



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**MEDICIÓN DE RIESGOS EN SWAPS, Y PROCESOS DE TASAS DE  
INTERÉS EN CHILE**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

**FELIPE FIGUEROA CISTERNA**

SANTIAGO DE CHILE  
NOVIEMBRE 2011



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**MEDICIÓN DE RIESGOS EN SWAPS, Y PROCESOS DE TASAS DE  
INTERÉS EN CHILE**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

**FELIPE FIGUEROA CISTERNA**

**PROFESOR GUÍA:  
JOSÉ MIGUEL CRUZ GONZALEZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
JUAN PABLO CASTRO ANSIETA  
SERGIO LEHMANN BERESI**

**SANTIAGO DE CHILE  
NOVIEMBRE 2011**

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL  
POR : FELIPE FIGUEROA CISTERNA  
FECHA : 04/11/2011  
PROF. GUÍA: JOSÉ MIGUEL CRUZ

### **“MEDICIÓN DE RIESGOS EN SWAPS, Y PROCESOS DE TASAS DE INTERÉS EN CHILE”**

El mercado de swaps de tasa de interés ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos años en Chile, alcanzando grandes volúmenes transados y una liquidez importante, principalmente en el sector bancario. Si bien estos instrumentos permiten la administración de riesgos, surge la necesidad de estimar el riesgo que subyace a ellos. El presente trabajo de título tiene como objetivo explorar la conveniencia y relevancia de sofisticar procesos de tasas de interés que permiten medir el riesgo por contraparte y estimar el riesgo de mercado en swaps, aplicándolas al caso chileno sobre swaps cámara, determinando bajo que contexto es conveniente utilizar modelos de mayor grado de complejidad.

En una primera etapa, se implementa el modelo de Vasicek (VAS) y el modelo de Cox-Ingersoll y Ross (CIR), con el objeto de evaluar el énfasis de la sofisticación, comprobándose que el nivel de largo plazo posee gran influencia sobre los perfiles de riesgo, principalmente porque produce diferencias importantes en el riesgo presente en cada posición del swap. Así, se opta por una dinámica que complejice el modelamiento del nivel de largo plazo, implementándose el modelo de dos factores de aleatoriedad Central Tendency (CT).

A partir del modelo CT, se obtienen perfiles de riesgo de mercado y contraparte tanto para swaps de distintos plazos como sobre distintos comportamientos de las tasas (volatilidad, velocidad de reversión al nivel de largo plazo y premio por plazo), siendo contrastados con perfiles de riesgo obtenidos a través de VAS, a modo de medir el desempeño relativo del modelo de mayor grado de complejidad.

Los resultados obtenidos muestran que CT posee una performance superior en swaps cámara para plazos mayores a 3 años, subestimando VAS el riesgo a partir de este plazo, siendo recomendable por ende utilizar el modelo CT para plazos largos y VAS para plazos cortos.

Por otro lado, ante distintos escenarios de volatilidad se muestra que CT entrega resultados similares a los obtenidos por VAS a pesar de tener mayores grados de libertad, recomendándose la utilización del modelo menos complejo en este caso.

Ante distintos escenarios de reversión a la media, se vuelve recomendable y muy conveniente utilizar CT, principalmente para swaps de mediano y largo plazo, debido al impacto positivo del parámetro de largo plazo aleatorio sobre la captura del riesgo. Además, ante escenarios de bajo premio por plazo, es recomendable utilizar CT pues VAS subestima el riesgo en este caso al modelar como una constante el parámetro de largo plazo. Para el caso de alto premio por plazo se obtienen resultados similares, por lo que se recomienda la utilización de VAS.

Finalmente, comparando la metodología propuesta por la SBIF basada en ponderadores para el cálculo del riesgo equivalente de crédito, con los resultados obtenidos a través de las dinámicas de tasa, se puede verificar que los ponderadores subestiman el riesgo de contraparte presente en swaps, evidenciando que dicha metodología pareciera estar obsoleta.

## **AGRADECIMIENTOS**

Muchas son las personas que han contribuido de alguna u otra manera en mi formación como ingeniero y no puedo más que expresarles a través de estas palabras todo el afecto y gratitud que siento por ellos en el momento en que llego al final de este largo camino recorrido.

A mis padres Mónica y Ricardo, por todo el amor e inmenso apoyo que me han brindado en cada uno de los desafíos que me he embarcado y porque sin duda cada uno de mis logros se los debo a ustedes.

A mi polola Francesca, por estos 11 años de amor y aprendizaje que hemos vivido juntos y por su especial apoyo, dedicación, entrega e incondicional amor brindado durante el desarrollo de este trabajo.

A mis hermanos, Sebastián y Constanza y a toda mi familia, por todo su apoyo y confianza entregada.

A la familia Banchemo Contreras quienes han sido parte importante de este proceso y que siempre me han entregado su apoyo.

A mis amigos, en especial a Carlos, Nicolás y Fernando quienes me han acompañado a pesar de todo.

A mis amigos de la u, el gran equipo “Chanchomen”, con quienes he compartido grandes momentos de mi vida universitaria.

A los profesores que contribuyeron con sus enseñanzas a mi formación, en especial a José Miguel Cruz quien me apoyó en este trabajo y me ayudó muchísimo en momentos álgidos y a Juan Pablo Castro quien me entregó distintas visiones que permitieron complementar mis principales argumentos.

A mis compañeros del taller de título, quienes siempre creyeron en mi memoria y que con sus comentarios me ayudaron a mejorar los puntos débiles de ésta.

A todos muchas gracias.

## TABLA DE CONTENIDOS

1. ANTECEDENTES GENERALES .....	7
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	13
3. OBJETIVOS.....	14
3.1 Objetivo General .....	14
3.2 Objetivos Específicos .....	14
4. MARCO CONCEPTUAL.....	15
4.1 Swaps y su mecánica.....	15
4.1.1 Valorización de swaps de tasa de interés.....	17
4.2 Riesgo en swaps.....	18
4.2.1 Riesgo de mercado .....	18
4.2.2 Riesgo de contraparte.....	19
4.3 Modelos dinámicos de tasa de interés.....	22
4.3.1 Descripción.....	22
4.3.2 Tasas de interés estocásticas .....	24
4.3.3 Modelos de Equilibrio.....	25
4.3.3.1 Modelo Vacisek .....	25
4.3.3.2 Modelo CIR .....	26
5. IMPLEMENTACIÓN PRELIMINAR DE DINÁMICAS DE TASA DE INTERÉS.....	27
5.1 Implementación de un modelo Vacisek y estimación de riesgo en swap .....	28
5.2 Implementación de un modelo CIR y estimación de riesgo en swap .....	31
5.3 Análisis de la exposición a potenciales pérdidas.....	35
6. DINÁMICA DE TASA DE INTERÉS CON 2 FACTORES.....	38
6.1 Central Tendency Model.....	39
7. IMPLEMENTACIÓN FINAL Y CALIBRACIÓN DE DINÁMICAS DE TASA DE INTERÉS .....	40
8. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	41

8.1 Plazo .....	42
8.2 Volatilidad.....	52
8.3 Reversión a la media.....	56
8.4 Premio por plazo .....	60
8.5 Análisis general de resultados .....	65
8.6 Comparación de metodología basada en ponderadores SBIF .....	72
9. CONCLUSIONES.....	73
10. BIBLIOGRAFIA.....	77
11. ANEXOS.....	79

## 1. ANTECEDENTES GENERALES

La incertidumbre es una característica esencial de toda operación financiera. Ello deriva de la volatilidad presente tanto en los mercados globales como de la dificultad para predecir el comportamiento de variables económicas relevantes. Así, es natural que inversionistas deseen conocer y gestionar los riesgos presentes en cada una de las operaciones que realizan. En ese sentido, surgen los instrumentos derivados que dentro de sus características poseen la virtud de permitir la transferencia y administración de riesgos financieros.

El mercado de derivados financieros ha jugado un rol fundamental en la estabilidad financiera en el mundo a pesar de la contingencia observada de los últimos años, convirtiéndose en una herramienta esencial para la administración de riesgos y también como alternativa de inversión, siendo utilizados por las más grandes compañías a lo largo del planeta.<sup>1</sup> Además, su desarrollo contribuye a potenciar el sistema financiero, lo que conlleva a entregar amplias alternativas de servicios financieros, permitiendo así diversificar mejor y cubrir el riesgo financiero.<sup>2</sup> Luego, la importancia de estos instrumentos ha sido creciente en el mundo y en nuestro país.

Chile es una economía emergente con un modelo de mercado abierto, lo que trae consigo el que ésta se vea afectada por shocks de precios internacionales, generando de esta forma un impacto sobre las tasas de interés, tipos de cambio y precios de materias primas. Por ende, la necesidad de administrar y gestionar el riesgo que se enfrenta se vuelve latente.

El mercado de derivados de moneda local ha experimentado un rápido desarrollo a partir del año 2002, producto, entre otras cosas, del acuerdo entre bancos que pactó el uso de la tasa promedio interbancaria como indicador flotante y la creación del índice cámara promedio, indicador que busca representar el costo de fondos equivalente de financiar una posición a la tasa overnight. A los pocos años este tipo de instrumentos pasarían a ser una herramienta ampliamente utilizada por la banca chilena,<sup>3</sup> siendo los Seguros de Inflación UF/\$, los Forward de tasas de interés y los swaps promedio cámara SPC \$ y SPC UF los derivados que cuentan con volúmenes relativamente importantes en el mercado.

La siguiente tabla muestra la evolución de derivados de tasa de interés para los años 2007 y 2010:

---

<sup>1</sup> Deutsche Borse Group (2009)

<sup>2</sup> Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras (2009)

<sup>3</sup> Banco Central de Chile (2007)

<b>Monto promedio diario de derivados de tasa de interés [MM USD]</b>		
	Abril 2007	Abril 2010
Brasil	126	6967
Mexico	3250	1739
Chile	5	204
Colombia	9	19
Perú	17	4

*Tabla 1. Monto promedio diario de derivados de tasa de interés negociados a través de mercados OTC a abril 2007 y abril 2010. Fuente: Bank of International Settlements (BIS)*

Dentro de los derivados de tasa más importantes se encuentran los Swaps de tasas promedio Cámara (SPC CLP o UF), los que han tenido un desarrollo importante los últimos años principalmente en el sector bancario. Estos productos permiten realizar una permuta financiera que consiste en pagar/recibir tasa de interés fija en \$ o en UF a cambio de recibir/pagar tasa flotante sobre el promedio de la tasa interbancaria diaria. Dentro de sus características figura el que son instrumentos de bajo riesgo pues no hay intercambio de principal entre las partes y además actúan por compensación, compensando sus intereses al término del contrato para swaps con plazos menores a 1,5 años y semestralmente para plazos mayores.

