, los cuales son: el lineal, el de tipos de interés *forward* constante y el de Smith-Wilson.
4. En el quinto capítulo se aplica el modelo Smith-Wilson para interpolar y extrapolar la Estructura Temporal de Tipos de Interés obtenida de la información que proporcionan los *swaps* de tipos de interés. A

continuación se evalúan los efectos de la aplicación de dicha ETTI a las provisiones matemáticas de una entidad aseguradora ficticia y, por último, se realiza un análisis de sensibilidad de las provisiones matemáticas en relación a los principales parámetros del modelo de Smith-Wilson.

5. Por último, en el epígrafe de conclusiones se analizan los principales resultados que se han obtenido en el trabajo, se exponen las conclusiones que pueden obtenerse y las principales líneas de investigación que se desea desarrollar en el futuro.

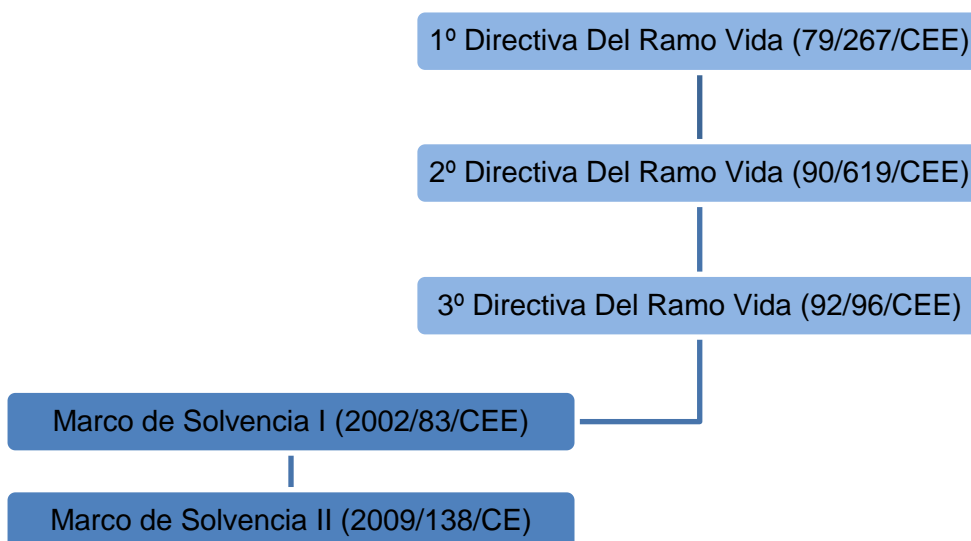
Los resultados que se esperan obtener con la realización del presente trabajo son los siguientes:

1. Obtener la Estructura Temporal de Tipos de Interés libre de riesgo extrapolada e interpolada para que la curva de tipos cubra todo el horizonte temporal de las obligaciones de una entidad aseguradora.
2. Medir el impacto de la aplicación de la Estructura Temporal de Tipos de Interés como factor de descuento libre de riesgo en las provisiones matemáticas en contraste con el método de cálculo aplicado bajo la Normativa de la Directiva de Solvencia I.
3. Evaluar el impacto que conllevará la implantación de la Directiva de Solvencia II para las entidades aseguradoras pertenecientes a los países de la Unión Europea, en especial, a lo que se refiere al cálculo de las provisiones técnicas.

## CAPÍTULO 2. EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DEL RAMO VIDA

A lo largo de las últimas décadas, la Unión Europea ha hecho hincapié en promover la libre prestación de servicios entre los países pertenecientes a esta comunidad. En el mercado asegurador no ha sido distinto y los organismos de supervisión y control han buscado a lo largo de los años la estandarización de la regulación y de la supervisión de los países pertenecientes a la Unión Europea. Hasta la creación del Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II ha habido distintas directivas que han tenido gran relevancia para que actualmente sea posible la implantación de la Normativa de la Directiva de Solvencia II.

*Gráfico 1. Evolución de la normativa de supervisión y control del Ramo Vida hacia las Directivas de Solvencia I y Solvencia II*



*Fuente: Elaboración Propia*

## 2.1. PRIMERA DIRECTIVA DEL RAMO VIDA

En 5 de marzo de 1979 se elaboró la Primera Directiva para el Ramo Vida 79/267/CEE, sobre coordinación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas, referentes al acceso a la actividad del seguro directo sobre la vida, y a su ejercicio, la cual tenía por objetivo la homogeneización de las distintas legislaciones nacionales de los estados pertenecientes a la Unión Europea. De esta forma se buscaba proteger la solvencia y estabilidad de las entidades aseguradoras y, por consiguiente, a los intereses de los asegurados, es decir, que el asegurador cumpliera con su función de proveer a los asegurados las prestaciones a que tienen derecho.

Una de las medidas más importantes aplicadas por la Primera Directiva fue la separación de la gestión entre los Ramos Vida y No Vida, es decir, las entidades que gestionaban los distintos ramos de forma conjunta, deberían hacerlos por separado. Los estados miembros de la Unión Europea podrían obligar a las entidades aseguradoras a separar las actividades del Ramo Vida y del Ramo No Vida en dos entidades jurídicas distintas. Sin embargo, los estados que permitiesen que una entidad aseguradora ejerciese las actividades de los Ramos Vida y No Vida mediante una única entidad jurídica deberían supervisarla con mayor rigor.<sup>3</sup>

Asimismo, dicha directiva determinaba que las reservas técnicas, incluyendo las provisiones matemáticas, serían determinadas de acuerdo con la reglamentación del país donde se estaba ejerciendo la actividad aseguradora.<sup>4</sup>

Sin embargo, esta directiva contemplaba la necesidad de establecer una reserva complementaria a las reservas técnicas habituales, llamada margen de solvencia, para hacer frente a los riesgos de explotación, que sería formada por los recursos propios de la entidad y que deberían estar de acuerdo con las normas del organismo de supervisión y control. El margen de solvencia podría estar medido en función de las primas o de las reservas matemáticas. Además, se determinó como medida de seguridad que este margen no podría ser inferior a una cifra denominada fondo de garantía. Así, en el caso de que la entidad tuviese un margen de solvencia inferior a dicha cifra, el organismo de supervisión y control podría liquidar esta entidad.<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup> PRIMERA DIRECTIVA DEL CONSEJO 79/267/CEE, CONSIDERANDO

<sup>4</sup> PRIMERA DIRECTIVA DEL CONSEJO 79/267/CEE, CONSIDERANDO

<sup>5</sup> PRIMERA DIRECTIVA DEL CONSEJO 79/267/CEE, CONSIDERANDO



## **2.2. SEGUNDA DIRECTIVA DEL RAMO VIDA**

La Segunda Directiva del Consejo 90/619/CEE, de 8 de noviembre de 1990, sobre la coordinación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas relativas al seguro directo de vida, de cierta forma fue llevada a cabo para aclarar puntos que no estaban bien desarrollados en la directiva anterior y que daban lugar a dudas. En particular, esta directiva buscaba mejorar la libre prestación de servicios entre los países de la Unión Europea, intentando así crear mercados más igualitarios y desarrollar una regulación más homogénea en relación a la estabilidad, solvencia y competencia de las entidades aseguradoras.<sup>6</sup>

A diferencia de la Primera Directiva que se centraba en la actuación de las entidades aseguradoras y también de los organismos de supervisión y control, la Segunda Directiva del Ramo Vida se centraba principalmente en los organismos de supervisión y control, desde las informaciones necesarias que deberían intercambiar con las entidades aseguradoras y con otros países de la Unión Europea, hasta las medidas sancionadoras que deberían ser llevadas a cabo en el caso de que las entidades no respetasen las normas reglamentarias establecidas.

## **2.3. TERCERA DIRECTIVA DEL RAMO VIDA**

La Tercera Directiva 92/96/CEE, de 10 de noviembre de 1992, sobre coordinación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas relativas al seguro directo de vida, realiza las modificaciones necesarias en las dos directivas anteriores del Ramo Vida para mejorar la homogenización de los mercados pertenecientes a la Unión Europea.

Por lo tanto, se han establecido medidas estándares en relación a la actuación de los organismos de supervisión y control con el objetivo de instaurar requisitos de autorización equivalentes en los estados pertenecientes a la Unión Europea. De esta forma, una aseguradora podría operar en toda la Comunidad teniendo sólo la autorización del país de origen, con lo cual se eliminaba la necesidad de obtener autorización de cada uno de los países donde se está operando. Estas medidas incentivaron el establecimiento de la libre prestación de servicios dentro del continente europeo.<sup>7</sup>

Mediante esta directiva se estableció que correspondía al estado en el que la aseguradora tenía su domicilio social supervisar adecuadamente la solidez financiera de la entidad y, en especial, el estado de solvencia y la constitución

---

<sup>6</sup> SEGUNDA DIRECTIVA DEL CONSEJO 90/619/CEE, CONSIDERANDO

<sup>7</sup> DIRECTIVA 92/96 CEE DEL CONSEJO, CONSIDERANDOS (5) y (6)

de las provisiones matemáticas, considerando también que estas últimas estuviesen invertidas en activos adecuados.<sup>8</sup>

En la Tercera Directiva del Ramo Vida se contemplaba el método actuarial como el apropiado para calcular las provisiones técnicas, incluyendo las provisiones matemáticas del seguro de vida. Los seguros de vida debían calcularse con arreglo a un método actuarial prospectivo, teniendo en cuenta todas las primas y obligaciones futuras. No obstante, se permitía el método retrospectivo siempre que éste no fuera inferior al método prospectivo. Los cálculos deberían ser llevados a cabo de forma prudente, con lo cual, el cálculo debería incluir un margen razonable de situaciones desfavorables.<sup>9</sup>

También se requería que el tipo de interés utilizado en los cálculos fuese prudente, el cual no podría ser superior al determinado por los organismos de supervisión y control. Sin embargo, estos organismos podrían permitir que se aplicase un tipo de interés superior al máximo establecido, siempre y cuando se comprobase por medio de técnicas de inmunización financiera adecuadas la capacidad de garantizarlo. Las técnicas inmunizadoras son utilizadas para llevar a cabo de manera eficiente el casamiento de los flujos de pagos de las prestaciones con los flujos de cobros de las inversiones.<sup>10 11</sup>

#### **2.4. DIRECTIVA DE SOLVENCIA I**

Con el objetivo de estandarizar las legislaciones vigentes en la Unión Europea, el 5 de noviembre 2002 el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea promulgaron la Normativa 2002/83/CEE sobre el seguro de vida, más conocida como Directiva de Solvencia I para el Ramo Vida. Además, esta directiva tenía por objetivo que el control de la solvencia de las entidades aseguradoras fuese realizado por separado en relación a los ramos, es decir, que el control financiero estático del Ramo Vida fuera analizado por separado del Ramo No Vida. De esta forma se evitaba que una situación desfavorable de un Ramo contaminase la situación financiera del otro. Esto ha implicado en la separación jurídica de las entidades aseguradoras por Ramos de actuación, es decir, Vida y No Vida.

Las principales medidas implantadas con el Marco Normativo de la Directiva de Solvencia I para el Ramo Vida son basadas en el volumen de actividad de la entidad aseguradora, es decir, los requisitos de capital están determinados en

---

<sup>8</sup> DIRECTIVA 92/96 CEE DEL CONSEJO, CONSIDERANDO (7)

<sup>9</sup> DIRECTIVA 92/96 CEE DEL CONSEJO, CAPITULO 2, ARTÍCULO 18

<sup>10</sup> Este permiso solo se podría aplicar a contratos a prima única de duración inferior a ocho años, contratos sin participación en beneficios o contratos de renta sin valor de rescate.

<sup>11</sup> DIRECTIVA 92/96 CEE DEL CONSEJO, CAPITULO 2, ARTÍCULO 18

función del volumen de las primas que la entidad presenta en relación a los asegurados.

Las decisiones contempladas en esta directiva tienen la finalidad de proteger al asegurado y para esto ha sido necesario coordinar los principios de cálculo de las provisiones entre los países pertenecientes a la Unión Europea, los cuales se basan esencialmente en principios actuariales.<sup>12</sup> Se han establecido limitaciones en relación a los tipos de interés aplicados en los cálculos de las provisiones y, de igual modo, que todos los métodos de cálculo a utilizar en la determinación de las provisiones técnicas sean igualmente correctos, prudenciales y equivalentes.<sup>13</sup>

Lógicamente, siguiendo la misma línea que las directivas anteriores, se mantiene necesario que las entidades aseguradoras dispongan, además de provisiones técnicas suficientes para hacer frente a las obligaciones contraídas, de una reserva complementaria, denominada margen de solvencia, formada por los recursos propios de la entidad. Este requisito de capital es uno de los factores esenciales para que se preserven los derechos económicos de los asegurados y tomadores de seguros, pues este margen tiene la función de absorber resultados desfavorables de la entidad debido a fluctuaciones adversas de su actividad.<sup>14</sup>

Además, la directiva establece un fondo de garantía de un tercio del margen de solvencia exigido, este valor es el valor mínimo el cual una entidad podría tener en su balance como margen de solvencia. En el caso de que una entidad tenga un margen de solvencia inferior al fondo de garantía, el organismo de supervisión y control debe actuar en relación a esta entidad, por lo tanto, la aseguradora estaría sujeta a sanciones e incluso a la liquidación.

El país donde la entidad aseguradora tiene el domicilio social regulará la constitución de las provisiones técnicas, incluyendo las matemáticas, las cuales se determinarán de acuerdo con los siguientes principios:<sup>15</sup>

1. Las provisiones técnicas del seguro de vida se calcularán empleando un método actuarial prospectivo de carácter prudente, incluyendo todas las obligaciones futuras en relación a los contratos. Las principales obligaciones de las aseguradoras con los asegurados son las prestaciones garantizadas, incluyendo los rescates garantizados, las participaciones en los beneficios adquiridos a que tengan derecho los asegurados colectiva o individualmente y todas las opciones implícitas que los asegurados tengan derecho según el contrato. De la misma forma que la Tercera Directiva del Ramo Vida, la Directiva de Solvencia I

---

<sup>12</sup> DIRECTIVA 2002/83/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, CONSIDERANDO (35)

<sup>13</sup> DIRECTIVA 2002/83/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, CONSIDERANDO (36)

<sup>14</sup> DIRECTIVA 2002/83/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, CONSIDERANDO (39)

<sup>15</sup> DIRECTIVA 2002/83/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, CAPITULO 2, ARTÍCULO 20

permite que se utilice un método retrospectivo cuando éste no sea inferior al método prospectivo. Los cálculos de las provisiones técnicas deberían ser llevados a cabo de forma prudente, con lo cual, el cálculo debería incluir un margen razonable para hacer frente a las situaciones desfavorables.

2. El organismo de supervisión y control del estado de origen de la aseguradora fijará el tipo de interés máximo permitido que será aplicado como factor de descuento a utilizar en el cálculo de las provisiones técnicas. Asimismo, los tipos deben ser elegidos de forma prudente y, teniendo en cuenta el tipo de interés técnico garantizado al asegurado.
3. Los elementos estadísticos necesarios para realizar el cálculo y los relativos a los gastos de gestión interna y externa imputables deben ser elegidos de forma prudente teniendo en consideración el tipo de póliza, los gastos de administración y las comisiones previstas.
4. En contratos de seguros que incluyen cláusulas de participación en beneficios, se podrá tener en cuenta las participaciones en beneficios futuras.
5. La provisión para gastos futuros podrá ser implícita, teniendo en cuenta las primas futuras netas de gastos de gestión.
6. El método de cálculo de las provisiones técnicas no puede cambiarse de un año a otro de forma discontinua como consecuencia de cambios arbitrarios en el método o en los elementos de cálculo. El método de cálculo debe mantenerse de un año a otro con base a criterios prudentes.

Las provisiones matemáticas deben estar materializadas en el activo de la entidad de forma prudente, es decir, deben estar invertidas en activos de alta calidad crediticia, los cuales tienen por objetivo preservar los intereses de los asegurados.

Uno de los elementos relevantes contemplados en la Directiva de Solvencia I es que establece criterios de diversificación para los activos en los que se materializan las provisiones técnicas. De esta forma, el país donde la entidad aseguradora tiene su domicilio social establece los siguientes límites máximos de inversión:<sup>16</sup>

1. el 10% en una única inversión inmobiliaria;
2. el 5% en acciones y otros valores negociables de una misma empresa o de préstamos al mismo prestatario. No obstante, dependiendo de las características de inversión de la entidad aseguradora existe la posibilidad de que este límite se aumente al 10%;

---

<sup>16</sup> DIRECTIVA 2002/83/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, CAPITULO 2, ARTÍCULO 24

3. el 5% en la cartera de préstamos no garantizados, de los cuales el 1% no puede ser invertido en un solo préstamo no garantizado. Estos límites pueden aumentar al 8% y al 2% respectivamente si la autoridad de supervisión y control del país de origen lo permite;
4. el 3% en tesorería;
5. y el 10% en acciones y obligaciones que se negocien en mercados no organizados.

La constitución de los activos debe estar basada en el principio de la diversificación, con la finalidad de reducir el riesgo idiosincrásico que la entidad está expuesta. No obstante, es necesario utilizar un nivel prudente de las inversiones no líquidas.

Las entidades del Ramo Vida necesitan constituir un margen de solvencia que debe estar formado por los recursos propios de la entidad, el cual tiene la función de absorber resultados desfavorables en relación a los riesgos que el asegurador está expuesto. En el Ramo Vida el margen de solvencia está calculado en función de las provisiones matemáticas y de los capitales en riesgo.

