



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Propuesta de modelo para el cálculo de los factores  
de riesgo de tasa de interés bajo el marco de  
Solvencia II para caso mexicano**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
ACTUARIO**

**P R E S E N T A:**

**CARLOS JULIÁN MACÍAS CÁRDENAS**



**DIRECTOR DE TESIS:  
M. EN F. FERNANDO PÉREZ MÁRQUEZ  
2015**

Ciudad Universitaria, D. F.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno  
Macías  
Cárdenas  
Carlos Julián  
5637 2030  
Universidad Nacional Autónoma de  
México  
Facultad de Ciencias  
Actuaría  
305014304

2. Datos del tutor  
M. en F.  
Fernando  
Pérez  
Márquez

3. Datos del sinodal 1  
M. en I.  
Jorge Luis  
Silva Haro

4. Datos del sinodal 2  
Act.  
Ricardo  
Villegas  
Azcorra

5. Datos del sinodal 3  
Act.  
Alfonso  
Parrao  
Guzmán

6. Datos del sinodal 4  
Act.  
Gildardo Yahveh  
Romero  
Rodríguez

7. Datos del trabajo escrito  
Propuesta de modelo para el cálculo  
de los factores de riesgo de tasa de  
interés bajo el marco de Solvencia II  
para caso mexicano  
86 p  
2015

## Índice

### Introducción

#### **Capítulo 1. Entorno del proyecto Solvencia II**

- 1.1. Proyecto Solvencia II
  - 1.1.1. Pilares de Solvencia II
  - 1.1.2. Pilar I: Exigencia de recursos propios (requerimientos cuantitativos)
  - 1.1.3. Pilar II: Procesos de supervisión
  - 1.1.4. Pilar III: Disciplina de mercado
- 1.2. Elementos para implementar un nuevo sistema de regulación
- 1.3. Limitaciones del modelo actual de supervisión
- 1.4. Principales premisas del proyecto Solvencia II
- 1.5. Estudios de impacto cuantitativo (QIS- Quantitative Impact Studies)
- 1.6. Situación de México en el marco de Solvencia II

#### **Capítulo 2. Módulos de riesgo comprendidos dentro del marco de Solvencia II**

- 2.1. Estructura de cálculo del requerimiento de capital de solvencia
- 2.2. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo operacional
- 2.3. Módulo de ajuste por efecto reductor del riesgo (reservas técnicas e impuestos diferidos)
- 2.4. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de contraparte
- 2.5. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de seguros de vida
  - 2.5.1. Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de mortalidad
  - 2.5.2. Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de longevidad
  - 2.5.3. Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de invalidez
  - 2.5.4. Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de caída de cartera
  - 2.5.5. Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de gastos

- 2.5.6. Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de revisión
- 2.5.7. Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo catastrófico de vida
- 2.6. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de seguros de salud
- 2.7. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de seguros de daños
  - 2.7.1. Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por primas y reservas
  - 2.7.2. Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por caída de cartera (daños)
  - 2.7.3. Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo catastrófico (daños)
- 2.8. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de activos intangibles

### **Capítulo 3. Módulo de requerimiento de capital de solvencia para riesgo de mercado**

- 3.1. Riesgo de mercado
  - 3.1.1. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo accionario
  - 3.1.2. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo tipo de cambio
  - 3.1.3. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo inmobiliario
  - 3.1.4. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de spread
  - 3.1.5. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de concentración
  - 3.1.6. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de prima de iliquidez
  - 3.1.7. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de tasa de interés

### **Capítulo 4. Marco teórico para la elaboración de la propuesta del modelo de riesgo de tasa de interés**

- 4.1. Movimiento Browniano
  - 4.1.1. Marco Histórico

- 4.1.2. Definición Formal
- 4.2. El cálculo estocástico y la ecuación diferencial estocástica
- 4.3. Modelos de reversión a la media
- 4.4. Modelos de Tasa de interés
  - 4.4.1. Modelos unifactoriales
  - 4.4.2. Modelos multifactoriales
- 4.5. Modelo de Vasicek
  - 4.5.1. Discretización del modelo
  - 4.5.2. Estimación de Parámetros del modelo de Vasicek
  - 4.5.3. Ventajas y desventajas del modelo de Vasicek
- 4.6. Modelos de interpolación y extrapolación de tasas de interés
  - 4.6.1. Tasas alambradas

## **Capítulo 5. Propuesta de modelo para el cálculo de los factores de riesgo de tasa de interés, aplicación al caso mexicano**

- 5.1. Mercado de deuda en México
  - 5.1.1. Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES)
  - 5.1.2. Bonos gubernamentales de largo plazo
- 5.2. Análisis del comportamiento histórico de las tasas de interés en el periodo 2007-2012 en México y el mundo
- 5.3. Herramientas computacionales empleadas en la elaboración del modelo
- 5.4. Determinación de los factores del módulo de riesgo de tasa de interés
- 5.5. Obtención de las tasas en el escenario a la baja y a la alza para cada uno de los nodos por medio de MatLab

**Conclusiones**

**Glosario**

**Bibliografía**

# Introducción

En nuestra vida diaria nos encontramos rodeados de situaciones que pueden terminar en un susto y más de una pérdida económica. Bajo este concepto, a la probabilidad de que ocurra un evento que pueda afectar a nosotros mismos o a nuestra economía se le denomina riesgo.

Por ello, dentro del área de las matemáticas surge un especialista en la administración y cuantificación de los riesgos a los que tanto personas como empresas están expuestas, a este profesionalista se le conoce como actuario.

Tanto en el pasado como hoy en día, una de las tantas tareas que realiza el actuario se encuentra en el sector asegurador, donde encontramos a las empresas que bajo las premisas de la existencia y contratación de un seguro, permite aliviar el impacto material de las contingencias a los cuales estamos expuestos.

Para que pueda ocurrir esta transferencia de riesgo, es necesario estudiar a fondo la posible ocurrencia de los siniestros, la cuantificación de eventuales pérdidas, así como el fijar un precio adecuado que permita simultáneamente hacer frente a las contingencias junto con la viabilidad económica de las aseguradoras y finalmente, requerir el mantenimiento de un cierto nivel de fondos para poder hacer frente a los pagos de los compromisos adquiridos sin poner en juego la fortaleza financiera de la empresa.

Por esta última razón, desde hace varios años en Europa se embarcaron en un proyecto que permita conocer el nivel de capital adecuado a los compromisos asumidos y a las inversiones realizadas que debería de tener la compañía de seguros, a este proyecto se le conoce como Solvencia II.

Para llevar a cabo este proyecto tan ambicioso, la Comisión Europea ha solicitado la cooperación de las entidades aseguradoras, y ha realizado varios estudios de campo conocidos como QIS (Quantitative Impact Studies) para poder llegar a una estructura donde se pueda mapear cada uno de los riesgos en los que puede incurrir la compañía aseguradora; esta parte es esencial ya que una sección de este trabajo se basa en el modelo general del último estudio de impacto, el cual se describirá a detalle en los primeros capítulos.

El proyecto que dio inicio la Comisión Europea, hoy en día conocida como EIOPA, ha ido evolucionando hasta convertirse en un proyecto tangible que se llevara a la práctica en nuestro país, una vez que entre en vigor la Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas que contempla los ejes centrales del proyecto de Solvencia II en el año 2015.

**Dentro de este trabajo se plantean dos objetivos principales, el primero de ellos es dar un panorama general al entorno de Solvencia II bajo la estructura del último estudio de impacto cuantitativo (QIS5), por lo que se describirán los fundamentos o pilares que sustentan el proyecto.**

Además de los pilares de Solvencia II y los estudios de impacto QIS, dentro del primer capítulo se describirá las premisas del proyecto, además de los elementos que permitan implementar este nuevo sistema de regulación y describir un panorama general del escenario que se vive actualmente en México.

En el segundo capítulo se abordará de manera general los módulos de riesgo comprendidos dentro del marco de Solvencia II, donde encontraremos los riesgos a los cuales las compañías aseguradoras están expuestas y que finalmente se asocian en un modelo de requerimiento de capital de solvencia (RCS) general que a su vez interrelaciona los distintos módulos de riesgo (riesgo de mercado, operacional, reservas técnicas, etc).

**El segundo objetivo consiste en proponer una alternativa al modelo que se propone en la nueva regulación mexicana para el cálculo de los factores de un módulo de riesgo comprendido en el marco de Solvencia II (riesgo de tasa de interés), pero ajustando los parámetros al entorno de la situación en México,** para ello en el tercer capítulo se describirá con más detalle el modulo de riesgo de mercado donde se encuentra comprendido nuestro objeto de estudio y donde en ese capítulo podremos analizar las soluciones que se proponen a los riesgos asociados con el tipo de cambio, los riesgos inmobiliarios, los riesgos de spread, los riesgo de iliquidez, etc.

Para poder realizar el cálculo de los factores a utilizar en el modulo de riesgo de tasa de interés, es necesario tener las bases matemáticas que cumplan con las premisas de Solvencia II, donde una de ellas es considerar para cada riesgo una medida coherente en función de cierta probabilidad o nivel de confianza. Para poder hacer estos cálculos la herramienta que se ocupó en este trabajo es un modelo de tasa de interés llamado Modelo de Vasicek el cual forma parte del cálculo estocástico que es la base de la modelación y del análisis de los procesos de las tasas de interés en los mercados financieros hoy en día y que se describe en el cuarto capítulo,

Finalmente, en el quinto y último capítulo se describe el uso de MatLab como la herramienta computacional con el que se obtienen las simulaciones utilizando el modelo de Vasicek y la descripción de la metodología aplicada para poder hallar los factores que se adaptan al entorno de México.



# Capítulo 1

## Entorno del Proyecto Solvencia II

### 1.1. Proyecto Solvencia II

El proyecto Solvencia II surge a partir de los proyectos de Basilea II y Basilea III los cuales están dirigidos a mejorar la seguridad en el sistema financiero al poner mayor énfasis en los controles internos de los bancos así como modelos y procesos de administración de riesgos, utilizando principalmente modelos estadísticos elaborados con bases de datos históricas, de tal forma que cada entidad cubra sus pérdidas con base a la calidad histórica de su cartera.

Lo que Basilea II y III representa para los bancos, el proyecto de Solvencia II lo es para las entidades aseguradoras.

Solvencia II representa un proyecto desarrollado por la Unión Europea con el que ha venido trabajando desde el año 2001, cuya implementación en México era prevista para el año 2014<sup>1</sup> pero que finalmente verá luz en abril de 2015, se basa en tres pilares fundamentales que son: desarrollar exigencias financieras de acuerdo con el nivel real de riesgo asumido por las aseguradoras, comunicar la información tanto al mercado como al supervisor y que tanto éste como las aseguradoras sean capaces de prever y evaluar las situaciones de crisis.

Los proyectos Basilea II y III se desarrollaron en el seno del Banco de Pagos Internacionales (Bank for International Settlements - BIS), por otra parte, el proyecto Solvencia II surgió dentro del Comité de Supervisores Europeos de Seguros y Pensiones (Committee of European Insurance and Occupational Pensions Supervisors – CEIOPS), dicha institución fue sustituida, a partir de enero de 2011, por la Autoridad Europea de Seguros y Pensiones (European Insurance and Occupational Pensions Authority – EIOPA).

---

<sup>1</sup> Rojas Rojas, C. y Alcántara Lozano, P., << CNSF: Nueva Ley entrará en vigor hasta 2014 >>, El Asegurador, Año XXVII, Número 641

### 1.1.1. Pilares de Solvencia II

El proyecto Solvencia II se fundamenta en tres pilares de actuación: el primero consiste en implantar un proceso de análisis de las reservas, activos y pasivos necesarios para cubrir las obligaciones aceptadas en las pólizas, así como cuantificar los requerimientos de capital para enfrentar los riesgos asumidos; el segundo se ocupa de definir las reglas de control interno, supervisión y gobierno corporativo; y el tercero busca establecer las obligaciones de información que las aseguradoras deberán presentar al mercado.

Figura 1



Fuente: *Solvencia II*, AMIS, México, 2010, pp. 14

En las siguientes secciones se describe brevemente las características de los tres pilares antes mencionados.

### 1.1.2. Pilar I: Exigencia de recursos propios (requerimientos cuantitativos)

Se fundamenta en el desarrollo y establecimiento de un nuevo sistema que permita determinar los recursos propios mínimos a requerir a cada aseguradora (capital mínimo), en función de los riesgos asumidos y la administración que se realice de cada uno de ellos. Los métodos de cálculo deberían poder adaptarse a la evolución de los perfiles de riesgo de cada una de las instituciones.

Se pretende establecer mecanismos o procedimientos para el cálculo de requerimientos de capital de las compañías con base a la exposición final a los riesgos.

Dentro de éste pilar se contempla la emisión de regulación en torno a:

- Requerimientos de capital para todos los riesgos.
- Valuación de Reservas.
- Régimen de inversiones.

### **1.1.3. Pilar II: Procesos de supervisión**

El segundo objetivo del proyecto es el establecimiento de nuevas competencias y mecanismos de actuación de los supervisores. El órgano supervisor debería ser capaz de anticiparse y evitar que se presenten situaciones que incrementen los niveles de riesgo asumidos por las instituciones, sin que esto traiga consigo un incremento del nivel de solvencia exigido.

Dentro de este pilar se contempla la emisión de regulación en torno a:

- Exposición al riesgo de cada entidad, incluyendo el programa de reaseguro<sup>2</sup>.
- Modelos internos de administración de riesgos, incluidos los riesgos gerenciales y operacionales.
- Gobierno Corporativo sólido en todos los niveles de la compañía<sup>3</sup>.
- Posibilidad de requerir, por parte de los supervisores, capitales adicionales a los calculados en base a los modelos aplicados en casos individuales.

### **1.1.4. Pilar III: Disciplina de mercado**

Por último, se pretende establecer la información que las instituciones de seguros deberían proporcionar en relación a su política de administración de riesgos: riesgos asumidos, mecanismos disponibles para su administración, seguimiento y control, etc.; con el objeto de potenciar la disciplina de mercado. De esta forma, todos los participantes en el mercado (competidores, asegurados, potenciales compradores, supervisores, etc.) dispondrían, para la toma de decisiones, información suficiente sobre la existencia y mantenimiento del nivel de solvencia de las entidades.

Dentro de este pilar se contempla la emisión de regulación en torno a:

- Transparencia
- Provisión de Información

## **1.2. Elementos para implementar un nuevo sistema de regulación**

El creciente proceso de globalización y la creación de un mercado financiero único requieren la homogeneización de los criterios establecidos para la medición de los niveles de solvencia de las entidades aseguradoras y afianzadoras.

---

<sup>2</sup> De acuerdo con el Diccionario MAPFRE de Seguros, el reaseguro consiste en un instrumento técnico del que se vale una entidad aseguradora para conseguir la compensación estadística que necesita, igualando u homogeneizando los riesgos que componen su cartera de bienes asegurados mediante la cesión de parte de ellos a otras entidades.

<sup>3</sup> De acuerdo con el libro *El Gobierno Corporativo en México* se define como el conjunto de principios que norman el diseño, integración y funcionamiento de los órganos de la empresa. (Instituto Mexicano de Ejecutivos Financieros, 2003)

Al mismo tiempo, el lanzamiento de nuevos productos con un componente financiero significativo exige la aplicación de criterios similares de solvencia a los establecidos para la banca.

Como consecuencia, principalmente de estos dos aspectos, Solvencia II es el intento de extrapolación de los acuerdos alcanzados en Basilea II y III al sector asegurador.

En este entorno cambiante, se pone de manifiesto la necesidad de poner en marcha sistemas de supervisión de carácter preventivo y dinámico que permita evaluar la posición de solvencia de las entidades y su evolución a medio y largo plazo.

La solvencia de una entidad no debería estar basada únicamente en datos financieros, deberían considerarse, adicionalmente, otros aspectos tales como su exposición al riesgo, es decir, los riesgos que asume y la administración que efectúa de los mismos, su tamaño, estrategias, políticas de protección en reaseguro, etc.

Por otra parte, el esquema actual en que se basa la regulación de las entidades aseguradoras y afianzadoras presenta limitantes las cuales se describen en la siguiente sección.

### **1.3. Limitaciones del modelo actual de supervisión**

- Está enfocado a establecer normas generales que permitan la determinación del nivel de capital propio de las aseguradoras sin considerar los perfiles de riesgo.
- Se trata de un sistema estático y retrospectivo que no permite llevar a cabo una visión prospectiva, no tiene poder de predicción sobre la evolución futura de las compañías.
- Al tratarse de un sistema que no contempla los perfiles de riesgo, su aplicación da lugar a situaciones contradictorias, por ejemplo, dos entidades con similares volúmenes de primas y de reservas técnicas pero con una política de inversiones, en un caso, prudente y, en el otro, muy agresiva podrían tener requerimientos de capital similares. Sin embargo, si se tomara en cuenta el riesgo de inversión, a la segunda entidad se le deberían exigir recursos adicionales.
- El sistema actual no favorece que las compañías destinen recursos a la mejora del conocimiento y gestión de sus riesgos.
- No se trata de un sistema homogéneo en los distintos países, dificultando y haciendo costoso el aspecto operativo para entidades que mantienen operaciones fuera del país de origen, como es el caso de filiales y grupos financieros internacionales.

Si bien el proyecto de solvencia pretende en principio alcanzar los acuerdos adoptados por Basilea II en el sector bancario, el nuevo proyecto desarrollado por EIOPA no pretende ser una copia exacta de los principios de Basilea II y III, ya que algunos objetivos básicos difieren, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

#### 1.4. Principales premisas del proyecto Solvencia II

- Activos y pasivos deben ser tomados a valor de mercado, con el objeto de evitar posibles arbitrajes.
- En el cálculo del requerimiento de capital se deberá considerar el cambio o variación que pudieran presentar tanto el activo como el pasivo debido a la presencia latente de cada uno de los riesgos a que se encuentra expuesta la institución, a esto se le conoce comúnmente con el término  $\Delta NAV$  (Net Asset Value). Para efectos del presente trabajo y con el objeto de homologar los términos con el lenguaje financiero, se utilizará el término  $\Delta NAV$ .

Figura 2

|                            | Basilea II                 | Solvencia II                            |
|----------------------------|----------------------------|---|
| Alcance                    | Activo                     | Activo y Pasivo                         |
| Tratamiento de los Riesgos | Un modelo para cada riesgo | Un modelo que integra todos los riesgos |

Fuente: *Elaboración propia*

- Se deberá considerar para cada riesgo una medida coherente del mismo, en función de cierta probabilidad o nivel de confianza.
- Se tomará en cuenta como horizonte temporal el término de 1 año.
- Las medidas de riesgo considerarán el VaR<sup>4</sup> al 99.5% de confianza, el cual representa la pérdida máxima esperada en el horizonte establecido para un nivel de significancia de 0.995 o 0.005, según sea el caso.
- Asimismo, se podrá utilizar la esperanza condicional de las colas del Var (Expected Shortfall), mejor conocido como TVaR<sup>5</sup> o Tail VaR, la cual

<sup>4</sup> El Valor en Riesgo o Value at Risk (VaR, por sus siglas en inglés), es un indicador de riesgo y se define como la pérdida máxima esperada en un periodo de tiempo y con un nivel de confianza dados, en condiciones normales de mercado.

añade al VaR calculado la pérdida adicional esperada si se supera el umbral establecido.

### **1.5. Estudios de Impacto Cuantitativo (QIS – Quantitative Impact Studies)**

Con el objeto de facilitar la implementación de Solvencia II, las entidades aseguradoras europeas han participado y desarrollado estudios cuantitativos del impacto del proyecto sobre las instituciones de seguros, en dichos estudios se plantean modelos, esquemas y especificaciones técnicas que permiten cuantificar los riesgos y plasmarlos en requerimientos de capital.

A la fecha se han elaborado cinco estudios de este tipo, siendo el último de estos el QIS5 donde el reporte final fue publicado en marzo de 2011.

Es importante mencionar que dentro de éstos estudios de impacto cuantitativo, se encuentran los procedimientos técnicos que propone EIOPA para el cálculo del requerimiento de capital de solvencia.

### **1.6. Situación de México en el contexto de Solvencia II**

México, a través de la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (CNSF), decidió unirse a la propuesta de EIOPA incorporando un nuevo esquema regulatorio que contemple el marco propuesto por Solvencia II, adecuado a las características propias del mercado mexicano.

Como primer paso, la CNSF realizó una propuesta para derogar la Ley General de Instituciones y Sociedades Mutualistas de Seguros y emitir la Ley de Instituciones de Seguros y Fianzas (LISF), dicha iniciativa de Ley ha sido bien aceptada por el sector y fue aprobada en el Congreso de la Unión en el año 2014.

Una vez que dicha Ley ha sido aprobada por todas las instancias jurídicas, la CNSF ha emitido la regulación secundaria en la cual ha quedado plasmado, entre otros aspectos, las reglas o procedimientos para determinar el requerimiento de capital de solvencia.