El atractivo de estos swaps de tasa radica principalmente en su utilización con fines de cobertura y calces de balance por parte de las mesas de ALM<sup>4</sup> bancarias y también con fines especulativos por parte de las mesas de dinero locales, como también porque permiten hacer seguimiento a las expectativas de mercado de la inflación y la Tasa de Política Monetaria (TPM). Además, cobran fuerte relevancia frente a inversionistas extranjeros, tales como Hedge Funds y bancos internacionales, principalmente instituciones bancarias norteamericanas que operan con bancos nacionales, pues debido a temas normativos y tributación se genera una mayor conveniencia de invertir en SPC que invertir directamente en Bonos del Banco Central cuando se busca especular sobre dichos bonos o sobre las tasas de interés locales. Este tipo de instrumentos son negociados y transados de manera bilateral a través de mercados OTC<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> ALM: Asset & Liability Management

<sup>5</sup> OTC: Over the Counter

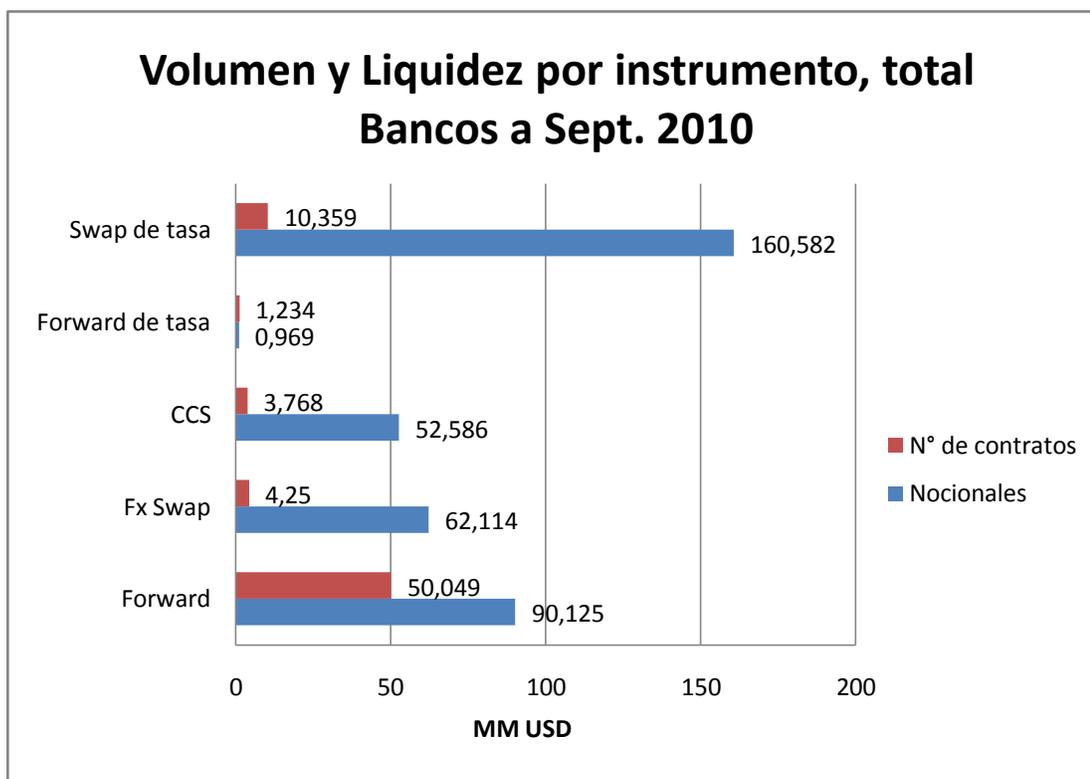
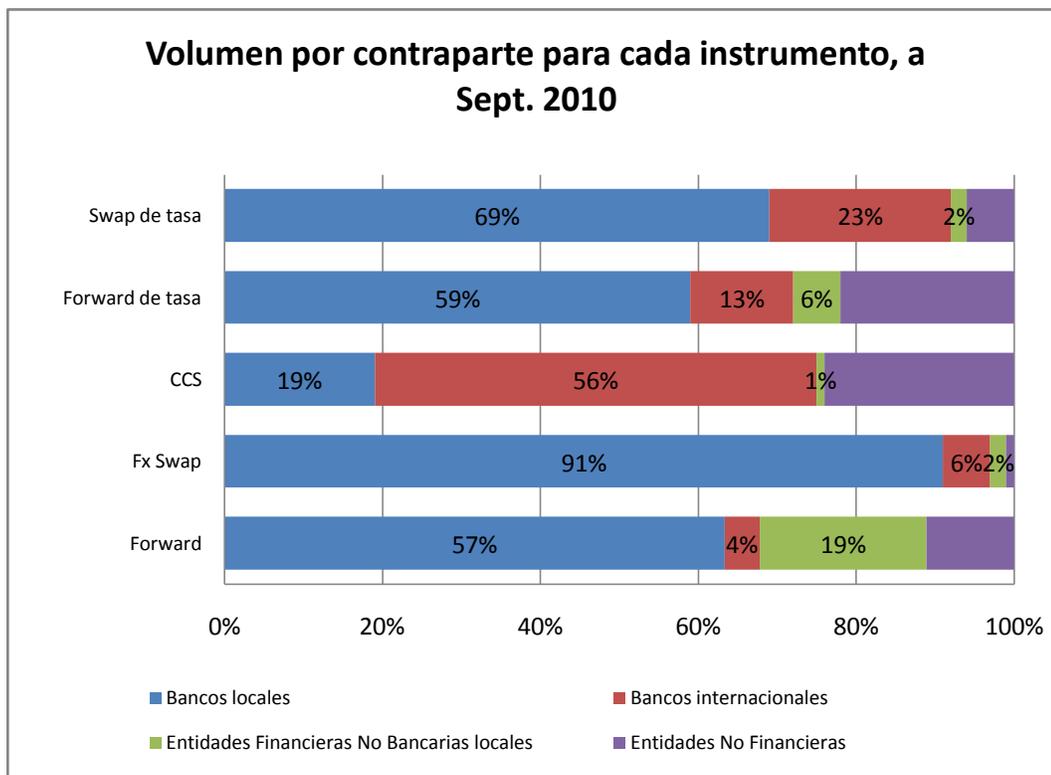


Figura 1. Distribución del volumen y liquidez, por instrumentos, para entidades bancarias a septiembre de 2010. Fuente: Información de Mercado.

La figura anterior muestra la distribución del volumen por instrumentos, destacando que los swaps de tasa concentran cerca del 45% del volumen total, posicionándose por sobre los volúmenes de derivados de moneda importantes, como es el Forward y mostrando un nivel de liquidez moderada, cercana al 15%, sólo superada por el Forward en cuanto a número de contratos.

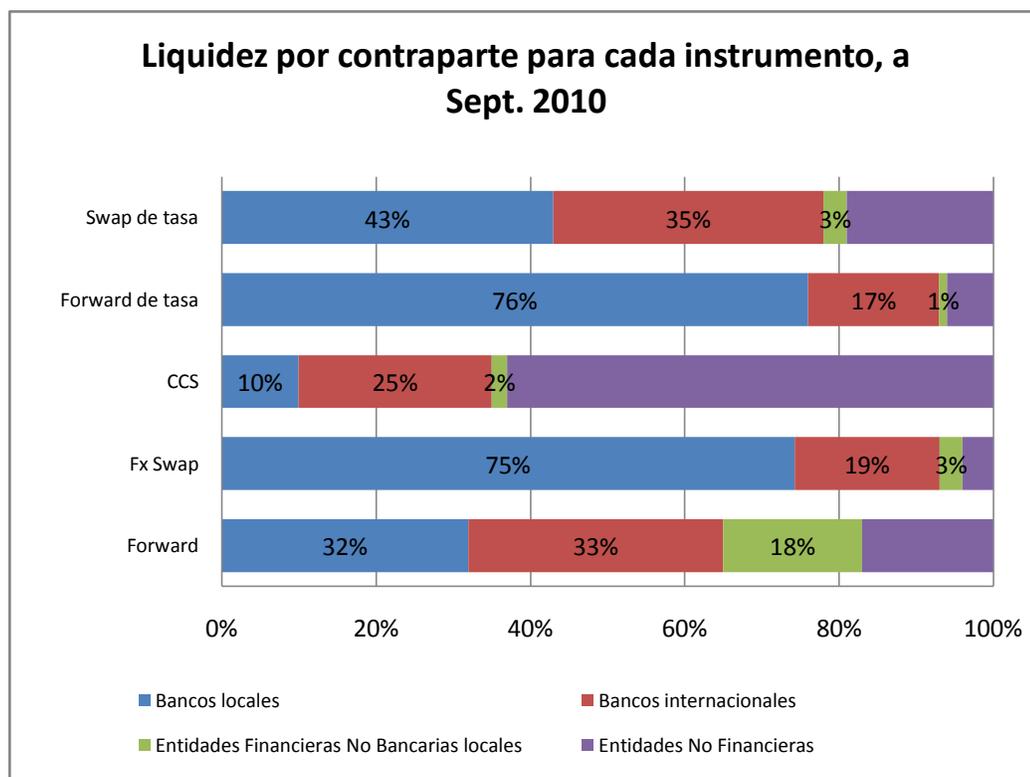
El mercado local de derivados cuenta con un desarrollo mixto: por un lado se encuentra el mercado OTC, el cual posee cierta profundidad sobre algunos derivados, mientras que en los mercados organizados prácticamente no se transa ningún derivado. Lo anterior dificulta la información disponible acerca del mercado de swaps. Sin embargo, a partir de entrevistas realizadas a operadores de mesas de dinero, se encontró evidencia de que los swaps cámara son transados a través de brokers, tales como TRADITION, Enlace, ICAP, PREBON y GFI o directamente de manera interbancaria. Además, de los plazos relevantes para este tipo de contratos se estima que el 80% de los contratos con mayor liquidez son de 1 a 5 años, aunque existen precios para contratos de hasta 20 años.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Información recopilada a partir de entrevistas a operadores de mesa de dinero. En el ANEXO A se adjunta un closing run obtenido para SPC-\$ y UF



*Figura 2. Distribución del volumen, por contraparte, para entidades bancarias a septiembre de 2010.  
Fuente: Información de Mercado.*

Por otro lado, a partir de la figura anterior es posible ver la concentración de los principales demandantes de derivados en el mercado chileno, dando cuenta de que para los swaps de tasa se tiene un volumen altamente concentrado en bancos locales e internacionales, representando cerca del 92% del volumen total para este tipo de contratos. Sólo en el caso del swap de moneda (Fx swap), la concentración de los bancos locales supera a la obtenida para los swap de tasa.



*Figura 3. Distribución del volumen, por contraparte, para entidades bancarias a septiembre de 2010.  
Fuente: Información de Mercado.*

Con respecto a la distribución del n° de contratos por instrumento, es posible ver que la concentración de contratos se encuentra en contrapartes bancarias tanto locales como internacionales, acumulando ambas cerca del 78% del total de contratos para el caso de los swaps de tasa y por ende, pasando a ser los derivados de tasa de interés con mayor cantidad de contratos abiertos y de mayor volumen para el sector bancario local.

Por otra parte, si bien la utilización de derivados como los swaps cámara (SPC) son herramientas importantes para permitir a bancos e instituciones financieras administrar el riesgo de sus inversiones y/o obligaciones e inclusive diversificar las fuentes de riesgo, se hace necesario el monitoreo constante de éstos debido a las fluctuaciones propias de sus valores para que, efectivamente, el uso de derivados permita controlar el riesgo presente a partir de sus exposiciones. Además, debido a que los SPC son en su naturaleza contratos en los cuales se negocia una promesa de pagos futuros entre 2 partes las cuales acuerdan las modalidades de liquidación del instrumento, el riesgo no es ajeno a lo largo de la vida del swap, producto de la incertidumbre tanto en el cumplimiento de los compromisos pactados como en el movimiento de los factores que determinan el precio del instrumento. Así, se puede afirmar que, principalmente, en la operación de derivados el monitoreo del riesgo se debe centrar en la estimación tanto del riesgo de mercado como del riesgo de contraparte.

Al momento de su estructuración, el valor de un swap para ambas partes negociantes debe ser cercano a 0. Sin embargo, producto de la volatilidad presente en los factores

que determinan el precio del swap (para el caso de un SPC, tasas de interés y UF), éste puede variar a lo largo de su vida. Luego, debido a las variaciones en el precio de mercado del swap es necesario estimar la pérdida potencial en el valor del instrumento, esto es, su riesgo de mercado.

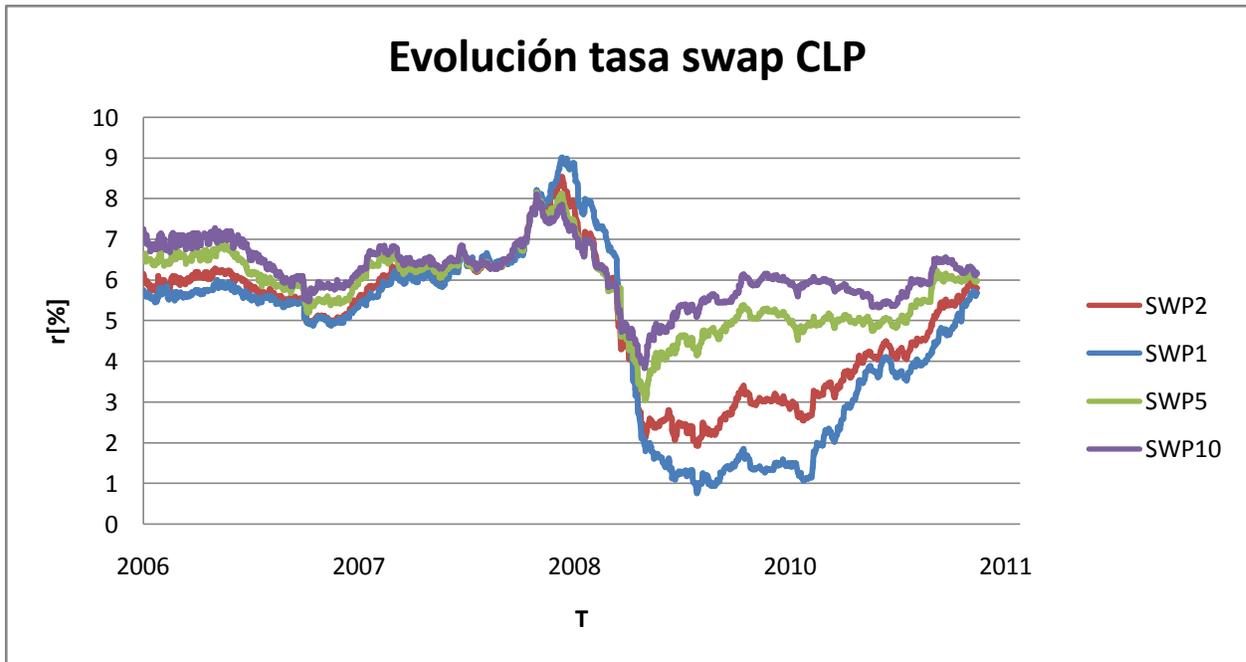


Figura 4. Tasas swap SPC-\$, periodo 2006 a 2011. Fuente: Bloomberg.