En este sentido, el Margen de Solvencia Mínimo Obligatorio (*MMS*) viene dado por la siguiente expresión:

$$MMS = 4\% \times PM \times \max\left(85\%, \frac{PM-Re}{PM}\right) + 0,3\% \times CR \times \max\left(50\%, \frac{CR-Re}{CR}\right) \quad (2.1)$$

Donde:

- *PM* son las *Provisiones Matemáticas*
- *Re* son las *Cesiones en Reaseguro*
- *CR* son los *Capitales en Riesgo del último ejercicio*

Como puede observarse, el cálculo del Margen de Solvencia Mínimo Obligatorio aplica un porcentaje fijo para todas las entidades aseguradoras lo que es una desventaja en el momento de medir los riesgos a los cuales la entidad está expuesta. Esto significa que al comparar entidades con características semejantes que tengan la misma exposición a los riesgos de mortalidad y supervivencia, las entidades que calculen su provisión matemática utilizando tablas de mortalidad más prudentes (más agresiva para mortalidad y más suavizada para supervivencia) o aplican tipos de interés más conservadores (menores tipos de intereses) obtienen provisiones matemáticas con cifras superiores a entidades que no trabajen con hipótesis actuariales prudentes. Por consiguiente, las entidades que calculan las provisiones matemáticas de manera prudente, necesitan mantener un margen de solvencia superior a las entidades que utilizan hipótesis actuariales (tablas de mortalidad y tipos de interés) más arriesgadas; lo que es notablemente incoherente.

Además, el Margen de Solvencia Mínimo Obligatorio no tiene en cuenta los riesgos que la entidad asume al invertir las provisiones matemáticas, principalmente, a riesgos como el de mercado y de crédito.

## 2.5. DIRECTIVA DE SOLVENCIA II

La Directiva 2009/138/CE, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y de reaseguro y su ejercicio, conocida como proyecto de Solvencia II, tiene la finalidad de reestructurar los métodos de cálculo de capital requerido de los fondos propios de las entidades aseguradoras. El Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II surge con el objetivo de considerar en los requisitos de capital, los riesgos los cuales no eran contemplados en las directivas anteriores.

El proyecto de la Directiva de Solvencia II pretende determinar la cifra requerida de fondos propios mediante modelos cuantitativos y cualitativos que abarcan los distintos riesgos inherentes a la actividad aseguradora. De esta forma, se busca medir las cifras requeridas de fondos propios con mayor exactitud que las que están siendo aplicadas en la Unión Europea en este momento. Actualmente, bajo la regulación de la Directiva de Solvencia I, esta cifra es calculada de manera contable y estática, sin abarcar algunos riesgos a los cuales las aseguradoras están expuestas, como el riesgo operacional.

El origen del Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II procede del modelo de supervisión y control puesto en práctica por el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, conocido como Basilea II, el cual está establecido en tres pilares y que calcula los requisitos de capital empleando un método basado en el riesgo para las entidades del sistema bancario. Sin embargo, la Directiva de Solvencia II ha visto necesario realizar algunas adaptaciones en el modelo bancario para abarcar los riesgos inherentes a la actividad aseguradora, es decir, riesgos como los de suscripción o técnico.<sup>17</sup>

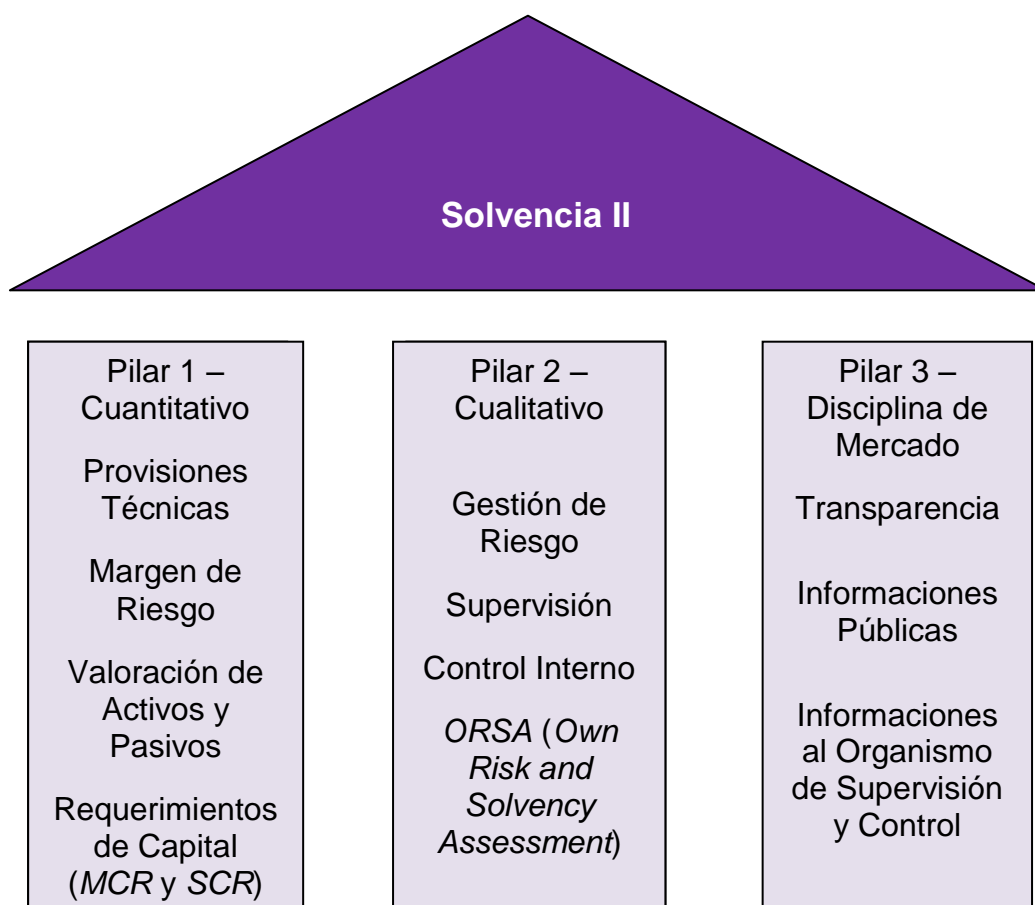
Los tres pilares esenciales de la Directiva de Solvencia II son:

- Pilar 1: Suficiencia de Capital (requisitos cuantitativos);
- Pilar 2: Procesos de Supervisión (requisitos cualitativos);
- Pilar 3: Disciplina de Mercado.

---

<sup>17</sup> BCBS. (2004), p.6.

Gráfico 2. Los tres pilares de la Directiva de Solvencia II



Fuente: Elaboración Propia

Los tres pilares de la Normativa de la Directiva de Solvencia II tienen la finalidad de garantizar los intereses y derechos de los clientes de la entidad.

El primer pilar busca alcanzar las cifras cuantitativas adecuadas que el asegurador debe mantener en su balance con el objetivo de cumplir con sus obligaciones.

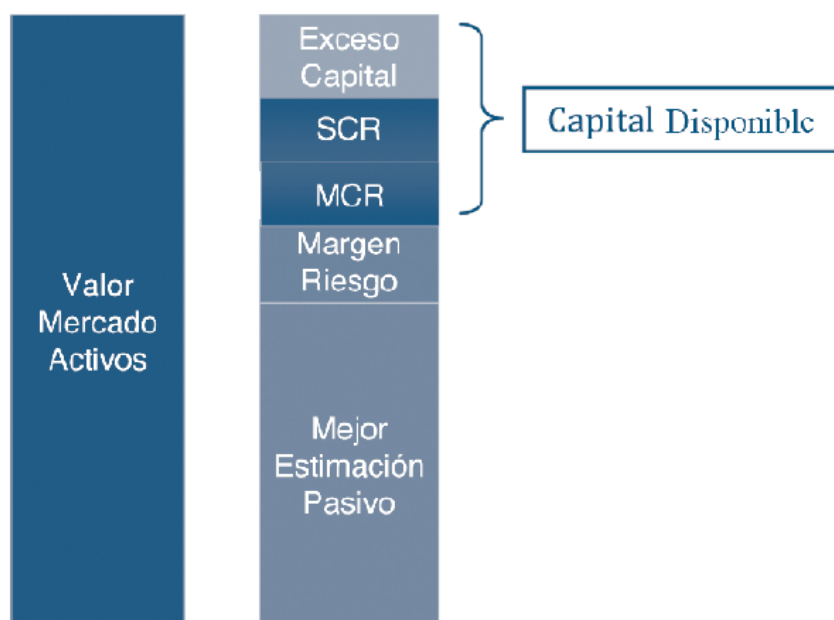
El segundo pilar complementa al primero y está caracterizado por elementos cualitativos como la supervisión continua del organismo de supervisión y control y la correcta evaluación de riesgos que no son fácilmente medidos mediante modelos cuantitativos.

El tercer pilar tiene la función de reforzar la disciplina de mercado estableciendo exigencias de información que el asegurador debe poner a disposición de los grupos con intereses en la entidad aseguradora (*stakeholders*): inversores, clientes y reaseguradores.

Al respecto de los recursos propios exigibles, la Directiva de Solvencia II establece dos niveles de mínimos. El primero conocido como Capital Mínimo Obligatorio (*MCR*) consiste en la cantidad de recursos propios por debajo del cual la entidad aseguradora no puede operar y su estimación debe ser fácil y objetiva.

Por encima del *MCR* existe lo que se denomina Capital de Solvencia Obligatorio (*SCR*), que se puede interpretar como capital económico, estimado de modo que tenga en consideración el riesgo global asumido por la aseguradora. De su comparación con el capital disponible determinado en base al balance económico, se obtiene el exceso de capital disponible.<sup>18</sup>

Gráfico 3: Balance económico y recursos propios exigibles



Fuente: Pozuelo De Gracia, E. (2008), p.80.

El Capital de Solvencia Obligatorio debe determinarse por medio de un modelo básicamente cuantitativo que, sin embargo, tenga en cuenta diversos factores cualitativos de la entidad el cual puede ser determinado mediante un modelo estándar que establece una fórmula general aplicable a todas las entidades aseguradoras o a través de modelos internos.

Los modelos internos se determinan en base a la experiencia de la aseguradora en relación a los riesgos los que está expuesta. La Directiva de

<sup>18</sup> Pozuelo De Gracia, E. (2008), p.80.



Solvencia II es flexible en relación al modelo interno, sin embargo, para que éste sea aceptado por el organismo de supervisión y control las hipótesis deben estar correctamente justificadas y el funcionamiento del modelo debe ser considerado adecuado.

La fórmula estándar del SCR se expone a continuación:<sup>19</sup>

$$SCR = SCR_{básico} + SCR_{riesgo\ operacional} + IA \quad (2.2)$$

Donde:

1. El capital de  $SCR_{básico}$  será igual al resultado de aplicar la siguiente expresión:<sup>20</sup>

$$SCR_{básico} = \sqrt{\sum_{i,j} Corr_{i,j} \times SCR_i \times SCR_j} \quad (2.3)$$

Expresión en la que  $SCR_i$  y  $SCR_j$  son:

- $SCR_{distinto\ del\ de\ vida}$ , que representa el módulo de riesgo de suscripción del seguro distinto del seguro de vida;
- $SCR_{de\ vida}$ , que representa el módulo de riesgo de suscripción del seguro de vida;
- $SCR_{enfermedad}$ , que representa el módulo de riesgo de suscripción del seguro de enfermedad;
- $SCR_{mercado}$ , que representa el módulo de riesgo de mercado;
- $SCR_{incumplimiento}$ , que representa el módulo de riesgo de incumplimiento de la contraparte.

Cada uno de los módulos de riesgo mencionados anteriormente se ajustará en función del valor en riesgo, con un nivel de confianza del 99,5 %, a un horizonte temporal de un año.<sup>21</sup>

El valor en riesgo se calcula por medio de un determinado percentil de la distribución de la variable aleatoria que representa el riesgo en cuestión, lo que hace que esta medida no sea tan compleja de calcularse. Sin embargo, dicha medida presenta los inconvenientes de que no es una medida subaditiva y de que no considera los valores que están a la derecha del percentil analizado, lo que puede resultar en un problema considerable cuando la cola de la distribución es relativamente larga, es decir, cuanto más asimétrica sea.

<sup>19</sup> DIRECTIVA 2009/138/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, CAPITULO 6, ARTÍCULO 103

<sup>20</sup> DIRECTIVA 2009/138/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, ANEXO IV

<sup>21</sup> DIRECTIVA 2009/138/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, CAPITULO 6, ARTÍCULO 104

El factor  $Corr_{i,j}$  representa el valor que figura en la fila  $i$  y la columna  $j$  de la siguiente matriz de correlaciones:

*Tabla 1: Matriz de correlaciones para los módulos de riesgo*

i \ j	Mercado	Incumplimiento	Vida	Enfermedad	Distinto del de Vida
Mercado	1	0,25	0,25	0,25	0,25
Incumplimiento	0,25	1	0,25	0,25	0,5
Vida	0,25	0,25	1	0,25	0
Enfermedad	0,25	0,25	0,25	1	0
Distinto del de Vida	0,25	0,5	0	0	1

Fuente: DIRECTIVA 2009/138/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, ANEXO IV

2. El  $SCR_{riesgo\ operacional}$  incluye los riesgos no incluidos en el  $SCR_{básico}$ , es decir, son los riesgos de pérdidas originadas por fallas en los procesos internos, en los sistemas informáticos, del personal o por la ocurrencia de eventos externos imprevistos.<sup>22</sup>
3. El *Importe de ajuste IA* se refiere a la capacidad de absorción de pérdidas de las provisiones técnicas y los impuestos diferidos. El *Importe de Ajuste* debe reflejar la posible compensación de las pérdidas inesperadas debido a un descenso considerable de las provisiones técnicas o impuestos diferidos.<sup>23</sup>

En lo que se refiere al Capital Mínimo Obligatorio, es la cifra mínima permitida por el organismo de supervisión y control para que la aseguradora mantenga su actividad. Si el capital disponible de un asegurador estuviera por debajo del *MCR*, los organismos de supervisión y control pueden aplicar medidas para que la entidad vuelva a operar con un capital disponible aceptable, e incluso podría iniciar de oficio el proceso de disolución y liquidación de la entidad.

El valor de las provisiones matemáticas será igual a la suma de la Mejor Estimación (*Best Estimate*) y de un Margen de Riesgo (*Margin Value Market*). El cálculo de cada sumando debe ser realizado por separado. Es necesaria la incorporación de un Margen de Riesgo a la Mejor Estimación pues las provisiones matemáticas carecen de liquidez en el mercado y la finalidad del *Margin Value Market* es justamente igualar el valor de las provisiones matemáticas al valor que un futuro asegurador necesitará para cumplir con las obligaciones futuras de dicha cartera.

<sup>22</sup> DIRECTIVA 2009/138/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, CAPITULO 6, ARTÍCULO 107

<sup>23</sup> DIRECTIVA 2009/138/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, CAPITULO 6, ARTÍCULO 108

$$\text{Provisiones Matemáticas} = \text{Mejor Estimación} + \text{Margen de Riesgo} \quad (2.4)$$

Donde:

- La mejor estimación de las provisiones matemáticas se corresponderá con la esperanza matemática de los flujos de caja futuros ponderada por su probabilidad, teniendo en cuenta el valor temporal del dinero (valor actual esperado de los flujos de caja futuros) mediante la aplicación de la pertinente Estructura Temporal de Tipos de Interés libre de riesgo.<sup>24</sup> La mejor estimación de la provisión matemática deberá ser calculada con arreglo a métodos actuariales y estadísticos, teniendo en cuenta hipótesis realistas e información actualizada y fiable. Además, debe ser calculada bruta de reaseguro, sin descontar los importes recuperados por contratos de reaseguro y la proyección de los flujos de caja futuros deberán tener en cuenta todas las entradas y salidas futuras de efectivo, como capital reducido, rescates o derechos de movilización.
- El margen de riesgo es la cifra que garantiza que el valor de las provisiones matemáticas sea equivalente al importe que la entidad aseguradora tendría que pagar al traspasar este pasivo a otra entidad aseguradora y que ésta se hiciese cargo de dicha cartera.

El método utilizado para calcular el margen de riesgo es el coste de capital (CoC). Por su parte, para los riesgos que la nueva aseguradora estará expuesta al adquirir las provisiones matemáticas, ésta deberá mantener un SCR para protegerse frente a resultados adversos y, lógicamente, exigirá un rendimiento por este capital asignado. El margen de riesgo calculado de esta forma será el valor actual de estos rendimientos futuros que exigirá la nueva aseguradora sobre el SCR asignado para dichas obligaciones transferidas (mejor estimación transferida).

---

<sup>24</sup> DIRECTIVA 2009/138/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, CAPITULO 6, ARTÍCULO 77

## CAPÍTULO 3. ESTRUCTURA TEMPORAL DE TIPOS DE INTERÉS

### 3.1. TIPOS DE INTERÉS AL CONTADO Y A PLAZO

Los tipos de interés al contado –*spot*–, representan el rendimiento de un activo de renta fija cupón cero correspondiente a un período específico  $[t_0, t_n]$ , es decir, se define como el tanto efectivo del período que proporciona la operación financiera de este activo. Los tipos de interés al contado se basan en el tanto efectivo al mantener un activo en cartera desde el momento de su emisión  $t_0$  hasta su vencimiento  $t_n$ .

El tipo de interés al contado  $r_n$  es el tipo de interés que iguala los precios de compra  $P_0$  y de amortización  $P_n$  de un activo de renta fija cupón cero el cual viene dado por las siguientes expresiones:

$$P_0 = \frac{P_n}{(1 + r_n)^n}, \text{ para cálculos de forma discreta; } \quad (3.1)$$

$$P_0 = \frac{P_n}{e^{n \times \tilde{r}_n}}, \text{ para cálculos de forma continua.}^{25} \quad (3.2)$$

Al despejar  $r_n$  de la ecuación, el tipo de interés al contado se establece de la siguiente forma:

$$r_n = \left(\frac{P_n}{P_0}\right)^{1/n} - 1, \text{ para cálculos de forma discreta; } \quad (3.3)$$

$$\tilde{r}_n = \frac{\ln\left(\frac{P_n}{P_0}\right)}{n}, \text{ para cálculos de forma continua. } \quad (3.4)$$

Como puede comprobarse si se igualan las expresiones (3.1) y (3.2).

$$\tilde{r}_n = \ln(1 + r_n) \quad (3.5)$$

---

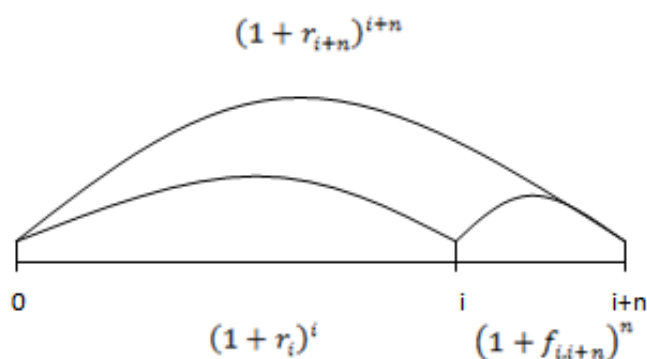
<sup>25</sup>  $\tilde{r}_n = \rho$

Por su parte, en base a la propiedad de escindibilidad de los factores financieros, los tipos de interés a plazo *-forward-* son calculados desde los tipos de interés al contado, es decir, los tipos de interés a plazo son los tipos de interés implícitos entre dos tipos de interés al contado para períodos de tiempo en el futuro.