En relación a lo anterior, la CNSF se encuentra trabajando, evaluando y proponiendo modelos para determinar el monto de capital que deberá tener cada una de las instituciones de seguros, es en este marco donde el presente trabajo pretende elaborar una propuesta para el cálculo del requerimiento de capital de solvencia para el riesgo específico de tasa de interés, ya que como el lector podrá apreciar en capítulos subsecuentes el modelo propuesto por Solvencia II constituye prácticamente un mapeo de todos los riesgos con que

---

<sup>5</sup> El Tail Value at Risk o TVaR, por sus siglas en inglés, es un indicador de riesgo y se define como el valor esperado de la pérdida en el caso de que llegue a superar el nivel de confianza predefinido. También se le conoce como Conditional Tail Expectation (CTE), Expected Shortfall (ES) o Expected Tail Loss (ETL).

cuenta una entidad aseguradora, por lo que cada módulo constituye en sí mismo un trabajo de investigación especial.

Es importante considerar que de acuerdo a lo mencionado en la Transitoria Décima Novena de la Circular Única de Seguros y Fianzas, la parte del cálculo del Requerimiento de Capital de Solvencia (RCS) entrará en vigor en enero de 2016.

Cabe señalar que la Ley contempla la posibilidad de que las aseguradoras desarrollen y registren modelos internos, en lugar de ajustarse a un modelo general propuesto por el regulador, lo anterior permitirá que las instituciones cuenten con requerimientos de capital acordes a los niveles de riesgo a los que se encuentran expuestas.

Por otra parte, resulta importante mencionar que Solvencia II no implica solamente un cambio técnico, su implementación requiere un cambio en el perfil de la organización, ya que será necesario contar con personal altamente capacitado en el ámbito de la administración de riesgos, tanto financieros como técnicos o de suscripción, lo que representa definitivamente un costo financiero e inversión de tiempo, dicho costo dependerá de la capacidad y velocidad para adaptarse al nuevo esquema.

Sin embargo, el proyecto constituye también una gran oportunidad para todos los participantes, ya que cambiará la forma aislada de ver los riesgos en una institución y permitirá a México situarse a la vanguardia en materia de supervisión.

# Capítulo 2

## Módulos de riesgo comprendidos dentro de la estructura propuesta en QIS5

Dentro de QIS5, el modelo general del requerimiento de capital de solvencia se integra de la siguiente manera:





La estructura propuesta por EIOPA en QIS5 constituye un mapeo general de cada uno de los riesgos de la institución, cada riesgo tiene asociado un modelo de requerimiento de capital de solvencia. Al conjunto e interrelación de los distintos módulos se le conoce como la fórmula estándar para el requerimiento de capital de solvencia (RCS).

## 2.1. Estructura de cálculo del requerimiento de capital de solvencia

El objeto del presente capítulo consiste en mostrar una visión general de la estructura del proyecto Solvencia II y de los riesgos que contempla cada módulo, algunos de estos éstos corresponden a riesgos técnicos propios de la operación de seguros los cuales tienen implícitos conocimientos de cálculo actuarial, por lo que no se pretende entrar a fondo a cada uno de ellos, sin embargo, resulta conveniente que el lector tenga presente la construcción del requerimiento de capital global para posteriormente entrar más a fondo en los riesgo financieros que serán explicados más a detalle en el capítulo tres y posteriormente particularizar en el riesgo de tasa de interés en el mismo capítulo.

El requerimiento de capital de solvencia se determina de acuerdo a lo siguiente:

$$RCS = RBCS + RCS_{Op.} + Ajuste_{RT/ID}$$

donde:

$$\begin{aligned} RCS &= \text{Requerimiento de Capital de Solvencia} \\ RBCS &= \text{Requerimiento Bruto de Capital de Solvencia} \\ RCS_{Op.} &= \text{Requerimiento de Capital de Solvencia por Riesgo Operativo} \\ Ajuste_{RT/ID} &= \text{Ajuste por la capacidad de absorción de pérdidas} \end{aligned}$$

El requerimiento bruto de capital de solvencia (*RBCS*) se encuentra integrado por la combinación de los riesgos de vida, daños (incluyendo accidentes personales y gastos médicos), salud, contraparte (reaseguro y transferencia de riesgos), riesgo de mercado, así como, el riesgo por activos intangibles.

El requerimiento bruto de capital de solvencia se determina de la siguiente forma:

$$RBCS = \sqrt{CorrRSC_{r,c} \times RCS_r \times RCS_c} + RCS_{Int.}$$

donde:

$$\begin{aligned} RBCS &= \text{Requerimiento Bruto de Capital de Solvencia} \\ CorrRSC_{r,c} &= \text{Celdas de la matriz de correlación CorrRCS} \\ RCS_r, RCS_c &= \text{Requerimientos de Capital individuales de acuerdo} \\ &\quad \text{con la matriz de correlación CorrRCS} \\ RCS_{Int.} &= \text{Requerimiento de Capital de Solvencia por} \\ &\quad \text{Riesgos de Activos Intangibles} \end{aligned}$$

De acuerdo con QIS5, la matriz de correlación  $CorrRCS$  entre los riesgos de mercado, contraparte, vida, salud y daños está definida como:

| $CorrRCS$     | $RCS_{Mdo}$ | $RCS_{Contr}$ | $RCS_{Vida}$ | $RCS_{Salud}$ | $RCS_{Daños}$ |
|---------------|-------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| $RCS_{Mdo}$   | 1           |               |              |               |               |
| $RCS_{Contr}$ | 0.25        | 1             |              |               |               |
| $RCS_{Vida}$  | 0.25        | 0.25          | 1            |               |               |
| $RCS_{Salud}$ | 0.25        | 0.25          | 0.25         | 1             |               |
| $RCS_{Daños}$ | 0.25        | 0.5           | 0            | 0             | 1             |

donde:

- $RCS_{Mdo}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por Riesgo de Mercado
- $RCS_{Contr}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por Riesgo de Contraparte
- $RCS_{Vida}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por Riesgo de Seguros de Vida
- $RCS_{Salud}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por Riesgo de Seguros de Salud
- $RCS_{Daños}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por Riesgo de Seguros de Daños

El lector podrá notar a lo largo del presente trabajo, que la medición de riesgos se realiza de forma independiente o modular, sin embargo, el requerimiento de capital no se determina sumando los requerimientos individuales; solvencia II supone que los riesgos se encuentran correlacionados y que el capital requerido deberá estar calculado a partir de la correlación de dichos requerimientos individuales a través de una matriz de correlación.

Las correlaciones mostradas en las matrices que se presentarán a lo largo del trabajo, corresponden a los valores establecidos por EIOPA en consenso con los países europeos que participan en el proyecto, ya que se pretende crear un sólo modelo de requerimiento de capital, sin embargo, los demás países que quieran seguir un modelo similar pueden y de hecho deben ajustar tanto sus parámetros como las correlaciones a las condiciones del mercado del país específico, lo cual implica en sí mismo un reto que puede dar lugar a posteriores trabajos sobre el tema.

En las siguientes secciones se explicará en forma breve cada uno de estos riesgos, teniendo mayor profundidad en el riesgo de mercado, el cual será tratado a más detalle en el capítulo tres, ya que dentro de este módulo se encuentra el riesgo de tasa de interés.

## 2.2. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo operacional

De acuerdo con lo establecido en QIS5, el riesgo operacional es el riesgo de pérdidas derivadas de procesos inadecuados, fallas en los procesos internos, personas, sistemas, o eventos externos. El riesgo operacional incluye el riesgo

legal, sin embargo, quedan excluidos los riesgos de reputación y los riesgos derivados de decisiones estratégicas.

La fórmula para determinar el requerimiento de capital por riesgo operacional es la siguiente:

$$RCS_{Op} = \min\{0.3 * RBCS; Op\} + 0.25 * Exp_{ul}$$

donde:

$RCS_{Op}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por Riesgo Operacional

$RBCS$  = Requerimiento Bruto de Capital de Solvencia

$Exp_{ul}$  = Importe de los gastos anuales derivados de los negocios unit-linked<sup>6</sup>

Y donde  $Op$  se determina de la siguiente manera:

$$Op = \max(Op_{primas}; OP_{reservas})$$

$$Op_{primas} = 0.04 * (I_{vida} - I_{vida-ul}) + 0.03 * I_{daños} + \max(0; 0.04 * (I_{vida} - 1.1 * IA_{vida} - (I_{vida-ul} - 1.1 * IA_{vida-ul}))) + \max(0; 0.03 * I_{daños} - 1.1 * IA_{daños})$$

$$Op_{reservas} = 0.0045 * \max(0; RT_{vida} - RT_{vida-ul}) + 0.03 * \max(0; RT_{daños})$$

donde:

$I_{vida}$  = Ingresos provenientes de la prima de seguros de vida

$I_{vida-ul}$  = Ingresos provenientes de la prima de negocio unit linked

$I_{daños}$  = Ingresos provenientes de la prima de seguros de daños

$IA_{vida}$  = Ingresos provenientes de la prima de seguros de vida del año anterior

$IA_{vida-ul}$  = Ingresos provenientes de la prima de negocio unit linked

$IA_{daños}$  = Ingresos provenientes de la prima de seguros de daños del año anterior

$RT_{vida}$  = Reservas técnicas<sup>7</sup> de seguros de vida

$RT_{vida-ul}$  = Reservas técnicas de negocios unit linked

$RT_{daños}$  = Reservas técnicas de seguros de daños

<sup>6</sup> De acuerdo con el Diccionario MAPFRE de seguros, los negocios Unit-linked constituyen una modalidad del seguro de vida en la que las primas son invertidas en fondos de inversión, el asegurado tiene la opción de escoger la modalidad de inversión que prefiera, asumiendo él el riesgo de la inversión.

<sup>7</sup> De acuerdo con el Diccionario MAPFRE de seguros, las reservas técnicas constituyen las provisiones económicas que cualquier entidad aseguradora debe realizar para hacer frente a las obligaciones futuras.

### 2.3. Módulo de ajuste por la capacidad de absorción de pérdidas de reservas técnicas e impuestos diferidos

De acuerdo con las especificaciones técnicas de QIS5, este módulo reflejará la posible compensación de pérdidas imprevistas mediante un descenso simultáneo de las reservas técnicas y los impuestos diferidos<sup>8</sup>.

Este ajuste tomará en consideración el efecto mitigador de riesgos producido por las prestaciones discrecionales futuras de contratos de seguros de vida, en la medida en que las compañías puedan demostrar la posibilidad de utilizar una reducción en las prestaciones para cubrir cualesquiera pérdidas inesperadas.

### 2.4. Requerimiento de capital de solvencia por riesgo de contraparte

De acuerdo a la definición establecida en QIS5, el riesgo de contraparte comprende el riesgo de incumplimiento o “default” de la contraparte en los contratos de transferencia o mitigación del riesgo, tales como contratos de reaseguro, bursatilizaciones y derivados, así como los créditos de los intermediarios y cualquier otro riesgo de crédito que no esté contemplado en el módulo de spread dentro del riesgo de mercado.

El monto del requerimiento de capital por riesgo de contraparte está dado por la siguiente expresión:

$$RCS_{Contr} = \sqrt{RCS_{Contr,1}^2 + 1.5 * RCS_{Contr,1} * RCS_{Contr,2} + RCS_{Contr,2}^2}$$

donde:

$RCS_{Contr}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por Riesgo de Contraparte

$RCS_{Contr,1}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por Riesgo de Contraparte del tipo 1

$RCS_{Contr,2}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por Riesgo de Contraparte del tipo 2

Según QIS5, para el cálculo del requerimiento de capital de solvencia hay que diferenciar entre tipos de riesgos de contraparte, a continuación, se hará una breve descripción de cada uno de ellos.

---

<sup>8</sup> Los impuestos diferidos se constituyen cuando la entidad económica adelanta o aplaza el pago de cualquier contribución a la autoridad administradora, lo cual origina una discrepancia entre la legislación fiscal y la técnica contable. Pueden representar un riesgo al largo plazo si existiera una transferencia de los efectos fiscales a algún tercero.

La clase del tipo 1 es aquella que cubre las exposiciones al riesgo que no pueden diversificarse y donde la contraparte pueda ser clasificada. Esta clase consiste en exposiciones relacionadas a:

- Contratos de reaseguro
- Bursatilizaciones y derivados
- Dinero en efectivo en bancos
- Otros contratos de mitigación del riesgo
- Fondos iniciales, títulos de crédito, así como otros compromisos recibidos por la compañía que son tomados en cuenta, pero que aun no han sido pagados, sí el número de contrapartes independientes no excede de 15
- Garantías y títulos de crédito que la compañía ha proporcionado, así como otros compromisos que dependan de la solvencia de las contrapartes

La clase del tipo 2 es aquella que cubre las exposiciones al riesgo que usualmente están diversificadas y en donde la contraparte no está clasificada. Esta clase consiste en todas las exposiciones de riesgo que no son contempladas en el tipo 1, en particular:

- Cuentas por cobrar por parte de intermediarios
- Asegurados deudores, incluyendo préstamos hipotecarios
- Fondos iniciales, títulos de crédito, así como otros compromisos recibidos por la compañía que son tomados en cuenta, pero que aun no han sido pagados, en el caso de que excedan 15 contrapartes independientes.

Una vez que la compañía haya clasificado las exposiciones al riesgo del tipo 1 y del tipo 2, de acuerdo a QIS5 se aplicarán fórmulas para encontrar  $RCS_{Contr,1}$  y  $RCS_{Contr,2}$ . En éste trabajo se omitirá la metodología para el cálculo de requerimiento de capital de contraparte pues el objetivo es mostrar una idea general del módulo y no profundizar en el cálculo de cada uno de ellos.

## **2.5. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de seguros de vida**

De acuerdo con QIS5 este requerimiento proviene de los riesgos derivados de la suscripción de contratos de seguros de vida.

Los riesgos de suscripción de vida se componen por los riesgos de mortalidad, supervivencia o longevidad, invalidez, caída de cartera, gastos, revisión y catastrófico.

El requerimiento de capital por riesgo de vida se determina de acuerdo a lo siguiente:

$$RCS_{Vida} = \sqrt{\sum_{rxc} CorrVida_{r,c} * Vida_r * Vida_c}$$

donde:

$RCS_{Vida}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia de Vida

$CorrVida_{r,c}$  = Celdas de la matriz de correlación  $CorrVida$

$Vida_r, Vida_c$  = Requerimientos de capital individuales de acuerdo con la matriz de correlación  $CorrVida$

La matriz de correlación  $CorrVida$  entre los riesgos de vida ya antes mencionados, está definida como:

| <i>CorrVida</i>            | <i>RCS<sub>Mort</sub></i> | <i>RCS<sub>Long</sub></i> | <i>RCS<sub>Inv</sub></i> | <i>RCS<sub>Caída</sub></i> | <i>RCS<sub>Gtos</sub></i> | <i>RCS<sub>Rev</sub></i> | <i>RCS<sub>Cat</sub></i> |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <i>RCS<sub>Mort</sub></i>  | 1                         |                           |                          |                            |                           |                          |                          |
| <i>RCS<sub>Long</sub></i>  | -0.25                     | 1                         |                          |                            |                           |                          |                          |
| <i>RCS<sub>Inv</sub></i>   | 0.25                      | 0                         | 1                        |                            |                           |                          |                          |
| <i>RCS<sub>Caída</sub></i> | 0                         | 0.25                      | 0                        | 1                          |                           |                          |                          |
| <i>RCS<sub>Gtos</sub></i>  | 0.25                      | 0.25                      | 0.5                      | 0.5                        | 1                         |                          |                          |
| <i>RCS<sub>Rev</sub></i>   | 0                         | 0.25                      | 0                        | 0                          | 0.5                       | 1                        |                          |
| <i>RCS<sub>Cat</sub></i>   | 0.25                      | 0                         | 0.25                     | 0.25                       | 0.25                      | 0                        | 1                        |

A continuación se presentará una breve explicación de cada uno de los submódulos de riesgo para el caso de vida.

### 2.5.1 Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de mortalidad

El riesgo de mortalidad se origina por un incremento significativo en el número de fallecimientos debido a un deterioro en las expectativas de mortalidad a largo plazo. Se aplica a aquellos seguros de vida en los cuales la suma asegurada en caso de fallecimiento, excede al importe de la reserva técnica constituida.

El requerimiento de capital por riesgo de mortalidad se calcula mediante la siguiente expresión:

$$RCS_{Mort} = (\Delta NAV | mortshock)$$

donde:

$RCS_{Mort}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de mortalidad  
 $\Delta NAV$  = Cambio en el valor neto de activos menos pasivos (capital)  
mortshock = Incremento en el nivel de las tasas de mortalidad para cada edad y cada póliza con pago de beneficios contingentes, QIS5 considera un 15%

### 2.5.2 Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de longevidad

El riesgo de supervivencia o longevidad es aquél que surge debido a mejoras en la mortalidad que afecten las expectativas de supervivencia a largo plazo. Se aplica a aquellos seguros de vida en los cuales no existe una suma asegurada en caso de fallecimiento, sino por supervivencia. También se usa en los seguros en los que la suma asegurada en caso de fallecimiento, no excede el importe de la reserva técnica constituida.

El requerimiento de capital por riesgo de longevidad se calcula mediante la siguiente expresión:

$$RCS_{Long} = (\Delta NAV | longshock)$$

donde

$RCS_{Long}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de longevidad  
 $\Delta NAV$  = Cambio en el valor neto de activos menos pasivos (capital)  
longshock = Decremento en el nivel de las tasas de mortalidad para cada edad y cada póliza con pago de beneficios contingentes, QIS5 considera un 20%

### 2.5.3 Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de invalidez

El riesgo de invalidez o incapacidad es aquél que surge debido a un cambio en las expectativas de morbilidad. Se aplica a aquellos seguros, en los cuales existe una suma asegurada en caso de invalidez total y permanente o de enfermedad.

El requerimiento de capital por riesgo de invalidez se calcula como:

$$RCS_{Inv} = (\Delta NAV|invshock)$$

donde

$RCS_{Inv}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de invalidez o discapacidad

$\Delta NAV$  = Cambio en el valor neto de activos menos pasivos (capital)

$invshock$  = Incremento en el nivel de las tasas de invalidez y discapacidad para cada edad y cada póliza con pago de beneficios contingentes, QIS5 considera un 35% para el primer año y de 25% en años subsecuentes. Además, donde sea aplicable, un decremento del 20% en las tasas de recuperación de invalidez y discapacidad

#### 2.5.4 Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de caída de cartera

El riesgo de caída de cartera o caducidad se origina como resultado de una tasa de caída, cancelaciones o rescates<sup>9</sup> en el número de contratos mayor o menor a las esperadas.

El requerimiento de capital por riesgo de caída de cartera se calcula como:

$$RCS_{Caída} = \max (Caída_{Baja}; Caída_{Alza}; Caída_{Mas})$$

donde

$$Caída_{Baja} = (\Delta NAV|caídashock_{Baja})$$

$$Caída_{Alza} = (\Delta NAV|caídashock_{Alza})$$

$$Caída_{Mas} = (\Delta NAV|caídashock_{Mas})$$

y

$RCS_{Caída}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de caída de cartera

$\Delta NAV$  = Cambio en el valor neto de activos menos pasivos (capital)

$Caída_{Baja}$  = Capital requerido debido al riesgo de un decremento de las tasas de caída de cartera

$Caída_{Alza}$  = Capital requerido debido al riesgo de un incremento de las tasas de caída de cartera

$Caída_{Mas}$  = Capital requerido debido al riesgo de una caída masiva de cartera

<sup>9</sup> De acuerdo con el Diccionario MAPFRE de Seguros, el rescate es una operación característica de algunas modalidades del seguro de vida, en virtud del cual, por voluntad del asegurado, éste percibe de su asegurador el importe que le corresponde (valor de rescate) de la provisión matemática constituida sobre el riesgo que tenía garantizado. Efectuado el rescate, la póliza rescatada queda automáticamente rescindida.



caídashock<sub>Baja</sub> = Disminución en el nivel de las tasas de caída de cartera,  
QIS5 considera un nivel de 50%

caídashock<sub>Alza</sub> = Incremento en el nivel de las tasas de caída de cartera,  
QIS5 considera un nivel de 50%

caídashock<sub>Mas</sub> = Caída másiva de la cartera, QIS5 considera dos casos :

- 30% del valor de la pólizas distintas a las colectivas
- 70% del valor de las pólizas colectivas

Los requerimientos de capital para los tres subriegos deberán ser calculados en una comparación póliza por póliza entre valor de rescate y el valor de las reservas técnicas.

### **2.5.5 Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de gastos**

El riesgo de gastos se origina como resultado de un aumento en los gastos asociados a los contratos de seguro.

El requerimiento de capital de solvencia por riesgo de gastos se calcula como:

$$RCS_{Gtos} = \Delta NAV | GtosShock$$

donde

$RCS_{Gtos}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de incremento de gastos asociados a las pólizas de seguro

$\Delta NAV$  = Cambio en el valor neto de los activos menos pasivos (capital)

$GtosShock$  = Incremento de 10% de todos los gastos futuros, y un incremento de 1% anual de la inflación esperada, con respecto a la anticipada.

### **2.5.6 Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de revisión**

El riesgo de revisión es aquél que se deriva por cambios en las rentas futuras de los seguros de vida que afecten al patrimonio de la empresa (únicamente para rentas sujetas a revisión por estar referenciadas o indexadas a alguna variable).

El requerimiento de capital de solvencia por riesgo de revisión se calcula como:

$$RCS_{Rev} = \Delta NAV | revshock$$

donde

$RCS_{Rev}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de revisión  
 $\Delta NAV$  = Cambio en el valor neto de los activos menos pasivos (capital)  
revshock = Incremento de 3% en el monto anual del pago de pensión debido al impacto de riesgo de revisión

### 2.5.7 Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo catastrófico de vida

El riesgo catastrófico de vida es aquel derivado de eventos extremos o irregulares como las pandemias o alguna explosión nuclear.