El gráfico anterior muestra la evolución de la tasa swap de un SPC \$-Cámara para distintos plazos, donde se pueden apreciar los cambios que hacen presumir que, dado que el valor del swap depende de esta tasa, dicho valor se moverá conforme a su evolución.

Además, al poseer los swaps de tasa una promesa de pago de flujos futuros, existe el riesgo de que ésta no sea cumplida. La exposición a dicho riesgo se encuentra acrecentada por el hecho de que en Chile no existe una entidad de Contraparte Central para derivados que asuma el riesgo de crédito asociado a cada operación y que, al ser los SPC negociados completamente a través de OTC, existe un riesgo de contraparte importante al liquidarse las obligaciones emanadas del contrato de manera bilateral. Luego, se hace imprescindible conocer el riesgo de contraparte asociado a cada operación.

La estimación tanto del riesgo de mercado como de contraparte ayuda a quienes operan con instrumentos derivados a gestionar y administrar el riesgo de sus activos financieros. Conocer con precisión y de manera confiable el riesgo en el que incurren se vuelve valioso para los inversionistas del sector bancario, pues las exposiciones producto de la utilización de este tipo de instrumentos deben ser controladas a fin de

apoyar al proceso de toma de decisiones e informadas al ente regulador, esto es, la SBIF. Luego, la presente memoria será de gran utilidad para inversionistas del sector bancario que deseen conocer con precisión y de forma transparente su exposición al riesgo cuando operan con este tipo de contratos producto de la evolución del valor de éstos a través del tiempo.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

Para los participantes del mercado de derivados de moneda local, específicamente para quienes operan con SPC, existe la necesidad de conocer el riesgo al cual se ven expuestos a lo largo de la vida de sus activos financieros. Ello debido a las condiciones que favorecen la existencia de riesgo de contraparte como son las operaciones bajo mercados OTC y la ausencia de una entidad de Contraparte Central que absorba este riesgo, así como también la incertidumbre asociada a movimientos adversos en los factores que determinan el precio de sus activos<sup>7</sup>.

Para ello, la Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras (SBIF) provee a la banca de normativas para la estimación del riesgo al cual están expuestos sus activos, basando dicho cálculo en la ponderación por riesgo de sus activos a partir de una categorización de los instrumentos derivados utilizados. Esta normativa identifica ponderadores de riesgo denominados equivalentes de crédito<sup>8</sup> de los contratos, determinados según activo subyacente y vencimiento residual del contrato<sup>9</sup>, asignándole un factor tabulado tanto para contratos de tasa de interés como contratos sobre monedas. Ello genera una aproximación del riesgo incurrido al ponderar por el factor antes mencionado el valor de la posición sobre éste.

Sobre este punto resulta interesante analizar la efectividad de este método a la hora de capturar el riesgo, principalmente por la necesidad de contar con herramientas confiables, trazables y transparentes para estimar la exposición tanto al riesgo de mercado como al riesgo de contraparte. Mientras más completa sea la aproximación de la pérdida potencial en el valor de los activos financieros, se genera mayor valor al proceso de toma de decisiones en que se ven inmersos los inversionistas del sector bancario.

Surgen de la literatura diversos métodos de valorización de instrumentos financieros, dentro de los que se encuentran los modelos estáticos y dinámicos de tasas. Mientras los modelos estáticos de tasas permiten valorizar instrumentos financieros de manera spot, los modelos dinámicos de tasas permiten conocer la evolución de su valor a través

---

<sup>7</sup> Carlos Budnevich, Superintendente de Bancos e Instituciones Financieras.

<sup>8</sup> Se entiende por equivalente de crédito al valor razonable (valor de mercado) del instrumento derivado, más un monto adicional que se obtiene aplicando sobre el monto nocional un factor de conversión que depende del subyacente y del plazo de vencimiento residual del derivado.

<sup>9</sup> Para mayor detalle de la Norma 48 de la SBIF, se adjunta en el Anexo B un extracto de la norma.

del tiempo. Existe una amplia gama de trabajos relacionados al modelamiento dinámico de tasas de interés, de donde se desprenden los modelos de un factor, que utilizan un factor de volatilidad para generar trayectorias de tasas de interés y modelos multifactoriales que lo hacen a través de un número mayor de factores. Estos modelos podrían llegar a ser de gran utilidad a la hora de conocer el riesgo en que se incurre en la operación con derivados, debido a que permiten valorizar un instrumento a lo largo de su vida, generando así la posibilidad de explorar su utilización para la estimación tanto del riesgo de mercado como de contraparte presente en derivados de alta importancia como los swap cámara, centrando este estudio en los swap SPC- $\$$ .

Como los derivados en Chile han experimentado un rápido desarrollo es evidente la necesidad de contar con tecnología que soporte la expansión del mercado, estando condicionado el crecimiento con una mayor sofisticación del mercado.<sup>10</sup> Esto sin duda apoya la utilización de tecnología que agregue valor sobre las actuales prácticas realizadas en el mercado local.

Esta memoria será de gran utilidad para explorar la relevancia y conveniencia de sofisticar para las entidades bancarias chilenas los procedimientos que permiten medir el riesgo de crédito por contraparte y estimar el riesgo de mercado en swaps cámara SPC ( $\$$ ) utilizados ampliamente en el sector bancario, a través distintas dinámicas de tasa de interés. Con ello además se busca verificar los ponderadores de riesgo utilizados a partir de la metodología propuesta por la SBIF para generar evidencia acerca de su real ajuste.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

El principal objetivo de este trabajo es explorar la conveniencia y relevancia de sofisticar los procesos de tasa de interés utilizando distintas dinámicas de tasas para medir el riesgo por contraparte y estimar el riesgo de mercado en swaps.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Describir la operatoria que caracteriza al mercado de swaps.
- Seleccionar modelos dinámicos de tasas ampliamente validados y utilizados en mercados internacionales relevantes para su estudio y aplicación.

---

<sup>10</sup> Carlos Budnevich, Superintendente de Bancos e Instituciones Financieras.

- Definir una metodología de comparación que permita mostrar la conveniencia de utilizar dinámicas de tasas sofisticadas.
- Construir escenarios para los modelos de tasa según datos locales, definiendo casos para la estimación de riesgo en swaps.
- Observar las peores pérdidas potenciales para las distintas dinámicas de tasas evaluadas, estimado el riesgo de mercado y contraparte según escenarios.
- Valorar la conveniencia de utilizar modelos de mayor sofisticación para la estimación del valor en riesgo en swaps sobre modelos de menor complejidad.
- Concluir acerca de la relevancia de utilizar modelos sofisticados para valorar SPC verificando los ponderadores de riesgo de la metodología propuesta por la SBIF.

#### **4. MARCO CONCEPTUAL**

Para la realización de este estudio, primero se presentan acercamientos conceptuales de los instrumentos derivados relevantes para este estudio, esto es, los swaps y su mecánica de operación, para luego conocer los fundamentos sobre los riesgos relevantes en este tipo de contratos como son el riesgo de mercado y riesgo de contraparte, la estimación de la exposición a éstos y las dinámicas de tasa de interés subyacentes que permiten modelar dichos riesgos.

##### **4.1 Swaps y su mecánica**

Un swap es un acuerdo de permuta financiera donde 2 entidades acuerdan intercambiar flujos de caja en el futuro. Las fechas en las cuales se realizarán los pagos de los flujos y la forma en que ellos se calculan se estipulan en el momento de su estructuración (acuerdo). Los swaps pueden involucrar intercambios de flujo en una misma moneda o flujos de caja de distintas monedas.

Un tipo de swap comúnmente utilizado es el denominado swap de tipo de interés vanilla. En él, una entidad acuerda pagar flujos de caja equivalentes a una tasa de interés fija sobre un monto notional de manera programada a cambio de recibir interés

variable y la otra entidad acuerda realizar pagos de flujos de caja equivalentes a una tasa de interés variable sobre un monto nocional a cambio de recibir interés fijo durante el mismo periodo de tiempo. Así, para el caso de la entidad que paga interés fijo, el entrar en un acuerdo swap de tasa de interés le permite, por ejemplo, cambiar la naturaleza de su obligación: si antes de entrar en el swap poseía un compromiso a tasa fija gracias al acuerdo éste se transforma en un compromiso a tasa variable. El siguiente esquema muestra la operación antes descrita:

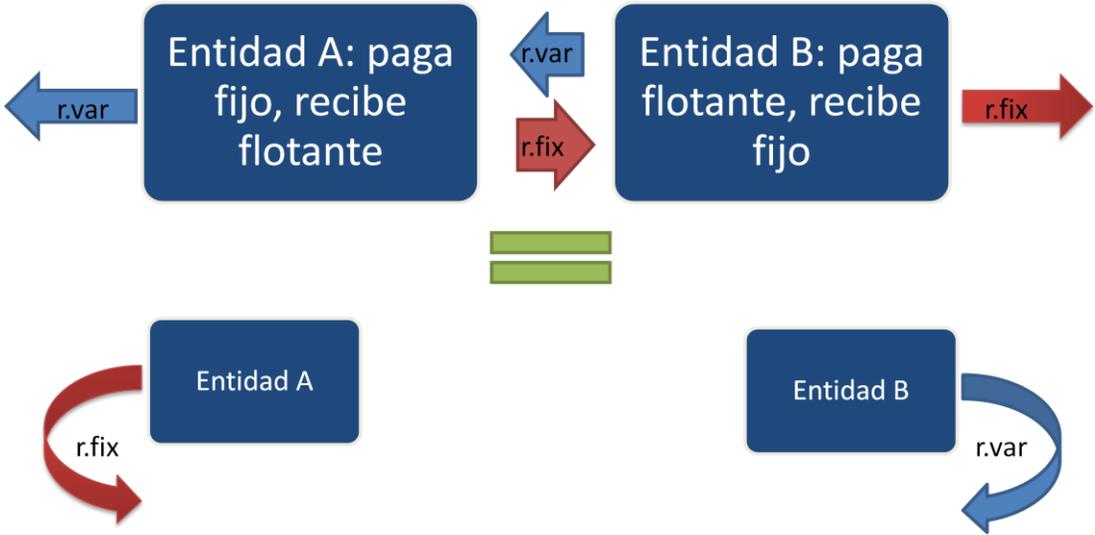


Figura 5. Swap de tasa de interés. Elaboración Propia.

Un swap puede ser utilizado con distintos propósitos: por un lado, su uso puede estar orientado a la transformación de la naturaleza de un pasivo (de préstamo a tasa fija a préstamo a tasa variable), con fines de calce de flujos de balance y con fines especulativos sobre las expectativas de los activos subyacentes al swap, que en el caso de los swaps de tasa de interés corresponden a las tasas involucradas en su estructuración.