Tomando como base los tipos de interés al contado  $r_i$  y  $r_{i+n}$  asociados a los períodos  $[t_0, t_i]$  y  $[t_0, t_{i+n}]$  y el tipo de interés a plazo medio  $f_{i,i+n}$  para el período  $[t_i, t_{i+n}]$ , definimos la siguiente equivalencia en base a cálculos discretos<sup>26</sup>:

$$(1 + r_{i+n})^{i+n} = (1 + r_i)^i \times (1 + f_{i,i+n})^n \quad (3.6)$$

Gráfico 4: Relación entre tipos al contado y a plazo



Fuente: Elaboración Propia

Mediante la expresión (3.6), se establece una relación entre los tipos de interés al contado  $r_i$  y  $r_{i+n}$  y los tipos de interés a plazo  $f_{i,i+n}$  para el período  $[t_i, t_{i+n}]$ . Al despejar el tipo de interés  $f_{i,i+n}$  resulta:

$$f_{i,i+n} = \left( \frac{(1 + r_{i+n})^{i+n}}{(1 + r_i)^i} \right)^{1/n} - 1 \quad (3.7)$$

De esta forma se obtiene el tipo de interés que en teoría estará vigente en el momento  $i$  durante  $n$  períodos. Asimismo, la relación entre el tipo de interés al

<sup>26</sup> Se ha optado por desarrollar las siguientes expresiones y explicaciones basándose en el método de cálculo discreto, sin embargo, estas explicaciones de igual modo pueden ser elaboradas a través del método de cálculo continuo.

contado  $r_{i+n}$  y los tipos de interés a plazo puede ser expresada de la siguiente forma:

$$(1 + r_{i+n})^{i+n} = (1 + f_{0,1}) \times (1 + f_{1,2}) \times \dots \times (1 + f_{i-1,i}) \times (1 + f_{i,i+n})^n \quad (3.8)$$

Al despejar el tipo de interés a plazo  $f_{i,i+n}$  de la expresión (3.8) se obtiene:

$$f_{i,i+n} = \left( \frac{(1 + r_{i+n})^{i+n}}{(1 + f_{0,1}) \times (1 + f_{1,2}) \times \dots \times (1 + f_{i-1,i})} \right)^{1/n} - 1 \quad (3.9)$$

Los tipos de interés a plazo son de gran importancia para las entidades financieras y aseguradoras, pues les posibilitan saber, en teoría, el tipo de interés que estará vigente en un intervalo temporal futuro, permitiéndoles así realizar un mejor control del riesgo de tipos de interés de la entidad.

Sin embargo, los tipos de interés a plazo pueden no coincidir con los verdaderos futuros tipos de interés al contado, es decir, el tipo de interés a plazo  $f_{1,2}$  calculado actualmente debería ser igual al tipo al contado  $r_1$  dentro de un año, no obstante, en diversas ocasiones estos tipos de interés presentan diferencias. A pesar de las posibles variaciones que puede haber entre estos tipos, los tipos de interés a plazo son muy importantes para indicar el futuro comportamiento de los tipos de interés.

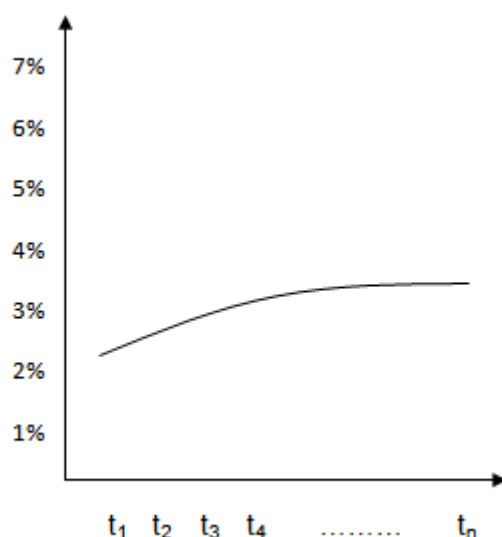
En especial en lo que se refiere a las entidades aseguradoras, los tipos de interés al contado y a plazo son de gran relevancia, pues se utilizan en los cálculos necesarios para lograr el valor actual de sus obligaciones futuras y de los derechos futuros en relación a los asegurados, determinando así las cifras adecuadas de provisiones técnicas a asignar en el balance de la entidad.

### 3.2. ESTRUCTURA TEMPORAL DE TIPOS DE INTERÉS

A partir de los tipos de interés al contado correspondientes a distintos vencimientos  $t_i$ , es posible establecer la Estructura Temporal de Tipos de Interés (ETTI), es decir, una curva de tipos compuesta por activos financieros que tengan el mismo grado de riesgo y distintos horizontes temporales. La forma que adopta la curva de tipos puede ser creciente, decreciente o plana.

A continuación se expresa gráficamente la forma creciente que es la considerada más habitual en los mercados financieros.

*Gráfico 5: Estructura Temporal de Tipos de Interés Creciente*



*Fuente: Elaboración Propia*

Algunas teorías son consideradas esenciales para explicar las posibles formas de la curva de tipos de interés, las cuales cabe destacar la importancia de la “teoría de la preferencia por la liquidez”, la “teoría de las expectativas del mercado”, la “teoría de la segmentación de mercado” y la “teoría del hábitat preferido”.

La “teoría de la preferencia por la liquidez” asume que el tipo de interés es el precio de la renuncia a la liquidez por parte del inversor y que cuanto más tiempo esté invirtiendo el dinero en un activo, mayor riesgo está asumiendo el inversor, y por tanto es lógico que activos con mayores vencimientos tendrán un rendimiento mayor. En base a esta teoría las curvas de tipos de interés serán siempre crecientes.

Por su parte, la “teoría de las expectativas del mercado” se basa en que la ETTI se forma de manera exclusiva en función de las expectativas que tienen los agentes del mercado en relación a como van a evolucionar los tipos de interés en el futuro. Por lo tanto, la curva será creciente cuando el mercado espere que los tipos de interés vayan a subir y la curva será decreciente cuando se espere que los tipos de interés vayan a bajar.

En lo que se refiere a la “teoría de la segmentación de mercado”, ésta consiste en que los mercados de renta fija están segmentados por tipos de productos,

es decir, productos de corto plazo, medio plazo y largo plazo y que los precios en cada uno de estos segmentos se basan en las leyes de la oferta y de la demanda. Por lo tanto, la curva de tipos podría tener cualquier forma según los tipos de interés de cada segmento.

Por último lugar, la “teoría del hábitat preferido” es una síntesis de las tres teorías expuestas anteriormente, lo que es razonable, visto que todas ellas influyen en la forma de la ETTI. Según esta teoría, los inversores y prestatarios tienen segmentos del mercado en los que prefieren operar, sin embargo, están dispuestos a dejar sus segmentos preferidos en el caso de que haya diferencias significativas entre los rendimientos de los segmentos, los cuales son determinados por la oferta y la demanda.

### **3.3. LA CURVA SWAP**

#### **3.3.1. CONCEPTO DE SWAP**

Un contrato de permuta financiera –*swap*– es un instrumento financiero derivado en el que dos partes, denominadas contrapartes, acuerdan intercambiar flujos financieros futuros entre sí, en la misma o en diferente moneda, durante un período de tiempo prefijado.

Los *swaps* son operaciones que se instrumentan en contratos que se llevan a cabo en mercados *OTC (Over The Counter)*, es decir, en un mercado no organizado lo que permite que sean operaciones financieras hechas a medida, generando así mayor flexibilidad a los contratos *swaps*.

Los principales tipos de *swaps* negociados en los mercados financieros son los de tipos de interés, de divisas, de materias primas y de acciones y valores. A lo largo de los años, los *swaps* se han caracterizado como un instrumento financiero de gran importancia para las entidades financieras y no financieras pues permiten una mejor gestión y cobertura de distintos riesgos financieros, tales como el de tipo de interés, tipo de cambio, variación en el precio de los activos reales y el de variación en el precio de las acciones.

#### **3.3.2. LOS SWAPS DE TIPOS DE INTERÉS**

Los *swaps* de tipos de interés o *Interest Rate Swap (IRS)* en lengua inglesa son contratos entre dos agentes económicos, mediante o no un intermediario, que intercambian entre sí periódicamente y durante un periodo preestablecido flujos de caja calculados en base a distintos tipos de interés sobre un mismo principal teórico.



En los *IRS* ambas las partes de la operación están obligadas a intercambiar los flujos de caja acordados en el contrato. Los pagos de las partes pueden tener las mismas fechas y periodicidades, en el caso de que coincidan, los pagos y cobros se liquidan por diferencia entre lo que las partes deberían pagar y cobrar. En los *swaps* de tipos de interés no hay intercambio del principal, el principal solo es tomado como base para el cálculo de los flujos de caja.

El *swap* de tipos de interés es uno de los instrumentos financieros derivados más líquidos en el mercado financiero y de gran importancia para diversas instituciones financieras y no financieras. Mediante los *IRS* las entidades tienen la capacidad de gestionar, diversificar y cubrir adecuadamente el riesgo de tipo de interés. Este tipo de *swap* permite que una entidad transforme el tipo de interés de una deuda o de una financiación en concreto, adecuando así los tipos de interés practicados por la entidad a sus necesidades de gestión de riesgos.

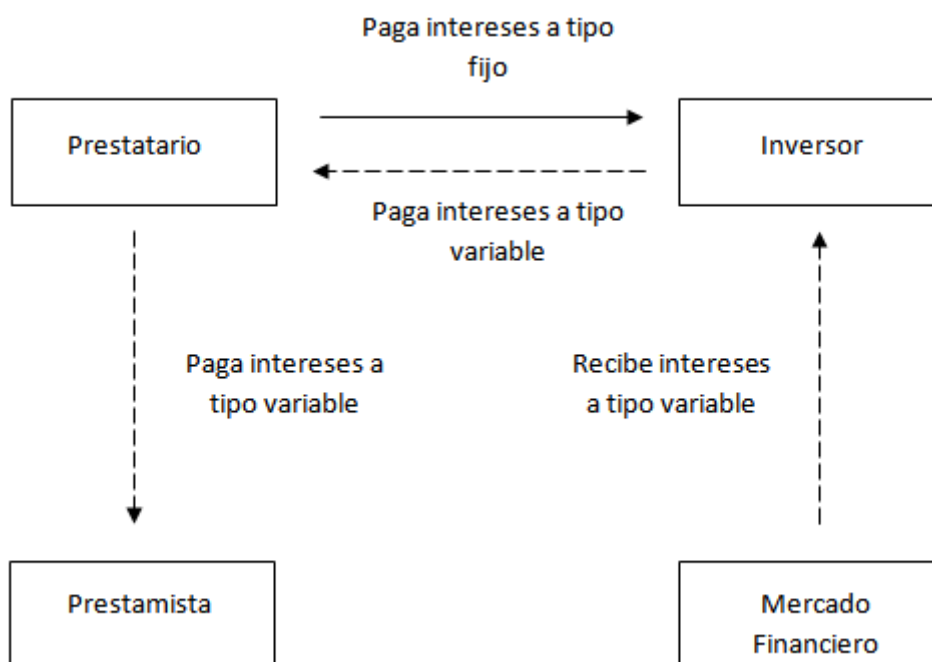
Las dos principales modalidades de *swaps* de tipos de interés son el fijo-por-flotante (fijo-por-variable), que también puede ser conocido como *plain vanilla swap* y el flotante-por-flotante (variable-por-variable o de base). En la Unión Europea lo más habitual es que una de las partes pague los intereses a tipo variable en función del EURIBOR o LIBOR, mientras que la otra parte lo hace a un tipo fijo o bien variable, pero referenciado, en este supuesto, a otra base distinta. Además, cabe destacar que los flujos del *swap* referente al tipo de interés fijo son denominados por los agentes del mercado financiero como *coupon swap*.

En lo que se refiere a los *IRS* fijo-por-flotante, esta operación es de gran relevancia para la gestión de riesgo de tipos de interés en varias situaciones. Una de las situaciones en que este *IRS* es de gran utilidad es cuando un agente tiene una deuda a tipo variable y estima que el tipo de interés variable va a subir. Este agente puede efectuar una operación *swap* para fijar los costes de su deuda, es decir, haría una operación *swap* con la cual pagaría a tipo de interés fijo y recibiría a tipo de interés variable.

Por otro lado, una posible contraparte sería un agente que tiene una inversión que recibe a tipo variable, pero que desea cambiar el rendimiento de su inversión a tipo fijo pues supone que el tipo variable va a bajar, de esta forma la contraparte pagaría a tipo variable y recibiría a tipo fijo en la operación *swap*.

A continuación se expone la representación gráfica del *Swap* fijo-por-flotante explicada anteriormente:

Gráfico 6: *Swap* de tipo de interés fijo-por-flotante



Fuente: *Elaboración Propia*

Por su parte, los *IRS* flotante-por-flotante presentan gran utilidad para la cobertura de riesgos de tipos de interés, los cuales pueden ser utilizados cuando una entidad tiene los costes de su Estructura Financiera y los rendimientos de su Estructura Económica referenciados en base a determinado índice variable, como puede ser el EURIBOR a seis meses.

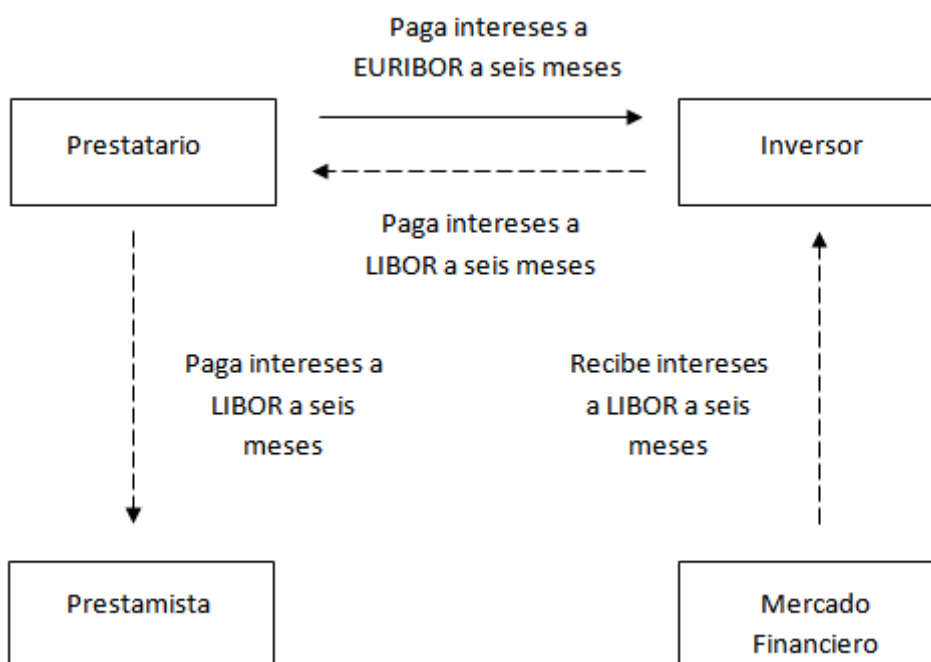
En el caso de que esta entidad financiera apenas consiga endeudamiento en el mercado financiero en base a un índice de referencia distinto al EURIBOR a seis meses, como puede ser el LIBOR a seis meses, le interesa realizar una operación *swap* para que la empresa no esté expuesta al riesgo de tipo de interés relacionado a posibles variaciones adversas del LIBOR a seis meses.

Esta entidad financiera puede efectuar una operación *swap* para permutar los costes de su deuda, es decir, haría una operación *swap* con la cual pagaría a tipo de interés EURIBOR a seis meses y recibiría a tipo de interés LIBOR a seis meses. Por otro lado, la contraparte podría ser una entidad que desea permutar el rendimiento de sus inversiones basadas en el LIBOR a seis meses por EURIBOR a seis meses. Por lo tanto, en la operación *swap* la contraparte

pagaría los tipos de interés en base al LIBOR a seis meses y recibiría los tipos de interés en base al EURIBOR a seis meses.

En el siguiente gráfico se expone la relación entre las distintas partes presentes en el *Swap* flotante-por-flotante explicada anteriormente:

Gráfico 7: *Swap* de tipo de interés flotante-por-flotante



Fuente: *Elaboración Propia*

En el caso de que una de las contrapartes de la operación desee deshacer la posición tomada en un *swap*, hay tres posibilidades para llevarlo a cabo:

- Cancelar la operación *swap* de común acuerdo entre las partes;
- Realizar la transferencia del *swap* original a un tercero en el mercado;
- Formalizar otro *swap* con una posición opuesta.

A diferencia de instrumentos financieros derivados como las opciones y los futuros que se negocian en mercados financieros organizados, los *swaps* de tipos de interés presentan un considerable riesgo de contrapartida. Esto ocurre debido al hecho de que los *IRS* son negociados en mercados no organizados (*OTC*) donde no hay la presencia de la cámara de compensación que soportaría el riesgo de contrapartida, por ejemplo, a través del cobro de pequeños márgenes en las operaciones (*margin calls*), de garantías iniciales o complementarias o estableciendo límites en las operaciones.

El riesgo de contrapartida en los *IRS* puede ser considerado muy bajo cuando ambas las partes de la operación establecen garantías financieras como puede ser la utilización de bonos de deuda pública como colateral.

### **3.3.3. OBTENCIÓN DE LA ETTI A PARTIR DE LA INFORMACIÓN QUE PROPORCIONAN LOS SWAPS DE TIPOS DE INTERÉS**

La curva *swap* es una Estructura Temporal de Tipos de Interés formada por los tipos de interés al contado de distintos vencimientos basados en el instrumento financiero *Interest Rate Swap*. Para la construcción de la curva *swap* se utiliza los *IRS* fijo-por-flotante y son los tipos de interés de la parte fija de la operación que son los tomados como base para la construcción de la curva *swap*.