El requerimiento de capital por riesgo catastrófico de vida se calcula como:

$$RCS_{Cat} = \Delta NAV | VCatshock$$

donde

$RCS_{Cat}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo catastrófico de vida  
 $\Delta NAV$  = Cambio en el valor neto de los activos menos pasivos (capital)  
VCatshock = Incremento absoluto de 1.5 por millar en la tasa de asegurados que mueren en el siguiente año

## 2.6. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de seguros de salud<sup>10</sup>

De acuerdo con las especificaciones técnicas de QIS5, este módulo abarca todos los seguros relacionados con la salud, incluyendo seguros calculados con técnicas similares a vida, es decir, seguros a largo plazo; seguros calculados con técnicas diferentes a las de vida, es decir, seguro a corto plazo y catastrófico de salud.

En la parte de técnicas similares a la vida se calculan los submódulos de mortalidad, longevidad o supervivencia, invalidez, caída de cartera, gastos y revisión. Mientras que en el caso de técnicas diferentes a vida, se calculan los submódulos de prima-reserva y caída de cartera. El riesgo catastrófico de salud es aquel derivado de eventos irregulares, por ejemplo, aquellos eventos relacionados con un brote epidemiológico.

---

<sup>10</sup> De acuerdo con la Ley General de Instituciones y Sociedades Mutualistas de Seguros (LGISMS), los seguros de Salud, son aquellos que tienen por objeto la prestación de servicios dirigidos a prevenir o restaurar la salud, a través de acciones que se realicen en beneficio del asegurado. No confundir con los seguros de Gastos Médicos Mayores o Accidentes Personales.

En el caso de México, todos los seguros de salud contemplan vigencias menores o iguales a un año, y por sus características técnicas reciben el mismo tratamiento que un seguro de daños, por lo cual en este punto no analizaremos la metodología adoptada por EIOPA ya que se aplicará la metodología señalada en la siguiente sección.

## **2.7. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de seguro de daños**

Este módulo aplica a la operación de los seguros de daños (técnicas diferentes a vida). Para el caso mexicano, de acuerdo con la Ley General de Instituciones y Sociedades Mutualistas de Seguros vigente, la operación de daños incluye los siguientes ramos:

- a) Responsabilidad civil y riesgos profesionales
- b) Marítimo y transportes
- c) Incendio
- d) Agrícola y de animales
- e) Automóviles
- f) Crédito
- g) Crédito a la vivienda
- h) Garantía Financiera
- i) Diversos
- j) Terremoto y otros riesgos catastróficos
- k) Caución

Adicionalmente, debido a las características técnicas, se incluyen dentro de este módulo a los ramos de Accidentes Personales<sup>11</sup> y Gastos Médicos<sup>12</sup>.

El requerimiento de capital dentro de este módulo comprende básicamente el requerimiento de capital con base en tres submódulos importantes:

1. Requerimiento de capital de solvencia por primas y reservas

$$RCS_{pr}$$

2. Requerimiento de capital de solvencia por caída de cartera (daños)

$$RCS_{CaídaD}$$

---

<sup>11</sup> De acuerdo con la LGISMS, los seguros de Accidentes Personales corresponden a los contratos de seguro que tengan como base la lesión o incapacidad que afecte la integridad personal, salud o vigor vital del asegurado, como consecuencia de un evento externo, violento, súbito y fortuito.

<sup>12</sup> De acuerdo con la LGISMS, los seguros de Gastos Médicos corresponden a los contratos que tengan por objeto cubrir gastos médicos, hospitalarios y demás que sean necesarios para la recuperación de la salud vital del asegurado, cuando se hayan afectado por causa de un accidente o enfermedad.

### 3. Requerimiento de capital de solvencia por riesgos catastróficos (daños)

$$RCS_{CatD}$$

De acuerdo con las especificaciones técnicas de QIS5, el requerimiento de capital de solvencia para la operación de daños se calcula como:

$$RCS_{Daños} = \sqrt{\sum_{rxc} CorrDaños_{r,c} * Daños_r * Daños_c}$$

donde

$RCS_{Daños}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de seguro de daños

$CorrDaños_{r,c}$  = Celdas de la matriz de correlación  $CorrDaños$

$Daños_r, Daños_c$  = Requerimientos de capital individuales de acuerdo con la matriz de correlación  $CorrDaños$

La matriz de correlación  $CorrDaños$  entre los riesgos de seguros de daños ya antes mencionados, está definida como:

| <i>CorrDaños</i>            | <i>RCS<sub>pr</sub></i> | <i>RCS<sub>CaídaD</sub></i> | <i>RCS<sub>CatD</sub></i> |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <i>RCS<sub>pr</sub></i>     | 1                       |                             |                           |
| <i>RCS<sub>CaídaD</sub></i> | 0                       | 1                           |                           |
| <i>RCS<sub>CatD</sub></i>   | 0.25                    | 0                           | 1                         |

A continuación se presentará una breve explicación de cada uno de los tres submódulos de riesgo contemplados por QIS5 para el caso de daños.

#### 2.7.1 Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por primas y reservas

El capital requerido en este punto se refiere al riesgo de que las primas y las reservas resulten ser insuficientes para hacer frente a los riesgos futuros de las instituciones.

El cálculo del requerimiento de capital de solvencia por riesgo de primas y reservas se calcula como:

$$RCS_{pr} = \rho(\sigma) * V$$

donde

- RCS<sub>pr</sub> = Requerimiento de Capital de Solvencia por primas y reservas
- V = Volumen
- σ = Desviación estándar de la cartera
- ρ(σ) = Función que depende de la volatilidad σ de la cartera

La función ρ(σ) se define de la siguiente forma:

$$\rho(\sigma) = \frac{\exp(N_{0,995} * \sqrt{\log(\sigma^2 + 1)})}{\sqrt{\sigma^2 + 1}} - 1$$

donde

N<sub>0,995</sub> = Cuantil 99.5% de la distribución normal estandar

La función se calcula de tal manera que se asume una distribución lognormal aproximadamente:

$$\rho(\sigma) \approx 3 * \sigma$$

Para el cálculo de la volatilidad σ se calcula como:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{V^2} * \sum_{rxc} CorrRamo_{r,c} * \sigma_{(prim,ramo)} * \sigma_{(res,ramo)} * V_{(prim,ramo)} * V_{res,ramo}}$$

Este valor de σ corresponde a una ponderación de las desviaciones estándar y el volumen para primas y reservas, así como de la correlación existente entre cada uno de los ramos *CorrRamo*.

La matriz de correlación *CorrRamo* entre los riesgos que se toman en cuenta para el riesgo de primas y reservas, está definida como:

| <b>CorrRamo</b>  | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>12</b> |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>1: Autos; responsabilidad civil</b>                 | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| <b>2: Autos; Otras garantías</b>                       | 0.5      | 1        |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| <b>3: Marítimo, Aviación y Transporte (MAT)</b>        | 0.5      | 0.25     | 1        |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| <b>4: Incendio</b>                                     | 0.25     | 0.25     | 0.25     | 1        |          |          |          |          |          |           |           |           |
| <b>5: Responsabilidad civil (RC)</b>                   | 0.5      | 0.25     | 0.25     | 0.25     | 1        |          |          |          |          |           |           |           |
| <b>6: Crédito</b>                                      | 0.25     | 0.25     | 0.25     | 0.25     | 0.5      | 1        |          |          |          |           |           |           |
| <b>7: Defensa jurídica</b>                             | 0.5      | 0.5      | 0.25     | 0.25     | 0.5      | 0.25     | 1        |          |          |           |           |           |
| <b>8: Asistencia</b>                                   | 0.25     | 0.5      | 0.5      | 0.5      | 0.25     | 0.25     | 0.25     | 1        |          |           |           |           |
| <b>9: Misceláneos</b>                                  | 0.5      | 0.5      | 0.5      | 0.5      | 0.5      | 0.5      | 0.5      | 0.5      | 1        |           |           |           |
| <b>10: Reaseguro no proporcional: Daños Materiales</b> | 0.25     | 0.25     | 0.25     | 0.5      | 0.25     | 0.25     | 0.25     | 0.5      | 0.25     | 1         |           |           |
| <b>11: Reaseguro no proporcional: RC</b>               | 0.25     | 0.25     | 0.25     | 0.25     | 0.5      | 0.5      | 0.5      | 0.25     | 0.25     | 0.25      | 1         |           |
| <b>12: Reaseguro no proporcional: MAT</b>              | 0.25     | 0.25     | 0.5      | 0.5      | 0.25     | 0.25     | 0.25     | 0.25     | 0.5      | 0.25      | 0.25      | 1         |

El volumen  $V$  se determina como:

$$V = V_{(prim,ramo)} + V_{(res,ramo)}$$

Para el caso de primas, tenemos los siguientes factores

$$\sigma_{(prim,ramo)} = \frac{F_{prim}}{3}$$

donde  $\sigma_{(prim,ramo)}$  es la desviación estándar de primas para cada ramo, y

$$F_{prim} = \frac{CE_{req}}{P_N}$$

donde

$F_{prim}$  = Factor sobre primas  
 $CE_{req}$  = Capital económico requerido neto de reaseguro  
 $P_N$  = Primas netas de reaseguro del periodo N

El capital económico se calcula como:

$$CE_{req} = Z_{0.995} - BE_{sim}$$

donde

$Z_{0.995}$  = Cuantil 99.5% de la distribución del producto de la frecuencia por la severidad obtenidos mediante simulaciones a través del método Montecarlo.

$BE_{sim}$  = Valor esperado de la distribución del producto de la frecuencia por severidad obtenidos mediante simulaciones a través del método Montecarlo.

El volumen para primas se determina como:

$$V_{(prim,ramo)} = \max (P_{ramo}^{t,emitida}, P_{ramo}^{t,devengada}, P_{ramo}^{t-1,emitida})$$

donde

$V_{(prim,ramo)}$  = Volumen de insuficiencia de prima para cada ramo

$P_{ramo}^{t,emitida}$  = Prima emitida del periodo t para cada ramo

$P_{ramo}^{t,devengada}$  = Prima devengada<sup>13</sup> en el periodo t para cada ramo

---

<sup>13</sup> De acuerdo con el diccionario MAPFRE de seguros, la prima devengada es aquella que corresponde al periodo estricto de seguro transcurrido durante el ejercicio en que se ha

$P_{\text{ramo}}^{t-1, \text{emitida}}$  = Prima emitida del periodo  $t - 1$  para cada ramo

Para el caso de reservas, tenemos los siguientes factores

$$\sigma_{(res, ramo)} = \frac{Fres}{3}$$

donde  $\sigma_{(res, ramo)}$  es la desviación estándar de reservas para cada ramo, y

$$Fres = \frac{Z_{0.995} - BE_p}{BE_p}$$

donde

Fres = Factor de reservas

BE<sub>p</sub> = Mejor estimador (Best estimate) de la reservas de siniestros ocurridos pendientes de pago

El volumen para reservas se determina como:

$$V_{(res, ramo)} = RSSP_{ramo}$$

donde

$V_{(res, ramo)}$  = Volumen de insuficiencia de reserva para cada ramo

RSSP<sub>ramo</sub> = Reserva técnica neta de los siniestros pendientes de pago para cada ramo

### 2.7.2 Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por caída de cartera

El cálculo de este submódulo es similar al caso de vida y de acuerdo a QIS5 este riesgo se origina como resultado de la cancelación del contrato antes de la fecha establecida o la renovación del contrato de acuerdo a las condiciones previamente acordadas en él.

El requerimiento de capital por riesgo de caída de cartera en el caso de seguro de daños se calcula como:

$$RCS_{\text{CaídaD}} = \max(CaídaD_{\text{Baja}}; CaídaD_{\text{Alza}}; CaídaD_{\text{Mas}})$$

donde

$$CaídaD_{\text{Baja}} = (\Delta NAV | \text{caída shock}_{\text{Baja}})$$

---

asumiendo la cobertura del riesgo. También se le conoce como prima consumida, ya que es aquella que corresponde proporcionalmente a un periodo de riesgo ya vencido.



$$CaídaD_{Alza} = (\Delta NAV | caídashock_{Alza})$$

$$CaídaD_{Mas} = (\Delta NAV | caídashock_{Mas})$$

y

RCS<sub>CaídaD</sub> = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de caída de cartera en el caso de seguros de daños

$\Delta NAV$  = Cambio en el valor neto de activos menos pasivos (capital)

Caída<sub>Baja</sub> = Capital requerido debido al riesgo de un decremento de las tasas de caída de cartera

Caída<sub>Alza</sub> = Capital requerido debido al riesgo de un incremento de las tasas de caída de cartera

Caída<sub>Mas</sub> = Capital requerido debido al riesgo de una caída masiva de cartera

caídashock<sub>Baja</sub> = Disminución en el nivel de las tasas de caída de cartera,

QIS5 considera un nivel de 50%

caídashock<sub>Alza</sub> = Incremento en el nivel de las tasas de caída de cartera,

QIS5 considera un nivel de 50%

caídashock<sub>Mas</sub> = Rescate de 30% de las pólizas que tengan reservas negativas

### 2.7.3 Submódulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo catastrófico

De acuerdo a *Solvency II Framework Directive*, el riesgo catastrófico se define como el riesgo de pérdidas o de cambios adversos en el valor de los pasivos por incertidumbres en el valor o en las hipótesis derivado de sucesos extremos.

Dentro del modelo general del requerimiento de capital de solvencia, específicamente en el modulo de daños, el cálculo de RCS por riesgo catastrófico es uno de los más extensos y complejos, pues considera una gran cantidad de riesgos y son los siguientes:

**Figura 3**

| CATÁSTROFES NATURALES | CATÁSTROFES OCASIONADAS POR EL HOMBRE |
|-----------------------|---------------------------------------|
| Hidrometeorológicos   | Incendio                              |
| Inundación            | Accidentes de tráfico                 |
| Terremoto             | Naval                                 |
| Granizo               | Aeronáutica                           |
| Hundimiento           | Responsabilidad Civil                 |
|                       | Crédito                               |
|                       | Terrorismo                            |

Fuente: *Elaboración propia con información tomada de QIS 5*

Este submódulo es complejo ya que para calcular el requerimiento de capital de solvencia será necesario utilizar matrices de correlación en donde se reconoce diferentes áreas geográficas (solo de países del continente europeo), además de tener de forma clara los programas de reaseguro de la compañía para estos riesgos.

## **2.8. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de activos intangibles**

Los activos intangibles se definen como un activo que no es de naturaleza física, pero que contribuye a la solvencia de la compañía. Es decir que bajo las especificaciones técnicas de QIS5 se toman en cuenta diversos riesgos, entre ellos, el riesgo reputacional y el riesgo por decisiones estratégicas que no se habían tomado en cuenta en el módulo de riesgo operacional.

De acuerdo a QIS5, los activos intangibles están sometidos a dos tipos de riesgos:

- El riesgo de mercado derivado de la disminución de los precios en el mercado y también de falta de liquidez inesperada, que puede resultar en un impacto sobre los precios que puedan impedir alguna transacción.
- Riesgos internos relativos a la naturaleza específica del activo, como aquellos riesgos vinculados con el proceso de finalización del activo o cualquier otra característica que afecte a los beneficios que se esperan obtener en un futuro, un claro ejemplo es el deterioro de la imagen pública de la empresa.

Algo que tenemos que tomar en cuenta en este módulo es que las normas de información financiera (NIF), también conocidas por sus siglas en inglés como IFRS, sobre los activos intangibles, son considerados como una buena aproximación, siempre y cuando los activos intangibles puedan contabilizarse y ser evaluados en su valor razonable. Además que los activos intangibles deben ser separables y debe haber una prueba que indique que pueden ser vendidos en el mercado.

El requerimiento de capital por riesgo de activos intangibles se calcula como:

$$RCS_{Int.} = 0.8 * AI$$

donde

$RCS_{Int.}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de activos intangibles

AI = Valor de los activos intangibles de acuerdo a QIS5

# Capítulo 3

## Módulo de requerimiento de capital de solvencia para riesgo de mercado

En este capítulo el lector podrá entender a detalle el cálculo del requerimiento de capital de solvencia para el riesgo de mercado de acuerdo con la metodología propuesta por solvencia II, el riesgo de mercado se encuentra estructurado en siete módulos, dentro de los cuales se encuentra el riesgo de tasa de interés, el cual es objeto de análisis en el presente trabajo.

Figura 4



Fuente: *Elaboración propia con información tomada de QIS 5*

### 3.1. Riesgo mercado

El riesgo de mercado es aquél que surge por la volatilidad de los precios de mercado de instrumentos financieros. La exposición al riesgo de mercado se mide por el impacto de los movimientos en el nivel de las variables financieras tales como precios de las acciones, tasas de interés, precios de inmuebles y tipos de cambio.

De acuerdo con los lineamientos emitidos por EIOPA y las especificaciones técnicas de QIS5, el módulo de riesgo de mercado se compone por los siguientes submódulos:

- Riesgo de tipo de cambio
- Riesgo accionario
- Riesgo inmobiliario
- Riesgo de spread
- Riesgo de concentración
- Riesgo de prima de iliquidez
- Riesgo de tasa de interés

A diferencia de los anteriores Estudios de Impacto Cuantitativo (QIS), de acuerdo a QIS5 se agrega el riesgo de prima de iliquidez además de que los submódulos se combinan entre sí bajo dos matrices de correlación y no solo de una matriz como se combinaban anteriormente.

Las matrices de correlación que se presentan a continuación toman en cuenta dos escenarios, la primera de ellas toma en cuenta si hay un shock al alza de las tasas de interés y la segunda de ellas si hay un shock a la baja de tasas de interés.

Los submódulos de riesgo de mercado se combinan entre sí usando las siguientes matrices de correlación entre riesgos:

| <i>CorrMdo Alza</i>       | <i>RCS<sub>Int</sub></i> | <i>RCS<sub>Acc</sub></i> | <i>RCS<sub>Inm</sub></i> | <i>RCS<sub>Sp</sub></i> | <i>RCS<sub>Tc</sub></i> | <i>RCS<sub>Conc</sub></i> | <i>RCS<sub>Pi</sub></i> |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <i>RCS<sub>Int</sub></i>  | 1                        |                          |                          |                         |                         |                           |                         |
| <i>RCS<sub>Acc</sub></i>  | 0                        | 1                        |                          |                         |                         |                           |                         |
| <i>RCS<sub>Inm</sub></i>  | 0                        | 0.75                     | 1                        |                         |                         |                           |                         |
| <i>RCS<sub>Sp</sub></i>   | 0                        | 0.75                     | 0.5                      | 1                       |                         |                           |                         |
| <i>RCS<sub>Tc</sub></i>   | 0.25                     | 0.25                     | 0.25                     | 0.25                    | 1                       |                           |                         |
| <i>RCS<sub>Conc</sub></i> | 0                        | 0                        | 0                        | 0                       | 0                       | 1                         |                         |
| <i>RCS<sub>Pi</sub></i>   | 0                        | 0                        | 0                        | -0.5                    | 0                       | 0                         | 1                       |

| <i>CorrMdo<br/>Baja</i>   | <i>RCS<sub>Int</sub></i> | <i>RCS<sub>Acc</sub></i> | <i>RCS<sub>Inm</sub></i> | <i>RCS<sub>Sp</sub></i> | <i>RCS<sub>Tc</sub></i> | <i>RCS<sub>Conc</sub></i> | <i>RCS<sub>Pi</sub></i> |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <i>RCS<sub>Int</sub></i>  | 1                        |                          |                          |                         |                         |                           |                         |
| <i>RCS<sub>Acc</sub></i>  | 0.5                      | 1                        |                          |                         |                         |                           |                         |
| <i>RCS<sub>Inm</sub></i>  | 0.5                      | 0.75                     | 1                        |                         |                         |                           |                         |
| <i>RCS<sub>Sp</sub></i>   | 0.5                      | 0.75                     | 0.5                      | 1                       |                         |                           |                         |
| <i>RCS<sub>TC</sub></i>   | 0.25                     | 0.25                     | 0.25                     | 0.25                    | 1                       |                           |                         |
| <i>RCS<sub>Conc</sub></i> | 0                        | 0                        | 0                        | 0                       | 0                       | 1                         |                         |
| <i>RCS<sub>Pi</sub></i>   | 0                        | 0                        | 0                        | -0.5                    | 0                       | 0                         | 1                       |

El requerimiento de capital por riesgo de mercado se obtiene aplicando las matrices anteriores a cada uno de los requerimientos de capital individuales, utilizando la siguiente expresión:

$$RCS_{Mdo} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sum_{rxc} CorrMdo\_Alza_{r,c} * Mdo_{alza,r} * Mdo_{alza,c}} \\ \sqrt{\sum_{rxc} CorrMdo\_Baja_{r,c} ** Mdo_{baja,r} * Mdo_{baja,c}} \end{array} \right\}$$

donde

$RCS_{Mdo}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de mercado

$CorrMdo\_Alza_{r,c}$  = Celdas de la matriz de correlación  $CorrMdo\_Alza$

$CorrMdo\_Baja_{r,c}$  = Celdas de la matriz de correlación  $CorrMdo\_Baja$

$Mdo_{alza,r}, Mdo_{alza,c}$  = Requerimientos de capital individuales de acuerdo con la matriz de correlación  $CorrMdo\_Alza$

$Mdo_{baja,r}, Mdo_{baja,c}$  = Requerimientos de capital individuales de acuerdo con la matriz de correlación  $CorrMdo\_Baja$

A continuación se describe cada uno de los riesgos individuales que integran el requerimiento de capital por riesgo de mercado.