Una vez estructurado un swap, el intercambio de flujos de caja ocurre cada cierto t. Comúnmente el intervalo de tiempo suele ser de 6 meses, dependiendo en el caso de los swap cámara del plazo del contrato, dado que sólo para swaps de plazo mayor a 1,5 años se consideran bajo esta estructura. El siguiente diagrama representa los flujos de caja de un swap de tasas de interés:

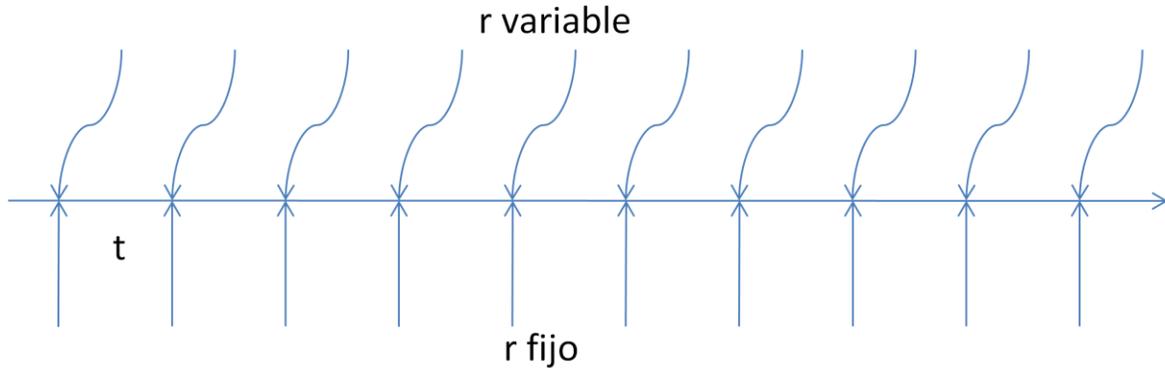


Figura 6. Flujos de caja de un swap. Una vez transcurrido un cierto intervalo de tiempo  $t$ , se intercambian flujos sobre una tasa fija con flujos sobre tasa variable o flotante. Elaboración propia.

#### 4.1.1 Valorización de swaps de tasa de interés

Un swap puede ser descompuesto en 2 partes. Por un lado, se encuentra la fuente de flujos de caja fijo denominado “pierna fija” y por otro lado la fuente de flujos variable denominada “pierna flotante”. Dicha descomposición resulta útil a la hora de valorizar estos instrumentos principalmente porque de esta forma un swap puede ser visto como un portafolio de bonos gracias a la periodicidad con la que se realizan los intercambios de flujo en el swap. Luego, la pierna fija al entregar flujos sobre una tasa de interés fija con una periodicidad  $t$ , puede ser representada como un Bono a tasa fija con vencimiento  $T$  igual al vencimiento del swap:

$$Bfix = \sum_{i=1}^n C * e^{-r_i t_i} + N * e^{-r_n t_n}$$

Donde,

C= Tasa fija o Tasa cupón

N= Capital Nocial

$r_i$ = Tasa de descuento relevante

$t_i$ = Tiempo

Para la pierna flotante, ésta puede ser valorizada como un bono con tasa de interés variable. Así, en el instante igual a la fecha de pago éste bono es igual a un nuevo bono con tasa de interés variable. Luego,

$$Bfl(t = t_i) = N$$

Dado que para un instante entre fechas de pago se conoce la tasa variable que paga el bono, su valor depende de la tasa pero descontada durante el tiempo transcurrido. Luego,

$$Bfl(t \neq t_i) = (N + r_{i-1}) * e^{-r_t * t}$$

Donde,

$r_{i-1}$  = tasa variable conocida en el tiempo  $t-1$ .

Para cada una de las entidades participantes del swap el valor de éste dependerá de los flujos involucrados. Así, para la entidad que acuerda recibir interés fijo a cambio de entregar interés variable, el valor del swap es

$$V_{swap}(fix - fl) = B_{fix} - B_{fl}$$

Para su contraparte, la que acuerda recibir interés variable a cambio de entregar interés fijo, el valor del swap es

$$V_{swap}(fl - fix) = B_{fl} - B_{fix}$$

En el instante  $t=0$ , cuando el swap es estructurado (acordado), su valor es nulo o cercano a 0. Esto, para que el acuerdo sea igualmente atractivo para ambas partes y no signifique una pérdida económica para ninguna entidad. Sin embargo al pasar el tiempo, el valor del swap puede tomar valores positivos o negativos conforme a los cambios en los valores de los factores relevantes en su valorización, como son las tasas de mercado.

## **4.2 Riesgo en swaps**

El concepto de riesgo se encuentra relacionado con la posibilidad de que ocurra un evento que se traduzca en pérdidas para una entidad participante de los mercados financieros. Dentro de los riesgos presentes en una operación de swap, se encuentra el riesgo de mercado y el riesgo de contraparte.

### **4.2.1 Riesgo de mercado**

Producto de movimientos adversos en los factores que determinan el precio de un swap, es posible que el valor de un swap para alguna de las entidades participantes en él se vuelva negativo. Esto se traduce en la existencia de pérdida de valor económico para el tenedor del swap. Al ser los swap de tasa de interés instrumentos derivados

donde el activo subyacente a éste son las tasas, un cambio en éstas afectará el valor del swap, por lo que la posición sobre este instrumento se ve expuesta a riesgo de mercado. Así, por ejemplo, ante un desplazamiento al alza en las tasas de interés de mercado, el valor del swap para el agente que recibe tasa de interés fija a cambio de tasa de interés flotante se verá afectado negativamente, con la consiguiente pérdida asociada. Así,

$$V_{\text{swap}}(\text{fix} - \text{fl})[t = 0] = B_{\text{fix}} - B_{\text{fl}} \sim 0$$

$$\Leftrightarrow V_{\text{swap}}(\text{fix} - \text{fl})[t = 0] = \left( \sum_{i=1}^n C * e^{-r_i t_i} + N * e^{-r_n t_n} \right) - N \sim 0$$

Para un cierto cambio en el nivel de tasas  $r_i^*$  en  $t + \Delta t$ , tal que  $r_i^* > r_i$ , se tiene que:

$$\Leftrightarrow V_{\text{swap}}(\text{fix} - \text{fl})[t = t + \Delta t] = \left( \sum_{i=1}^n C * e^{-r_i^* t_i} + N * e^{-r_n^* t_n} \right) - N$$

Restando ambas ecuaciones,

$$V_{\text{swap}}[t = 0] - V_{\text{swap}}[t = t + \Delta t] = [(\sum_{i=1}^n C * e^{-r_i t_i} + N * e^{-r_n t_n}) - N] - [(\sum_{i=1}^n C * e^{-r_i^* t_i} + N * e^{-r_n^* t_n}) - N]$$

$$\Leftrightarrow \left( \sum_{i=1}^n C * e^{-r_i t_i} + N * e^{-r_n t_n} \right) - \left( \sum_{i=1}^n C * e^{-r_i^* t_i} + N * e^{-r_n^* t_n} \right) > 0$$

$$\Leftrightarrow V_{\text{swap}}(\text{fix} - \text{fl})[t = 0] > V_{\text{swap}}(\text{fix} - \text{fl})[t = t + \Delta t] \Rightarrow$$

$$0 > V_{\text{swap}}(\text{fix} - \text{fl})[t = t + \Delta t]$$

#### 4.2.2 Riesgo de contraparte

La exposición al riesgo de contraparte, corresponde al monto que una entidad podría potencialmente perder en el caso de que una de sus contrapartes cese en sus obligaciones. En el caso particular de los contratos como swaps, dado a que éstos son

acuerdos firmados entre 2 entidades, éstos conllevan riesgo de crédito. Si ninguna de las partes cesa en sus obligaciones, ambas partes estarán cubiertas. Sin embargo existe la posibilidad que una de las partes no cumpla con sus obligaciones con lo cual su contraparte se ve expuesta a una posible pérdida.

Una entidad que entra en un swap se ve expuesta a riesgo de contraparte sólo cuando el valor del swap es positivo, pues el valor positivo se traduce en la tenencia de un activo, por lo que en la eventualidad de cese de pagos por parte de la contraparte se pone en riesgo el valor del contrato.

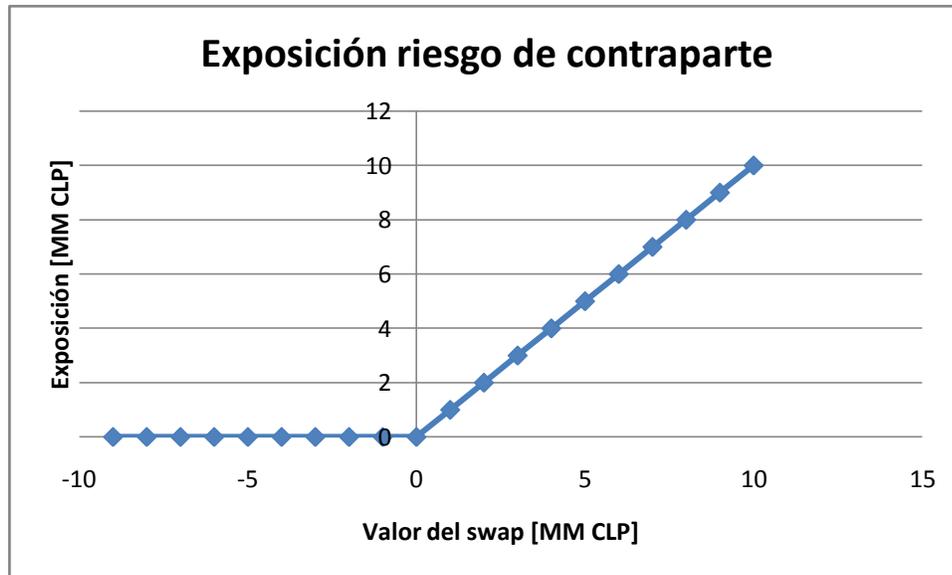


Figura 7. Exposición al riesgo de contraparte como función del valor del swap. Elaboración propia.

La importancia de estimar la exposición al riesgo de contraparte depende del propósito de las instituciones financieras. Así, para el caso de interés de estudio, se vuelve importante su estimación para:

- i) Establecer límites en el monto permitido para negocios con una contraparte en particular.
- ii) Estimar el riesgo en activos ponderados por riesgo y requerimientos de capital.

A fin de poder conocer con un cierto nivel de confianza estadística la exposición al riesgo de contraparte de un swap, ésta puede ser estimada, por ejemplo, simulando diferentes escenarios a lo largo del tiempo, del precio de los contratos con una contraparte dada y luego a través del uso de algún estadístico, caracterizar la distribución de valores del swap que ha sido generada. Un Estadístico usualmente utilizado es el percentil 95% de la distribución de valores a lo largo de la vida del swap, llamado Exposición Potencial Futura (PFE). La PFE, se define como:

$$PFE_{\alpha,t} = \inf\{x: P(V_t \leq x) \geq \alpha\}$$

Donde,  $\alpha$  es el nivel de confianza dado,  $P$  indica la distribución de probabilidad de  $V_t$ . Luego, para cada  $t$  se tendrá una distribución de  $V_t$  distinta, pues esta depende del valor del swap en el instante de tiempo indicado. Esta distribución en el futuro de los valores  $V_t$  depende de un set de escenarios dados.

La siguiente figura muestra la exposición al riesgo de contraparte para un swap a 20 años cuyo valor de mercado inicial es nulo.