Para formar la curva *swap* de la zona euro se toma como base las operaciones *IRS* realizadas en el mercado interbancario en el cual están presentes las entidades financieras más importantes que actúan en la Unión Europea, lo que aporta solidez a los datos y a la construcción de la curva.

Por su parte, el *IRS* negociado en el mercado interbancario que es utilizado para la formación de la curva es el que intercambia tipo de interés fijo por EURIBOR a seis meses, es decir, esta operación consiste en que la parte fija realiza pagos anuales en base al tipo de interés fijo acordado y la parte flotante realiza pagos semestralmente en base a la cotización vigente del EURIBOR a seis meses.

No obstante, como la operación *swap* tomada como base para la elaboración de la curva no es un *IRS* cupón cero, sino un *swap* que paga cupones fijos anuales, existe la necesidad de realizar las debidas adecuaciones matemáticas para transformar el tipo de interés referente a un cupón pagadero anualmente en un tipo de interés cupón cero. La principal técnica considerada por el mercado financiero para realizar esta adecuación es la técnica de *bootstrapping*, la cual es considerada de fácil implantación y consiste en un método recursivo.

Cabe destacar que como los *IRS* son operaciones en las cuales no hay intercambio de principal y se basan apenas en un principal teórico, consideramos que son operaciones realizadas a la par, es decir, el precio de emisión del instrumento financiero es igual al valor del principal.

La técnica de *bootstrapping* admite que el tipo al contado para el primer periodo coincide con el rendimiento del instrumento financiero de análisis para un periodo. A continuación se expresa esta igualdad para los *swaps* de tipos de interés analizados.

$$C_1 = r_1 \quad (3.10)$$

Donde:

- $C_i$  es el cupón periódico del IRS que vence en el período  $i$ ;
- $r_i$  es el tipo de interés al contado para el período  $i$ .

A partir del tipo al contado para un periodo se halla el tipo para el periodo siguiente. Se establece la igualdad entre el precio de emisión y los cupones periódicos y el principal ponderándolos por los respectivos tipos de interés *spot*. Mediante esta igualdad se halla el tipo de interés al contado para el segundo periodo:

$$1 = \frac{C_2}{(1 + r_1)} + \frac{1 + C_2}{(1 + r_2)^2} \quad (3.11)$$

Al despejar la variable  $r_2$  de la expresión (3.11) resulta en la siguiente expresión:

$$r_2 = \sqrt{\frac{(1 + r_1) \times (1 + C_2)}{1 + r_1 - C_2}} - 1 \quad (3.12)$$

De esta forma, a partir de los tipos de interés al contado ya encontrados es posible hallar los tipos de interés al contado para los periodos siguientes. Tras aplicar este método recursivo que en finanzas es conocido como *bootstrapping* es posible lograr los tipos para construir la curva *swap*.

En el presente trabajo se realizará la interpolación y extrapolación de la curva *swap* en base a los datos divulgados por *Deutsche Bundesbank*, el banco central alemán, el cual aplica la técnica de *bootstrapping* a los *swaps* de tipos de interés y divulga mensualmente al final de cada mes los tipos de interés al contado de la zona euro.

Por su parte, los *Interest Rate Swap* negociados en el mercado interbancario tienen limitaciones en relación a los posibles vencimientos que se pueden formalizar una operación *swap*, es decir, solo se puede establecer operaciones de *IRS* con los vencimientos existentes en el mercado interbancario.

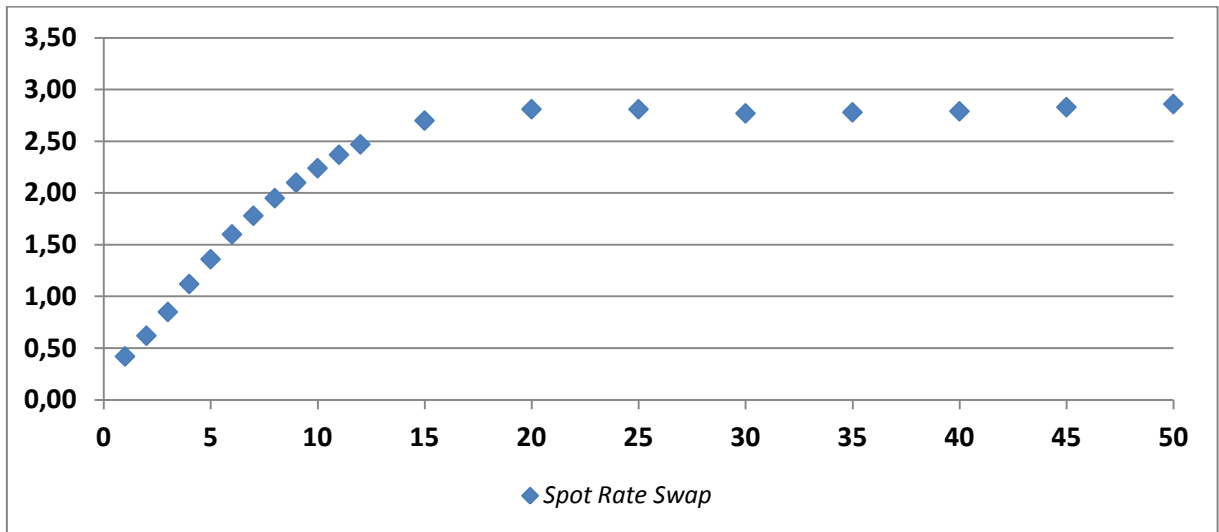
A continuación se exponen los datos que serán utilizados en el presente trabajo, los tipos de interés al contado líquidos de los *Interest Rate Swap* que son los tipos que se pueden observar en el mercado interbancario y su respectiva representación gráfica:

*Tabla 2: Tipos de Interés al contado de los Interest Rate Swap – Agosto/2013*

<b>Vencimiento en Años</b>	<b>Tipo de Interés al contado</b>
<b>1</b>	<b>0.42</b>
<b>2</b>	<b>0.62</b>
<b>3</b>	<b>0.85</b>
<b>4</b>	<b>1.12</b>
<b>5</b>	<b>1.36</b>
<b>6</b>	<b>1.60</b>
<b>7</b>	<b>1.78</b>
<b>8</b>	<b>1.95</b>
<b>9</b>	<b>2.10</b>
<b>10</b>	<b>2.24</b>
<b>11</b>	<b>2.37</b>
<b>12</b>	<b>2.47</b>
<b>15</b>	<b>2.70</b>
<b>20</b>	<b>2.81</b>
<b>25</b>	<b>2.81</b>
<b>30</b>	<b>2.77</b>
<b>35</b>	<b>2.78</b>
<b>40</b>	<b>2.79</b>
<b>45</b>	<b>2.83</b>
<b>50</b>	<b>2.86</b>

*Fuente: Deutsche Bundesbank (2013)*

Gráfico 8: Tipos de Interés al contado de los Interest Rate Swap – Agosto/2013



Fuente: Deutsche Bundesbank (2013)

Como puede observarse en el gráfico 8, los tipos de interés al contado de los *IRS* forman una curva creciente, denominada normal o positiva. A partir de esta curva se puede concluir que el mercado tiene expectativas alcistas en relación a la evolución del EURIBOR a seis meses. No obstante, el mercado supone que no habrá muchas variaciones en los tipos de interés al contado para vencimientos superiores a 15 años, generando así una curva prácticamente plana entre los vencimientos de 15 años y de 50 años.

## CAPÍTULO 4. MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN

La interpolación y la extrapolación son herramientas matemáticas de gran importancia para las finanzas en general. En especial a lo que se refiere al mercado asegurador, estas herramientas son esenciales para que las entidades aseguradoras puedan valorar adecuadamente las provisiones técnicas utilizando la Estructura Temporal de Tipos de Interés.

En general, la parte líquida de la Estructura Temporal de Tipos de Interés presenta intervalos en los cuales no existen tipos de interés líquidos y, por otro lado, las curvas de tipo de interés no suelen alcanzar horizontes temporales muy lejanos de acuerdo con las necesidades de los aseguradores. En este sentido, para valorar los derechos y las obligaciones en base a las técnicas de valoración consistente con el mercado se convierte necesario interpolar y extrapolar la curva de tipos para que se obtenga los vencimientos considerados ilíquidos.

Dentro de las matemáticas existen varios métodos de interpolación y extrapolación desarrollados a lo largo de muchos años, no obstante, algunos de los métodos que han tenido una importancia significativa en el ámbito de implantación del proyecto de la Directiva de Solvencia II han sido el método lineal, el método de tipos de interés *forward* constante y el método de Smith-Wilson.

### 4.1. MÉTODO LINEAL

El método de interpolación y extrapolación más sencillo es el método lineal, el cual une dos puntos específicos, conocidos como nodos, mediante una recta, creando así una función lineal. En el caso de que se aplique este método para varios nodos que no pertenezcan a la misma recta, se generarán distintas rectas de interpolación o extrapolación con distintas pendientes.

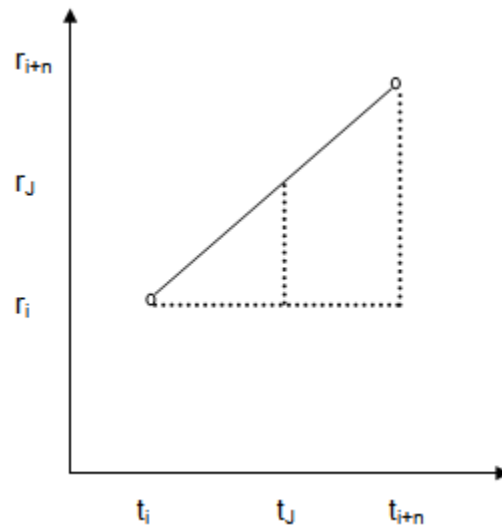
El método lineal se basa en la equivalencia de triángulos para llevar a cabo esta interpolación o extrapolación, es decir, considera que los catetos de un triángulo rectángulo varían en la misma proporción cuando uno de ellos es reducido o ampliado. En el gráfico 9 se ilustra esta relación de proporcionalidad de los triángulos rectángulos.

El método lineal puede ser aplicado tanto para los tipos de interés al contado como para los tipos de interés a plazo, sin embargo, los desarrollos matemáticos de este epígrafe se basarán en los tipos de interés al contado.



Al considerar dos tipos de interés al contado  $r_i$  y  $r_{i+n}$  asociados a los tiempos  $t_i$  y  $t_{i+n}$  respectivamente y se busca hallar el valor de  $r_j$  asociado a un  $t_j$ , tal que  $t_i < t_j < t_{i+n}$ ; se demuestra esta interpolación lineal en la siguiente gráfica:

Gráfico 9: Equivalencia de triángulos – Método Lineal



Fuente: Elaboración Propia

La equivalencia de triángulos se expresa matemáticamente a continuación:

$$\frac{r_{i+n} - r_i}{t_{i+n} - t_i} = \frac{r_j - r_i}{t_j - t_i}, \quad \forall t_i < t_j < t_{i+n} \quad (4.1)$$

Al despejar la variable  $r_j$  de la expresión (4.1) se obtiene la expresión de interpolación o extrapolación lineal:

$$r_j = r_i + \left( \frac{r_{i+n} - r_i}{t_{i+n} - t_i} \right) (t_j - t_i), \quad \forall t_i < t_j < t_{i+n} \quad (4.2)$$

Expresión que, como puede comprobarse, es el polinomio de primer orden a continuación:

$$Y = a + bX \quad (4.3)$$

Donde:

- $Y = r_j$
- $a = r_i$
- $b = \left( \frac{r_{i+n} - r_i}{t_{i+n} - t_i} \right)$
- $X = (t_j - t_i)$

La equivalencia de triángulos nos permite utilizar el método lineal para determinar cualquier  $t_j$  perteneciente al intervalo  $[t_i, t_{i+n}]$ , generando así un tramo lineal para cada par de nodos observados en la curva de tipos. La inclinación de la recta generada entre los tiempos  $t_i$  y  $t_{i+n}$  es gobernada por la pendiente  $\left( \frac{r_{i+n} - r_i}{t_{i+n} - t_i} \right)$ , es decir, los rendimientos  $r_j$  en este tramo variarán en función de esta razón.

La aplicación de este método para interpolar o extrapolar genera una curva de tipos no suavizada en general y lineal por tramos de nodos  $[t_i, t_{i+n}]$  disponibles en el mercado, es decir, este método utiliza un polinomio para cada intervalo de nodos observados en vez de utilizar un único polinomio para toda la curva de tipos. Asimismo, este método es más preciso cuanto menor sea el tramo  $[t_i, t_{i+n}]$ , pues cuanto mayor sea, mayor el error de la interpolación o extrapolación.

La técnica lineal es considerada por el mercado asegurador como una de las técnicas estándares para realizar la interpolación y extrapolación de la ETTI, por esto fue utilizada como método de referencia para realizar comparaciones con otros métodos en el Quinto Estudio de Impacto Cuantitativo (*Quantitative Impact Study 5 – QIS5*) realizado por el CEIOPS (*Committee of European Insurance and Occupational Pensions Supervisors*)<sup>27</sup>, antiguo organismo de supervisión y control del mercado asegurador de la Unión Europea, ahora sustituido por la EIOPA (*European Insurance and Occupational Pensions Authority*). Los QIS tienen la finalidad de medir el impacto que conllevará en los requisitos de capital la implantación del Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II a las entidades aseguradoras de la Unión Europea.

---

<sup>27</sup> CEIOPS. (2008 b), p.4.

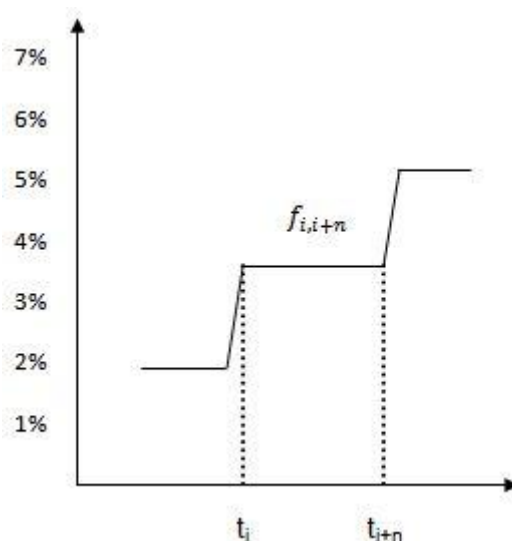
## 4.2. TIPOS DE INTERÉS *FORWARD* CONSTANTES

El método de tipos de interés *forward* constante es un método relativamente sencillo, el cual la interpolación se basa en adoptar un tipo de interés a plazo constante entre dos tipos de interés al contado líquidos, lo que por consiguiente conducirá los tipos de interés al contado interpolados entre estos dos puntos líquidos hacia al alza o a la baja. Este método genera un comportamiento lineal horizontal en los tipos de interés a plazo que están entre dos tipos de interés al contado observados en el mercado.

En lo que se refiere a la interpolación utilizando el método de tipos de interés *forward* constante, el principio básico es que toma como base el hecho de que los tipos a plazo entre dos tipos al contado  $r_i$  y  $r_{i+n}$  son iguales para cualquier subperíodo comprendido en el intervalo  $[t_i, t_{i+n}]$ , lo que se expresa a continuación:

$$f_{i,i+1} = f_{i+1,i+2} = \dots = f_{n-1,n} = f_{i,i+n} \quad (4.4)$$

Gráfico 10: Interpolación - tipos de interés *forward* constante



Fuente: Elaboración Propia

En lo que se refiere a la extrapolación de la curva de tipos, este método se basa en el principio de que los tipos a plazo se mantendrán constantes después del último valor líquido observado en la Estructura Temporal de Tipos de Interés. Para obtener el tipo de interés a plazo extrapolado, se toma como base el tipo de interés a plazo calculado entre el penúltimo y el último valor líquido de los tipos al contado de la curva de tipos, es decir, este tipo de interés

a plazo debe ser replicado para los períodos posteriores al último valor líquido de la curva.

Al considerar  $t_{h-1}$  como el penúltimo período y  $t_h$  como el último período que presenta tipo de interés al contado en la curva de tipos, podemos establecer la siguiente expresión para los tipos a plazo extrapolados:

$$f_{h-1,h} = \frac{(1 + r_h)^h}{(1 + r_{h-1})^{h-1}} - 1 = f_{h,h+1} = f_{h+1,h+2} = \dots \quad (4.5)$$

Las principales ventajas de este método de interpolación y extrapolación son su estabilidad y facilidad de implantación, sin muchas complejidades matemáticas. Asimismo, este método es considerado un método no suavizado en relación a la curva de tipos a plazo pues establece tramos lineales horizontales en las interpolaciones, sin embargo, la curva de tipos al contado tendrá un formato suavizado por naturaleza, pues los tipos de interés a plazo le aportan subidas o bajadas graduales.

El método de tipos de interés *forward* constante ha sido uno de los métodos propuestos por los organismos de supervisión y control como forma de interpolar y extrapolar la Estructura Temporal de Tipos de Interés, incluso este método fue el tenido en cuenta en el Cuarto Estudio de Impacto Cuantitativo (*Quantitative Impact Study 4 – QIS4*) realizado por el CEIOPS.

### 4.3. SMITH-WILSON

El método de interpolación y extrapolación de Smith-Wilson se basa en factores macroeconómicos para llevar a cabo su aplicación y, en comparación a los demás métodos presentados en este capítulo es un método relativamente reciente. A diferencia de otros métodos que tienen como datos de entrada de la función (*inputs*) los tipos de interés al contado líquidos de la ETTI, el método Smith-Wilson tiene como *inputs* los precios actuales de un bono cupón cero teórico de una unidad monetaria en base a los vencimientos donde hay tipos al contado líquidos en la ETTI y el factor macroeconómico *Ultimate Forward Rate (UFR)*.