### 3.1.1. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo accionario

El riesgo accionario se desprende de la volatilidad de los precios del mercado de acciones o títulos indexados a canastas de acciones. La exposición al riesgo accionario, se refiere a todos los activos y pasivos, cuyo valor es sensible a cambios en el precio de las acciones.

En el riesgo accionario se utilizan índices como aproximaciones, lo que implica asumir que la volatilidad deriva de dichos índices y que cualquier tipo de acción va a estar representada por un por portafolio que replica al mercado.

Para el cálculo del requerimiento por riesgo accionario, QIS5 contempla dos índices:

#### 1. Índice Global

El Índice Global comprende todas aquéllas instrumentos accionarios que cotizan en el mercado doméstico y que tienen asociado un índice de cotizaciones, el análogo a este índice en el caso mexicano correspondería al Índice de Precios y Cotizaciones de la Bolsa Mexicana de Valores (IPC). En el caso de los países europeos el índice global se representa por un índice compuesto por los índices accionarios de los países miembros de EIOPA o países miembros de la OCDE.

#### 2. Índice Otros

El índice Otros comprende los mercados emergentes (desde el punto de vista de los países miembros de EIOPA) o bien Mercados Foráneos o Extranjeros (en el caso de México inversiones en acciones de mercados extranjeros), Acciones no listadas (acciones no bursátiles) e inversiones accionarias alternativas.

El requerimiento de capital por riesgo accionario para el índice  $i$ , se determina como:

$$Mdo_{Acc,i} = \text{máx}(\Delta NAV | \text{Shock Accionario}; 0)$$

El modelo anterior implica asumir escenarios de estrés para cada uno de los índices, determinándose factores estresados que serán aplicados a las posiciones accionarias que mantenga cada una de las instituciones de seguros.

El *Shock Accionario* representa la caída en el valor del índice  $i$  en función del nivel de confianza y la desviación estándar del índice  $i$ , en el caso del proyecto de Solvencia II, el nivel de confianza se ha fijado en 99.5%.

En particular, QIS5 determina para los dos índices anteriores los siguientes factores:

- Índice Global = 30%
- Índice Otros = 40%

El requerimiento de capital total por riesgo accionario se determina mediante la siguiente expresión:

$$RCS_{Acc} = \sqrt{\sum_{rxc} CorrInd_{rxc} * Mdo_r * Mdo_c}$$

donde

$CorrInd_{rxc}$  = Celdas de la matriz de correlación  $CorrInd$  entre los índices accionarios

$Mdo_r, Mdo_c$  = Requerimiento de capital individuales para los riesgos de cada índice accionario de acuerdo con la matriz  $Corr Ind$ .

La matriz de correlación  $CorrInd$  entre los índices que se toman en cuenta para el riesgo accionario, está definida como:

| <i>CorrInd</i> | <i>Global</i> | <i>Otros</i> |
|----------------|---------------|--------------|
| <i>Global</i>  | 1             |              |
| <i>Otros</i>   | 0.75          | 1            |

### 3.1.2. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de tipo de cambio

El riesgo de tipo de cambio es aquél que surge del nivel de volatilidad de los tipos de cambio de las divisas, con respecto a la moneda funcional de la entidad.

De acuerdo con los lineamientos establecidos por EIOPA en QIS5, el requerimiento de capital por riesgo de tipo de cambio se determina de acuerdo a dos posibles escenarios:

$$RCS_{TC}^{Alza} = \text{máx}(\Delta NAV | Shock Alza; 0)$$

$$RCS_{TC}^{Baja} = \text{máx}(\Delta NAV | Shock Baja; 0)$$

Lo anterior implica determinar el impacto que tendrá el capital debido al alza o la baja en el tipo de cambio, a partir de un escenario de estrés o shock adverso.

El *Shock Alza* y *Shock Baja* representan el efecto inmediato sobre el valor neto de los activos y pasivos que se espera en caso de una caída o aumento instantáneo del 25% en el tipo de cambio.

### **3.1.3. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo inmobiliario**

El riesgo inmobiliario es aquél que surge del nivel de volatilidad de los precios del mercado de inmuebles.

Las siguientes inversiones deben ser consideradas como propiedades por lo que serán considerados para el cálculo de este módulo:

- Terrenos, edificios y derechos de propiedad inmobiliaria.
- Participaciones directas o indirectas en bienes raíces que generen ingresos periódicamente o que sean destinados con propósitos de inversión.
- Inversión en propiedades para uso propio de la compañía.

De acuerdo al modelo propuesto por EIOPA en QIS5, el requerimiento de capital por cambios en el precio de los inmuebles está dado por:

$$RCS_{Imm} = \text{máx}(\Delta NAV | \text{Shock Inmobiliario}; 0)$$

El *Shock Inmobiliario* representa el efecto inmediato sobre el valor neto de los activos y pasivos que se espera en caso de una caída instantánea del 25% en el precio de los inmuebles.

Para medir el impacto en el capital resulta necesario contar con información de del sector inmobiliario, lo más adecuado sería contar con índices que describan el desempeño de este mercado, sometiendo su comportamiento a condiciones de estrés.

En México la legislación permite que las instituciones de seguros puedan mantener como parte de sus activos inversiones en inmuebles. Existe un índice desarrollado por Sociedad Hipotecaria Federal a partir de información de avalúos para vivienda residencial, sin embargo, dicho índice no refleja la situación real de compra-venta entre particulares, asimismo, la cartera inmobiliaria de las aseguradoras y afianzadoras incluyen activos tan diversos como terrenos, edificios, oficinas corporativas, entre otros, para los cuales resulta muy difícil estimar la volatilidad en el precio estos activos a partir del precio de mercado.



Una posible solución consistiría en elaborar índices propios a través de avalúos que las mismas instituciones llevan a cabo con motivo de actualizar el registro contable de los inmuebles.

### 3.1.4. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de spread

El riesgo de spread se origina en los instrumentos financieros como resultado de la volatilidad del diferencial del spread de crédito en relación con la estructura temporal de tasas libre de riesgo. Refleja el cambio en el valor del activo debido a movimientos en la curva crediticia con respecto a la curva libre de riesgo.

Como resultado de lo anterior, los bonos gubernamentales o bien aquellos bonos respaldados por el gobierno federal, se encuentran excluidos de este módulo.

El módulo por riesgo de Spread se aplica en particular para las siguientes clases de bonos:

- Bonos corporativos con calificación de grado de inversión
- Bonos corporativos con calificación superior a grado de inversión
- Deuda subordinada
- Deuda híbrida

De acuerdo a las especificaciones técnicas de QIS5, el requerimiento de capital por riesgo de spread se determina como:

$$RCS_{Sp} = RCS_{Sp}^{Bonos} + RCS_{Sp}^{Estr} + RCS_{Sp}^{DC}$$

donde

$RCS_{Sp}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de spread

$RCS_{Sp}^{Bonos}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de spread de bonos

$RCS_{Sp}^{Estr}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de spread de productos estructurados de crédito<sup>14</sup>

$RCS_{Sp}^{DC}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por derivados de crédito

De acuerdo a QIS5, el requerimiento de capital por riesgo de spread de bonos se calcula como:

$$RCS_{Sp}^{Bonos} = \text{máx}(\Delta NAV | Shock Spread_{Bonos}; 0)$$

<sup>14</sup> Por Productos Estructurados de crédito: Se refiere al conjunto de instrumentos que combinan características de deuda con flujos, cupones, valor de redención, etc., ligados a una o varias variables (por ejemplo, tasa de interés, tipo de cambio, índices accionarios, mercancías) y que pueden incluir también algún derivado.

El  $Shock\ Spread_{Bonos}$  representa el efecto inmediato sobre el valor neto de los activos y pasivos que se espera en caso de una caída en los precios de los bonos y se calcula de la siguiente forma:

$$\sum_i VM_i * duracion_i * F(rating_i)$$

donde

$VM_i$  = Valor de mercado de la exposición del riesgo de crédito i  
 $duracion_i$  = La duración de la exposición del riesgo de crédito i  
 $F(rating_i)$  = Función del rating para la exposición de riesgo de crédito i, calibrada al 99.5% de confianza

Los valores de la función F se encuentran determinados por:

| Rating <sub>i</sub> | F(rating <sub>i</sub> ) |
|---------------------|-------------------------|
| AAA                 | 0.9%                    |
| AA                  | 1.1%                    |
| A                   | 1.4%                    |
| BBB                 | 2.5%                    |
| BB                  | 4.5%                    |
| B ó menor           | 7.5%                    |
| Sin Rating          | 3.0%                    |

Por otra parte, el requerimiento de capital de solvencia por riesgo de spread de productos estructurados de crédito se determina como resultado de dos escenarios ya establecidos previamente en las especificaciones técnicas de QIS5, el requerimiento de capital que se tomará será el máximo entre los dos escenarios.

El primero de ellos es un escenario donde se presenta un shock sobre el valor neto de los activos por la ampliación de spreads subyacentes, donde se podrá ver el efecto de una caída instantánea en el valor de productos estructurados, y se determina de la siguiente forma:

$$RCS_{Sp,Suby.}^{Estr} = \sum VM_i * \left( \frac{G(distRating_i, ant_i) - union_i}{separacion_i - union_i} \right)$$

donde

$RCS_{Sp,Suby.}^{Estr}$  = Requerimiento de capital por riesgo de spread subyacente  
 $VM_i$  = Valor de mercado de la exposición del riesgo de crédito i  
 $ant_i$  = Promedio de antigüedad de los activos  
 $union_i$  = Punto de unión de los pagos

$separacion_i$  = Punto de separación de los pagos  
 $G(distRating_i, ant_i)$  = Función del rating y la antigüedad para la exposición de riesgo de crédito  $i$ , calibrada al 99.5% de confianza

Los valores de la función  $G$  se encuentran determinados por:

| $G(distRating_i, ant_i)$ | AAA  | AA   | A     | BBB   | BB    | B     | CCC ó menor | Sin rating |
|--------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|
| 0 a 2 años               | 0.4% | 0.9% | 2.8%  | 5.3%  | 14.6% | 31.1% | 52.7%       | 6.3%       |
| 2 a 4 años               | 0.8% | 1.7% | 4.9%  | 9.6%  | 23.9% | 44.8% | 66.6%       | 11.4%      |
| 4 a 6 años               | 1.2% | 2.8% | 6.5%  | 13.1% | 30.1% | 51.2% | 70.7%       | 15.7%      |
| 6 a 8 años               | 1.8% | 4.1% | 8.4%  | 16.4% | 35.3% | 55.0% | 72.6%       | 19.6%      |
| 8 años o mas             | 2.4% | 5.3% | 10.3% | 19.6% | 39.3% | 57.8% | 73.5%       | 23.5%      |

El segundo de los escenarios se le conoce como Shock directo y es semejante al cálculo del requerimiento de capital por riesgo de spread de bonos, Se determina de la siguiente forma:

$$\sum_i VM_i * duracion_i * F'(rating_i)$$

donde

$VM_i$  = Valor de mercado de la exposición del riesgo de crédito  $i$   
 $duracion_i$  = La duración de la exposición del riesgo de crédito  $i$   
 $F'(rating_i)$  = Función del rating para la exposición de riesgo de crédito  $i$ , calibrada al 99.5% de confianza

Los valores de la función  $F'$  se encuentran determinados por:

| Rating <sub><math>i</math></sub> | F(rating <sub><math>i</math></sub> ) |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| AAA                              | 0.9%                                 |
| AA                               | 1.1%                                 |
| A                                | 1.4%                                 |
| BBB                              | 2.5%                                 |
| BB                               | 6.75%                                |
| B ó menor                        | 11.25%                               |
| Sin Rating                       | 3.0%                                 |

Por último, el requerimiento de capital de solvencia por riesgo por derivados de crédito es calculado, según las especificaciones técnicas, de acuerdo a los siguientes escenarios:

$$RCS_{Sp,alza}^{DC} = \text{máx}(\Delta NAV | Shock | DC Alza ; 0)$$

$$RCS_{Sp,baja}^{DC} = \text{máx}(\Delta NAV | Shock DC Baja ; 0)$$

### 3.1.5. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de concentración

El riesgo de concentración es restringido por EIOPA como aquél riesgo relacionado con la acumulación de exposiciones con la misma contraparte, es decir, concentración por emisor. No contempla concentración por área geográfica, sector de actividad económica, tipo de valor, etc.).

El alcance de este submódulo se extiende a los activos considerados en los submódulos de riesgo accionario, riesgo de spread y riesgo inmobiliario, además de excluir a los activos cubiertos en módulo de riesgo de contraparte con el fin de evitar cualquier coincidencia entre ambos elementos del cálculo estándar del Requerimiento de Capital de Solvencia.

El requerimiento de capital por riesgo de concentración se encuentra definido por la siguiente expresión:

$$RCS_{Conc} = \sqrt{\sum_i (Conc_i^2)}$$

donde

$RCS_{Conc}$  = Requerimiento de Capital de Solvencia por riesgo de concentración

$Conc_i$  = Concentración de activos del emisor i

La concentración de activos por cada emisor se calcula de la siguiente forma:

$$Conc_i = \Delta NAV | Shock Concentración$$

El *Shock Concentración* representa el efecto inmediato sobre el valor neto de los activos y pasivos que se espera en caso de una caída instantánea de los valores de  $XS_i * g_i$ , donde  $XS_i$  es el exceso de exposición del emisor y  $g_i$  es un parámetro que depende del rating crediticio de la contraparte.

Por lo que para simplificar la concentración la calculamos como:

$$Conc_i = Activos_i * XS_i * g_i$$

donde

Activos<sub>i</sub> = Monto total de activos del emisor i considerados en el riesgo de concentración

XS<sub>i</sub> = Exceso de exposición del emisor i

g = Función que depende del rating crediticio de la contraparte

El exceso de exposición XS<sub>i</sub> se calcula como:

$$XS_i = \max \left\{ 0 ; \frac{E_i}{Activos_i} - UC \right\}$$

Donde E<sub>i</sub> corresponde a la exposición de activos del emisor i; además de UC que corresponde al Umbral de Concentración, el cual depende del rating crediticio de la contraparte i.

| Rating <sub>i</sub> | Umbral de concentración (UC) |
|---------------------|------------------------------|
| AA - AAA            | 3%                           |
| A                   | 3%                           |
| BBB                 | 1.5%                         |
| BB ó menor          | 1.5%                         |

La función g se determina como sigue:

| Rating <sub>i</sub> | g    |
|---------------------|------|
| AAA                 | 0.12 |
| AA                  | 0.12 |
| A                   | 0.21 |
| BBB                 | 0.27 |
| BB ó menor          | 0.73 |

En el caso de contrapartes que no estén en los ratings se utilizará un parámetro  $g_i = 0.73$ .

Hasta ahora solo se ha mostrado el cálculo del submódulo de riesgo de concentración para activos financieros, para el caso de riesgo de concentración de inmuebles se aplicará la metodología utilizada anteriormente con la

diferencia de que el parámetro  $g$  será igual al 12%, y solo se determinan las exposiciones aun solo inmueble superiores al 10% del total de los activos considerados en este submódulo.

### **3.1.6. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de prima de iliquidez**

De acuerdo a las especificaciones de QIS5 el riesgo de prima de iliquidez está definido como al efecto o riesgo que tienen los activos financieros por el hecho de no ser líquidos.

En este caso se podría presentar este riesgo al aumentar las reservas técnicas o provisiones técnicas debido a la disminución en la prima de iliquidez.

De acuerdo al modelo propuesto por EIOPA en QIS5, el requerimiento de capital para prima de iliquidez está dado por:

$$RCS_{pi} = \text{máx}(\Delta NAV | \text{Shock Iliquidez}; 0)$$

El *Shock Iliquidez* representa el efecto inmediato sobre el valor neto de los activos y pasivos que se espera en caso de una caída instantánea del 65% de la prima de iliquidez observado en el mercado.

En el estudio de impacto cuantitativo anterior, QIS4, el submódulo de prima de iliquidez no fue considerado para el cálculo del modulo de riesgo de mercado y en general para calcular el requerimiento bruto de capital de solvencia. Se puede considerar que este submódulo es uno de los más complicados en la manera de medir el riesgo.

En marzo de 2010, EIOPA publica un informe<sup>15</sup> complementario en donde se pone en cuestión la prima de iliquidez y por otra parte algunas opiniones sobre la aplicación de dicha prima, esto con el fin de aclarar todo lo que implica el cálculo de la prima y que se debe considerar para poder medir este riesgo.

---

<sup>15</sup> Task Force Report on the Liquidity Premium, EIOPA, marzo 2010

### 3.1.7. Módulo de requerimiento de capital de solvencia por riesgo de tasa de interés

El riesgo de tasa de interés se encuentra en todos aquéllos activos y pasivos para los cuales su valuación es sensible a variaciones en la estructura temporal de tasas de interés o en la volatilidad de las tasas.

Las inversiones de renta fija, instrumentos de financiamiento como los préstamos de capital, prestamos con el valor de rescate de la póliza como garantía, derivados de tasa de interés y cualquier activo asegurable se consideran sensibles a las variaciones de tasa de interés.

El valor de los activos y pasivos sensibles a cambios en la tasa de interés se puede determinar usando la estructura temporal de tasas de interés (zero rates), la cual establece la relación entre los tipos de interés proporcionado por activos libres de riesgo y sus diferentes plazos.

Esta estructura puede por supuesto cambiar a lo largo de un año.

El requerimiento de capital por riesgo de tasa de interés está determinado por los siguientes escenarios:

$$RCS_{Int}^{Alza} = \Delta NAV | Shock Alza$$

$$RCS_{Int}^{Baja} = \Delta NAV | Shock Baja$$

Donde  $\Delta NAV | Shock Alza$  y  $\Delta NAV | Shock Baja$  representan los cambios en el valor neto de activos y pasivos dado una revalorización de todos los instrumentos sensibles a cambios en la tasa de interés utilizando una estructura temporal de tasas bajo condiciones de estrés.

La estructura temporal de tasas estresada se obtiene multiplicando la actual curva de rendimientos por  $(1 + s^{Alza})$  y  $(1 + s^{Baja})$  donde el estrés a la Alza ( $s^{Alza}$ ) y el estrés a la baja ( $s^{Baja}$ ) se propone de acuerdo a lo siguiente:

| Vencimiento en años | $s^{Alza}$ | $s^{Baja}$ | Vencimiento en años | $s^{Alza}$ | $s^{Baja}$ |
|---------------------|------------|------------|---------------------|------------|------------|
| <b>0.25</b>         | 0.7        | -0.75      | <b>13</b>           | 0.35       | -0.28      |
| <b>0.5</b>          | 0.7        | -0.75      | <b>14</b>           | 0.34       | -0.28      |
| <b>1</b>            | 0.7        | -0.75      | <b>15</b>           | 0.33       | -0.27      |
| <b>2</b>            | 0.7        | -0.65      | <b>16</b>           | 0.31       | -0.28      |
| <b>3</b>            | 0.64       | -0.56      | <b>17</b>           | 0.30       | -0.28      |
| <b>4</b>            | 0.59       | -0.50      | <b>18</b>           | 0.29       | -0.28      |
| <b>5</b>            | 0.55       | -0.46      | <b>19</b>           | 0.27       | -0.29      |
| <b>6</b>            | 0.52       | -0.42      | <b>20</b>           | 0.26       | -0.29      |
| <b>7</b>            | 0.49       | -0.39      | <b>21</b>           | 0.26       | -0.29      |
| <b>8</b>            | 0.47       | -0.36      | <b>22</b>           | 0.26       | -0.30      |
| <b>9</b>            | 0.44       | -0.33      | <b>23</b>           | 0.26       | -0.30      |
| <b>10</b>           | 0.42       | -0.31      | <b>24</b>           | 0.26       | -0.30      |
| <b>11</b>           | 0.39       | -0.30      | <b>25</b>           | 0.26       | -0.30      |
| <b>12</b>           | 0.37       | -0.29      | <b>30</b>           | 0.25       | -0.30      |

En el caso mexicano en primera instancia tendríamos que obtener la curva libre de riesgo para cada plazo o nodo y posteriormente encontrar los factores a la alza y a la baja como las del cuadro anterior. Para finalmente, traer a valor presente la posición en activos y pasivos que corresponda a cada vencimiento para poder calcular el Requerimiento de Capital de Solvencia.

El modelo anterior supone implícitamente un requerimiento de capital por el calce entre activos y pasivos.

Como puede observarse, EIOPA no propone un modelo específico, más bien emite un lineamiento general basado en la consideración del posible impacto que tendrá en la institución un escenario adverso en el desempeño de las tasas de interés, es decir, cómo se vería afectada la solvencia de la institución debido a un incremento o disminución significativos en las tasas.

Es importante hacer mención que en el caso mexicano, estas tasas serán diferentes por el entorno económico y financiero totalmente distinto al que se vive en Europa actualmente, es por ello que las entidades aseguradoras en México tendrán que trabajar en modelos que se adecuen a la experiencia de nuestro país.