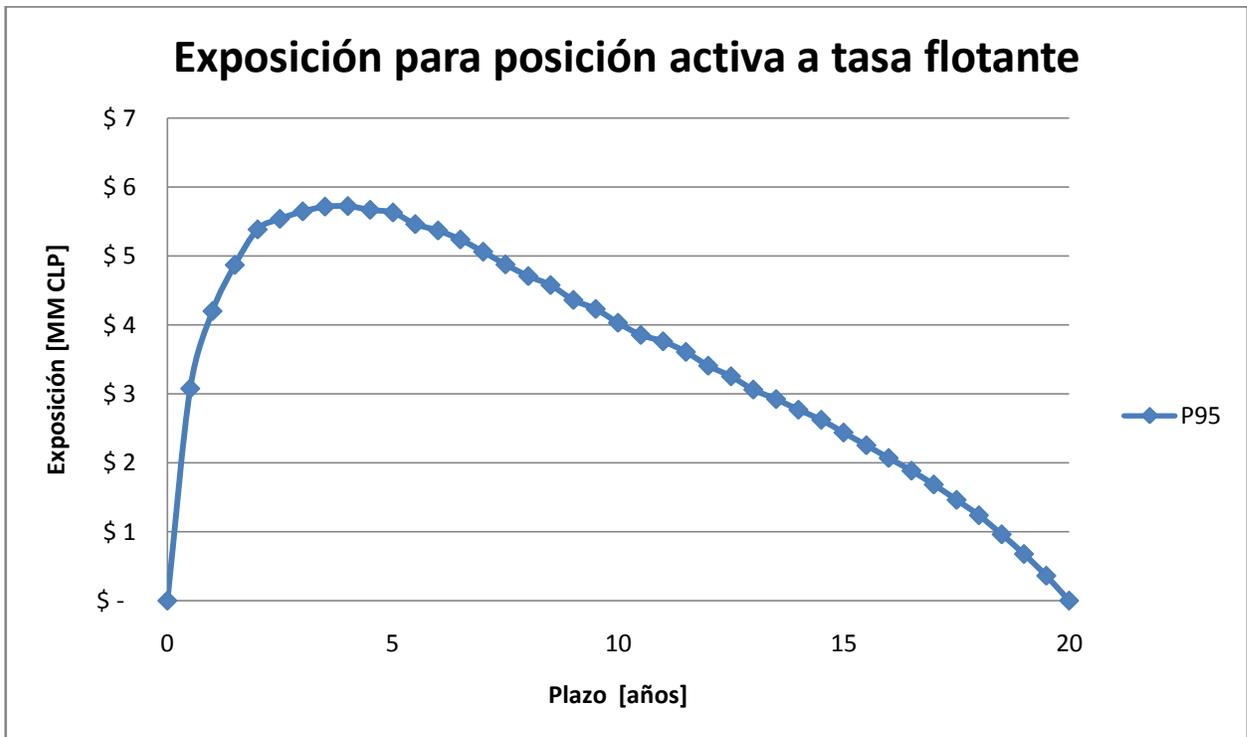


Figura 8. Perfil de exposición al riesgo de contraparte en un swap a 20 años, que paga un interés fijo y recibe flotante sobre un notional de 100mCLP. Elaboración propia

De la figura anterior se desprende que, a medida que transcurre el tiempo y debido a cambios en las condiciones de mercado, el valor del swap va cambiando. Así, la exposición al riesgo de contraparte va dependiendo tanto de la variabilidad implícita en los factores relevantes para el valor del swap, la cual hace crecer la exposición, como de la cantidad de flujos de caja restantes, pues a mayor tiempo el compromiso de flujos decae, lo que genera una disminución en la exposición.

La estimación del riesgo de contraparte al que está sometido el swap a lo largo de su vida, permite conocer su evolución a un cierto nivel de confianza pero por sobre todo entrega la máxima pérdida potencial en la cual se ven involucrados los flujos producto de cese de pagos por parte de la contraparte del swap, dada por la máxima exposición a un valor positivo del swap. Esto, a un 95% de confianza.

Para poder modelar el riesgo de contraparte de un determinado swap, es necesario contar con una distribución de los valores del swap a lo largo de su vida. La siguiente figura muestra una distribución de valores de un swap para el cual han sido simulados sus valores futuros cuando ya ha transcurrido 1 año desde su acuerdo.

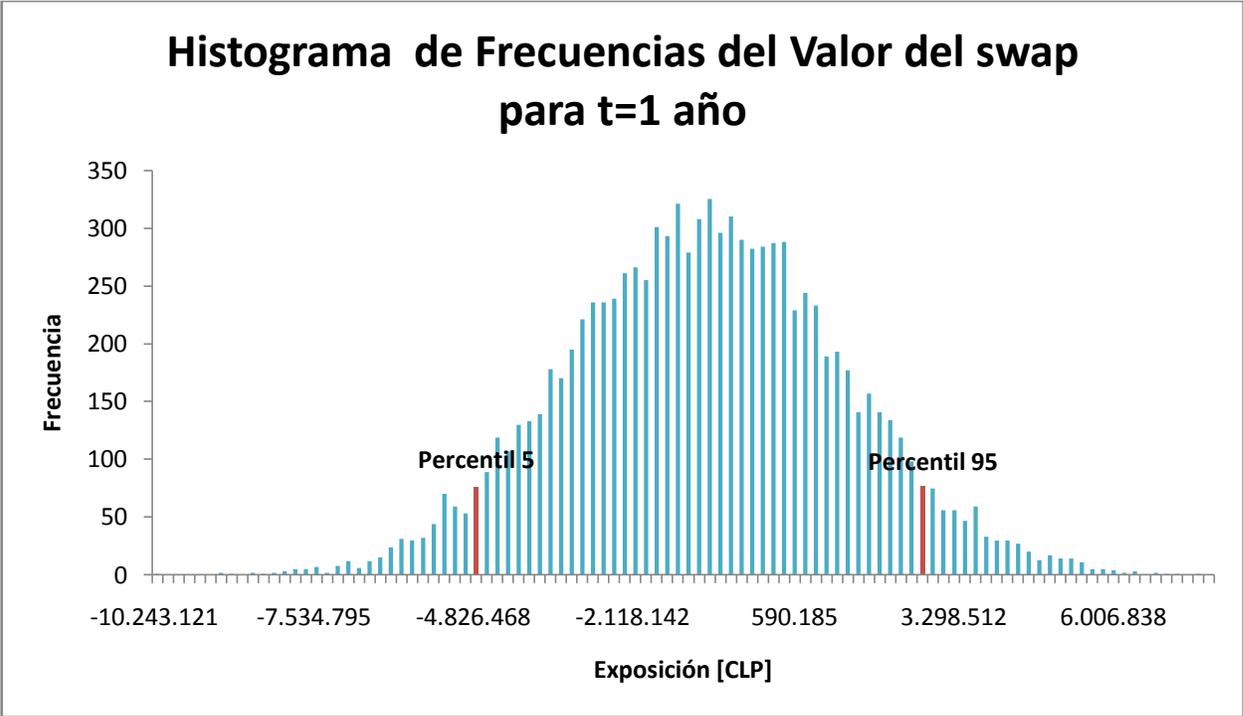


Figura 9. Distribución de valores de un swap para  $t=1$  año de un swap a 20 años, que paga un interés fijo y recibe flotante sobre un notional de 100mCLP. Elaboración propia.

Dado que para simular escenarios futuros de probabilidad para los valores del swap es necesario de herramientas que permitan valorizar el instrumento a través del tiempo, los modelos dinámicos de tasas de interés juegan un rol fundamental en este proceso, al permitir generar distribuciones para los valores futuros del swap a lo largo de su vida.

### 4.3 Modelos dinámicos de tasa de interés

#### 4.3.1 Descripción

Existe una amplia literatura acerca de modelos que permiten valorizar derivados de tasa de interés. Entre ellos se encuentran los modelos dinámicos de tasas de interés, que como ventaja principal permiten describir cómo las tasas evolucionan a través del tiempo. Además estos modelos proporcionan una descripción del comportamiento de la

volatilidad que afecta a las tasas y de la estructura que éstas poseen, caracterizando el proceso que siguen dentro de un ambiente estocástico.

Para caracterizar el comportamiento de las tasas de interés, los modelos principalmente se centran en el modelamiento de la tasa corta,  $r$ . Esta tasa es el retorno obtenido en un periodo infinitesimalmente corto de tiempo. Usualmente también es denominada la “tasa corta instantánea” o “tasa spot”, y su proceso es irrelevante en el mundo real. El principal supuesto subyacente al comportamiento de la tasa es que ésta se encuentra inmersa en un mundo neutro al riesgo, esto es, en un mundo donde los inversionistas son indiferentes al riesgo y no esperan ningún retorno extra por tomar riesgo innecesario.<sup>11</sup> Así, en un pequeño intervalo de tiempo, digamos entre  $t$  y  $t+\Delta t$ , inversionistas ganan en promedio  $r(t)\Delta t$ .

Es importante señalar además que existen modelos que caracterizan el comportamiento que siguen las tasas a través del modelamiento de la tasa forward  $f(t;t,T)$ .

Por otro lado, sea  $P(t,T)$  el precio al tiempo  $t$  de un bono cero cupón que paga \$1 al instante  $T$ . Además el valor al tiempo  $t$  de un derivado de tasa de interés que entrega un pago  $f_t$  al tiempo  $T$  es

$$\hat{E}[e^{-\bar{r}(T-t)} f_t]$$

Donde  $\bar{r}$  es el valor promedio de  $r$  en el intervalo de tiempo entre  $t$  y  $T$  y  $\hat{E}$  representa el valor esperado en un mundo neutral al riesgo.

Luego, para  $P(t,T)$ , donde el pago  $f_t=\$1$ ,

$$P(t, T) = \hat{E}[e^{-\bar{r}(T-t)}]$$

Considerando también la tasa  $R(t,T)$  como la tasa compuesta continuamente al tiempo  $t$  para un plazo de  $(T-t)$ , se tiene que

$$P(t, T) = e^{-R(t,T)(T-t)}$$

Luego, Despejando  $R(t,T)$

$$R(t, T) = -\frac{1}{T-t} \ln P(t, T)$$

Por último, reemplazando  $P(t,T)$ ,

$$R(t, T) = -\frac{1}{T-t} \ln \hat{E}[e^{-\bar{r}(T-t)}]$$

---

<sup>11</sup> Este supuesto es ampliamente utilizado en la valorización de opciones.

Así, partir de la tasa spot es posible deducir el precio teórico de un bono cero cupón y por ende establecer una relación entre el precio en  $t$  de un bono cero cupón con vencimiento en  $T$ ,  $P(t,T)$ , y la tasa de descuento para un plazo  $T$ , observada en un instante  $t$ ,  $R(t,T)$ . Lo anterior permite mostrar que, una vez que está completamente definido el proceso de la tasa corta  $r$ , se habrán definido completamente tanto la estructura de tasas de interés cero como su evolución a través del tiempo.

### 4.3.2 Tasas de interés estocásticas

A partir de la incapacidad de predecir realísticamente el comportamiento futuro de una tasa de interés, la teoría financiera modela su comportamiento como una variable aleatoria, esto es, como un proceso estocástico, pudiendo o no tener ésta un componente determinístico. Luego, se modela  $r$  en base a un movimiento browniano, que posee las siguientes propiedades:

- Markov: El valor esperado para  $r(t)$  condicional sobre todos los eventos pasados hasta  $t' < t$  depende sólo de su valor previo  $r(t')$ .
- Martingala: Dado información disponible hasta  $t' < t$ , la esperanza condicional de  $r(t)$  es  $r(t')$ . En otras palabras, la esperanza condicional de la tasa  $r$  en algún momento del futuro es igual al valor de la última tasa disponible,  $r(t')$ .

La evolución de la tasa corta puede ser modelada a través de una ecuación diferencial estocástica, como:

$$dr = \mu(r, t)dt + \sigma(r, t)dz$$

Donde  $\mu$  representa el drift o tendencia de la tasa y  $\sigma$  representa su volatilidad. Mientras el primer término es determinístico, el segundo describe la aleatoriedad del proceso. Dado que la tasa es un movimiento browniano, el término  $dz$  representa un proceso de Wiener, éste se define como:

$$dz = \varepsilon\sqrt{t}$$

Donde  $\varepsilon$  representa el ruido blanco, el cual se distribuye  $N(0,1)$ . Luego,  $dz$  se distribuye también como  $N(0,1)$ . Además, si  $\mu$  y  $\sigma$  son constantes,  $dr$  se distribuye  $N(\mu, \sigma^2)$ .

En la ecuación que describe la evolución de la tasa corta  $\mu$  y  $\sigma$  son las funciones que se calibran de acuerdo a la evolución histórica de las tasas de interés. Luego, uno de los desafíos del presente trabajo es el de calibrar los parámetros antes mencionados para un conjunto definido de modelos a fin de ser implementados con la evolución histórica de las tasas de interés en Chile para luego valorizar swaps de tasa de interés.

El modelamiento de la tasa corta puede ser realizado con una componente de aleatoriedad, como en la ecuación diferencial estocástica (E.D.E.) antes descrita. Sin

embargo, diversos autores han extendido su aplicación hacia modelos con  $n > 1$  componentes de aleatoriedad. El principal beneficio de esto es que la fuente de aleatoriedad deja de ser única y pasa a ser combinación de una mayor cantidad de parámetros.