La *UFR* es el tipo de interés *forward* de muy largo plazo para el horizonte temporal de extrapolación determinado. Los principales factores macroeconómicos que determinan la *UFR* son la inflación esperada a largo plazo y el tipo de interés real esperado.<sup>28</sup> El método de Smith-Wilson realiza la

<sup>28</sup> Además de tener en cuenta la inflación esperada de largo plazo y el tipo de interés real esperado, se puede llevar en consideración la prima nominal de largo plazo esperada y el efecto nominal de convexidad de largo plazo.

extrapolación suavizada de la ETTI hasta que el tipo a plazo converja a la *UFR*.<sup>29</sup>

La inflación esperada a largo plazo consiste en la inflación estimada que estará presente en el año en que la extrapolación converge a la *UFR*. De igual modo, el tipo de interés real esperado es el tipo de interés real que se estima que estará presente en el año que el tipo a plazo alcanza la *UFR*.

El método Smith-Wilson parte del principio de que en la parte líquida de la Estructura Temporal de Tipos de Interés la función de precios para una unidad monetaria es conocida para una cantidad fija de  $N$  vencimientos:  $u_1, u_2, u_3$  hasta  $u_n$ . Esto sería lo mismo que conocer los tipos de interés al contado de estos  $N$  vencimientos y, por consiguiente, calcular el precio actual para un bono cupón cero teórico de una unidad monetaria. Las principales características de la función de precios  $P(t)$  son:<sup>30</sup>

- Es una función positiva;
- Es una función decreciente;
- La función tiene valor 1 cuando  $t = 0$ ;
- La función pasa por todos los *inputs* precios conocidos;
- La función tiene un cierto grado de suavización;
- Converge a 0 cuando  $t$  es muy grande.

Dependiendo si los datos son considerados como tipos al contado continuos  $\tilde{r}_{u_i}$  o como tipos discretos  $r_{u_i}$ , los *inputs* precios actuales para los vencimientos líquidos  $u_i$  de la ETTI pueden ser expresados de las siguientes formas:

$$m_i = P(u_i) = (1 + r_{u_i})^{-u_i}, \text{ para cálculos de forma discreta; } \quad (4.6)$$

$$m_i = P(u_i) = e^{-u_i \times \tilde{r}_{u_i}}, \text{ para cálculos de forma continua. } \quad (4.7)$$

En este caso, en el cual el precio actual de un bono cupón cero teórico de una unidad monetaria es el *input*, los datos de salida de la función (*outputs*) son los precios actuales para los vencimientos donde hay y no hay tipos de interés al contado líquidos en la curva de tipos de interés, es decir, este método sirve tanto para realizar la interpolación entre dos valores líquidos de la curva de tipos como para extrapolar la curva de tipos a partir del último valor líquido de la ETTI hasta el horizonte temporal de extrapolación determinado.

---

<sup>29</sup>CEIOPS. (2008 b), p.3.

<sup>30</sup>CEIOPS. (2008 b), p.12.

La función de precios  $P(t)$  propuesta por Smith y Wilson se simplifica en la siguiente expresión:<sup>31 32</sup>

$$P(t) = e^{-UFR \times t} + \sum_{i=1}^N \zeta_i \times W(t, u_i), \quad t \geq 0 \quad (4.8)$$

Donde:

- $e^{-UFR \times t}$  es un término asintótico que utiliza como tipo de interés de descuento la  $UFR$  lo que hace con que el término se aproxime considerablemente al verdadero valor de la función de precios  $P(t)$  cuando  $t$  está próximo al horizonte de extrapolación determinado;
- La combinación lineal  $\sum_{i=1}^N \zeta_i \times W(t, u_i)$  funciona justamente como un ajuste positivo al término asintótico para que la función  $P(t)$  alcance el valor apropiado.

A continuación se expresa la definición de las funciones simétricas Wilson  $W(t, u_i)$ :

$$W(t, u_i) = e^{-UFR \cdot (t+u_i)} \times \left\{ \begin{array}{l} \alpha \times \text{mín}(t, u_i) - 0,5 \times e^{-\alpha \times \text{máx}(t, u_i)} \\ (e^{\alpha \times \text{mín}(t, u_i)} - e^{-\alpha \times \text{mín}(t, u_i)}) \end{array} \right\} \quad (4.9)$$

Donde:

- $N$  es la cantidad de tipos al contado líquidos presente en la ETTI o el número de bonos cupón cero teóricos conocidos en la función de precios;
- $m_i$ , para  $i = 1, 2, 3 \dots N$ , es el precio de mercado conocido de un bono cupón cero teórico de una unidad monetaria;
- $u_i$ , para  $i = 1, 2, 3 \dots N$ , son los vencimientos de los bonos cupón cero teóricos con precios conocidos;
- $t$  es el vencimiento observado como *output* en la función de precios;
- $UFR$  es la *Ultimate Forward Rate* que es el tipo de interés *forward* de muy largo plazo para el horizonte temporal de extrapolación determinado;
- $\alpha$  significa *reversión* y es el parámetro que representa la velocidad en que la función converge a la  $UFR$ ;
- $\zeta_i$ , para  $i = 1, 2, 3 \dots N$ , son los parámetros para ajustar la función de precios.

---

<sup>31</sup> CEIOPS. (2008 b), p.16.

<sup>32</sup> Esta expresión es exclusiva para instrumentos financieros cupón cero. Para instrumentos financieros que presentan cupones, la función adecuada se demuestra en: CEIOPS. (2008 b), p.18.

Para ajustar la función de precios es necesario calcular el valor de los  $N$  parámetros desconocidos  $\zeta_i$ . Para determinar el valor de los parámetros  $\zeta_i$  es necesario solucionar el sistema lineal compuesto por  $N$  ecuaciones. Cada ecuación de este sistema lineal es la expresión del precio actual de un bono cupón cero teórico de una unidad monetaria para cada tipo de interés al contado líquido presentado en la ETTI. A continuación se expresa este sistema lineal:

$$\begin{aligned}
 m_1 = P(u_1) &= e^{-UFR \times u_1} + \sum_{i=1}^N \zeta_i \times W(u_1, u_i) & (4.10) \\
 m_2 = P(u_2) &= e^{-UFR \times u_2} + \sum_{i=1}^N \zeta_i \times W(u_2, u_i) \\
 &\dots \dots \dots \\
 m_N = P(u_N) &= e^{-UFR \times u_N} + \sum_{i=1}^N \zeta_i \times W(u_N, u_i)
 \end{aligned}$$

El sistema lineal de ecuaciones (4.10) puede ser simplificado a través de la siguiente notación matricial:

$$M = P = U + W \times \zeta \quad (4.11)$$

Donde:

- $M = (m_1, m_2, \dots, m_N)^T$
- $P = (P(u_1), P(u_2), \dots, P(u_N))^T$
- $U = (e^{-UFR \times u_1}, e^{-UFR \times u_2}, \dots, e^{-UFR \times u_N})^T$
- $W = \begin{bmatrix} W(u_1, u_1) & \dots & W(u_1, u_N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W(u_N, u_1) & \dots & W(u_N, u_N) \end{bmatrix}$
- $\zeta$  es la matriz que ajusta la función de precios la cual se busca determinar.

Después de despejar la matriz  $\zeta$  de la expresión (4.11), para hallar los valores de  $\zeta_i$  apenas es necesario invertir la matriz de funciones simétricas Wilson  $W$  y multiplicarla por la diferencia entre la matriz de precios  $P$  y la matriz de términos asintóticos  $U$ , como se demuestra a continuación:

$$\zeta = W^{-1} \times (P - U) = W^{-1} \times (M - U) \quad (4.12)$$

Tras lograr los valores de los parámetros  $\zeta_i$  y sustituirlos en la función de precios (4.8), se logra los precios para todos los vencimientos deseados, es decir, para los vencimientos considerados líquidos e ilíquidos.

Después de obtener el precio actual para un bono cupón cero teórico de una unidad monetaria, se determina fácilmente el valor del tipo de interés al contado que va a componer la Estructura Temporal de Tipos de Interés mediante la siguiente expresión:

$$\tilde{r}_t = \frac{\ln\left(\frac{1}{P(t)}\right)}{t} \quad (4.13)$$

Una de las ventajas del método de Smith-Wilson es que al realizar la interpolación de la parte líquida de la ETTI mantiene inalterados los tipos de interés al contado líquidos de la curva de tipos de interés, es decir, solamente suaviza los valores entre dos tipos de interés observadas en el mercado, proporcionando así un buen ajuste a la verdadera ETTI.

Otra ventaja de este método es que la interpolación y extrapolación de la ETTI se hace de forma conjunta, sin que haya la necesidad de aplicar una técnica para la interpolación y otra distinta para la extrapolación, aportando así consistencia al método.

Por otro lado, una de las desventajas que presenta la técnica de Smith-Wilson es el hecho de que el método depende del parámetro  $\alpha$  que es elegido de forma arbitraria<sup>33</sup>, basándose en valores empíricos y estudios anteriores. En este sentido, aún es necesario realizar más investigaciones para que el parámetro  $\alpha$  sea determinado en base a criterios objetivos en vez de criterios empíricos.<sup>34</sup>

---

<sup>33</sup> CEIOPS considera que la aplicación de  $\alpha = 0,1$  proporciona una extrapolación adecuada a la mayoría de las curvas de tipos de interés.

<sup>34</sup> CEIOPS. (2008 b), p.15.



La técnica de Smith-Wilson ha consolidado su importancia en el mercado asegurador cuando el *CEIOPS* adoptó este método como el apropiado a ser aplicado a la ETTI, incluso, esta técnica fue la utilizada en el Quinto Estudio de Impacto Cuantitativo realizado por dicho organismo.<sup>35</sup>

---

<sup>35</sup> CEIOPS. (2008 b), p.2.

## CAPÍTULO 5. EFECTO DE LA INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN DE LA ETTI EN LAS PROVISIONES MATEMÁTICAS DE UNA ENTIDAD ASEGURADORA

### 5.1. LA INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN DE LA ETTI OBTENIDA DE LA INFORMACIÓN QUE PROPORCIONAN LOS SWAPS DE TIPOS DE INTERÉS Y EL MÉTODO DE SMITH-WILSON

De los distintos modelos de interpolación y extrapolación expuestos en el tercer capítulo se aplica el modelo Smith-Wilson por las razones siguientes:

- Permite realizar la interpolación y extrapolación de forma simultánea proporcionando una ETTI suavizada;
- Mantiene los datos originales intactos, es decir, al realizar la interpolación de la parte líquida de la ETTI mantiene inalterados los tipos de interés al contado líquidos de la curva de tipos;
- Actualmente es el método considerado adecuado por el organismo de supervisión y control de la Unión Europea, la *EIOPA*. En este sentido, ha sido aplicado a la ETTI obtenida de la información que proporcionan los *swaps* de tipos de interés en el último Estudio de Impacto Cuantitativo sobre la implantación del Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II, el *QIS5*.

Para llevar a cabo la interpolación y extrapolación de la ETTI obtenida de la información que proporcionan los *swaps* de tipos de interés ha sido necesario determinar el valor de los principales parámetros del método de Smith-Wilson, los cuales se exponen a continuación:

1. Los precios de mercado de los bonos cupón cero teóricos de una unidad monetaria ( $m_i$ ) se han obtenido por medio de los tipos de interés al contado de los *swaps* de tipos de interés divulgados por *Deutsche Bundesbank*.<sup>36</sup>
2. La *Ultimate Forward Rate* ha sido determinada en base a estudios macroeconómicos, históricos y estadísticos realizados por el *CEIOPS*, el cual considera el valor de 4,2% como el adecuado para la zona euro en base a una inflación esperada de largo plazo de 2,0% anual y un tipo de interés real esperado de 2,2%.<sup>37</sup>

---

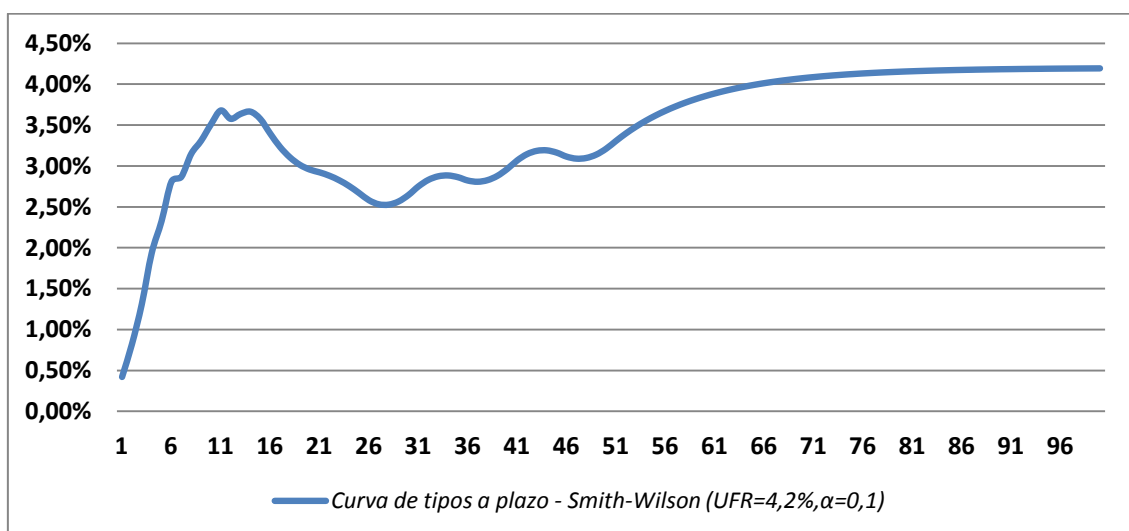
<sup>36</sup> Deutsche Bundesbank. (2013).

<sup>37</sup> CEIOPS. (2008 b), p.6-10.

- El parámetro de *reversión* ( $\alpha$ ) presentará el valor de 0,1 en base a Thomas y Maré<sup>38</sup>. Este valor para el parámetro de *reversión* suele adecuarse bien a las extrapolaciones de las curvas de tipos cuando el horizonte de extrapolación está entre 70 y 120 años. Al respecto del presente trabajo, se ha definido el horizonte de extrapolación predeterminado como 100 años, es decir, siendo este año en el que el tipo de interés a plazo de la curva *swap* alcanzará el valor de la *UFR*.

Por su parte, en el gráfico 11 se expone la curva de tipos de interés a plazo interpolada y extrapolada obtenida empleando información de los *swaps* de tipos de interés y el método de Smith-Wilson:

Gráfico 11: Curva de tipos de interés a plazo interpolada y extrapolada obtenida empleando información de los *swaps* de tipos de interés y el método de Smith-Wilson



Fuente: Elaboración Propia

Cabe destacar que cuanto mayor sea el  $\alpha$  utilizado, más rápido los tipos de interés a plazo a partir del último valor líquido de la curva convergen a la *UFR*, es decir, mayores  $\alpha$  proporcionan curvas de tipos menos suavizadas en la parte ilíquida.

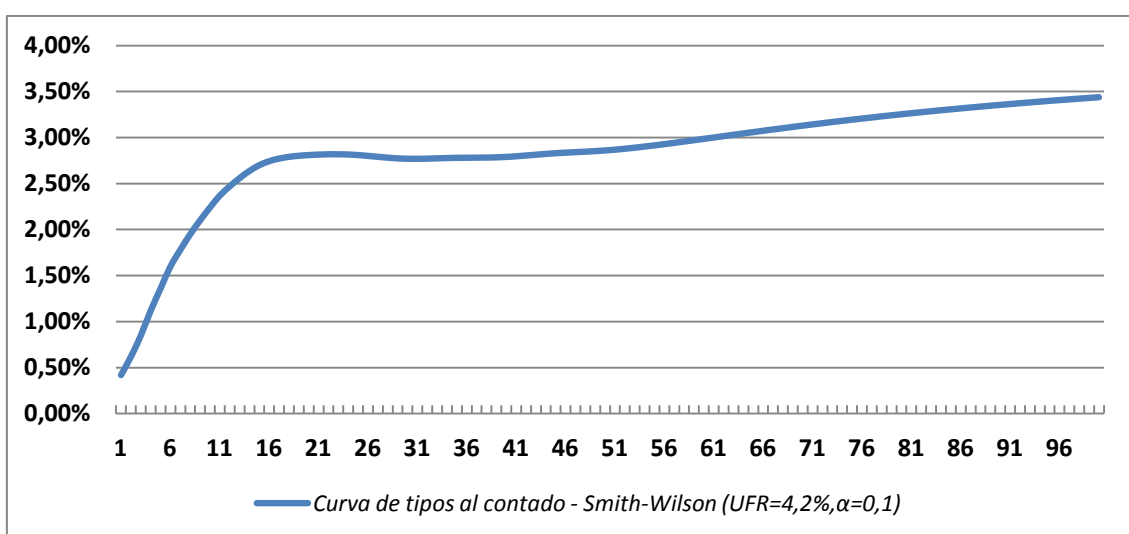
Por su parte, como se ha expuesto en el gráfico 11, a partir del vencimiento 50 que es el último valor líquido de la curva, este método conduce los tipos a plazo hacia la *UFR* en el vencimiento 100 de manera suavizada por utilizar un  $\alpha$  relativamente pequeño. Este aumento en los tipos a plazo a partir del

<sup>38</sup> Thomas, Maré. (2007), p.17.

vencimiento 50 ha implicado en un incremento gradual de los tipos al contado como se puede comprobar en el gráfico 12.

La interpolación y extrapolación de la curva de tipos al contado obtenida empleando información de los swaps de tipos de interés y el método de Smith-Wilson se presenta a continuación:

*Gráfico 12: Curva de tipos de interés al contado interpolada y extrapolada obtenida empleando información de los swaps de tipos de interés y el método de Smith-Wilson*



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en el gráfico 12, este método proporciona una Estructura Temporal de Tipos de Interés con un crecimiento pronunciado en el intervalo [0-20], es prácticamente plana en el intervalo [20-50] y es ligeramente creciente en el intervalo [50-100]. Cabe destacar que la interpolación y extrapolación de la ETTI ha sido llevada a cabo por medio de hoja de cálculo divulgada por la EIOPA para que el mercado asegurador pueda realizar este tipo de aplicación.<sup>39</sup>

<sup>39</sup> EIOPA. (2010).