En el siguiente capítulo, se expondrá con mayor detalle un método para la obtención de la curva libre de riesgo por medio de la estructura temporal de los tipos de interés, no sin antes mostrar la evolución de dichos modelos y explicar la parte teórica de ellos, en especial del modelo de Vasicek que será una herramienta importante para hallar los factores para el caso de México en este módulo de requerimiento de capital de solvencia.



# Capítulo 4

## Marco teórico para la elaboración de la propuesta de modelo de riesgo de tasa de interés

En nuestro afán de una mayor comprensión del mundo en el que vivimos, el rol que juegan las técnicas matemáticas y estadísticas ha demostrado ser de suma utilidad para tal propósito.

El modelar una realidad económica o financiera no ha sido ajena al uso de esas técnicas, pudiéndonos remontar varios siglos atrás donde grandes pensadores fueron pioneros en introducir dichas técnicas, dando lugar a una rama de la economía llamada economía matemática.

En la teoría económica actual, el uso de las matemáticas es imprescindible, en específico la herramienta matemática del cálculo estocástico que es la base de la modelación y del análisis de los procesos de las tasas de interés en los mercados financieros hoy en día.

Dentro de los mercados financieros, teóricamente los modelos comúnmente utilizados para modelar el precio de activos involucran un concepto denominado Movimiento Browniano.

Para explicar a fondo el tema del Movimiento Browniano es necesario profundizar en temas relacionados con procesos estocásticos y cálculo estocástico, sin embargo, el objetivo de este trabajo consiste en aplicar un modelo para encontrar los factores que permitan determinar el requerimiento de capital por riesgo de tasa de interés y no exponer la teoría matemática rigurosamente; no obstante, resulta importante para el lector conocer algunos aspectos que subyacen al movimiento browniano y que presentamos a continuación.

## 4.1 Movimiento Browniano

### 4.1.1 Marco histórico

En el año de 1827, Robert Brown, un reconocido botánico escocés, observó que el movimiento de una partícula de polen sumergida en el agua, consecuencia de la difusión termal de las moléculas de agua que se mueven incesantemente y bombardean la partícula, sea en un zigzag aleatorio.

El primero en describir cuantitativamente al movimiento Browniano fue Louis Bachelier en 1900 en su tesis doctoral *Théorie de la speculation* donde realizó un análisis estocástico de los precios de las acciones del mercado y donde establece que las variaciones de los precios especulativos se distribuyen de manera gaussiana. Este descubrimiento de Bachelier de aplicar el movimiento browniano a la variación de los precios especulativos, fue hecho décadas antes de que se desarrollara una teoría matemática del mismo, e incluso antes de que los físicos descubrieran su importancia en el movimiento de las pequeñas partículas en suspensión.

De manera independiente, Albert Einstein en 1905 constituyó la prueba irrefutable de la teoría molecular además de establecer el carácter gaussiano de las variables implicadas. Sin embargo una formulación matemática rigurosa del mismo no fue dada hasta una década más tarde por Norbert Wiener.

En consecuencia este proceso estocástico es conocido por el nombre de proceso de Wiener o Movimiento Browniano en la literatura moderna, lo que explica que comúnmente sea denotado por  $\mathcal{W}(t)$ . Desde entonces ha habido grandes avances en el estudio de las propiedades y las aplicaciones de este movimiento, en la actualidad comprenden problemas como el movimiento de partículas en los fluidos, el precio de instrumentos financieros, problemas de difusión de calor, etc.

El trabajo de Bachelier contenía ideas cuya maduración y consolidación teórica tuvo que esperar a los trabajos fundamentales de matemáticos como Paul Levý, Andrey Nikolaevich Kolmogorov, Joseph Leo Doob, Kiyosi Itô y Paul-André Meyer, en un periodo que va desde los años veinte hasta los años sesenta del siglo XX, trabajos de una elevada dificultad matemática lo que también contribuyó a su difusión retardada entre los economistas.

Fisher Black y Myron Scholes, con la ayuda de Robert Merton, haciendo uso de diversos modelos probabilísticos y con las nuevas técnicas de análisis del cálculo estocástico, obtuvieron a principios de los años 70 una fórmula para la determinación de los precios de las opciones.

Mediante un procedimiento se construye una hipotética cartera de valores en la que los riesgos de los activos que forman dicha cartera, acciones y opciones en

este caso, se neutralizan. El rendimiento de dicha cartera exenta de riesgo se puede igualar a la de un activo libre de riesgo. A partir de dicho procedimiento se deriva la fórmula de Black - Scholes, fundamental hoy día para la valoración de algunos tipos de opciones. Gracias a estos trabajos, en 1997 se hicieron merecedores del Premio Nobel de Economía.

#### 4.1.2 Definición formal

Sea  $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$  un espacio de probabilidad fijo, el movimiento Browniano (estándar y unidimensional) es una función

$$W : [0, \infty) \times \Omega \rightarrow \mathbb{R}$$

tal que para cada  $t \geq 0$ , la función

$$W(t, \cdot) : \Omega \rightarrow \mathbb{R}$$

es una variable aleatoria definida en  $(\Omega, \mathcal{F})$ . Mientras que para cada  $\omega \in \Omega$  la función

$$W(\cdot, \omega) : \Omega \rightarrow \mathbb{R}$$

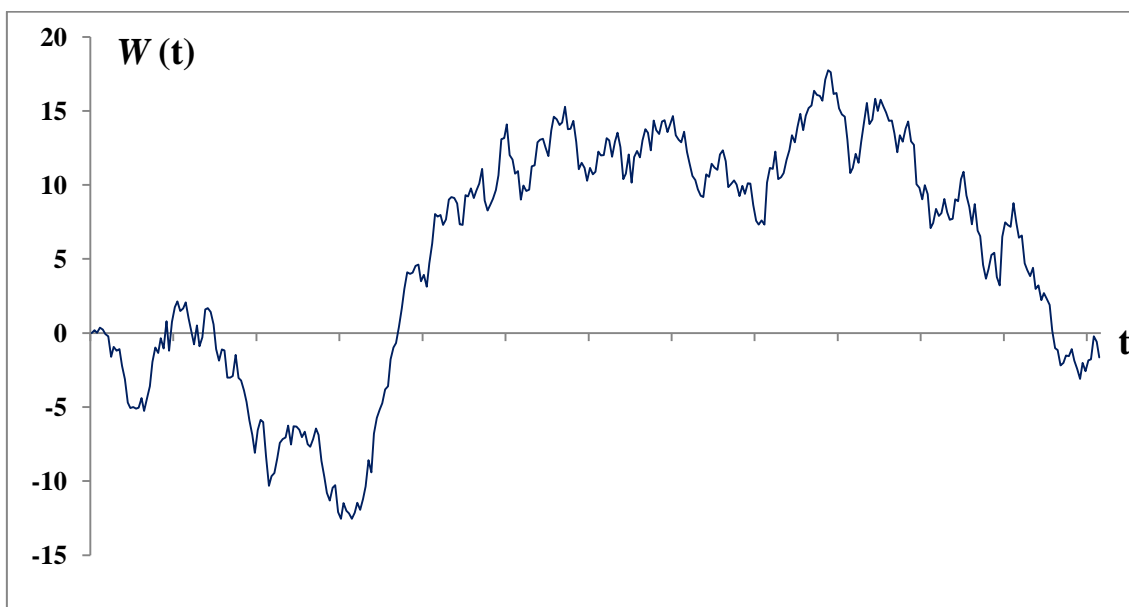
es continua en  $[0, \infty)$ . La familia de variables  $W(t, \cdot)$  es denotada comúnmente como  $\{W_t\}_{t \geq 0}$  y las funciones  $W(\cdot, \omega)$  son llamadas trayectorias y se denotan por  $\omega(t)$ .

La familia  $\{W_t\}_{t \geq 0}$  satisface adicionalmente las siguientes condiciones:

- a)  $W(0) = 0$  y  $W(t)$  es continuo como función del tiempo  $t$ , es decir,  $\{W_t\}_{t \geq 0}$  tiene trayectorias continuas.
- b)  $\{W_t\}_{t \geq 0}$  tiene incrementos independientes y estacionarios, es decir, para todo  $n$  en los números naturales y para todo  $0 \leq t_1 < t_2 < \dots < t_n$ , las variables  $W_{t_1} - W_{t_0}, W_{t_2} - W_{t_1}, \dots, W_{t_n} - W_{t_{n-1}}$  son variables aleatorias independientes y para cualquier par de tiempos  $t$  y  $s$  con  $0 \leq s < t$ , se tiene que  $W(t+s) - W(s)$  y  $W(t)$  son idénticamente distribuidas.
- c) Para todo  $t \geq 0$ ,  $W(t) \sim N(0, t)$ .

A manera de ejemplo, la siguiente gráfica muestra la construcción de una trayectoria de un movimiento browniano, donde  $W(t) \sim N(0,1)$ .

**Gráfica 1**



Fuente: *Elaboración propia*

Aun cuando el movimiento Browniano es una de las bases en la construcción de los modelos de riesgos financieros y económicos, éste no puede, por sí mismo, representar el comportamiento de todas las variables financieras que se encuentran en finanzas. Los precios de los activos, por ejemplo, no son descritos apropiadamente por el movimiento browniano estándar, ya que los precios no parten de cero. Sus incrementos podrían tener medias distintas de cero, o bien, podrían tener varianzas que no son necesariamente proporcionales al tiempo. En general, los precios de los activos comienzan en valores diferentes de cero, tienen incrementos con medias distintas de cero, varianzas que no son proporcionales al tiempo y covarianzas distintas de cero.

#### **4.2 El cálculo estocástico y la ecuación diferencial estocástica**

El cálculo estocástico se basa en el concepto de la integral estocástica, es decir, la construcción de una integral en la que el término con respecto al que integramos es un proceso estocástico, que normalmente el papel de integrador es jugado por un movimiento browniano estándar.

Históricamente, el concepto de integral para el caso en que el integrador es un movimiento browniano cuando el integrando es un conjunto de funciones aleatorias con determinadas propiedades, fue desarrollado por Kiyosi Itô en 1944 en un artículo titulado *Stochastic Integral* publicado en los *Proceedings* de la Academia Imperial de Tokio, aunque como Albert Shiryaev constata y el propio Itô reconoce, el primero en definir la integral estocástica fue N. Wiener en 1934 para integrandos no aleatorios suaves y de cuadrado integrable.

Otro concepto importante es el de la ecuación diferencial estocástica<sup>16</sup>, donde básicamente es una generalización del concepto de ecuación diferencial ordinaria. La ecuación diferencial estocástica es un modelo en el que la variación del tiempo continuo, o diferencial, de la variable dependiente de la ecuación diferencial, se descompone en la parte de variación debido al tiempo, lo que corresponde a una ecuación diferencial ordinaria y por otro lado la parte debida a la variación en tiempo continuo de un movimiento browniano. Por ésta última parte se le da el calificativo de estocástica a la ecuación diferencial.

La forma general de una ecuación diferencial estocástica de primer orden<sup>17</sup> es la siguiente:

$$dX_t = f(t, X_t) + g(t, X_t)dW_t$$

donde  $X_t$  es el proceso incógnita,  $W_t$  es el movimiento browniano o proceso de Wiener, y  $f(t, x)$  y  $g(t, x)$  son funciones reales llamados los coeficientes de la ecuación.

### 4.3 Modelos de reversión a la media

Los procesos con reversión a la media son usados cotidianamente en el ámbito financiero, en general son usados ampliamente en los modelos de tasas de interés y en particular lo usan al modelar el comportamiento de los precios de *commodities*.<sup>18</sup>

Uno de los modelos más populares es el modelo de Vasicek, el cual es fundamental para el desarrollo de este trabajo.

Los procesos de reversión a la media son naturalmente atractivos para modelar precios (tasas de interés), ya que sostienen el argumento económico que cuando los precios son demasiado altos, la demanda se reducirá y la oferta aumentará, produciendo un efecto de contrapeso. Cuando los precios son

---

<sup>16</sup> Valderas, Juan Manuel; Alba, José; Olmedo Elena. Modelización estocástica en los mercados financieros: Un puente entre lo simple y lo complejo, Universidad de Sevilla, España.

<sup>17</sup> Alabert, Aureli. Introducción a las Ecuaciones Diferenciales, Universidad Autónoma de Barcelona, España.

<sup>18</sup> Los commodities se clasifican en dos grandes grupos: Commodities tradicionales y Commodities Financieros, los tradicionales son aquellos que contienen las materias primas o productos a granel (Agrícolas, productos energéticos, metales preciosos, etc.) y que se caracterizan por ser productos de fabricación, disponibilidad y demanda mundial. Por su parte los commodities financieros surgen al presentarse el crecimiento de la actividad en las bolsas, un commodity financiero es todo aquello que sea subyacente en un contrato de futuros de una bolsa de commodities establecida, prácticamente cualquier cosa pueda ser un commodity, entre los commodities financieros se encuentran: bonos de 30 años, eurodólares, los índices como el Dow Jones, el Nasdaq100 e incluso de monedas, como la libra, el euro y el peso mexicano.

demasiado bajos ocurrirá lo contrario, empujando a los precios a la media en un largo plazo.

La definición anterior es un ejemplo de una idea más cualitativa que cuantitativa pero se puede encontrar otras definiciones donde se da mucho peso a conceptos matemáticos introduciendo algo de rigurosidad en la clasificación de los procesos con ésta dinámica

#### **4.4 Modelos de tasa de interés**

Los modelos de tasas de interés tienen una gran cantidad de aplicaciones en los campos financiero, económico, productivo, energético, etc. El descubrir la estructura que determina el comportamiento de las tasas de interés permite realizar análisis más eficientes, además de poder conocer el potencial y las limitaciones de los modelos desarrollados.

##### **4.4.1 Modelos unifactoriales**

Estos modelos suponen que la única variable de estado relevante es la tasa de interés instantánea  $r$ , la cual es modelizada según la ecuación diferencial estocástica

$$dr = \mu(r, \theta)dt + \sigma(r, \theta)dW_t$$

donde  $dr$  indica el cambio en la tasa de interés instantánea. Esta expresión refleja que tanto la media condicional como la varianza condicional de los cambios en la tasa de interés dependen del nivel de las tasas.

Los primeros modelos que fueron propuestos para representar las series de tasas de interés fueron de la década de 1970, entre los que se encuentran el modelo de Merton (1973), Black y Scholes (1973), el modelo de Dothan (1978) y el modelo de Vasicek (1977), el cual, como ya antes se había mencionado, será el objeto de estudio en este capítulo.

Posteriormente se presentaría el modelo de Brennan-Schwartz (1980), los modelos de activos de tasa de variable y de la raíz cuadrada de Cox, Ingersoll y Ross (1980 y 1985), etc.

Todos los modelos anteriores tienen en su formulación la asignación de parámetros constantes, es decir, parámetros que no varían como funciones del tiempo o del nivel de las tasas de interés. Modelos posteriores fueron principalmente por Hull y White en los cuales los parámetros que aparecen en los modelos anteriores se les permiten variar en el tiempo.

A continuación, se presenta una tabla con las expresiones de los modelos más representativos de tasa de interés:

| Modelo                               | Año  | Expresión  |
|--------------------------------------|------|--|
| Merton                               | 1973 | $dr = \alpha dt + \sigma dW_t$                   |
| Black y Scholes                      | 1973 | $dr = \alpha r dt + \sigma r dW_t$               |
| Vasicek                              | 1977 | $dr = \alpha(\mu - r)dt + \sigma dW_t$           |
| Dothan                               | 1978 | $dr = \sigma r dW_t$                             |
| Brennan- Schwartz                    | 1980 | $dr = (\alpha + \beta r)dt + \sigma r dW_t$      |
| CIR - Activos de Tasa Variable       | 1980 | $dr = \sigma r^{3/2} dW_t$                       |
| CIR - Raíz Cuadrada                  | 1985 | $dr = \alpha(\mu - r)dt + \sigma \sqrt{r} dW_t$  |
| Modelo de elasticidad de la varianza | 1983 | $dr = \alpha r dt + \sigma r^\gamma dW_t$        |
| Exponencial Vasicek                  | -    | $dr = \alpha(\mu - \log(r))r dt + \sigma r dW_t$ |

Fuente: «Modelización de la estructura temporal de los tipos de interés: Valoración de activos derivados y comportamiento empírico», en *Revista española de financiación y contabilidad*, 2000, pp. 349

#### 4.4.2 Modelos multifactoriales

Este tipo de modelos supone la existencia de más de una variable de estado y no sólo la tasa de interés instantánea como en el caso de los modelos unifactoriales, estos modelos intentan evitar las características poco realistas de los modelos anteriores y explicar una mayor variedad de movimientos de las tasas a lo largo del tiempo.

Algunos de los principales modelos multifactoriales son el de Richard (1978) y CIR multifactorial (1985), los cuales emplean tasas de interés reales a corto plazo y la tasa de inflación como factores. Otro modelo es el de Brennan y Schwartz (1979) en el cual utiliza como variables la tasa de interés instantánea y la tasa de interés a largo plazo, al igual que, Schaefer y Schwartz (1984) modelizan las tasas de interés a largo plazo y el diferencial de éstas.

Muchos de los modelos multifactoriales se propusieron en la década de los 90's, como el caso de los modelos Chen y Scott (1992), Duffie y Kan (1996), Moreno (1997) y Corzo (1998).

Los modelos multifactoriales pueden solucionar inconvenientes que presentan los unifactoriales, pero ofrecen menos tratabilidad analítica y mayores problemas en su implementación numérica.

#### 4.5 Modelo de Vasicek

El trabajo de Vasicek en 1977, se considera como uno de los pioneros en incorporar tasas de interés estocásticas para el cálculo de bonos. Es un proceso de los cuales hemos llamado unifactoriales basado en el equilibrio de las tasas de interés que asume que las tasas de interés a corto plazo siguen una distribución Gaussiana<sup>19</sup> y que además incorpora la dinámica de reversión a la media.

Este modelo goza de gran aceptación entre profesionales y académicos por su fácil tratamiento matemático y estadístico.

El modelo de Vasicek postula que la tasa de interés instantánea sigue un proceso de Ornstein – Uhlenbeck , el cual es caracterizado por una ecuación del tipo :

$$dr = \alpha(\mu - r)dt + \sigma dW_t$$

donde

$\alpha$  = *Velocidad de reversión, es decir, este parámetro caracteriza la velocidad a la cual cada trayectoria tenderá a agruparse en torno a  $\mu$  en el tiempo.*

$\mu$

= *Media a largo plazo, todas las futuras trayectoria de r se encontrarán alrededor de es*

$\sigma$  = *Volatilidad instantánea, mide para cada instante la amplitud de la aleatoriedad del sistema.*

$W_t$  = *Movimiento Browniano*

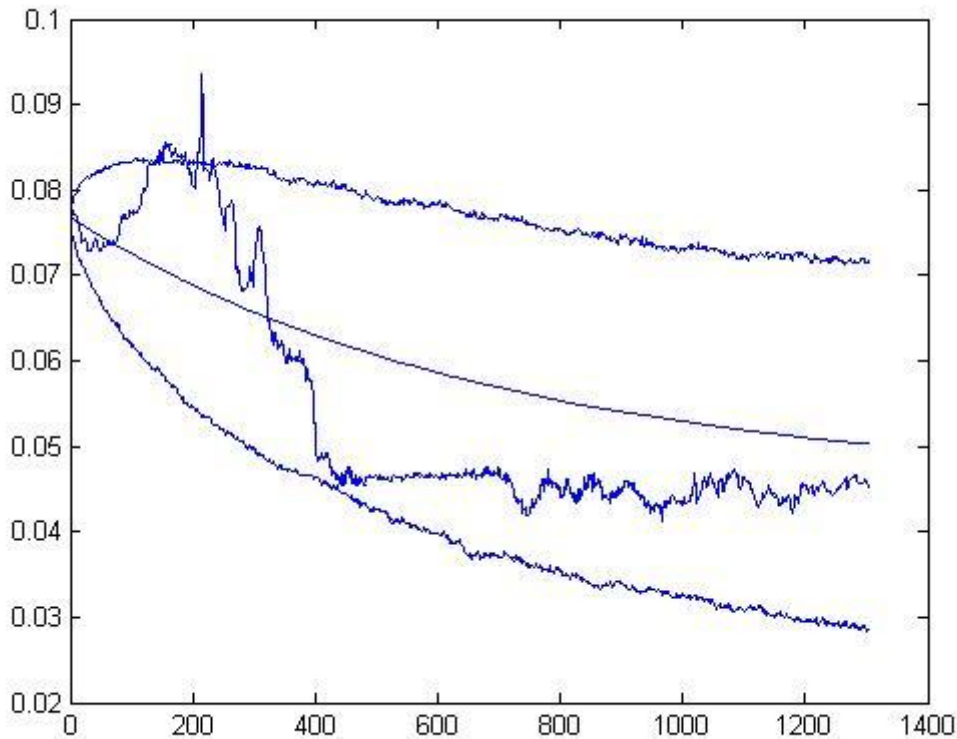
---

<sup>19</sup> Se le llama a un proceso gaussiano o normal si para cualquier tiempo t, la variable aleatoria X(t) tiene distribución Normal.



A continuación, se muestra una gráfica donde se puede observar claramente el efecto de reversión a la media.

**Gráfica 2**



Fuente: *Elaboración propia en MatLab*

De forma gráfica se puede observar que para un periodo determinado, el modelo sitúa la tendencia en la media con trayectorias que fluctúan en un banda (99.5% de acuerdo a las premisas de Solvencia II) que refleja la volatilidad observada en el periodo de referencia.