Si bien el modelamiento de la tasa corta es realizado en base al proceso descrito anteriormente, existen distintos modelos que permiten obtener la estructura de tasas interés, los cuales se agrupan en 2 tipos de modelos que difieren principalmente en los supuestos sobre cada uno de los parámetros que describen la evolución de las tasas. Éstos son los modelos de equilibrio y modelos de no-arbitraje. En esta ocasión el trabajo referirá únicamente a modelos de equilibrio.

### **4.3.3 Modelos de Equilibrio**

Este tipo de modelos normalmente se encuentran basados en supuestos sobre variables económicas para luego derivar un proceso para la tasa corta  $r$ . Dentro de los modelos de equilibrio más importantes se encuentran el modelo de Vasicek (1977) y el modelo de Cox, Ingersoll y Ross (CIR) (1985). Estos modelos son ampliamente utilizados para explicar la forma de las estructuras de tasa de interés más que para valorizar instrumentos financieros, principalmente porque no se ajustan bien a datos reales de mercado. Sin embargo, su mayor beneficio recae en que ambos modelos poseen solución analítica lo cual los hace mayormente manipulables y fácilmente implementables.

#### **4.3.3.1 Modelo Vasicek**

En el modelo Vasicek, el proceso neutral al riesgo para  $r$  es descrito como

$$dr = a(b - r)dt + \sigma dz$$

Donde  $a, b$  y  $\sigma$  son constantes. El principal atractivo de este modelo es la incorporación de reversión a la media. Este supuesto es completamente consecuente con la evidencia, pues las tasas de interés suelen ser empujadas hacia algún nivel de largo plazo o nivel de equilibrio. Luego, cuando  $r$  es alto, la reversión a la media tiende a causar que la tasa adquiera un drift negativo y cuando  $r$  es bajo, tiende a causar que la tasa adquiera un drift positivo empujando en ambos casos el valor hacia el nivel de equilibrio. El argumento económico que sustenta este comportamiento en las tasas de interés es que, cuando las tasas son altas, la economía tiende a ralentizarse y por ende hay una menor demanda por fondos debido al alto costo de endeudamiento, lo cual causa que las tasas bajen. Cuando las tasas son bajas, hay una tendencia hacia una alta demanda por fondos, debido al menor costo por endeudamiento, por lo que las

tasas tienden a subir. Producto de la reversión a la media presente en el modelo, es posible afirmar que la tasa corta es empujada hacia un nivel de equilibrio  $b$  a una tasa  $a$  sobrepuesto este efecto junto con el término estocástico  $\sigma dz$ .

A partir de Vacisek, es posible encontrar una expresión ampliamente conocida para el precio al tiempo  $t$  de un bono cero cupón que paga \$1 en el tiempo  $T$ :<sup>12</sup>

$$P(t, T) = A(t, T)e^{-B(t, T)r(t)}$$

Donde  $r(t)$  es el valor de la tasa corta al tiempo  $t$  y,

$$A(t, T) = \frac{(B(t, T) - T + t)(a^2 b - \frac{\sigma^2}{2})}{a^2} - \frac{\sigma^2 B(t, T)^2}{4a}$$

$$B(t, T) = \frac{1 - e^{-a(T-t)}}{a}$$

Así, la estructura de tasas de interés queda completamente determinada por  $r(t)$  una vez que los parámetros  $a, b$  y  $\sigma$  son escogidos.

Este modelo es uno de los modelos más utilizados, por su simplicidad analítica y capacidad de producir distintas formas para la estructura de tasas de interés, las cuales pueden tener formas con pendiente decreciente, pendiente creciente o ligeramente encorvada. Su principal desventaja radica en que este modelo puede llegar a predecir tasas de interés negativas, lo cual es económicamente inviable.

#### 4.3.3.2 Modelo CIR

El modelo propuesto por Cox, Ingersoll y Ross presenta una alternativa al modelo de Vacisek, modelando la evolución de la tasa corta de acuerdo a un proceso estocástico de raíz cuadrada, donde las tasas son siempre positivas. El proceso neutral al riesgo para  $r$  en este modelo se describe como

$$dr = a(b - r)dt + \sigma\sqrt{r}dz$$

Así, este modelo posee, al igual que Vacisek, reversión a la media. Pero además soluciona el inconveniente de la generación de tasas negativas. Por otra parte, el modelo CIR incorpora en la volatilidad una dependencia del nivel de la tasa. Esto significa que, a medida que la tasa corta aumenta, la volatilidad también lo hace.

Al igual que en Vacisek, es posible encontrar expresiones analíticas para precios de bonos cero cupón,

---

<sup>12</sup> Para conocer su derivación, consultar O.A. Vacisek, "An Equilibrium Characterization of the Term Structure," *Journal of Financial Economics*, 5 (1977): 177-88

$$P(t, T) = A(t, T)e^{-B(t, T)r(t)}$$

Donde  $r(t)$  es el valor de la tasa corta al tiempo  $t$  y,

$$A(t, T) = \left[ \frac{2\gamma e^{(a+\gamma)(T-t)/2} - 1}{(\gamma + a)(e^{\gamma(T-t)} - 1) + 2\gamma} \right]^{2ab/\sigma^2}$$

$$B(t, T) = \frac{2(e^{\gamma(T-t)} - 1)}{(\gamma + a)(e^{\gamma(T-t)} - 1) + 2\gamma}$$

Con  $\gamma = \sqrt{a^2 + 2\sigma^2}$ .

Las formas de la estructura de tasas de interés generadas a partir de este modelo son similares a las obtenidas a través de Vacisek.

## 5. IMPLEMENTACIÓN PRELIMINAR DE DINÁMICAS DE TASA DE INTERÉS

De manera preliminar, se implementarán los 2 modelos anteriormente descritos, esto es, Vacisek y CIR. La elección radica en que ambos modelos son ampliamente aceptados en mercados internacionales y permiten tener un acercamiento al comportamiento futuro de las tasas con mayor simplicidad de implementación. Además, como el foco de este trabajo radica principalmente en la utilización de dichos modelos para la estimación de riesgo en swaps, como se verá más adelante, se espera que factores como el nivel actual de las tasas de interés o el comportamiento de la reversión a la media impacten fuertemente en la estimación del riesgo de contraparte presente en un swap, por sobre el efecto que la volatilidad por sí sola pudiese tener en la variación de los valores del swap. Lo anterior permitirá vislumbrar si es pertinente en un próximo paso utilizar una dinámica de tasa de interés más sofisticada que complemente los modelos ya escogidos con un factor de aleatoriedad adicional en el drift o en la volatilidad.

Para la implementación final de los modelos se utilizará data histórica para la calibración de éstos a la economía chilena. Uno de los pasos necesarios para llegar a este objetivo es el de implementar primero, los modelos de tasa con datos genéricos, para de esta manera conocer su aplicación con mayor precisión, lo que entregará una aproximación acerca del cómo debieran comportarse los modelos una vez ya calibrados y cómo influyen los modelos en la estimación del riesgo de contraparte.

## 5.1 Implementación de un modelo Vasicek y estimación de riesgo en swap

Para estimar el comportamiento de la tasa corta es necesario discretizar el modelo. Dado que la evolución de la tasa se realiza sobre un periodo de tiempo en que la diferencia entre un instante y otro es constante, se puede utilizar la discretización de Euler de la E.D.E. que describe el proceso. Luego, el modelo se transforma en:

$$r_{t+\Delta t} = r_t + a(b - r)\Delta t + \sigma \varepsilon_{t+\Delta t} \sqrt{\Delta t}$$

Donde  $\varepsilon_{t+\Delta t} \sim N(0,1)$ ,  $t=0, \dots, T - \Delta t$

Luego, el modelo implementado para valores de  $a$ ,  $b$ ,  $\sigma$  y  $r_0$  razonables, generará instancias para la trayectoria de la tasa. Utilizando los siguientes parámetros,

a	b	$\sigma$	R0	T
0,4	5%	1%	3%	20Y

Tabla 2. Parámetros para la generación de instancias de la trayectoria de la tasa a través de Vasicek.

Se generan trayectorias para la evolución de las tasas. Una realización de su evolución es representada en la siguiente figura:

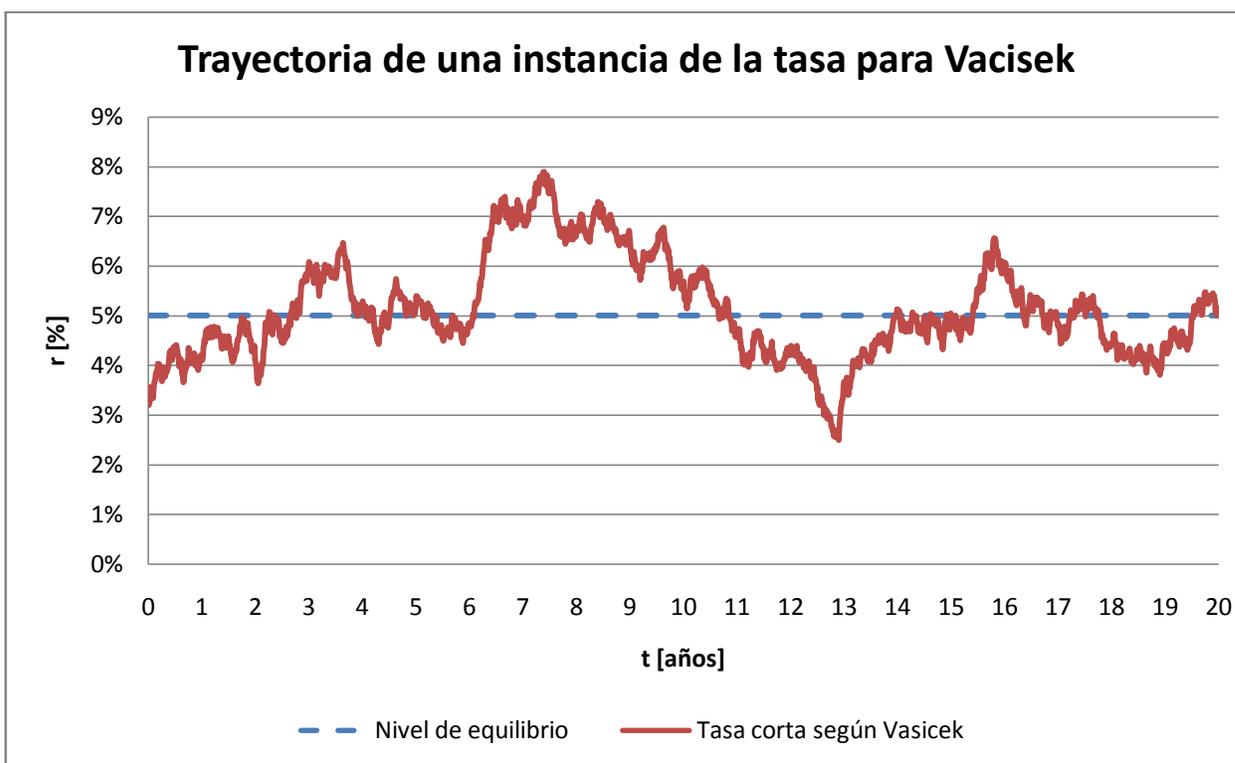


Figura 10. Una posible trayectoria de la tasa simulada a través del modelo Vasicek para los parámetros antes mencionados. Elaboración propia

Una vez generadas las trayectorias que sigue la tasa, es posible derivar las estructuras de tasa y los factores de descuento relevantes para la valorización de un swap.