## 5.2. EFECTO DE LA ETTI EN LAS PROVISIONES MATEMÁTICAS DE UNA ENTIDAD ASEGURADORA DEL RAMO DE VIDA

### 5.2.1. CONTRASTE ENTRE LA APLICACIÓN DE TIPOS DE INTERÉS FIJO (DIRECTIVA DE SOLVENCIA I) Y LA ETTI (DIRECTIVA DE SOLVENCIA II) EN LAS PROVISIONES MATEMÁTICAS

Debido a la gran dificultad de tener acceso a los datos de una entidad aseguradora del Ramo Vida se ha visto necesario construir una cartera simulada compuesta por seguros de vida-ahorro para contrastar los cálculos de las provisiones matemáticas en base a la Directiva de Solvencia I con la Directiva de Solvencia II.

El tipo de interés aplicado a las provisiones matemáticas por el mercado asegurador bajo la Directiva de Solvencia I, normalmente, es el mismo tipo garantizado a los asegurados y beneficiarios en sus productos de vida-ahorro. Por otro lado, en lo que se refiere a la Directiva de Solvencia II, los tipos de interés se basan en las técnicas de valoración consistente con el mercado lo que implica aplicar la pertinente Estructura Temporal de Tipos de Interés.

En el presente trabajo se evalúa el valor de las provisiones matemáticas en base a cinco escenarios, los cuales cuatro están en función del tipo de interés que las entidades del mercado asegurador español garantizan a los asegurados en sus rentas actuariales y uno en base a la Estructura Temporal de Tipos de Interés. A continuación se exponen los cinco escenarios analizados:

- $i_1=2,5\%$  que es el tipo de interés garantizado por Santander Seguros;<sup>40</sup>
- $i_2=2,75\%$  que es el tipo de interés garantizado por la entidad Zurich;<sup>41</sup>
- $i_3=3,0\%$  que es el tipo de interés garantizado por BBVA Seguros;<sup>42</sup>
- $i_4=3,37\%$  que es establecido por la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones (DGSFP) de España como el tipo de interés máximo que una entidad aseguradora puede aplicar a las provisiones matemáticas y garantizar en sus productos actuariales. No obstante, un asegurador puede ofrecer productos con tipos de interés técnico superiores al 3,37% siempre y cuando se compruebe por medio de técnicas de inmunización financiera adecuadas la capacidad de garantizarlo;<sup>43</sup>

---

<sup>40</sup> Santander Seguros. (2013).

<sup>41</sup> Zurich. (2013).

<sup>42</sup> BBVA Seguros. (2013).

<sup>43</sup> RESOLUCIÓN DE 5 DE ENERO DE 2012, DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE SEGUROS Y FONDOS DE PENSIONES.

- Estructura Temporal de Tipos de Interés obtenida de la información que proporcionan los *swaps* de tipos de interés y el método Smith-Wilson (parámetros  $UFR=4,2\%$  y  $\alpha=0,10$ ) como se ha expuesto en el epígrafe 5.1.

Las hipótesis asumidas para construir la cartera de pólizas se exponen a continuación:

- Se ha elegido evaluar exclusivamente la cartera de nueva producción del mes de agosto de 2013, pues de esta forma se considera que todos los asegurados de la cartera tienen el mismo tipo de interés fijo garantizado. Sin embargo, si se hubiese analizado toda la cartera de contratos vigentes de una entidad aseguradora, posiblemente habrían distintos tipos de interés garantizados entre los asegurados, lo que dificultaría sustancialmente los cálculos de las provisiones matemáticas;
- Como en España, según los datos divulgados en el Informe de 2012 sobre el mercado de seguros y fondos de pensiones por la DGSFP, los asegurados con menos de 25 años representan apenas 0,9% del mercado de seguros y como la edad mínima para jubilarse en España por la seguridad social es de 67 años, se ha determinado que los asegurados de la cartera tienen aleatoriamente entre 25 y 67 años de edad en el momento de la contratación del seguro. Además, cabe destacar que las edades de los asegurados están distribuidas de manera uniforme entre éstas edades;<sup>44</sup>
- La cartera de pólizas de seguro tiene un tamaño de 5000 asegurados con una proporción del sexo masculino-femenino del 50%-50%;
- Se ha optado por utilizar la tabla de mortalidad “GRM 95” para el sexo masculino y la “GRF 95” para el sexo femenino, las cuales han sido consideradas porque son direccionadas al cálculo de rentas actuariales y porque son tablas relativamente recientes.  
Cabe resaltar que las tablas direccionadas al cálculo de rentas proporcionan mayores valores de expectativa de vida para los asegurados que las tablas direccionadas a capitales por fallecimiento, visto que las primeras presentan mayores probabilidades de supervivencia.  
Además, se ha adoptado éstas tablas estáticas porque la adopción de tablas dinámicas conllevaría mayor complejidad matemática a los cálculos;
- La prestación que la entidad aseguradora garantiza es la percepción de una renta anual diferida, vitalicia, pospagable de una cuantía constante igual a 10.000 euros que el beneficiario empezará a percibir cuando alcance la edad de 67 años.

---

<sup>44</sup> Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones. (2013). p.268.

Se ha elegido la edad de 67 años como la edad en que los asegurados comenzarán a percibir las rentas por ser la edad mínima establecida por la seguridad social española para que un trabajador se jubile.

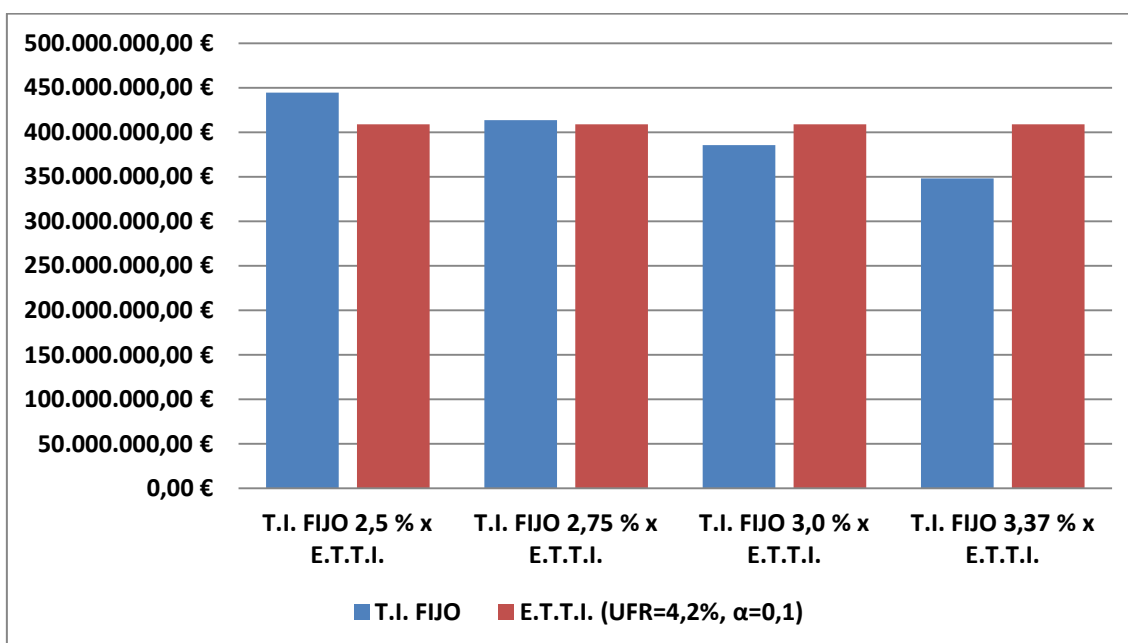
Se ha optado por rentas anuales porque el hecho de fraccionar la renta implicaría calcular además de los tipos de interés al contado para cada año, los tipos de interés al contado con la respectiva periodicidad del fraccionamiento de la renta, lo que aumentaría considerablemente la dificultad de los cálculos.

Además, la elección de una renta de cuantía constante en el valor de 10.000 euros anuales a los asegurados se basa en proporcionar una renta que prorrateada mensualmente representa una prestación de 833,33 euros, lo que es completamente razonable visto que se trata de una prestación complementaria a la percibida por la seguridad social;

- Se ha establecido que las rentas han sido contratadas mediante el pago de primas únicas pues como se está evaluando la cartera de nueva producción, caso los cálculos fueran realizados en base a primas periódicas, el valor de las provisiones matemáticas calculadas utilizando el tipo de interés fijo garantizado sería cero porque las primas futuras que pagarían los asegurados tendrían el mismo valor actual de las futuras prestaciones percibidas por éstos;
- Los cálculos se realizan a prima pura, sin tener en cuenta gastos internos y gastos externos;
- No se han considerado en los cálculos los valores garantizados como el rescate. Sin embargo, es interesante resaltar que como esta cartera está formada exclusivamente por primas únicas, no existe la posibilidad de que los asegurados utilicen las provisiones matemáticas para pagar las primas futuras, por lo tanto, no cabría la posibilidad de anticipo o reducción.

En el gráfico 13 y en la tabla 3 se expone el efecto de la aplicación de la Estructura Temporal de Tipos de Interés (Directiva de Solvencia II) interpolada y extrapolada obtenida empleando información de los swaps de tipos de interés y el método Smith-Wilson (parámetros  $UFR=4,2\%$  y  $\alpha=0,10$ ) en comparación con los cuatro escenarios de tipos de interés fijos garantizados (Directiva de Solvencia I) aplicados a las provisiones matemáticas de esta cartera:

*Gráfico 13: Solvencia I x Solvencia II: El efecto de la ETTI en las provisiones matemáticas de una entidad aseguradora del ramo vida*



Fuente: Elaboración Propia

*Tabla 3 : Matriz Solvencia I x Solvencia II: El efecto de la ETTI en las provisiones matemáticas de una entidad aseguradora del ramo vida*

MATRIZ SOLVENCIA I x SOLVENCIA II	SOLVENCIA I - T.I.FIJO	SOLVENCIA II - E.T.T.I. (UFR=4,2%, α=0,1)	VARIACIÓN
T.I. FIJO 2,5 % x E.T.T.I.	444.453.130,40 €	408.788.132,22 €	-8,02%
T.I. FIJO 2,75 % x E.T.T.I.	413.646.005,98 €		-1,17%
T.I. FIJO 3,0 % x E.T.T.I.	385.521.997,21 €		6,03%
T.I. FIJO 3,37 % x E.T.T.I.	348.256.059,01 €		17,38%

Fuente: Elaboración Propia



En base al gráfico 13 y a la tabla 3 cabe resaltar las siguientes informaciones sobre los datos de las provisiones matemáticas de los cuatro escenarios de tipos de interés fijos garantizados en contraste con la ETTI:

- En el caso de que esta entidad aseguradora garantizase un tipo de interés fijo del 2,5% al año, la implantación del Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II la beneficiaría pues habría un decremento en sus provisiones matemáticas del 8,02%, es decir, en vez de constituir 444.453.130,40 € de provisiones matemáticas, constituiría 408.788.132,22 €;
- Por su parte, al garantizar un tipo de interés del 2,75% a sus asegurados, en base a la Directiva de Solvencia II una entidad aseguradora compondría 4.857.873,76 € a menos de provisiones matemáticas que bajo la actual Directiva en vigor, lo que representa un decremento de 1,17%;
- En lo que se refiere a garantizar un tipo de interés del 3,0% a los asegurados, aplicando la ETTI la provisión resulta en un aumento del 6,03% en relación al método de cálculo bajo la Directiva de Solvencia I;
- Por último lugar, al garantizar un tipo de interés del 3,37% se presenta la mayor diferencia entre los cuatros escenarios, por lo tanto, la entidad necesitaría aportar 60.532.073,21 € para calcular las provisiones matemáticas en base a las técnicas de valoración consistente con el mercado, lo que significa un aumento del 17,38%.

Cabe destacar que las acciones de los Bancos Centrales Europeos en proporcionar mucha liquidez a los mercados financieros de la Unión Europea influyen para que las curvas de tipos de interés estén compuestas por bajos tipos de interés, lo que en diversas situaciones afectará a las entidades aseguradoras.

Las implicaciones de entornos económicos de bajos tipos de interés para el mercado asegurador son consideradas negativas, pues afectan directamente al alza el valor de las provisiones matemáticas y dificulta sustancialmente que las entidades garanticen altos tipos de interés a sus asegurados, además, puede incrementar los requisitos de capital de las entidades, lo que puede afectar a su solvencia. En este sentido, los aseguradores necesitan desarrollar eficientes estrategias de *ALM* y de inmunización financiera para lograr las rentabilidades necesarias en el mercado financiero para garantizar mayores tipos de interés a los asegurados.

En definitiva, la entrada en vigor del Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II y la implantación de las técnicas de valoración consistente con el mercado pueden conducir a las entidades aseguradoras a garantizar bajos tipos de interés en sus productos de vida-ahorro, lo que afectaría directamente a los asegurados y beneficiarios pues tendrían menores rentabilidades en sus inversiones actuariales.

## 5.2.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LAS PROVISIONES MATEMÁTICAS A LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DEL MODELO SMITH-WILSON ( $UFR$ y $\alpha$ )

Con el objetivo de evaluar los parámetros elegidos por el CEIOPS para la zona euro, se ha analizado la sensibilidad de las provisiones matemáticas de la cartera a los parámetros  $UFR$  y  $\alpha$  del método de Smith-Wilson. El propósito de este análisis de sensibilidad es contrastar distintas hipótesis con la utilizada por el organismo de supervisión y control y, por consiguiente, evaluar el impacto monetario de la utilización de parámetros diferentes en la cartera.

Además de la analizada en el epígrafe 5.2.1, se han considerado los valores de la  $UFR$  siguientes:

- Otros escenarios de inflación:
  - El 3,2%, que es el considerado adecuado para países con una serie histórica de baja inflación, tales como Japón y Suiza;<sup>45</sup>
  - El 5,2%, que es el adoptado para países con alto histórico de inflación, por ejemplo Brasil, Turquía, México, Sudáfrica e India.<sup>46</sup>
  
- Escenarios de estrés:
  - El 7,0%, que se ha tenido en cuenta en el presente trabajo como un test de estrés de entornos económicos de alta inflación;
  - El 10,0%, que ha sido considerado como un escenario de estrés de muy alta inflación en los mercados financieros.

Por otro lado, visto que cuanto mayor sea el  $\alpha$  utilizado en el método, mayor es la velocidad que la curva *forward* tiende al valor de la  $UFR$  a partir del último valor líquido de la curva de tipos, es decir, la utilización de  $\alpha$  superiores a 0,2 proporcionan extrapolaciones no suavizadas de la curva de tipos *forward*, lo que no es el objetivo del presente estudio. En este sentido, se ha analizado además del valor 0,1, los valores de 0,15 y 0,20.

---

<sup>45</sup> CEIOPS. (2008 b), p.9.

<sup>46</sup> CEIOPS. (2008 b), p.9.

En lo que se refiere al análisis de sensibilidad de los parámetros, se han generado 15 escenarios distintos originarios de las combinaciones formadas por las 5 *UFR* analizadas y por los 3  $\alpha$  evaluados, los cuales se exponen a continuación:

*Tabla 4: Análisis de sensibilidad de las provisiones matemáticas de la cartera a los parámetros UFR y  $\alpha$*

<b>MATRIZ SENSIBILIDAD</b>	<i>UFR - 3,2%</i>	<i>UFR - 4,2%</i>	<i>UFR - 5,2%</i>	<i>UFR - 7,0%</i>	<i>UFR - 10,0%</i>
$\alpha=0,1$	409.876.562 €	408.788.132 €	407.720.275 €	405.880.954 €	403.110.927 €
$\alpha=0,15$	409.851.004 €	408.536.730 €	407.300.378 €	405.262.890 €	402.351.103 €
$\alpha=0,2$	409.833.792 €	408.363.776 €	407.009.891 €	404.832.105 €	401.817.818 €

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, a continuación se expresa la variación de las provisiones matemáticas en comparación con la provisión calculada de menor cifra que ha sido la generada por los parámetros  $\alpha=0,2$  y *UFR*=10,0% con valor de 401.817.818 €.

*Tabla 5 : Matriz de variación del análisis de sensibilidad*

<b>VARIACION SENSIBILIDAD</b>	<i>UFR - 3,2%</i>	<i>UFR - 4,2%</i>	<i>UFR - 5,2%</i>	<i>UFR - 7,0%</i>	<i>UFR - 10,0%</i>
$\alpha=0,1$	2,01%	1,73%	1,47%	1,01%	0,32%
$\alpha=0,15$	2,00%	1,67%	1,36%	0,86%	0,13%
$\alpha=0,2$	1,99%	1,63%	1,29%	0,75%	0,00%

Fuente: Elaboración Propia

En base a las tablas 4 y 5 cabe resaltar las principales informaciones acerca del análisis de sensibilidad de las provisiones matemáticas de la cartera a los parámetros *UFR* y  $\alpha$ :

- Lógicamente, la provisión matemática de menor valor (401.817.818 €) ha sido la proporcionada por la Estructura Temporal de Tipos de Interés que presenta mayores tipos de interés al contado, es decir, la curva de tipos que ha sido generada por los parámetros  $\alpha=0,2$  y *UFR*=10,0%;
- Cabe destacar que las provisiones matemáticas han sido muy poco sensibles a cambios en el parámetro *reversión*, hecho que se puede comprobar en la tabla 5, visto que las variaciones entre distintos valores de  $\alpha$  para una misma *UFR* presentan variaciones muy parecidas en relación a la menor provisión calculada;

- Las provisiones matemáticas han sido más sensibles a los distintos valores de *UFR* aplicados en el presente trabajo que los cambios propuestos en el parámetro *reversión*, pues los valores de las provisiones matemáticas han variado más al observar una misma fila (distintos valores de *UFR* para un mismo  $\alpha$ ) que al observar una misma columna (distintos valores de  $\alpha$  para una misma *UFR*) de las tablas 4 y 5;
- Por su parte, la diferencia entre las provisiones generadas por la ETTI que presenta los menores tipos de interés a partir del último valor líquido de la curva de tipos ( $\alpha=0,1$  y *UFR*=3,20%) y la que presenta los mayores tipos de interés ( $\alpha=0,2$  y *UFR*=10,0%) ha sido de 8.058.744 €, lo que representa solamente un 2,01% de variación. Esta diferencia relativamente pequeña entre estas provisiones matemáticas comprueba la baja sensibilidad a la adopción de distintos valores para los parámetros *UFR* y *reversión*.