#### **4.5.1 Discretización del modelo de Vasicek**

Para aplicar el modelo de Vasicek, el primer paso es discretizar la ecuación para poder obtener la estimación de los parámetros  $\alpha$ ,  $\mu$  y  $\sigma$ .

Al discretizar el modelo se obtiene la siguiente ecuación:

$$r_{t+\Delta t} - r_t = \alpha(\mu - r_t)\Delta t + \sigma\sqrt{\Delta t}\varepsilon_t$$

donde

$\varepsilon_t$  se distribuye Normal con Media 0 y Varianza 1 (Normal estándar)

#### 4.5.2 Estimación de Parámetros del modelo de Vasicek

Una vez discretizada la ecuación del modelo de Vasicek, el siguiente paso es hallar el valor de los parámetros  $\alpha$ ,  $\mu$  y  $\sigma$ .

Para ello se pueden ocupar dos métodos, el primero de ellos encontrando el estimador de máxima verosimilitud, es decir, se tendrá que encontrar el valor de cada parámetro maximizando la función de verosimilitud. A continuación se presenta la forma general de la función:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}(\theta|X_1, \dots, X_n) &= \prod_{i=1}^n f(X_i|\theta) \\ \Rightarrow \ell &= \ln \mathcal{L} = \sum_{i=1}^n \ln f(X_i|\theta) \\ \Rightarrow \theta_{est} &= \max_{\theta \in \Theta} \ell\end{aligned}$$

En el caso del modelo de Vasicek, la función a maximizar será la siguiente:

$$\ln \mathcal{L} = \sum_{i=1}^n \left[ -\frac{n}{2} * \ln (2\pi * \sigma^2 * \Delta t) \right] - \left[ \frac{1}{2\sigma^2 * \Delta t} * (r_{i+1} - r_i - \alpha(\mu - r_i) * \Delta t)^2 \right]$$

Para maximizar esta función se usará una herramienta computacional para obtener los tres parámetros.

Otra forma de hallar los parámetros es hacerlo por medio de fórmulas explícitas, donde por medio del uso de iteraciones se van encontrando cada uno de los parámetros.

Al igual que en el caso del método de máxima verosimilitud se tendría que ocupar una herramienta computacional para hallar los valores.

### 4.5.3 Ventajas y desventajas del modelo de Vasicek

El modelo de Vasicek cuenta con varios puntos a favor y por ello se ha decidido ocupar este modelo de tasa de interés para la propuesta para el cálculo de los factores del modulo de riesgo de tasa de interés.

A continuación se presentan las ventajas del modelo:

- El modelo de Vasicek incorpora la dinámica de reversión a la media, lo cual es una propiedad deseable en el análisis del comportamiento de las tasas de interés.
- El tratamiento matemático se considera sencillo a comparación de otros modelos como el Cox, Ingersoll y Ross (CIR).
- La estimación de parámetros se puede obtener maximizando la función de verosimilitud.
- La programación que requiere para la aplicación del modelo no es tan extensa como otros modelos de tasa de interés.

Pero a pesar de que el uso del modelo cuenta con las ventajas antes mencionadas, la principal desventaja que tiene la aplicación de este modelo se da en los valores que pueden ser arrojados durante la simulación de trayectorias, donde en ocasiones, se podrían encontrar medias negativas, sobre todo si la media tiende a valores muy cercanos a cero.

Para ser consistentes con la tendencia de mercado, se ha optimizado el modelo y se supondrá que el parámetro inicial  $\mu$  se ubicará en el nivel de datos más reciente (último dato observado en nuestras series de estudio), en lugar de usar el parámetro arrojado en la estimación.

### 4.6 Modelos de interpolación y extrapolación de tasas de interés

En el mercado de deuda no existe oferta suficiente de bonos para construir una curva de rendimientos<sup>20</sup> completa, por lo que es conveniente tener herramientas o métodos simples que permitan estimar la curva de tasas de interés a partir de los nodos ya conocidos o disponibles.

En este sentido, se pueden aplicar desde métodos simples de interpolación y extrapolación lineal.

Entre los métodos que se pueden encontrar dentro de la literatura de la estructura temporal de las tasas de interés está el de interpolación mediante polinomios de grado "n" o interpolación cúbica con estimación lineal de pendientes, el método de interpolación por splines y su derivación al método smoothing splines.

---

<sup>20</sup> La curva de rendimientos se define como la representación gráfica de la relación que existe entre los rendimientos al vencimiento de los bonos y sus respectivos periodos de vencimiento. Por lo general se utilizan los bonos del gobierno para construir esta curva debido a que existe una amplia gama de vencimientos.

Así mismo, se puede hallar la estimación de tasas por el método Nelson-Siegel, el método de “Bootstrapping” o la interpolación mediante tasas forward o “tasas alambradas”.

Este último método de interpolación, se analizará con más detalle en la siguiente sección, pues será de gran utilidad en la parte de la aplicación del modelo en este trabajo, además de que es una de las técnicas más utilizadas en la práctica de mercado.

#### 4.6.1 Tasas forward o tasas alambradas

Las tasas alambradas se definen como aquellas tasas cuya cotización se desconoce, este método fue seleccionado en virtud de su sencillez, y donde las tasas de interés entre dos nodos conocidos pueden ser calculadas a través de los rendimientos forward entre estos dos plazos.

Para calcular estas tasas se sigue la siguiente relación:

$$r_d = \left[ (1 + r_c t_c) * \left( \frac{1 + r_l t_l}{1 + r_c t_c} \right)^{\frac{t_d - t_c}{t_l - t_c}} - 1 \right] * \frac{1}{t_d}$$

Donde

$r_d$  = Tasa forward implícita a partir del plazo más corto y más largo

# Capítulo 5

## Propuesta de modelo para el cálculo de los factores de riesgo de tasa de interés, aplicación al caso mexicano

Una vez que se ha descrito el marco teórico para la elaboración del modelo, es necesario describir cada uno de los pasos que se siguieron para encontrar los factores a la alza y a la baja en el módulo de riesgo de tasas de interés.

El primero de estos pasos es elegir la información que se ocupará para la propuesta de modelo, que en este caso será información de los instrumentos libres de riesgo que se encuentran en el mercado como son Cetes y bonos gubernamentales a distintos plazos que se encuentran en el mercado de deuda mexicano, a continuación el lector podrá encontrar un panorama general de este mercado y las razones para elegir un periodo histórico específico.

### 5.1 Mercado de deuda en México

El mercado de deuda incluye el mercado de dinero de corto plazo y el mercado de títulos de deuda de largo plazo, es decir, dentro del mercado de deuda en México se pueden encontrar instrumentos con plazos menores a un año y hasta instrumentos con plazo de 30 o más años.

Algunas características de estos títulos que se pueden tomar en cuenta son las siguientes:

- Representan el mercado más líquido.
- Los títulos ofrecidos permiten una rentabilidad aceptable.
- Son inversiones, por lo general, muy seguras.

Básicamente, son tres agentes económicos que pueden emitir títulos en este mercado: el gobierno, instituciones financieras (bancarias y no bancarias) y empresas productivas no financieras. De acuerdo con el grado de riesgo existente, los títulos que emite el gobierno resultan los más seguros, después los de las instituciones financieras y, por último, las empresas no financieras. Si se revisa la historia, ningún gobierno se ha declarado en quiebra lo que hace suponer que pueden respaldar plenamente los títulos que emiten.

El mercado de dinero, por su volumen, representa el más importante en México y el mundo, ya que diariamente son negociados montos muy elevados, fundamentalmente porque los gobiernos los utilizan para regular las cantidades de dinero que pondrán en circulación.

En nuestro país, el principal instrumento de deuda a corto plazo son los Certificados de la Tesorería mejor conocidos como Cetes y por otro lado, entre algunos instrumentos de largo plazo que se pueden encontrar están los Bonos de Desarrollo de gobierno Federal (Bondes) y los Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal denominados en Unidades de Inversión (Udibonos). Otros instrumentos que se pueden encontrar son los Bonos de Regulación Monetaria (Brems), que son emitidos por el Banco de México con el objetivo fundamental de regular la liquidez en la economía y facilitar su tarea en materia de política monetaria; además de los Bonos de Protección al Ahorro (BPA) emitidos por el Instituto para la Protección del Ahorro Bancario (IPAB) con el objetivo de refinanciar sus obligaciones financieras para enfrentar los pagos que debe realizar como producto de su actividad.

Como se había planteado con anterioridad, la información que se ocupará en esta propuesta para el cálculo de los factores del módulo de riesgo de tasa de interés se basará en la información de rendimientos de los últimos 5 años de títulos a corto plazo como son los CETES y bonos con plazos de hasta 30 años. A continuación se describe con más detalle dichos instrumentos.

### **5.1.1 Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES)**

Para el gobierno federal es el instrumento perfecto en recaudación de ingresos vía emisión de valores. Para el inversionista representa el parámetro para determinar qué niveles de rendimientos deberán a ofrecerle a otros emisores o valores. El título gubernamental con mayor demanda es el Cete de 28 días. Por esta razón y por la seguridad que ofrece se toma como la tasa líder del

mercado, considerada por muchos como la tasa libre de riesgo; esto no significa que esté exenta, sino que representa el menor riesgo.<sup>21</sup>

La información de CETES que se utilizará es el histórico de la tasa de rendimientos bajo la curva o “yield” libre de riesgo, también conocida como cupón cero.

### **5.1.2 Bonos gubernamentales de largo plazo**

El gobierno federal emite títulos de crédito de largo plazo como son los Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal o Bondes, los cuales se denominan en moneda nacional y que son títulos cuyo vencimiento es mayor a un año.

El objetivo de los Bondes es proporcionar al gobierno federal recursos monetarios de largo plazo para el financiamiento de proyectos de inversión de larga maduración. Para el inversionista representan títulos rentables y con bajo riesgo garantizados por el gobierno federal.

Hay varios tipos de Bondes y aunque todos tienen las mismas características generales cada uno de ellos cuenta con características específicas como periodo de pagos de los intereses o el tipo de tasa de interés, ya sea una tasa fija o flotante<sup>22</sup>. Algunos de estos instrumentos son los Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal con tasa de Interés Fija o Bonos M, Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal con Pago Trimestral de Interés o Bondest, y por último, los Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal con Pago Semestral de Interés y Protección contra la Inflación o Bondes182.

También otro título emitido por el gobierno federal son los Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal denominados en Unidades de Inversión o Udibonos, donde la principal diferencia es que están denominados en UDI's con el propósito de proteger a sus tenedores del incremento inflacionario.

La información de bonos gubernamentales que se utilizará es el histórico de la tasa de rendimientos bajo la curva o yield libre de riesgo de los Bonos M o tasa fija, pero debido a que no hay títulos con todos los plazos se aplicará la estimación en la curva libre de riesgo para tener valores con plazo de hasta 30 años.

---

<sup>21</sup> Díaz Modragón, Manuel; Mercados Financieros de México y el Mundo: instrumentos y análisis, 3ra. edición, Gasca, 2008 , pp. 75

<sup>22</sup> Los bonos a tasa de interés fija son aquellos donde se acuerda una tasa de interés determinada en el momento de ser emitidos, a este tasa también se le conoce como tasa cupón.

Los bonos a tasa de interés flotante o variable es aquel donde la tasa de interés que paga cada cupón es distinta ya que se encuentra relacionada con una tasa de referencia.

## **5.2 Análisis del comportamiento histórico de las tasas de interés en el periodo 2007-2012 en México y el mundo**

Durante el periodo de los años de 2007 al 2012, se han presentado episodios de volatilidad en los mercados financieros globales, que ha derivado en crisis económicas, financieras y políticas, tanto en Europa como en Estados Unidos.

Un claro ejemplo es la crisis de las hipotecas subprime, originada en Estados Unidos por el colapso en los créditos hipotecarios y que desencadenó una severa crisis financiera a nivel mundial.

Pero este evento, también encaminó a una crisis económica mundial que seguimos viviendo hoy en día y que tiene como principales factores la elevada inflación, las crisis alimentarias y energéticas, además de la incertidumbre por una posible recesión global.

En Europa, la mayoría de los países se han visto afectados por la crisis; algunos gravemente afectados son España y Grecia con pérdidas económicas importantes y que se ve reflejado en sus tasas de desempleo. En el caso Latinoamérica países como Brasil y Argentina también se han visto alcanzados por esta situación afectando el sector comercial.

En el caso de México, la alta dependencia que tiene esta economía con Estados Unidos, ya sea por la relación del comercio exterior, la baja en la remesas, la depreciación del peso ante el dólar, etc., ha ocasionado que en México se vean afectados varios sectores de la economía, como los sectores comerciales y manufactureros entre otros.

Ante este contexto, tanto en México como en el mundo las tasas de interés en el periodo de 2007 al 2012 tienen una tendencia a la baja, en muchos de los países se han registrado mínimos históricos en las tasas de interés que tienen como referencia.

## **5.3 Herramientas computacionales empleadas en la elaboración del modelo**

La herramienta que se utilizará para poder determinar la estimación de los parámetros se llama MatLab que es una abreviatura de **Matrix Laboratory**.

MatLab es un sistema interactivo de programación para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices. Como su nombre lo sugiere, está diseñado para la solución de problemas que pueden ser resueltos por medio de matrices, como son las soluciones numéricas de sistemas de ecuaciones lineales, la factorización de matrices, problemas de interpolación, regresión y ajuste de funciones, ecuaciones diferenciales ordinarias, etc.

MatLab incorpora un sencillo y eficiente lenguaje de programación, que junto con sus capacidades para hacer gráficos en varias dimensiones, hacen de este sistema una herramienta muy útil para obtener la estimación de parámetros y la



simulación del modelo de Vasicek, así como obtener los gráficos que permitan explicar a mayor detalle los resultados encontrados.

Para poder obtener los factores que se proponen dentro de éste trabajo se programaron varias funciones, la primera de ellas nos ayuda a calibrar el modelo alimentándola de una base de datos, en este caso el histórico de las tasas de 2008 a 2012 de cada uno de los nodos, y arrojando los parámetros iniciales con los que podremos utilizar otra función que nos apoya con la simulación de un número N de escenarios para así determinar las tasas.

En el siguiente apartado se encontrará con más detalle la descripción del proceso para encontrar el valor de las tasas en los escenarios a la alza y a la baja del módulo de riesgo de tasa de interés.

#### **5.4 Determinación de los factores del módulo de riesgo de tasa de interés**

Antes de hacer uso de MatLab y los datos de los instrumentos con los que se cuenta, es importante entender la forma adecuada de aplicar todos los conocimientos anteriormente explicados para determinar los factores de riesgo del módulo de tasa de interés, el cuál es uno de los objetivos de éste trabajo.

El primer paso a considerar es conocer la metodología usada para el cálculo del Requerimiento de Capital de Solvencia, mejor conocido como RCS, para el caso de los movimientos en la tasa de interés que puedan afectar a los activos y pasivos de la compañía. Donde en el QIS 5 considera los siguientes dos escenarios:

##### 1. Escenario a la alza

Éste escenario representa una revalorización de todos los instrumentos en caso de que las tasas de interés tengan un incremento significativo.

$$RCS_{Int}^{Alza} = \Delta NAV | Shock Alza$$

##### 2. Escenario a la baja

Éste escenario representa una revalorización de todos los instrumentos en caso de que las tasas de interés tengan un decremento significativo.

$$RCS_{Int}^{Baja} = \Delta NAV | Shock Baja$$

Es decir, los dos escenarios nos ayudan a conocer la volatilidad de la tasa tomando movimientos a la alza y a la baja en un escenario estresado y saber el valor de nuestros activos y pasivos, como algunas inversiones a largo plazo de la compañía o los movimientos en los flujos de pago a los asegurados.

Por ello es de vital importancia poder encontrar los diferentes factores que tendríamos que aplicar en caso de tener inversiones en instrumentos de distintos plazos. Es decir, con estos factores podríamos encontrar la tasa estresada a la alza de los bonos de tasa fija a 10 años o a cualquier plazo, por mencionar un ejemplo.

En éste trabajo se ha considerado usar como base la estructura sugerida por las especificaciones técnicas de QIS 5 y se tiene como premisa encontrar las tasas a la alza y a la baja usando el mercado mexicano como referencia para poder adaptar la tabla sugerida en el documento emitido por la EIOPA.

Para llenar esta tabla es necesaria la información de la curva libre de riesgo de los siguientes plazos:

- Tres meses (0.25 años)
- Seis meses (0.5 años)
- Desde un año hasta treinta años

De acuerdo a los descrito en el apartado 5.1 Mercado de deuda en México, se puede contar con la información o valores de la curva para los siguientes nodos:

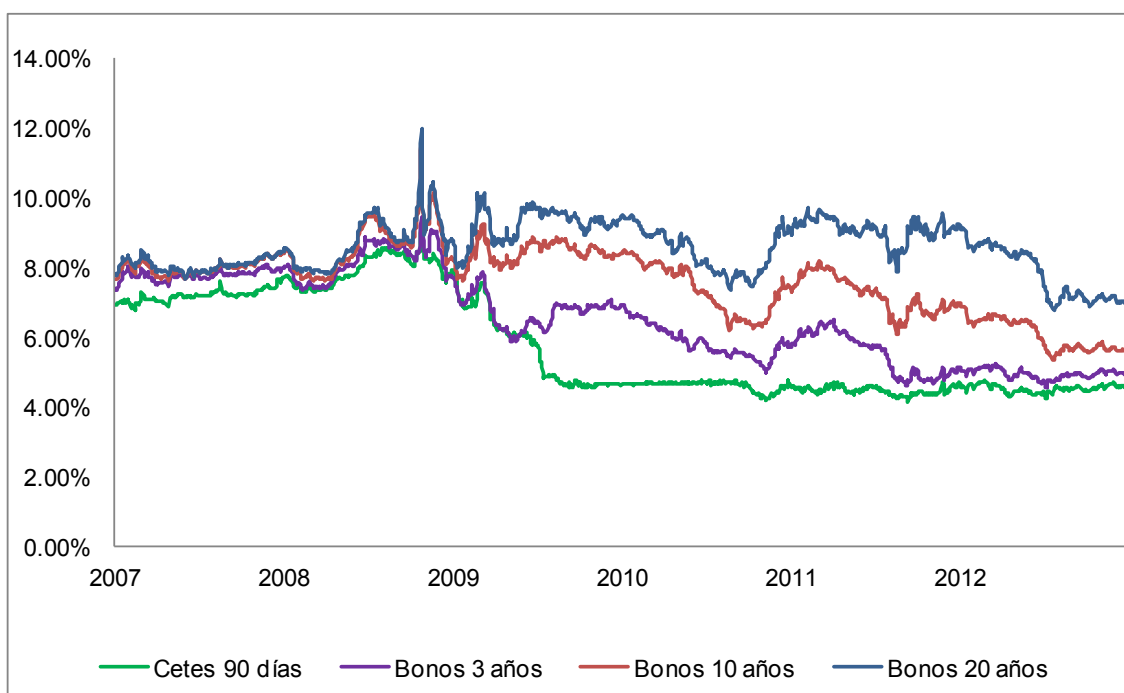
| Vencimiento en años | Nombre del instrumento (Mdo. Mexicano) | Vencimiento en años | Nombre del instrumento (Mdo. Mexicano) |
|---------------------|--|---------------------|--|
| <b>0.25</b>         | CETES                                  | <b>13</b>           | No disponible                          |
| <b>0.5</b>          | CETES                                  | <b>14</b>           | No disponible                          |
| <b>1</b>            | Bonos                                  | <b>15</b>           | Bonos                                  |
| <b>2</b>            | Bonos                                  | <b>16</b>           | No disponible                          |
| <b>3</b>            | Bonos                                  | <b>17</b>           | No disponible                          |
| <b>4</b>            | Bonos                                  | <b>18</b>           | No disponible                          |
| <b>5</b>            | Bonos                                  | <b>19</b>           | No disponible                          |
| <b>6</b>            | Bonos                                  | <b>20</b>           | Bonos                                  |
| <b>7</b>            | Bonos                                  | <b>21</b>           | No disponible                          |
| <b>8</b>            | Bonos                                  | <b>22</b>           | No disponible                          |
| <b>9</b>            | Bonos                                  | <b>23</b>           | No disponible                          |
| <b>10</b>           | Bonos                                  | <b>24</b>           | No disponible                          |
| <b>11</b>           | No disponible                          | <b>25</b>           | No disponible                          |
| <b>12</b>           | No disponible                          | <b>30</b>           | Bonos                                  |

Al no contar con las series históricas con los valores de la curva para cada uno de los nodos, se utilizará el método de interpolación de tasas forward o tasas alambradas para completar aquellos nodos sin tasa de corte específica.

Las series históricas de los instrumentos del mercado mexicano tienen como fuente el Banco de México que muestra información pública en su página web como las tasas de Cetes, bonos gubernamentales de tasa fija, Udibonos, etc., así como Bloomberg que es una institución que ofrece servicios de software financiero y proveedor de índices.

A continuación, se presenta una gráfica con las tendencias de algunos de los instrumentos del año 2007 al 2012:

**Gráfica 3**



Fuente: *Elaboración propia con datos tomados de las series de Banco de México y Bloomberg*

Debido a que la estructura temporal de las tasas de interés puede cambiar radicalmente de un año a otro, es importante analizar el comportamiento de cada una de las series históricas y encontrar los parámetros bajo el modelo propuesto, Modelo de Vasicek, para poder simular trayectorias que permitan conocer las tasas con un horizonte de un año y el VaR con nivel de confianza del 99.5% de acuerdo a las premisas establecidas por el proyecto de Solvencia II.