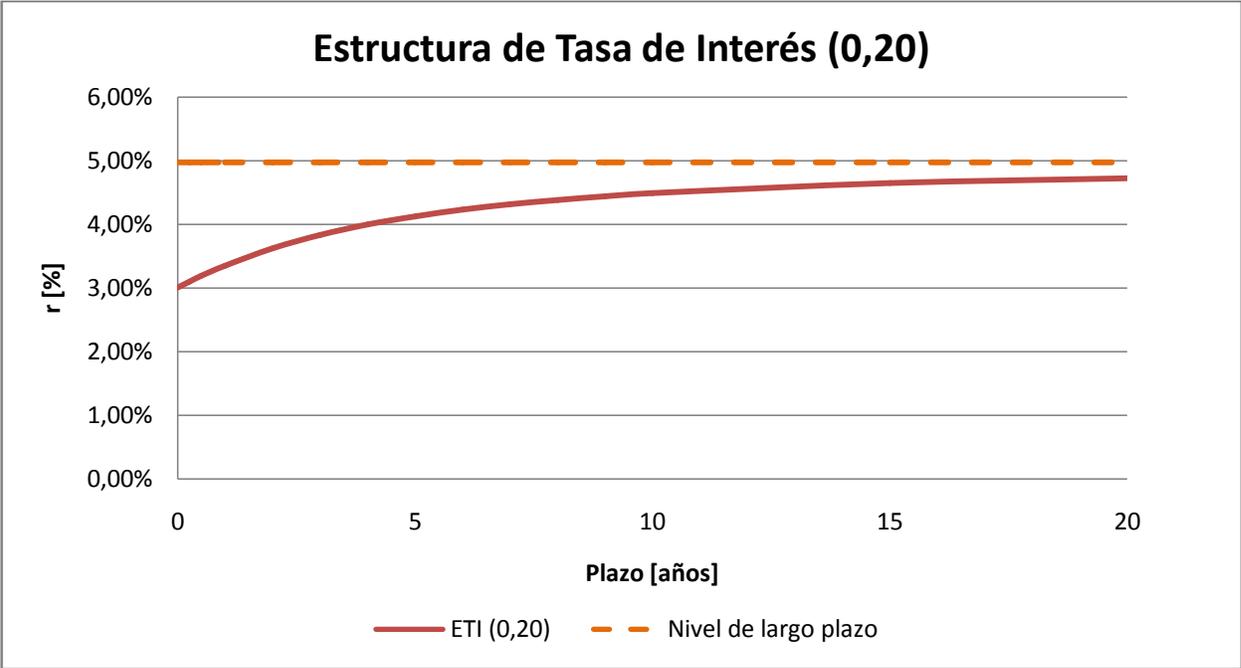


Figura 11. Estructura de tasas de interés para distintos plazos. Elaboración propia

Es posible luego, para un determinado swap, estimar su valor en el futuro conforme las tasas evolucionan. Para ello, dada la naturaleza estocástica de la evolución de las tasas, es posible a través de simulaciones de Montecarlo simular los posibles valores que puede tomar un swap durante toda su vida tanto para un agente que acuerda entregar tasa fija y recibir tasa flotante como un agente que acuerda entregar tasa flotante a cambio de entregar tasa fija. Así, considerando el modelo antes descrito y sus parámetros, para un swap de tasa de interés que paga intereses cada 6 meses sobre un monto nominal de \$100 MM CLP, con tasa de cupón de 4,69%, la estimación de la evolución de su valor para 10000 simulaciones, estimada a partir del percentil 5 y 95, se muestra en la siguiente figura:

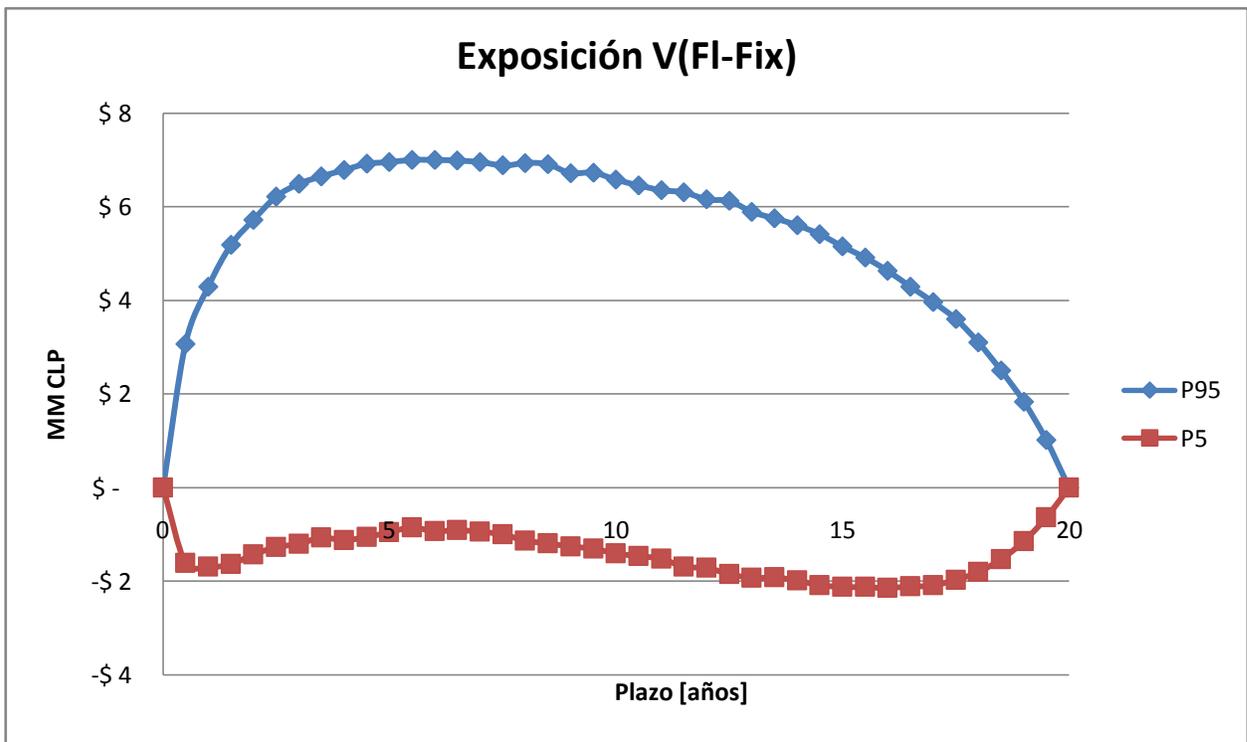


Figura 12. Evolución del valor del swap para la posición activa a tasa flotante a lo largo de su vida simulado para 10000 instancias de la tasa de interés según Vasicek, representado por el percentil 5 y 95. Elaboración propia

En la figura anterior, es posible apreciar que, la evolución del valor del swap depende tanto de los flujos de caja como del plazo restante para el vencimiento. Además, la figura muestra la pérdida potencial para el agente que acuerda recibir tasa de interés variable a cambio de entregar tasa de interés fija, para el cual, dado el modelo que describe la evolución de las tasas y el swap acordado, posee una máxima pérdida potencial por riesgo de no pago de aproximadamente \$7MM CLP (7% del notional), la cual se produciría aproximadamente en el año 5 de la vida del swap. A continuación se verá la situación bajo los mismos supuestos para el agente que acuerda recibir tasa fija a cambio de entregar tasa flotante. La siguiente figura, muestra la evolución del valor del swap una vez realizadas 10000 simulaciones para los valores del swap:

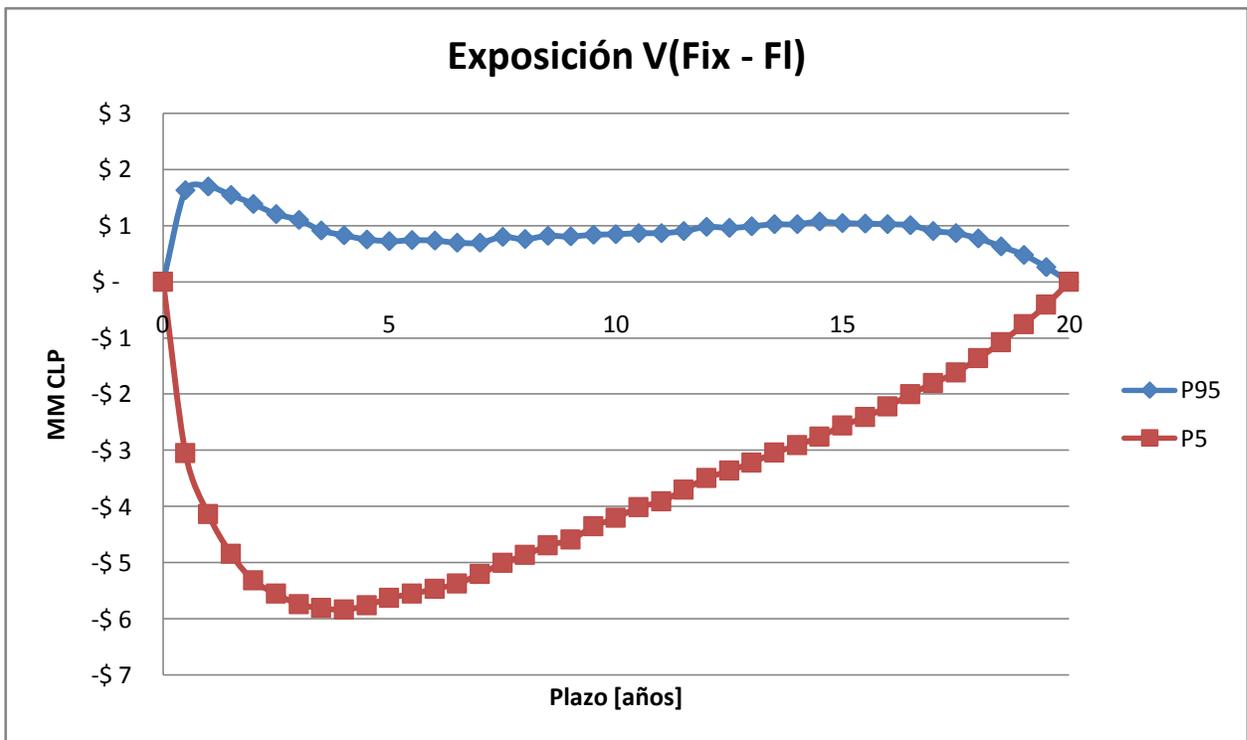


Figura 13. Evolución del valor del swap para la posición activa a tasa fija a lo largo de su vida simulado para 10000 instancias de la tasa de interés según Vacisek, representado por el percentil 5 y 95. Elaboración propia

De la figura, es posible apreciar que, la evolución del valor del swap para este caso es distinta que para el caso del otro agente. En este caso, la máxima pérdida potencial a la cual está sujeto este agente producto del riesgo de contraparte es de \$1,8MM CLP (1,8% del nocional), la cual se produciría aproximadamente en el año 1. Luego, el riesgo no necesariamente es recíproco para ambos agentes. Por ende, la estimación del riesgo de contraparte se vuelve mayormente importante producto de este efecto.

Así, a partir del modelamiento de la tasa según el modelo de Vacisek, es posible modelar el riesgo de contraparte al que está sometido un swap tanto en el instante de su estructuración como a lo largo de su vida.

## 5.2 Implementación de un modelo CIR y estimación de riesgo en swap

Al igual que en el caso del modelo de Vacisek, para estimar la evolución de la tasa corta es necesario discretizar el modelo CIR. Luego, discretizando el proceso se transforma en:

$$r_{t+\Delta t} = r_t + a(b - r)\Delta t + \sigma\sqrt{r}\varepsilon_{t+\Delta t}\sqrt{\Delta t}$$

Donde  $\varepsilon_{t+\Delta t} \sim N(0,1)$  ,  $t=0, \dots, T - \Delta t$

Luego, el modelo implementado para valores de  $a$ ,  $b$ ,  $\sigma$  y  $r_0$  , escogidos de manera razonables y de tal manera de que los resultados obtenidos a través de Vacisek sean comparables bajo el ambiente CIR, se generarán instancias para la trayectoria de la tasa. Utilizando los siguientes parámetros,

a	b	$\sigma^{13}$	R0	T
0,4	5%	5,77%	3%	20Y

Tabla 3. Parámetros para la generación de instancias de la trayectoria de la tasa a través de CIR.