En este sentido, la utilización de distintos parámetros a los recomendados por el *CEIOPS* para la zona euro, incluso los propuestos en el presente trabajo como escenarios de estrés, no proporcionan cambios significativos a las cifras de las provisiones matemáticas, lo que demuestra que la cartera es muy poco sensible a cambios en la elección de estos dos parámetros.

## CONCLUSIONES

A continuación se exponen las principales conclusiones que se han obtenido del presente trabajo de investigación, las cuales están estructuradas en tres relevantes temas que son: la evolución de la normativa de supervisión y control del ramo vida, los métodos de extrapolación e interpolación y el efecto de la interpolación y extrapolación de la ETTI en las provisiones matemáticas de una entidad aseguradora.

Las principales conclusiones que se obtienen en relación a la evolución de la normativa de supervisión y control del ramo vida son:

1. La implantación de la Primera, Segunda y Tercera Directiva del Ramo Vida fueron esenciales para que a lo largo de los años se lograra establecer la libre prestación de servicios en el mercado asegurador de la Unión Europea. En este sentido, las tres directivas mencionadas homogeneizaron la actuación de los organismos de supervisión y control nacionales, posibilitando así que la total homogeneización fuera alcanzada por medio de la Directiva de Solvencia I.
2. El Marco Normativo de la Directiva de Solvencia II implantará en el mercado europeo las técnicas de valoración consistente con el mercado, lo que conlleva varias consecuencias para las entidades aseguradoras, tales como la necesidad de tener mayores cifras de fondos propios en el balance para hacer frente a los requisitos de capital establecidos por el organismo de supervisión y control.
3. La entrada en vigor de la Directiva de Solvencia II obligará a las entidades del sector a analizar, cuantificar y controlar los riesgos a los cuales las entidades están expuestas de manera más eficiente que como se está llevando a cabo bajo la Directiva de Solvencia I. En este sentido, las cifras de fondos propios serán determinadas por medio de modelos internos o estándares, los cuales abarcarán riesgos que actualmente no están siendo contemplados en el margen de solvencia calculado por las entidades. De esta forma se buscará aumentar la solvencia y estabilidad de las entidades y, por consiguiente, garantizar los intereses de los asegurados, es decir, que el asegurador cumpla con su función de proveer a los asegurados las prestaciones a que tienen derecho.

Las principales conclusiones sobre los métodos de extrapolación e interpolación se exponen a continuación:

1. Entre los métodos considerados relevantes por el CEIOPS a lo largo de los últimos años en los Estudios de Impactos Cuantitativos, el método de Smith-Wilson es matemáticamente más complejo que los métodos lineal

y de tipos de interés *forward* constante, no obstante, dicho método aporta una suavización a la curva de tipos que los demás métodos analizados no aportan. En el presente trabajo se considera el método de Smith-Wilson como el más adecuado a la interpolación y extrapolación de la curva de tipos, principalmente, debido a su poder de suavización.

2. Una de las grandes ventajas del método de Smith-Wilson es que permite interpolar y extrapolar la ETTI utilizando instrumentos financieros cupón cero y, también, instrumentos financieros que presenten cupones periódicos. Por otro lado, el método lineal y el de tipos de interés *forward* constante solamente pueden ser utilizados en base a instrumentos financieros cupón cero.

En relación al efecto de la interpolación y extrapolación de la ETTI en las provisiones matemáticas de una entidad aseguradora se concluye lo siguiente:

1. En entornos económicos de bajos tipos de interés como es el actual momento de la zona euro, las provisiones matemáticas calculadas en base a las técnicas de valoración consistente con el mercado tienden a elevarse significativamente cuanto mayor haya sido el tipo de interés fijo garantizado por una entidad aseguradora a sus asegurados.
2. Las acciones del Banco Central Europeo de aumentar la liquidez del mercado financiero y, por consiguiente, bajar significativamente los tipos de interés practicados en el mercado interbancario para intentar salvar la banca de los países en crisis es una acción perjudicial al sector asegurador, pues los escenarios económicos de bajos tipos de interés desestimulan el crecimiento del mercado asegurador.
3. Bajo la futura Normativa de la Directiva de Solvencia II, los entornos económicos de bajos tipos de interés pueden conducir a las entidades a ofrecieren a sus asegurados menores garantías de tipos de interés, además, los aseguradores que sigan garantizando altos tipos de interés necesitarán constituir mayores provisiones matemáticas que las constituidas actualmente.
4. El antiguo organismo de supervisión y control de la Unión Europea consideraba adecuado adoptar una  $UFR=4,2\%$  para la zona euro, en base a una inflación esperada de largo plazo de  $2,0\%$  anual y un tipo de interés real esperado de  $2,2\%$ .

El valor de  $UFR$  recomendado por CEIOPS es cuestionable, visto que varios países de la zona euro hoy día tienen una inflación superior al  $2,0\%$ , como España, Italia, Austria y Portugal<sup>47</sup>. En base a este cuestionamiento, se ha propuesto en el presente trabajo las  $UFR=7\%$  y  $UFR=10\%$  como formas de realizar testes de estrés, sin embargo, la aplicación de altas  $UFR$  no han proporcionado cambios significativos a las provisiones matemáticas.

---

<sup>47</sup> Global Rates. (2013).

5. Las provisiones tienen muy poca sensibilidad a los cambios en los parámetros  $UFR$  y  $\alpha$ . Esta falta de sensibilidad de las provisiones matemáticas en relación a estos parámetros es perjudicial para el mercado asegurador, pues las entidades adoptarían prácticamente las mismas cifras de provisiones, independiente si las expectativas del mercado son de una  $UFR=3,2\%$  o de una  $UFR=10\%$ .
6. Como las provisiones matemáticas consisten en calcular el valor actual de todos los flujos futuros de la cartera en base a dos factores de descuentos distintos, los cuales son el descuento actuarial y el descuento financiero, cuanto mayor sea el vencimiento de un flujo específico, mayor será el descuento aplicado y, por consiguiente, menor será su valor actual. Por lo tanto, los flujos de menores vencimientos tienen mayor peso en las provisiones matemáticas que los flujos más lejanos.

En este sentido, como los parámetros  $UFR$  y  $\alpha$  actúan principalmente en los vencimientos superiores a 50 que es el último valor líquido de la Estructura Temporal de Tipos de Interés, las provisiones matemáticas tienen muy poca sensibilidad a cambios en estos dos parámetros. Cabe destacar que incluso en los escenarios de estrés de alta y muy alta inflación propuestos en el presente trabajo, para todos los valores de  $\alpha$ , las cifras de las provisiones matemáticas han sido muy similares a las demás provisiones calculadas.

Tras llevar a cabo el presente trabajo de Investigación, se establecen las futuras líneas de investigación:

1. Evaluar la aplicación de un descuento adicional al de la curva de tipos de interés por la capacidad que tienen las aseguradoras de invertir en activos ilíquidos, ya que sus obligaciones son de muy largo plazo y les permiten realizar inversiones en activos ilíquidos que, lógicamente, les generan mayores rentabilidades que los activos líquidos. Al respecto, es interesante analizar el impacto de los principales descuentos por iliquidez, es decir, la Illiquidity Premium y la Matching Premium en las provisiones matemáticas.
2. Ampliar los estudios realizados adoptando hipótesis estocásticas en relación a la real evolución de los tipos de interés de la ETTI.
3. Incluir en la presente investigación las opciones que el asegurado tenga el derecho de ejercer, como el rescate o la movilización de las provisiones matemáticas, sin embargo, para llevar a cabo este tipo de investigación sería necesario realizar un estudio preliminar para saber el porcentaje de asegurados que suelen rescatar o movilizar sus inversiones financieras actuariales.
4. Analizar los efectos de adoptar diferentes distribuciones para las edades de los asegurados y distintas proporciones de sexo en las provisiones matemáticas de la cartera.

5. Incluir hipótesis adicionales a las rentas del presente trabajo, en especial, que las rentas sean fraccionadas y crecientes en progresión geométrica para considerar el efecto de la inflación en la percepción de la renta.
6. Ampliar el contraste entre el cálculo de las provisiones matemáticas bajo la Directiva de Solvencia I y el cálculo realizado bajo la futura Directiva de Solvencia II, analizando así nuevos escenarios, tales como distintos valores de UFR y  $\alpha$ .



## ANEXO: CÓDIGO DE *VISUAL BASIC* PARA SIMULAR LAS PROVISIONES MATEMÁTICAS

A continuación se exponen los códigos de *visual basic* elaborados para calcular las provisiones matemáticas de la cartera analizada:

'THIERRY FARIA DA SILVA GREGORIO, TRABAJO FIN DE MÁSTER:  
APLICACIÓN DEL MODELO SMITH-WILSON A LA ESTRUCTURA  
TEMPORAL DE TIPOS DE INTERÉS. EFECTOS SOBRE LAS PROVISIONES  
MATEMÁTICAS DE UNA ENTIDAD ASEGURADORA DEL RAMO DE VIDA,  
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

Option Explicit

### A.1. TABLA DE MORTALIDAD

Private Function tablamortalidad(nombre As String) As Variant

'SELECCIONAR ENTRE LAS TABLAS GRM 95 Y GRF 95

Select Case UCase(nombre)

Case "GRM 95"

```
    tablamortalidad = Array("1000000,000000000", "998712,100000000",  
"997424,760103100", "996137,882677615", "994851,569829713",  
"993565,823660865", "992280,546911378", "990995,841287291", _  
    "989711,708876151", "988428,052789739", "987144,974334413",  
"985862,475583758", "984580,460020508", "983299,028551792",  
"982018,183237200", "980737,827929895", "979457,376621750",  
"978169,781954443", _  
    "976866,370719989", "975538,223202358", "974175,884073656",  
"972769,563767407", "971309,047544367", "969783,121030675",  
"968179,584640050", "966485,173548972", "964685,868101376",  
"962766,529098201", _  
    "960711,215111882", "958502,540028340", "956120,181965100",  
"953540,187266085", "950735,444159261", "947675,311985145",  
"944326,416967652", "940670,457244362", "936703,085523888",  
"932415,046138977", _  
    "927792,505306238", "922817,125217283", "917466,170116710",  
"911713,015003760", "905526,951025657", "898874,044516472",  
"891717,119486627", "884016,161271029", "875729,040168810",  
"866811,666498579", _
```

"857218,835147772", "846968,298038959", "836111,773697866",  
"824659,801567058", "812586,782072116", "799836,320357266",  
"786326,125102848", "771953,892086055", "756602,662597254",  
"740146,857326828", \_

"722465,341022776", "703474,472575583", "683134,282022980",  
"661447,364479022", "638456,247826569", "614240,943104627",  
"588914,867659009", "562620,702190336", "535525,620579762",  
"507815,918394103", \_

"479691,447822499", "451359,767623772", "423030,578032657",  
"394910,381812977", "367197,585260289", "340064,511130960",  
"313610,620758474", "287875,639135847", "262865,032395289",  
"238571,939842426", \_

"214994,733886783", "192150,640433430", "170149,142307970",  
"149173,751566241", "129396,355253090", "110968,955603319",  
"94016,361418547", "78630,066782414", "64864,269538790",  
"52733,872763802", \_

"42214,377443422", "33244,582095489", "25731,087127667",  
"19554,090071125", "14574,793556416", "10643,194897754",  
"7605,696254702", "5312,097393336", "3621,497962259", "2406,598748807",  
"1556,499267235", \_

"978,299480188", "596,499716015", "352,199857272",  
"200,899905486", "110,499950425", "58,499977654", "29,699988205",  
"14,399994731", "6,699997869", "2,899998937", "1,199999550")

Case "GRF 95"

tablamortalidad = Array("1000000,000000000", "999682,100000000",  
"999362,301696210", "999040,606971294", "998717,017718696",  
"998391,535842621", "998063,464383943", "997721,727453738", \_

"997356,162212799", "996961,907321877", "996538,497599837",  
"996085,969468077", "995603,963467452", "995091,924349040",  
"994549,002195115", "993973,854507146", "993365,144918646",  
"992720,947622166", \_

"992039,246147434", "991317,636799786", "990553,430033577",  
"989743,751659868", "988885,544852804", "987976,561259975",  
"987015,260065869", "986000,904483099", "984933,755704177",  
"983814,870957697", \_

"982646,098891000", "981429,189962133", "980162,753735406",  
"978841,102278269", "977454,769625112", "975996,798090740",  
"974464,678317097", "972854,277989710", "971159,857693735",  
"969374,186063394", \_

"967488,462459245", "965492,243514652", "963373,856983157",  
"961119,947507359", "958715,802070664", "956145,389133733",

```

"953391,212340333",      "950434,555512623",      "947255,542011344",
"943853,568457765", _
      "940227,566203821",      "936347,811174637",      "932158,965606566",
"927583,370107990",      "922529,524874293",      "916918,054533341",
"910687,229585565",      "903791,596951866",      "896201,193604025",
"887900,667768984", _
      "878887,854460662",      "869172,716006239",      "858776,541150088",
"847717,302730812",      "835961,074404810",      "823418,314444441",
"809953,778166645",      "795397,612846945",      "779555,599052112",
"762220,465284870", _
      "743183,704276194",      "722261,373678299",      "699356,009830290",
"674465,649698026",      "647676,143878280",      "619151,579755279",
"589122,108985569",      "557870,712821367",      "525718,894242262",
"493011,608668316", _
      "460076,017452390",      "427122,520611142",      "394263,344416746",
"361558,253765350",      "329128,069258915",      "297194,286687841",
"266006,391329104",      "235829,695274360",      "206932,987470033",
"179574,997995582", _
      "153991,199436149",      "130381,900102516",      "108901,495098817",
"89650,890689003",      "72673,091893170",      "57951,696401061",
"45413,899041218",      "34936,199534194",      "26353,500254268",
"19469,799960801", _
      "14070,199451092",      "9932,999411513",      "6840,499106730",
"4588,499404959", "2993,099727802", "1895,399857779", "1162,999915054",
"690,099959195", "395,099962208", "217,799960447", "115,299988501",
"58,399997616", "28,199998129")

```

Case Else

tablamortalidad = "ERROR"

End Select

End Function

## A.2. ETTI2

Function etti2(UFR As Double, alpha As Double) As Variant

Dim matriz(1 To 100) As Variant

Dim i As Integer

'CARGANDO LAS ETTI EN BASE A LOS DISTINTOS VALORES DE UFR Y DE ALPHA

Select Case UCase(UFR)

```

Case Is = 1
  If alpha = 0.1 Then
    For i = 1 To 100
      matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 2)
    Next i
  ElseIf alpha = 0.15 Then
    For i = 1 To 100
      matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 3)
    Next i
  ElseIf alpha = 0.2 Then
    For i = 1 To 100
      matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 4)
    Next i
  End If
Case Is = 2
  If alpha = 0.1 Then
    For i = 1 To 100
      matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 5)
    Next i
  ElseIf alpha = 0.15 Then
    For i = 1 To 100
      matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 6)
    Next i
  ElseIf alpha = 0.2 Then
    For i = 1 To 100
      matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 7)
    Next i
  End If
Case Is = 3
  If alpha = 0.1 Then
    For i = 1 To 100
      matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 8)

```

```

Next i
Elseif alpha = 0.15 Then
  For i = 1 To 100
    matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 9)
  Next i
Elseif alpha = 0.2 Then
  For i = 1 To 100
    matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 10)
  Next i
End If

```

'Esta UFR es referente a 7,0%, sin embargo está puesto como 6,2% unicamente para facilitar la metodología de la macro en el momento de recoger los datos.

```

Case Is = 4
If alpha = 0.1 Then
  For i = 1 To 100
    matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 11)
  Next i
Elseif alpha = 0.15 Then
  For i = 1 To 100
    matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 12)
  Next i
Elseif alpha = 0.2 Then
  For i = 1 To 100
    matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 13)
  Next i
End If

```

'Esta UFR es referente a 10,0%, sin embargo está puesto como 7,2% unicamente para facilitar la metodología de la macro en el momento de recoger los datos.

```

Case Is = 5
If alpha = 0.1 Then
  For i = 1 To 100
    matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 14)
  Next i

```

```

    Next i
Elseif alpha = 0.15 Then
    For i = 1 To 100
        matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 15)
    Next i
Elseif alpha = 0.2 Then
    For i = 1 To 100
        matriz(i) = Worksheets("ETTI").Cells(i + 2, 16)
    Next i
End If
End Select
'GUARDAR LA MATRIZ CARGADA EN LA FUNCIÓN etti2
etti2 = matriz
End Function

```

#### A.3. lx

```

Function lx(x As Integer, tipotabla As String) As Double
    Dim matriztabla As Variant, Omega As Integer
    'ASIGNACIÓN DE VALORES
    Omega = 15 + UBound(tablamortalidad(tipotabla))
    matriztabla = tablamortalidad(tipotabla)
    'CALCULAR EL VALOR DE lx
    lx = matriztabla(x - 15)
End Function

```

#### A.4. kpx

```

Function kpx(k As Integer, x As Integer, tipotabla As String) As Double
    Dim matriztabla As Variant, Omega As Integer
    'ASIGNACIÓN DE VALORES
    Omega = 15 + UBound(tablamortalidad(tipotabla))
    matriztabla = tablamortalidad(tipotabla)
    'CALCULAR LA PROBABILIDAD
    kpx = matriztabla(x + k - 15) / matriztabla(x - 15)

```

End Function

#### A.5. ax

Function ax(x As Integer, i As Double, Optional n As Integer = -1, Optional Pospagable As Boolean = True, \_

Optional h As Integer, Optional tipotabla As String = "GRM 95") As Double

Dim k As Integer, Omega As Integer, limInfk As Integer, limSupk As Integer, DifLimSupk As Integer

Dim v As Double

'ASIGNACION DE VALORES

ax = 0

Omega = UBound(tablamortalidad(tipotabla)) + 15

v = (1 + i) ^ -1

\*\*\* CARGA DE LOS LIMITES DEL SUMATORIO \*\*\*

If Pospagable = True Then

limInfk = h + 1

DifLimSupk = 0

Elseif Pospagable = False Then 'o simplemente else, al ser un tipo booleano

limInfk = h + 0

DifLimSupk = -1

End If

Select Case n

Case Is = -1

limSupk = Omega - x

Case 0 To Omega - x - 1

limSupk = n + h + DifLimSupk

End Select

' CALCULO DE LA RENTA

For k = limInfk To limSupk

ax = ax + (v ^ k) \* kpx(k, x, tipotabla)

Next k

End Function

## A.6. CARTERASIMULADAFULL

Sub CarteraSimuladafull()

Dim asegarray(5000) As Integer, i As Integer, j As Integer, n As Integer, z As Integer, w As Integer, porcentajehombre As Double, UFR As Double, alpha As Double

Dim capitaletti As Double, capitalfijo1 As Double, capitalfijo2 As Double, capitalfijo3 As Double, capitalfijo4 As Double

Dim matrizetti As Variant

'CERTIFICAR QUE LAS VARIABLES ESTARÁN CON EL VALOR 0

capitalfijo1 = 0

capitalfijo2 = 0

capitalfijo3 = 0

capitalfijo4 = 0

capitaletti = 0

'PREGUNTA Y GUARDA LA CANTIDAD DE ASEGURADOS QUE HABRÁ EN LA CARTERA SIMULADA

n = InputBox("¿Cuántos asegurados hay en la cartera?")