Es decir, las tasas que se están esperando para determinar los factores de riesgo se encontrarán en los percentiles del 0.5% en el caso del escenario a la baja y del 99.5% en el caso del escenario a la alza.

Una vez que se cuenta con la discretización del modelo de Vasicek como fue revisado en el apartado 4.5.1, es posible estimar los parámetros por medio del método de máxima verosimilitud o usando fórmulas explícitas y así encontrar los parámetros adecuados para calibrar el modelo para cada uno de los nodos.

De acuerdo al modelo de Vasicek,

$$dr = \alpha(\mu - r)dt + \sigma dW_t$$

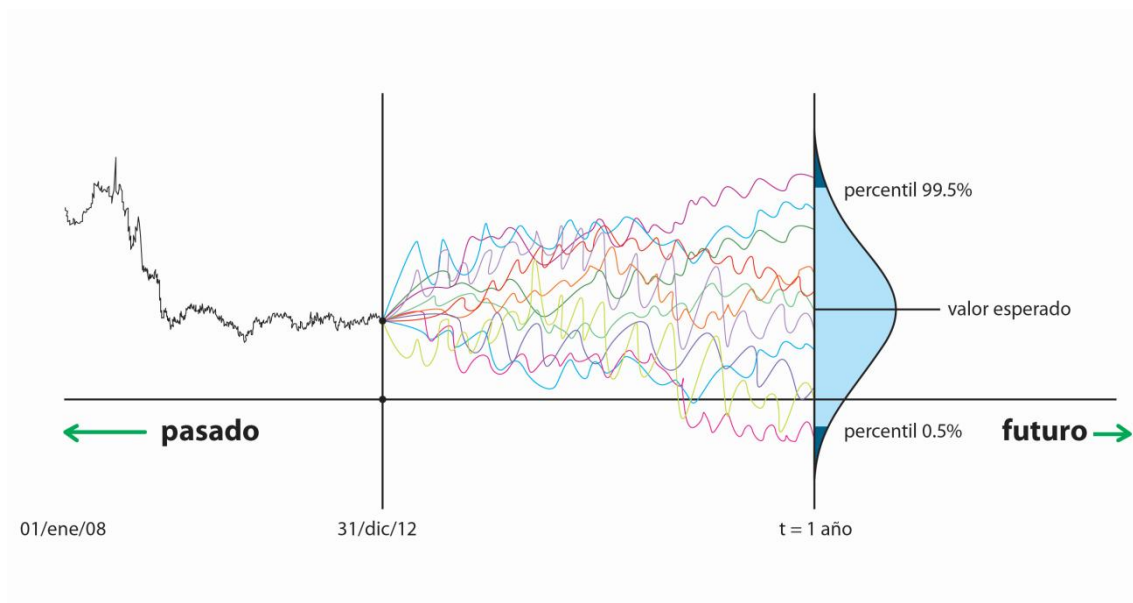
Los parámetros que se estimarán por máxima verosimilitud serán los siguientes:

- $\alpha$  = Velocidad a la cual cada una de las trayectorias tenderá a agruparse a la media
- $\mu$  = Media
- $\sigma$  = Volatilidad o amplitud de aleatoriedad del sistema.

Otra sección del modelo importante es el Movimiento Browniano  $W_t$ , donde se sabe que éste se distribuye Normal Estándar  $N(0,1)$ .

A continuación, se presenta una gráfica que describe la calibración del modelo con el histórico de las series y las trayectorias que se pretenden simular haciendo uso del Modelo de Vasicek y donde se hace énfasis en las trayectorias que indicarán la tasa esperada máxima o mínima.

**Figura 5**



Fuente: *Elaboración propia*

## 5.5 Obtención de las tasas en el escenario a la baja y a la alza para cada uno de los nodos por medio de MatLab

Una vez que se ha comprendido el proceso para encontrar las tasas de interés, se puede poner en práctica la discretización del modelo y programarlo en MatLab.

Para ejemplificar de manera más clara, se explicará el proceso para el nodo de 0.25 años, que en este caso es representado dentro de nuestro mercado por los Cetes de 90 días, una vez que se encuentren las tasas, el proceso se repetirá para cada uno de los nodos y así hasta completar el cuadro que presenta QIS 5 pero con instrumentos del mercado mexicano.

Lo primero será encontrar los parámetros de velocidad, media y la volatilidad, usando la serie del 1° de enero de 2008 hasta el 31 de diciembre de 2012.

Utilizando la discretización del modelo de Vasicek descrita en el capítulo anterior, se obtuvieron los siguientes resultados para este nodo:

$$\alpha = 0.3620$$

$$\mu = 0.3670$$

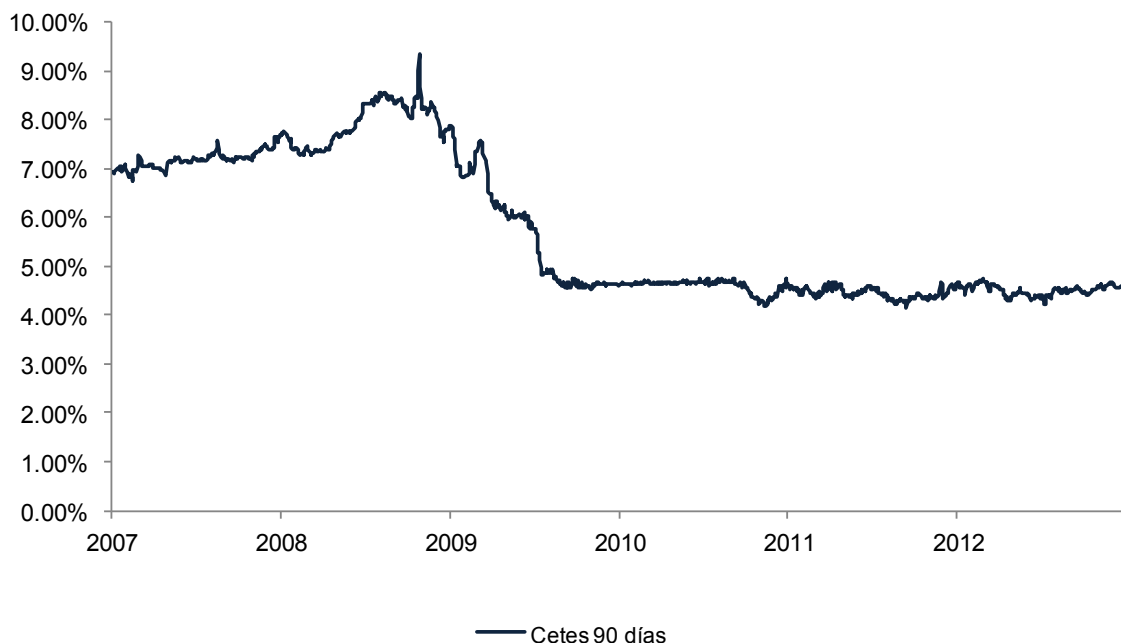
$$\sigma = 0.0071$$

Una vez que se han obtenido los parámetros, se inicia por alimentar el programa que pueda ayudar a simular el número de trayectorias deseadas al igual que el intervalo de tiempo.

Una de las premisas de Solvencia II que se tomará en cuenta es el horizonte temporal de 1 año, por lo que se estarán hallando tasas diarias durante la simulación, se propone utilizar un intervalo 1/250 debido a que las tasas no tienen cambios durante los fines de semana y días festivos; en el caso de la simulación se propone simular 5000 trayectorias con el fin de obtener un número de escenarios que permitan hallar la tasa con mayor exactitud.

Es importante mencionar que las trayectorias partirán del último dato de la serie, que en este caso será la tasa de Cetes a 90 días al 31 de diciembre de 2012 (4.527%).

#### Gráfica 4



Fuente: *Elaboración propia con datos de la series de Banco de México*

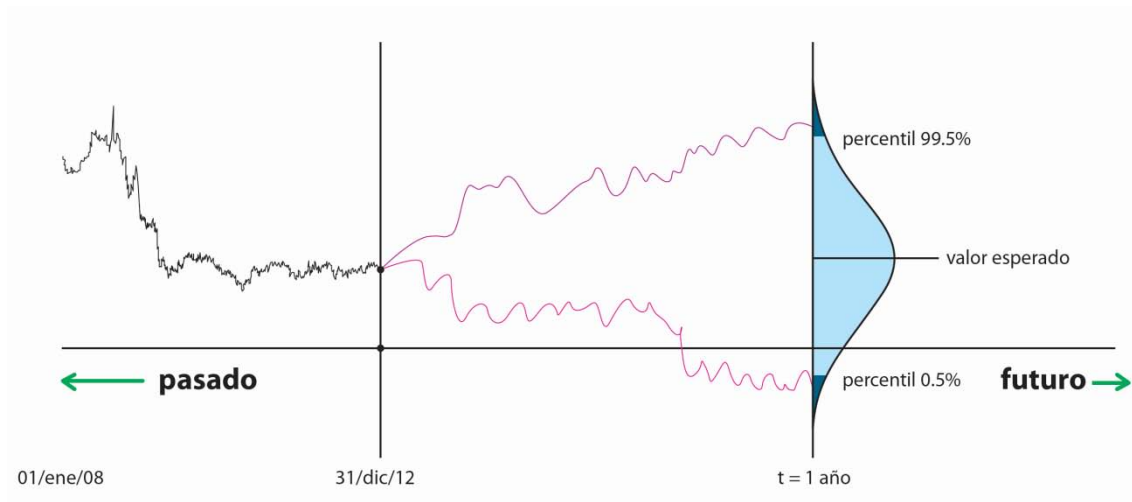
En la gráfica anterior se puede observar que entre los años 2008 y 2010, debido a la crisis financiera mundial, las tasas empezarán a caer y donde a principios de 2010 hasta la fecha se han mantenido constantes y donde la tendencia se encuentra entre el cuatro y cinco por ciento.

Al encontrar los parámetros usando datos históricos donde se observan puntos de estrés, permite tener un mayor alcance en la variación de las tasas llevadas a escenarios de máximos y mínimos, cubriendo cualquier escenario.

Al correr el programa que simula la 5000 trayectorias, se requirió que solo grafique las dos trayectorias de interés y también arroje aquel escenario donde al finalizar el horizonte de un año, éste se encuentre en el escenario máximo (percentil 99.5%) y en el escenario mínimo.

A continuación, se representan de manera gráfica las dos trayectorias requeridas:

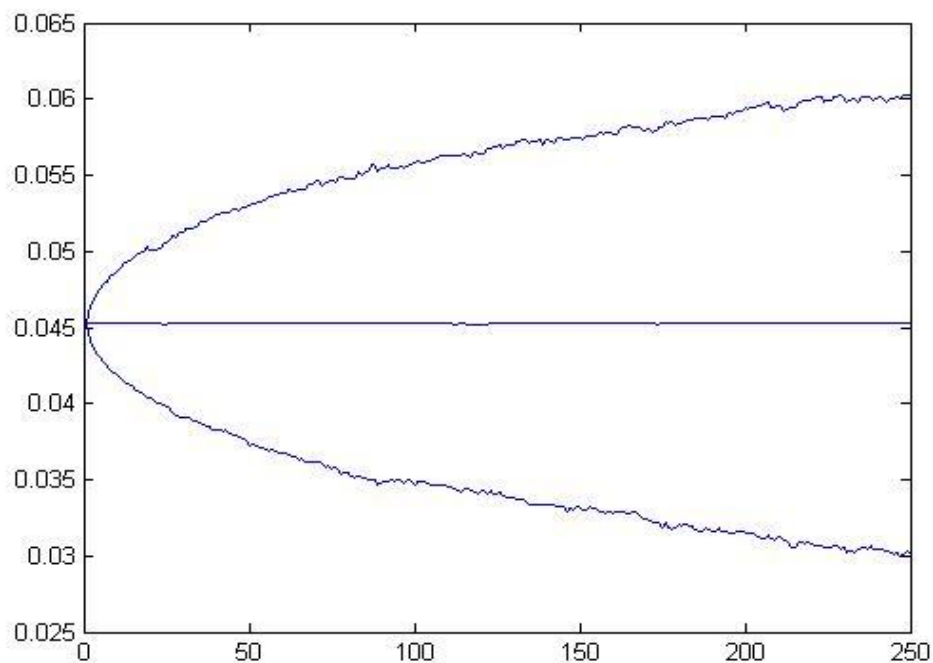
**Figura 6**



Fuente: *Elaboración propia*

En la siguiente gráfica se puede observar con mayor detalle las trayectorias al 99.5% de alza y baja con el uso de la tasa de Cetes a 90 días al cierre de 2012, la cual fue de 4.527%.

**Gráfica 5**



Fuente: *Elaboración propia usando MatLab*

Obteniendo los resultados se puede observar que la tasa a la alza es de **6.03%**, mientras que la trayectoria de la tasa a la baja lleva a una tasa de **3.01%**.

Como antes se mencionó, uno de los principales objetivos para la elaboración de este trabajo es encontrar los factores que se podrían ocupar en cualquier momento del año para poder calcular el Requerimiento de Capital de Solvencia (RCS), con las tasas que se han hallado sólo faltaría calcular el factor que habría que aplicar a la tasa que se encuentre vigente el día del cálculo para obtener el resultado final.

Para obtener el factor deseado con esta información estadística del nodo 0.25 años, se revisa por cuánto habría que multiplicar la tasa de arranque, 4.527% para llegar a las tasas de las trayectoria máxima y mínima.

Para el escenario a la alza el factor sería el siguiente:

$$4.527\% * (1 + fa) = 6.03\%$$

*fa = Factor que habría que aplicar para el escenario a la alza*

$$\Rightarrow fa = \frac{6.03\%}{4.53\%} - 1 = \mathbf{0.331}$$

Para el escenario a la baja el factor sería el siguiente:

$$4.527\% * (1 + fb) = 3.01\%$$

*fb = Factor que habría que aplicar para el escenario a la baja*

$$\Rightarrow fb = \frac{3.01\%}{4.53\%} - 1 = \mathbf{-0.336}$$

Se han hallado los primeros factores que se podrían aplicar a aquellos activos y pasivos que se encuentren relacionados con Cetes de 90 días, para dimensionar los máximos escenarios de pérdida o ganancia posible.



Continuando con las premisas establecidas dentro del módulo de Riesgo de Tasa de Interés por QIS 5, se tienen que hallar los factores hasta el nodo de aquellos instrumentos con vencimiento a 30 años. La siguiente parte del trabajo será desglosar los parámetros encontrados para los nodos donde se tienen las series disponibles, para hacer las simulaciones necesarias y encontrar las tasas y con ellas los factores para el caso mexicano.

En la siguiente tabla se encuentran los parámetros de velocidad, media y la volatilidad, de las series del 1° de enero de 2008 hasta el 31 de diciembre de 2012, donde al estimar los parámetros del modelo de Vasicek se obtuvieron los siguientes resultados:

| <b>Vencimiento en años</b> | <b>Velocidad <math>\alpha</math></b> | <b>Media <math>\mu</math></b> | <b>Volatilidad <math>\sigma</math></b> |
|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--|
| <b>0.25</b>                | 0.3620                               | 0.0376                        | 0.0071                                 |
| <b>0.5</b>                 | 0.3856                               | 0.0386                        | 0.0072                                 |
| <b>1</b>                   | 0.3858                               | 0.0393                        | 0.0073                                 |
| <b>2</b>                   | 0.2780                               | 0.0395                        | 0.0078                                 |
| <b>3</b>                   | 0.0339                               | 0.0449                        | 0.0080                                 |
| <b>4</b>                   | 0.2868                               | 0.0453                        | 0.0084                                 |
| <b>5</b>                   | 0.3114                               | 0.0494                        | 0.0087                                 |
| <b>6</b>                   | 0.2834                               | 0.0491                        | 0.0089                                 |
| <b>7</b>                   | 0.3000                               | 0.0519                        | 0.0091                                 |
| <b>8</b>                   | 0.4103                               | 0.5900                        | 0.0093                                 |
| <b>9</b>                   | 0.5069                               | 0.0635                        | 0.0095                                 |
| <b>10</b>                  | 0.5279                               | 0.0650                        | 0.0096                                 |
| <b>15</b>                  | 0.9960                               | 0.0761                        | 0.0102                                 |
| <b>20</b>                  | 1.5024                               | 0.0847                        | 0.0109                                 |
| <b>30</b>                  | 1.9461                               | 0.0904                        | 0.0115                                 |

El proceso que se ejecutó para el primer nodo, Cetes 90 días, se tendrá que completarlo para las siguientes series, primero alimentando al programa con los parámetros encontrados anteriormente y después realizando las 5000 trayectorias para hallar las tasas deseadas.

Ya que se ha presentado el caso con la curva a menor plazo, ahora se presentará el proceso usando la curva libre de riesgo para el nodo de 30 años, aquel nodo que presenta QIS 5 como el de mayor duración.

### Gráfica 6

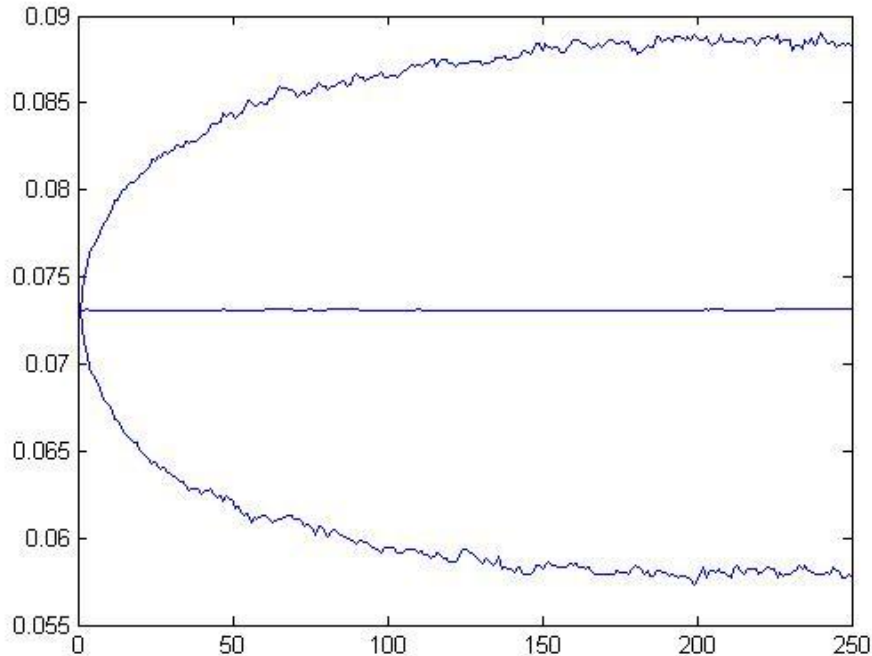


Fuente: *Elaboración propia con datos de la series de Bloomberg*

En la gráfica anterior se puede observar la curva libre de riesgo para el nodo de 30 años, al finalizar el año 2008 hasta el año 2010 los cambios en la tasas registraron una importante variación en periodos cortos de tiempo y donde la media tiende a una tasa del **9.00%** justo la estimada y presentada en el cuadro de parámetros. En los últimos datos registrados se nota un ligero decremento en el valor por lo que el valor de arranque para las simulaciones es una tasa del **7.31%**, en la cual las trayectorias convergerán a este dato; arrojando a la alza una tasa de **8.82%** y a la baja una tasa de **5.77%**.

A continuación se muestra de forma gráfica las trayectorias en los percentiles 99.5% y 0.5%:

**Gráfica 7**



Fuente: *Elaboración propia usando MatLab*

Para obtener el factor deseado con esta información estadística del nodo de 30 años, se revisa por cuánto habría que multiplicar la tasa de arranque, 7.310% para llegar a las tasas de las trayectoria máxima y mínima.

Para el escenario a la alza el factor sería el siguiente:

$$7.31\% * (1 + fa) = 8.82\%$$

*fa = Factor que habría que aplicar para el escenario a la alza*

$$\Rightarrow fa = \frac{8.82\%}{7.31\%} - 1 = \mathbf{0.207}$$

Para el escenario a la baja el factor sería el siguiente:

$$7.31\% * (1 + fb) = 5.77\%$$

*fb = Factor que habría que aplicar para el escenario a la baja*

$$\Rightarrow fb = \frac{5.77\%}{7.31\%} - 1 = \mathbf{-0.211}$$

Una vez que se realizan las corridas para cada uno de los nodos se presentan las tasas obtenidas a la alza y a la baja, además de mostrar la tasa de arranque del modelo para cada una de las curvas.

| Vencimiento en años | Tasa a la Alza<br>Percentil 99.5% | Tasa a la Baja<br>Percentil 0.5% | Tasa inicial del<br>periodo |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 0.25                | 6.03%                             | 3.01%                            | 4.53%                       |
| 0.5                 | 6.08%                             | 3.03%                            | 4.60%                       |
| 1                   | 6.19%                             | 3.10%                            | 4.68%                       |
| 2                   | 6.54%                             | 3.09%                            | 4.80%                       |
| 3                   | 6.69%                             | 3.12%                            | 4.91%                       |
| 4                   | 6.95%                             | 3.13%                            | 5.05%                       |
| 5                   | 7.05%                             | 3.22%                            | 5.15%                       |
| 6                   | 7.24%                             | 3.20%                            | 5.19%                       |
| 7                   | 7.30%                             | 3.30%                            | 5.24%                       |
| 8                   | 7.29%                             | 3.35%                            | 5.33%                       |
| 9                   | 7.46%                             | 3.51%                            | 5.45%                       |
| 10                  | 7.53%                             | 3.70%                            | 5.57%                       |
| 11                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 12                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 13                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 14                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 15                  | 8.04%                             | 4.65%                            | 6.34%                       |
| 16                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 17                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 18                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 19                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 20                  | 8.44%                             | 5.36%                            | 6.96%                       |
| 21                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 22                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 23                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 24                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 25                  | ND                                | ND                               | ND                          |
| 30                  | 8.82%                             | 5.77%                            | 7.31%                       |

Después de estimar los parámetros y ejecutar las simulaciones para 15 de los 28 nodos ya se puede observar una tendencia de los resultados donde se analiza el comportamiento de las trayectorias usando la curva de instrumentos de plazos a corto plazo y a largo plazo, en el cual las tasas de corto plazo empiezan a converger o revertir a la media teniendo un menor grado de volatilidad, ocasionando que los factores que se utilicen a largo plazo sean menores.

Es importante retomar lo presentado en la sección 5.3 de éste capítulo, donde al no contar con una curva para cada nodo se deberá de usar el método de

tasas alambreadas para completar el cuadro y tener algo similar a lo presentado por la EIOPA dentro de las especificaciones técnicas de QIS 5.

Finalmente, usando el método de tasas alambreadas para los 13 nodos restantes, se estima el valor de las tasas que tendríamos a la alza y a la baja, además de una estimación para las tasas de arranque, lo que significa que el siguiente paso será el cálculo de todos los factores de riesgo para el modulo de riesgo de tasa de interés para el caso Mexicano.

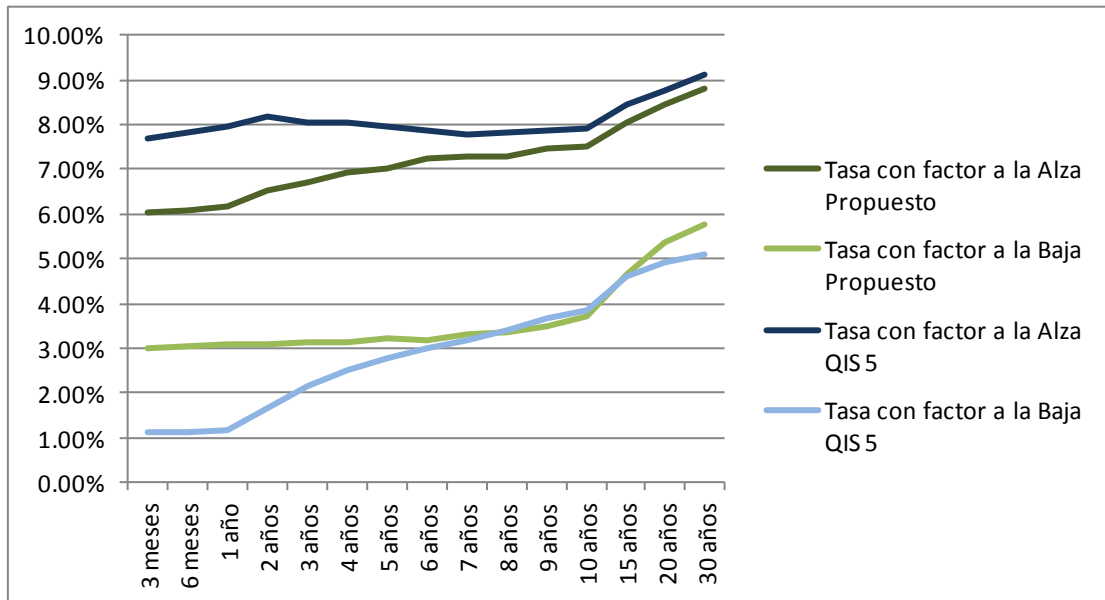
| Vencimiento en años | Tasa a la Alza<br>Percentil 99.5% | Tasa a la Baja<br>Percentil 0.5% | Tasa inicial del periodo |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 0.25                | 6.03%                             | 3.01%                            | 4.53%                    |
| 0.5                 | 6.08%                             | 3.03%                            | 4.60%                    |
| 1                   | 6.19%                             | 3.10%                            | 4.68%                    |
| 2                   | 6.54%                             | 3.09%                            | 4.80%                    |
| 3                   | 6.69%                             | 3.12%                            | 4.91%                    |
| 4                   | 6.95%                             | 3.13%                            | 5.05%                    |
| 5                   | 7.05%                             | 3.22%                            | 5.15%                    |
| 6                   | 7.24%                             | 3.20%                            | 5.19%                    |
| 7                   | 7.30%                             | 3.30%                            | 5.24%                    |
| 8                   | 7.29%                             | 3.35%                            | 5.33%                    |
| 9                   | 7.46%                             | 3.51%                            | 5.45%                    |
| 10                  | 7.53%                             | 3.70%                            | 5.57%                    |
| 11                  | 7.60%                             | 3.91%                            | 5.72%                    |
| 12                  | 7.68%                             | 4.11%                            | 5.87%                    |
| 13                  | 7.79%                             | 4.29%                            | 6.02%                    |
| 14                  | 7.91%                             | 4.47%                            | 6.18%                    |
| 15                  | 8.04%                             | 4.65%                            | 6.34%                    |
| 16                  | 8.09%                             | 4.79%                            | 6.45%                    |
| 17                  | 8.16%                             | 4.93%                            | 6.57%                    |
| 18                  | 8.24%                             | 5.07%                            | 6.70%                    |
| 19                  | 8.34%                             | 5.22%                            | 6.83%                    |
| 20                  | 8.44%                             | 5.36%                            | 6.96%                    |
| 21                  | 8.43%                             | 5.38%                            | 6.96%                    |
| 22                  | 8.44%                             | 5.41%                            | 6.97%                    |
| 23                  | 8.46%                             | 5.44%                            | 6.99%                    |
| 24                  | 8.49%                             | 5.47%                            | 7.02%                    |
| 25                  | 8.52%                             | 5.52%                            | 7.05%                    |
| 30                  | 8.82%                             | 5.77%                            | 7.31%                    |

En la siguiente tabla se muestran finalmente los factores de riesgo de tasa de interés bajo el marco de Solvencia II para el caso mexicano, respetando el formato presentado en QIS 5.

| Vencimiento en años | Factor a la Alza | Factor a la Baja |
|---------------------|------------------|------------------|
| 0.25                | 33.1%            | -33.6%           |
| 0.5                 | 32.2%            | -34.1%           |
| 1                   | 32.3%            | -33.7%           |
| 2                   | 36.3%            | -35.6%           |
| 3                   | 36.3%            | -36.5%           |
| 4                   | 37.6%            | -38.0%           |
| 5                   | 36.9%            | -37.5%           |
| 6                   | 39.5%            | -38.3%           |
| 7                   | 39.3%            | -37.0%           |
| 8                   | 36.8%            | -37.1%           |
| 9                   | 36.9%            | -35.6%           |
| 10                  | 35.2%            | -33.6%           |
| 11                  | 32.8%            | -31.6%           |
| 12                  | 30.9%            | -30.0%           |
| 13                  | 29.3%            | -28.7%           |
| 14                  | 27.9%            | -27.6%           |
| 15                  | 26.7%            | -26.7%           |
| 16                  | 25.4%            | -25.8%           |
| 17                  | 24.2%            | -25.0%           |
| 18                  | 23.1%            | -24.2%           |
| 19                  | 22.1%            | -23.6%           |
| 20                  | 21.2%            | -23.0%           |
| 21                  | 21.1%            | -22.7%           |
| 22                  | 21.0%            | -22.5%           |
| 23                  | 20.9%            | -22.2%           |
| 24                  | 20.9%            | -22.0%           |
| 25                  | 20.8%            | -21.8%           |
| 30                  | 20.7%            | -21.1%           |

A continuación, se muestra una gráfica comparativa, usando como tasa base el primer valor observado en enero de 2013 en cada nodo, y al cual se le aplican los factores a la alza y a la baja obtenidos en este trabajo y los propuestos por QIS 5.

**Gráfica 8**



Fuente: *Elaboración propia*

Se hace notar que hay una gran diferencia entre las bandas al aplicar los factores propuestos en QIS 5 y los valores con el modelo calibrado para el caso mexicano, por lo que sería un error no ajustar los valores a la tendencia de mercado que existe hoy en día en México.

# Conclusiones

Al entrar en vigor la nueva Ley de Instituciones de Seguros y Fianzas, el proyecto de Solvencia II ya forma parte fundamental en el desarrollo del Sistema Financiero Mexicano, donde se espera que contribuya a la modernización en un mediano plazo de la industria de los Seguros y Fianzas en México.

Sin lugar a dudas, Solvencia II es un proyecto robusto con una idea clara de tener un proceso de mejora continua en la administración integral de los riesgos y por ello los tres pilares estarán reflejados en la nueva regulación.

El primer pilar donde abarca todo un abanico de riesgos adquirido por las compañías de seguros y fianzas y que se ve desde el punto de vista cuantitativo, específicamente en el cálculo de reservas técnicas y del requerimiento de capital de solvencia, éste último estudiado con mayor profundidad dentro de este trabajo de investigación.

Otra parte fundamental del proyecto, es la intención de implementar un Gobierno Corporativo más sólido y que esto demandará un esfuerzo importante en recursos para el control y disciplina de las compañías. Gracias a la nueva regulación las compañías tendrán como objetivo hacer más eficiente la operación interna y con ello dar un giro a la gestión de los negocios que hasta ahora no se había planteado.

Por último, pero no menos importante, la regulación sobre transparencia y revelación de información que apoyará a una revisión efectiva del Supervisor y del mismo mercado, haciendo que el proyecto tenga un alcance mayor y no solo se tomen en cuenta cuestiones de activos, pasivos y el capital de las empresas en el mercado asegurador y afianzador.

En resumen, Solvencia II será la base para tener un mejor análisis y administración de los riesgos y donde se tendrá un nivel de seguridad que brinde certeza al mismo mercado como al propio asegurado.

Dentro de este trabajo hemos observado la extensión de Solvencia II y la gran cantidad de módulos y submódulos que forman parte de una matriz que constituye el Requerimiento de Capital de Solvencia que las compañías estarán calculando y donde el uso de modelos estocásticos y la medición del riesgo por medio del VaR empiezan a cobrar relevancia para la elaboración de los modelos internos de las compañías.



El modelo propuesto en este trabajo se ha apegado a las premisas de Solvencia II y se han hallado los factores adecuados al mercado Mexicano para el submódulo de riesgo de tasa de interés. Esta propuesta podría servir de base no sólo para ser utilizado en una fórmula general sino como un modelo interno.

El uso del modelo de Vasicek, como base de este trabajo, sirvió de manera eficiente para llevar a cabo el segundo objetivo de este trabajo. Este modelo tiene buena cantidad de aplicaciones en el campo financiero y el cual ayudó a determinar el comportamiento de las tasas de interés en el tiempo.

En general, el modelo de Vasicek goza de un fácil tratamiento matemático y estadístico y por ello fue elegido dentro de la gama de modelos unifactoriales de tasas de interés. Aunque para el objetivo de este trabajo se pudo trabajar con otro modelo, las ventajas como la estimación de parámetros por medio de la función de verosimilitud y que la programación que se requiere para ser aplicado no es extensa, hicieron que este modelo fuera ideal para concretar el objetivo.

La eficiente organización de las series de estudio (histórico de tasas de rendimiento del 1° de enero 2008 al 31 de diciembre de 2012) en cada nodo, permitió la correcta alimentación de información al programa donde se ejecutaron las simulaciones necesarias para la obtención de resultados.

El uso de la herramienta Matlab fue de gran ayuda pues simplificó la programación y se pudieron obtener resultados de manera gráfica que permitieron un mejor análisis de las tasas halladas.

Aun sin que el mercado mexicano nos permitiera tener series de estudio en cada nodo, gracias al uso del método de tasas alambreadas se obtuvo una buena estimación de los valores que podríamos hallar en ese plazo y ayudó a ajustar el cuadro a como fue propuesto dentro del documento QIS 5 de EIOPA pero finalmente adaptado al mercado de México.

Al observar la tabla de factores obtenidos tanto a la alza como a la baja, notamos una diferencia significativa respecto al presentado en el documento de especificaciones técnicas de QIS5. Además de las diferencias por la naturaleza de los propios mercados, observamos que la tendencia de los factores no es descendente en relación al plazo, en la tabla de factores para caso mexicano a partir del nodo 10 se puede hallar dicha relación. Debido a las diferencias marcadas entre CETES y Bonos Gubernamentales de mayo plazo, observamos un ligero incremento en los factores a la alza y un decremento en los factores a la baja que habría que aplicar para el cálculo del requerimiento de capital de solvencia bajo la nueva regulación mexicana.

# Glosario

## **Actuario**

Es el profesional en la aplicación de modelos estadísticos y matemáticos para la evaluación de riesgos, principalmente en la industria aseguradora y financiera.

Los Actuarios evalúan matemáticamente la probabilidad de eventos y cuantifican los resultados contingentes con el fin de minimizar los impactos de las pérdidas financieras asociadas con los eventos inciertos.

## **Activo**

Es un recurso controlado por la entidad como resultado de sucesos pasados, del que la entidad espera obtener, en el futuro, beneficios económicos.

## **Bonos Corporativos**

Son un tipo de bono financiero emitido por una corporación para recaudar dinero con el fin de expandir su negocio. El término se aplica generalmente a instrumentos de deuda a largo plazo, por lo general con una fecha de vencimiento.

## **Cálculo estocástico**

Es una rama de las matemáticas que opera en los procesos estocásticos y las ecuaciones diferenciales estocásticas.

## **CNSF (Comisión Nacional de Seguros y Fianzas)**

Órgano Desconcentrado de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, encargada de supervisar que la operación de los sectores asegurador y afianzador se apegue al marco normativo, preservando la solvencia y estabilidad financiera de las instituciones de Seguros y Fianzas, para garantizar los intereses del público usuario, así como promover el sano desarrollo de estos sectores con el propósito de extender la cobertura de sus servicios a la mayor parte posible de la población.

## **Cuentas por cobrar**

Es un concepto de contabilidad donde se registran los aumentos y las disminuciones derivados de la venta de conceptos distintos a mercancías o prestación de servicios, única y exclusivamente a crédito documentado (títulos de crédito, letras de cambio y pagarés) a favor de la empresa.

## **Deuda subordinada**

Son títulos valores de renta fija con rendimiento explícito, emitidos habitualmente por entidades de crédito y grandes sociedades, en los que el cobro de los intereses puede estar condicionado a la existencia de un determinado nivel de beneficios

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

Es una autoridad europea de supervisión independiente que actúa dentro del ámbito de aplicación de varias directivas europeas que se aplican a las empresas de seguros, las empresas de reaseguros, los fondos de pensiones de empleo y los intermediarios de seguros.

El objetivo de la EIOPA es proteger el interés público contribuyendo a la estabilidad y eficacia del sistema financiero a corto, medio y largo plazo, para la economía de la Unión Europea, sus ciudadanos y sus empresas.

### **Interpolación**

En el subcampo matemático del análisis numérico, se denomina interpolación a la obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos. Uno de los métodos más sencillos y famosos es la interpolación lineal.

### **MatLab**

Sistema interactivo de programación para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices. Como su nombre lo sugiere, está diseñado para la solución de problemas que pueden ser resueltos por medio de matrices.

### **Modelo Matemático**

Es uno de los tipos de modelos científicos que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.

### **Modelo Probabilístico**

Es la forma que pueden tomar un conjunto de datos obtenidos de muestreos de datos con comportamiento que se supone aleatorio.

### **Pasivo**

Un pasivo representa las obligaciones actuales surgidas como consecuencia de sucesos pasados, para cuya extinción la empresa espera desprenderse de recursos que puedan producir beneficios o rendimientos económicos en el futuro.

### **Percentil**

Es una medida de tendencia central usada en estadística que indica, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un grupo de observaciones.

### **Póliza de Seguro**

Es aquel documento que refleja datos y condiciones del contrato de un seguro.

### **Préstamo Hipotecario**

Es un producto financiero mediante el que una entidad financiera nos presta dinero en base a una garantía real, en este caso un bien inmueble.

**Prima de seguro**

Cantidad que debe satisfacer el tomador del seguro a la aseguradora como contraprestación por la cobertura de riesgo que ésta le da.

**Reaseguro**

Se trata de un contrato que suscribe tu compañía de seguros con otra compañía (en este caso, sería la reaseguradora), para que asuma parte (o la totalidad) del coste de un posible siniestro.

**Reserva técnicas**

Las reservas permiten determinar la capacidad de la entidad aseguradora para hacer frente a sus obligaciones actuales o eventuales contraídas en virtud de su actividad y se constituyen como fuente principal para atender el pago de las mismas.

**Seguro de Daños**

Es aquel contrato de seguro que pretende el resarcimiento de un daño patrimonial sufrido por el asegurado.

**Seguro de Vida**

Es aquel que le garantiza a una persona en caso de su propio fallecimiento un resarcimiento económico a sus familiares directos o en su defecto a aquellas personas que él mismo elija como beneficiarios del mismo.

**Simulación**

Es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos.

**Tasa de interés**

Es el precio del dinero o pago estipulado, por encima del valor depositado, que un inversionista debe recibir, por unidad de tiempo determinado, del deudor, a raíz de haber usado su dinero durante ese tiempo.

# Bibliografía

## Bibliografía General

1. EIOPA  
2010 *QIS5 Technical Specifications*, EIOPA, Bruselas
2. EIOPA  
2007 *QIS4 Technical Specifications*, EIOPA, Bruselas
3. Comité de Solvencia II de AMIS  
2010 *Solvencia II*, AMIS, México
4. Venegas Martínez, F.  
2008 *Riesgos financieros y económicos: productos derivados y decisiones económicas bajo incertidumbre*, México, Cengage Learning
5. Instituto Mexicano de Ejecutivos de Finanzas, A.C  
2009 *Gobierno Corporativo en México: Hacia una Empresa más Profesional e Institucional*, Editorial IMEF, México
6. González, P.  
2007 *Solvencia II: Ejes del proyecto y diferencias con Basilea*, Anales del Instituto de Actuarios Españoles, Madrid, pp. 37-54
7. Moreno, M. y Ruiz Cabestre, F.  
2000 «*Modelización de la estructura temporal de los tipos de interés: Valoración de activos derivados y comportamiento empírico*», en *Revista española de financiación y contabilidad*, n.º 104, 345-376.
8. Palacio Montoya, J.  
2009 *Análisis, Descripción y Simulación de Modelos Estocásticos de Tasas de Interés*, Universidad EAFIT, Medellín
9. Georges, P.  
2003 *The Vasicek and CIR Models and the Expectation Hypothesis of the Interest Rate Term Structure*, Department of Finance-Canada, Working Paper 2003-17
10. Rogemar S.  
2004 *Three Ways to Solve for Bond Prices in the Vasicek Model*, *Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences*, 8(1), 1-14
11. Valderas, Juan M., Alba, J. y Olmedo, E.  
2002 «*Modelización estocástica en los mercados financieros: Un puente entre lo simple y lo complejo*», en *Revista Universidad de Sevilla, España*

12. Albarrán, I. y González P.  
2010 *Métodos estocásticos de estimación de las provisiones técnicas en el marco de Solvencia II*, Fundación Mapfre, Madrid
13. Alabert, A.  
*Introducción a las Ecuaciones Diferenciales*, Universidad Autónoma de Barcelona, España.
14. EIOPA  
2010 *Task Force: Report on the Liquidity Premium*. EIOPA, Frankfurt
15. PwC  
2011 *Understanding the implications of QIS5*, PricewaterhouseCoopers
16. Palacio Montoya, J.  
2008 *Estudio de procesos de reversión a la media*, Universidad EAFIT, Medellín
17. Solana, P. y Sánchez, Ma.  
2001 *Modelos de los precios de la energía eléctrica en España: Reversión a la media de primer y segundo orden*, Universidad politécnica de Madrid, Madrid
18. PwC  
2010 *Solvencia II: Principios incluidos en la propuesta directiva*, PricewaterhouseCoopers, Chile
19. Van Elen, E .  
2010 *Term Structure Forecasting*, Tilburg School of Economics and Management, Tilburg University, Países Bajos, pp. 6-10
20. Chuang Yi, B.  
2005 *Credit Risk from theory to application*, McMaster University, Canada, pp. 5-8
21. Bayazit, Dervis  
2004 *Yield curve estimation and prediction with Vasicek Model*, Middle East Technical University, Turquía, pp. 7-20
22. Castelo Matrán, J., Guardiola Lozano, A. y Castelo Marín, Ma.  
2008 *Diccionario MAPFRE de Seguros*, Fundación MAPFRE, Madrid
23. Díaz Modragón, Manuel  
2008 *Mercados Financieros de México y el Mundo: instrumentos y análisis*, 3ra. Edición, Gasca, pp 73-88

## **Bibliografía de apoyo**

1. Serafini, María T.  
1992 *Cómo se escribe*, Milán, Editorial Paidós, 1° ed. 1996 México