'PREGUNTA Y GUARDA EL PORCENTAJE HOMBRES-MUJERES QUE HABRÁ EN LA CARTERA SIMULADA

porcentajehombre = InputBox("¿Cuál es el porcentaje de hombres en esta cartera? " & Chr(13) & Chr(13) & "Dígame el porcentaje de la siguiente forma: 0,70" & Chr(13) & Chr(13) & "Lógicamente el porcentaje de mujeres en esta cartera será el complementario")

'SIMULAR EDAD PARA LOS ASEGURADOS

For i = 1 To n Step 1

asegarray(i) = Int(25 + 42 \* Rnd)

Next i

'SIMULAR TODOS LOS ESCENARIOS

For z = 0 To 4 Step 1

For w = 0 To 2 Step 1

matrizetti = etti2(1 + z, 0.1 + w / 20)

'PROVISIONES MATEMÁTICAS PARA EL SEXO MASCULINO EN BASE A LA ETTI

For i = 1 To Int(n \* porcentajehombre) Step 1

For j = 1 To 100 Step 1



```

        If asegarray(i) + j > 67 And asegarray(i) + j < 125 Then
            capitaletti = capitaletti + 10000 * (1 + matrizetti(j)) ^ -j * kpx(j,
asegarray(i), "GRM 95")
        Else
            capitaletti = capitaletti
        End If
    Next j
Next i

```

'PROVISIONES MATEMÁTICAS PARA EL SEXO FEMININO EN BASE A LA ETTI

```

For i = Int(n * porcentajehombre) + 1 To n Step 1
    For j = 1 To 100 Step 1
        If asegarray(i) + j > 67 And asegarray(i) + j < 126 Then
            capitaletti = capitaletti + 10000 * (1 + matrizetti(j)) ^ -j * kpx(j,
asegarray(i), "GRF 95")
        Else
            capitaletti = capitaletti
        End If
    Next j
Next i

```

Next j  
Next i  
'ESCRIBIR LOS RESULTADOS EN LA HOJA DE CÁLCULO ACTIVA

```

Cells(2 + w, 2 + z) = capitaletti
capitaletti = 0

```

Next w

Next z

'PROVISIONES MATEMÁTICAS PARA EL SEXO MASCULINO EN BASE A T.I. FIJO GARANTIZADO (2,5% /2,75% /3,0% /3,37%)

```

For i = 1 To Int(n * porcentajehombre) Step 1
    capitalfijo1 = capitalfijo1 + 10000 * ax(asegarray(i), 0.025, -1, True, 67 -
asegarray(i), "GRM 95")
    capitalfijo2 = capitalfijo2 + 10000 * ax(asegarray(i), 0.0275, -1, True, 67
- asegarray(i), "GRM 95")

```

capitalfijo3 = capitalfijo3 + 10000 \* ax(asegarray(i), 0.03, -1, True, 67 -  
asegarray(i), "GRM 95")

capitalfijo4 = capitalfijo4 + 10000 \* ax(asegarray(i), 0.0337, -1, True, 67  
- asegarray(i), "GRM 95")

Next i

'PROVISIONES MATEMÁTICAS PARA EL SEXO FEMININO EN BASE A  
T.I. FIJO GARANTIZADO (2,5% /2,75% /3,0% /3,37%)

For i = Int(n \* porcentajehombre) + 1 To n Step 1

capitalfijo1 = capitalfijo1 + 10000 \* ax(asegarray(i), 0.025, -1, True, 67 -  
asegarray(i), "GRF 95")

capitalfijo2 = capitalfijo2 + 10000 \* ax(asegarray(i), 0.0275, -1, True, 67  
- asegarray(i), "GRF 95")

capitalfijo3 = capitalfijo3 + 10000 \* ax(asegarray(i), 0.03, -1, True, 67 -  
asegarray(i), "GRF 95")

capitalfijo4 = capitalfijo4 + 10000 \* ax(asegarray(i), 0.0337, -1, True, 67  
- asegarray(i), "GRF 95")

Next i

'ESCRIBIR LOS RESULTADOS EN LA HOJA DE CÁLCULO ACTIVA

Cells(8, 2) = capitalfijo1

Cells(9, 2) = capitalfijo2

Cells(10, 2) = capitalfijo3

Cells(11, 2) = capitalfijo4

End Sub

## BIBLIOGRAFÍA

Ariza Rodríguez, F. (2012). *Incidencia de los Riesgos Técnicos en la Solvencia de las Compañías de Seguros de Vida*. Programa de Doctorado en Economía Financiera, Actuarial y Matemática. Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/17825/1/T34115.PDF> [19/09/2013].

BCBS. (2004). *International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: A Revised Framework*. Disponible en: <http://www.bis.org/publ/bcbs107.pdf> [19/09/2013].

BCBS. (2001). *The New Basel Capital Accord*. Disponible en: <http://www.bis.org/bcbs/bcbscp3.pdf> [16/09/2013].

Barrie & Hibbert. (2008). *A framework for estimating and extrapolating the term structure of interest rates*. Disponible en: [http://www.barrhibb.com/documents/downloads/A\\_Framework\\_for\\_Estimating\\_and\\_Extrapolating\\_the\\_Term\\_Structure.pdf](http://www.barrhibb.com/documents/downloads/A_Framework_for_Estimating_and_Extrapolating_the_Term_Structure.pdf) [16/09/2013].

BBVA Seguros. (2013). *BBVA Plan Tranquilidad 22 D*. Disponible en: [https://www.bbva.es/productos/ficha.jsp?codigo=0000007892&banco=0182&tip\\_o=2](https://www.bbva.es/productos/ficha.jsp?codigo=0000007892&banco=0182&tip_o=2) [20/09/2013].

Berry-Stölzle, T. (2005). *The Impact of the illiquidity on the Asset Management of Insurance Companies*. University of Cologne. Disponible en: [www.ub.uni-koeln.de/ssg-bwl/archiv/k/uk/iversicherung/impact\\_illiquidity\\_insurance.pdf](http://www.ub.uni-koeln.de/ssg-bwl/archiv/k/uk/iversicherung/impact_illiquidity_insurance.pdf) [16/09/2013].

CEIOPS. (2008 a). *QIS4 Technical Specifications (MARKT/2505/08)*. Disponible en: [http://ec.europa.eu/internal\\_market/insurance/docs/solvency/qis4/technical\\_specifications\\_2008\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/internal_market/insurance/docs/solvency/qis4/technical_specifications_2008_en.pdf) [16/09/2013].

CEIOPS. (2008 b). *QIS5 Risk-free interest rates – Extrapolation method*. Disponible en: [eiopa.europa.eu/fileadmin/tx\\_dam/files/consultations/QIS/QIS5/ceiops-paper-extrapolation-risk-free-rates\\_en-20100802.pdf](http://eiopa.europa.eu/fileadmin/tx_dam/files/consultations/QIS/QIS5/ceiops-paper-extrapolation-risk-free-rates_en-20100802.pdf) [16/09/2013].

CEIOPS.(2009). *CEIOPS' Advice for Level 2 Implementing Measures on Solvency II: Technical Provisions – Article 86 b – Risk-free interest rate term structure*. Disponible en: [http://eiopa.europa.eu/fileadmin/tx\\_dam/files/consultations/consultationpapers/C40/CEIOPS-L2-Final-Advice-on-TP-Risk-free-rate.pdf](http://eiopa.europa.eu/fileadmin/tx_dam/files/consultations/consultationpapers/C40/CEIOPS-L2-Final-Advice-on-TP-Risk-free-rate.pdf) [16/09/2013].

CEIOPS.(2010). *Task Force Report on the Liquidity Premium*. Disponible en: [https://eiopa.europa.eu/fileadmin/tx\\_dam/files/publications/submissionstotheec/20100303-CEIOPS-Task-Force-Report-on-the-liquidity-premium.pdf](https://eiopa.europa.eu/fileadmin/tx_dam/files/publications/submissionstotheec/20100303-CEIOPS-Task-Force-Report-on-the-liquidity-premium.pdf) [16/09/2013].

CEIOPS.(2010). *QIS5 Calibration Paper*. Disponible en: [http://ec.europa.eu/internal\\_market/insurance/docs/solvency/qis5/ceiops-calibration-paper\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/internal_market/insurance/docs/solvency/qis5/ceiops-calibration-paper_en.pdf) [16/09/2013].

Cuesta Aguilar, F. (2011). *El riesgo de tipo de interés: experiencia española y Solvencia II*. Instituto de Ciencias del Seguro. Fundación Mapfre. Disponible en: [http://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es\\_es/images/el-riesgo-de-tipo-de-interes-experiencia-espanyola-y-solvencia-II-163.pdf](http://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es_es/images/el-riesgo-de-tipo-de-interes-experiencia-espanyola-y-solvencia-II-163.pdf) [16/09/2013].

Deutsche Bundesbank. (2013). *Zero-coupon euro swap curve / bootstrapped and interpolated / 1.0-50 year / end of month*. Disponible en: [www.bundesbank.de/Navigation/EN/Statistics/Time\\_series\\_databases/Macro\\_economic\\_time\\_series/its\\_list\\_node.html?listId=www\\_s140\\_it05b](http://www.bundesbank.de/Navigation/EN/Statistics/Time_series_databases/Macro_economic_time_series/its_list_node.html?listId=www_s140_it05b) [16/09/2013].

Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones. (2013). *Seguros y Fondos de Pensiones: Informe 2012*. Disponible en: [www.dgsfp.mineco.es/sector/documentos/Informes%202012/InformeSeguros2012.pdf](http://www.dgsfp.mineco.es/sector/documentos/Informes%202012/InformeSeguros2012.pdf) [16/09/2013].

EIOPA. (2013). *Technical Finding on the Long-Term Guarantees Assessment*. Disponible en: [https://eiopa.europa.eu/fileadmin/tx\\_dam/files/consultations/QIS/Preparatory\\_forthcoming\\_assessments/final/outcome/EIOPA\\_LTGA\\_Report\\_14\\_June\\_2013\\_01.pdf](https://eiopa.europa.eu/fileadmin/tx_dam/files/consultations/QIS/Preparatory_forthcoming_assessments/final/outcome/EIOPA_LTGA_Report_14_June_2013_01.pdf) [18/09/2013].

EIOPA. (2010). *Tool for extrapolating risk free rate curves*. Disponible en: <https://eiopa.europa.eu/consultations/qis/quantitative-impact-study-5/spreadsheets-and-it-tools/index.html?option=content&task=view&cHash=95917c332da154aaf59da1e0356b5661> [18/09/2013].

Garayeta Bajo,A., Iturricastillo Plazaola,I., y De La Peña Esteban, J. I.(2012). Evolución del Capital de Solvencia Requerido en las Aseguradoras Españolas Hasta Solvencia II. *Anales del Instituto de Actuarios Españoles*, 3ª época, 18, 2012/111-150. Disponible en: <http://www.actuarios.org/espa/anales/2012/111-150.pdf> [18/09/2013].

Global Rates. (2013). *Tasas de Inflación 2012*. Disponible en: <http://es.global-rates.com/estadisticas-economicas/inflacion/2012.aspx> [20/09/2013].

Gupta, S., y Van Bezooijen, J. (2012). *How to Adjust Your LDI Strategy under the New Ultimate Forward Rate*. Pacific Investment Management Company. Disponible en: <http://europe.pimco.com/EN/Insights/Pages/How-to-adjust-your-LDI-strategy-under-the-new-Ultimate-Forward-Rate-.aspx> [18/09/2013].

Gupta, S., y Van Bezooijen, J. (2012). *The Ultimate Forward Rate: Implications for LDI Strategies*. Pacific Investment Management Company. Disponible en: <http://europe.pimco.com/EN/Insights/Pages/The-Ultimate-Forward-Rate-Implications-for-LDI-Strategies.aspx> [18/09/2013].

Hibbert, J., Kirchner, A., Kretzschmar, G., Li, R., y McNeil, A. (2009). *Liquidity Premium Literature review of theoretical and empirical evidence*. Barrie &

- Hibbert. Disponible en: [http://www.barrhibb.com/research\\_and\\_insights/article/liquidity\\_premium\\_-\\_literature\\_review\\_of\\_theoretical\\_and\\_empirical\\_evidence](http://www.barrhibb.com/research_and_insights/article/liquidity_premium_-_literature_review_of_theoretical_and_empirical_evidence) [18/09/2013].
- Hull, J.C. (2003). *Options, Futures, and Other Derivatives*. Prentice Hall.
- IAA. (2009). *A global framework for insurer Solvency Assesment-Un marco global para la evaluación de la solvencia del asegurador*. Trad. Mayoral, Rosa; Moreno, Rafael y Dan Lerner, Andrés.
- Jensen, G. R., y Moorman, T. (2010). Inter-temporal variation in the illiquidity premium. *Journal of Financial Economics*, 98, pp. 338-358.
- Kempf, A., Korn, O., y Uhrig-Homburg, M. (2012). The term structure of illiquidity premia. *Journal of Financial Economics*, 98, pp. 338-358.
- Moreno Ruiz, R., Trigo Martínez, E., y Mayoral Martínez, R.M. (2009). *El capital de la entidad aseguradora y el nuevo marco para la evaluación de la solvencia*. En Selva, M.J. (Editores), *Actas del VI Encuentro Iberoamericano de Finanzas y Sistemas de información (1-20)*. Sevilla, España: Asociación EFSI, Departamento de Ciencias Económicas e Empresariais de la Universidade Autónoma de Lisboa. ISBN: 978-84-692-2534-9.
- Pozuelo De Gracia, E. (2007). *El Fair Value de las Provisiones Técnicas de Seguros de Vida*. Instituto de Ciencias del Seguro. Fundación Mapfre. Disponible en: <http://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/fundacion/cs-seguro/libros/el-fair-value-de-las-provisiones-tecnicas-de-los-seguros-de-vida-110.pdf> [18/09/2013].
- Pozuelo De Gracia, E. (2008). Solvencia II: Capital Económico en Aseguradoras. *Revista de Economía financiera*: nº.16 3º cuatrimestre. Disponible en: [http://www.aefin.es/AEFIN\\_data/articulos/pdf/C16-4\\_818995.pdf](http://www.aefin.es/AEFIN_data/articulos/pdf/C16-4_818995.pdf) [18/09/2013].
- Santander Seguros. (2013). *Su Futuro*. Disponible en: [www.bancosantander.es/cssa/Satellite?cid=1237891150394&cidDetalle=1237891150599&pagename=SantanderComercial%2FProductGroups%2FSAN\\_ContentadorGeneral](http://www.bancosantander.es/cssa/Satellite?cid=1237891150394&cidDetalle=1237891150599&pagename=SantanderComercial%2FProductGroups%2FSAN_ContentadorGeneral) [20/09/2013].
- Serra Silva, H. R. (2012). *Imunização dos Efeitos Cíclicos no Cálculo das Provisões Técnicas em Ambiente Solvência II: Counter Cyclical Premium e Matching Premium*. Programa de Máster en Ciencias Actuariales. Instituto Superior de Economia e Gestão. Universidade Técnica de Lisboa. Disponible en: <https://aquila2.iseg.utl.pt/aquila/getFile.do?fileId=333688&method=getFile> [20/09/2013].
- Thomas, M. (2008). *Long Term extrapolation and Hedging of the South African Yield Curve*. University of Pretoria. Disponible en: <http://upetd.up.ac.za/thesis/submitted/etd-06172009-085254/unrestricted/dissertation.pdf> [20/09/2013].

Thomas, M., y Maré, E. (2007). *Long Term Forecasting and Hedging of the South African Yield Curve*. Convention of the Actuarial Society of South Africa.

Zurich. (2013). *Zurich Jubilación Garantizada*. Disponible en: <http://www.zurich.com/NR/rdonlyres/FB4B9B0C-E1D7-428F-9157-7AAD11A39CD3/0/SegurosVidaInversionZurichSeguros.pdf> [20/09/2013].

## **LEGISLACIÓN:**

DIRECTIVA 92/96 CEE DEL CONSEJO de 10 de noviembre de 1992 sobre la coordinación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas relativas al seguro directo de vida, y por la que se modifican las Directivas 79/267/CEE y 90/619/CEE (tercera Directiva de seguros de vida)

DIRECTIVA 2002/83/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 5 de noviembre de 2002 sobre el seguro de vida.

DIRECTIVA 2009/138/CEE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 25 de noviembre de 2009, sobre el seguro de vida, el acceso a la actividad de seguro y reaseguro y su ejercicio (Solvencia II).

PRIMERA DIRECTIVA DEL CONSEJO 79/267/CEE de 5 de marzo de 1979 sobre coordinación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas, referentes al acceso a la actividad del seguro directo sobre la vida y a su ejercicio.

SEGUNDA DIRECTIVA DEL CONSEJO 90/619/CEE de 8 de noviembre de 1990 sobre la coordinación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas relativas al seguro directo de vida, por la que se establecen las disposiciones destinadas a facilitar el ejercicio efectivo de la libre prestación de servicios y por la que se modifica la Directiva 79/267/CEE.

RESOLUCIÓN de 5 de enero de 2012, de la Dirección General De Seguros y Fondos De Pensiones.