Se generan trayectorias para la evolución de las tasas. Una realización de su evolución es representada en la siguiente figura:

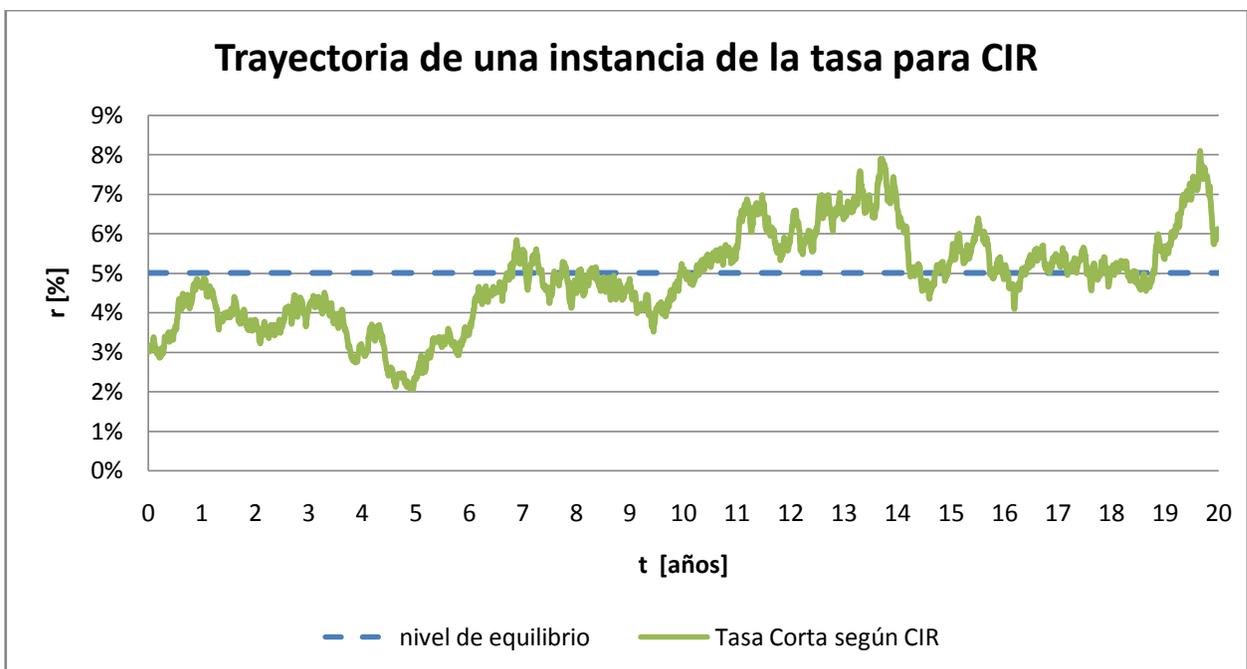


Figura 14. Una posible trayectoria de la tasa simulada a través del modelo CIR para los parámetros antes mencionados. Elaboración propia.

Una vez generadas las posibles trayectorias de las tasas es posible valorizar un swap a lo largo de su vida. Utilizando el swap descrito en la parte anterior, a través de simulaciones de Montecarlo se obtienen distribuciones para el valor que toma el swap para todo  $t$ . La siguiente figura muestra la realización de 10000 simulaciones para el valor del swap del agente que acuerda recibir tasa variable a cambio de entregar tasa fija:

<sup>13</sup> El valor de la volatilidad se vuelve comparable a través de la relación:  $\sigma_{\text{cir}} = \sigma/\sqrt{r}$

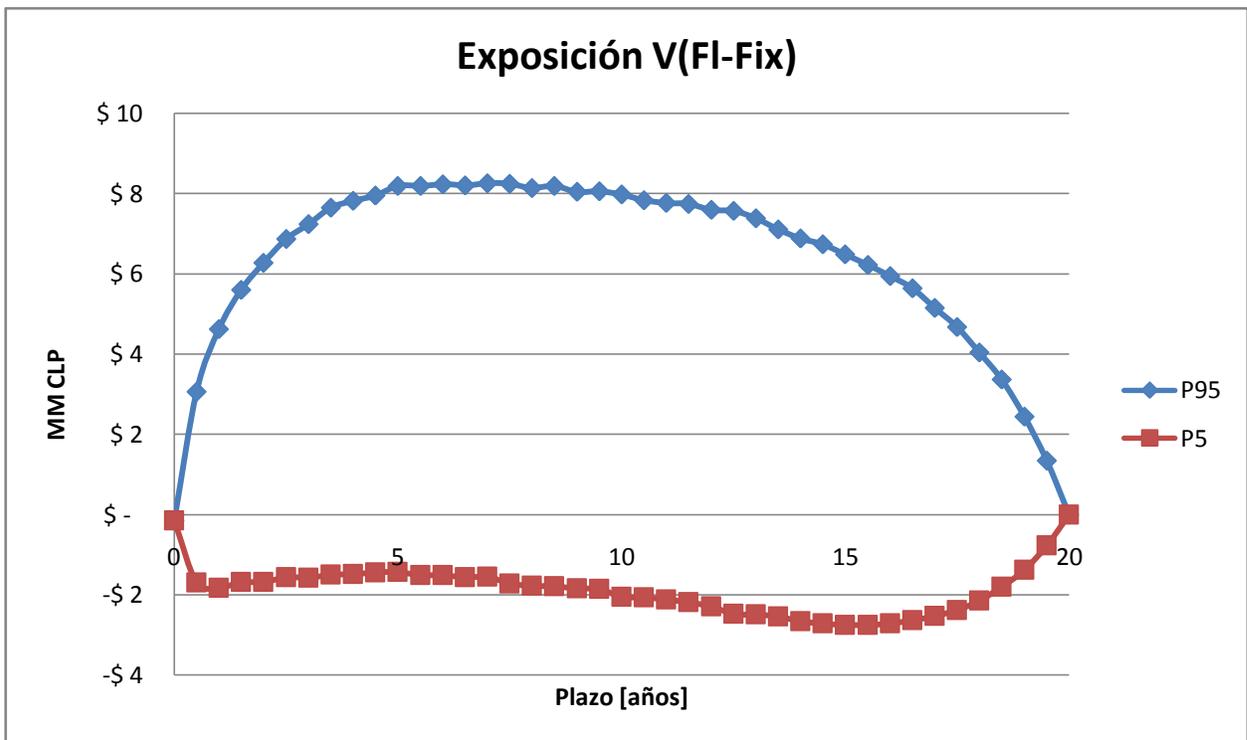


Figura 15. Evolución del valor del swap para la posición activa a tasa flotante a lo largo de su vida simulado para 10000 instancias de la tasa de interés según CIR, representado por el percentil 5 y 95. Elaboración propia.

En la figura anterior, es posible apreciar que, la evolución del valor del swap sigue patrones de comportamiento similares que bajo el modelo Vasicek. Además, la figura muestra la pérdida potencial para el agente que acuerda recibir tasa de interés variable a cambio de entregar tasa de interés fija, para el cual, posee una máxima pérdida potencial por riesgo de no pago de aproximadamente \$8MM CLP (8% del notional), la cual se produciría aproximadamente en el año 7 de la vida del swap. A continuación se verá la situación bajo los mismos supuestos para el agente que acuerda recibir tasa fija a cambio de entregar tasa flotante. La siguiente figura, muestra la evolución del valor del swap una vez realizadas 10000 simulaciones para los valores del swap:

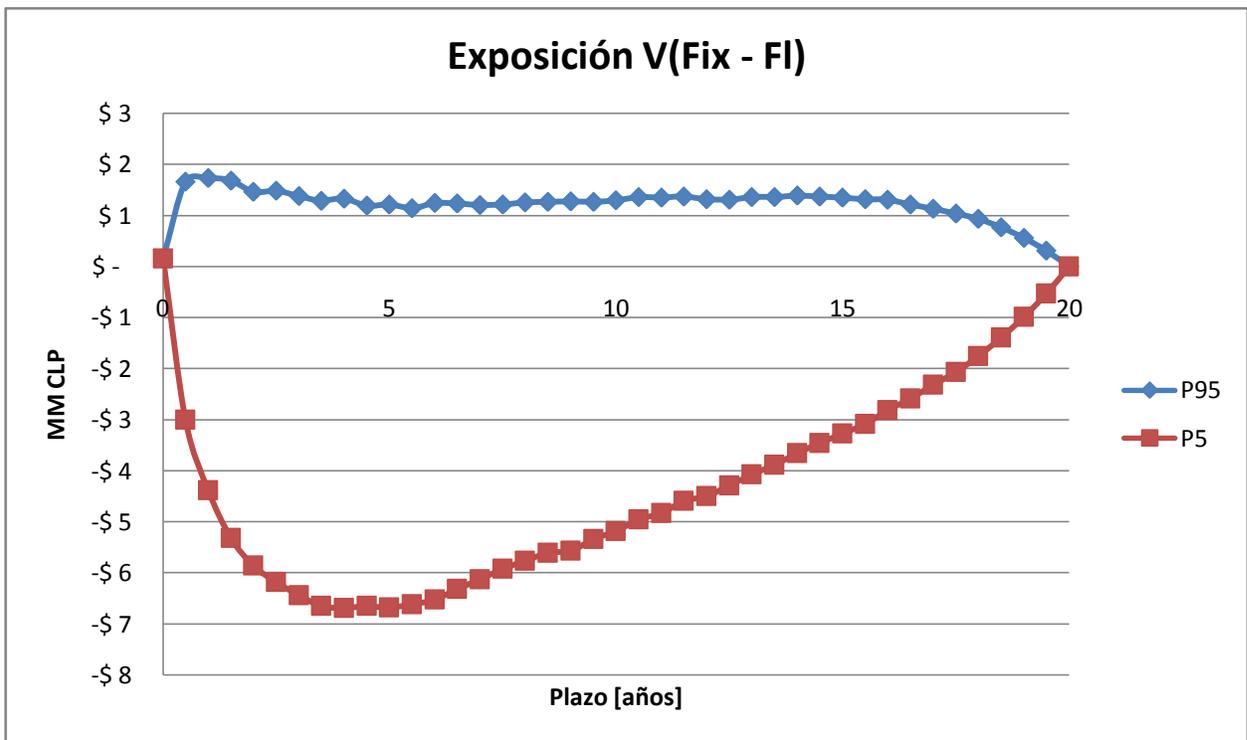


Figura 16. Evolución del valor del swap para la posición activa a tasa fija a lo largo de su vida simulado para 10000 instancias de la tasa de interés según CIR, representado por el percentil 5 y 95. Elaboración propia.

De la figura, es posible apreciar que, la evolución del valor del swap para este caso es distinta que para el caso del otro agente y además el comportamiento de la evolución del valor es similar al caso modelado según Vacisek. En este caso, la máxima pérdida potencial a la cual está sujeto este agente producto del riesgo de contraparte es de \$1,7MM CLP (1,7% del notional), la cual se produciría aproximadamente en el año 1. Luego, el argumento de que el riesgo no necesariamente es recíproco para ambos agentes es nuevamente evidenciado en este caso.

Así, a partir del modelamiento de la tasa según el modelo CIR, es posible modelar el riesgo de contraparte al que está sometido un swap tanto en el instante de su estructuración como a lo largo de su vida. No obstante, sus resultados parecen ser similares entre un modelo y otro, a pesar de las diferencias en la estructura de cada modelo. En el caso del modelo CIR, la volatilidad es proporcional al nivel de las tasas, por ende a niveles mayores de tasas la volatilidad crece. Este argumento puede generar alguna diferencia en la estimación final del valor en riesgo del swap, aunque a grandes rasgos la estimación del riesgo es similar en ambos modelos.

### 5.3 Análisis de la exposición a potenciales pérdidas

Si bien es importante para el presente estudio la estimación del riesgo en swaps a través de los modelos anteriormente utilizados, es interesante conocer cuál es el efecto que tienen los parámetros del modelo sobre las potenciales pérdidas producto del riesgo de contraparte. Ello basado principalmente en que, para el caso antes visto, un agente no se ve expuesto a la misma pérdida potencial según sea su posición dentro del acuerdo, esto es, para el agente que recibe tasa fija a cambio de entregar tasa variable, el riesgo de contraparte es mucho menor que en el caso del agente que recibe tasa variable a cambio de entregar tasa fija.

Para conocer el efecto que tienen los parámetros del modelo sobre las potenciales pérdidas, se realiza un análisis *ceteris paribus*, analizando el efecto del nivel de la tasa spot sobre el modelo, manteniendo los parámetros del modelo fijos.

Manteniendo los mismo parámetros utilizados en la implementación de los modelos, se verá el efecto de modelar la trayectoria de las tasas con una tasa spot de un 3%, la cual se encuentra por debajo de la tasa de largo plazo y una tasa spot de un 7%, la cual se encuentra por encima de la tasa de largo plazo.

Cuando la tasa spot  $r_0$  se encuentra por debajo de la tasa de largo plazo y debido a que los modelos utilizados poseen reversión a la media, la trayectoria de tasas tenderá a ir en sentido de la tasa de largo plazo a una velocidad definida por el parámetro de modelo  $\alpha$ . Lo anterior provoca que las tasas tengan una mayor tendencia al alza, lo cual impactará al valor del swap inevitablemente.

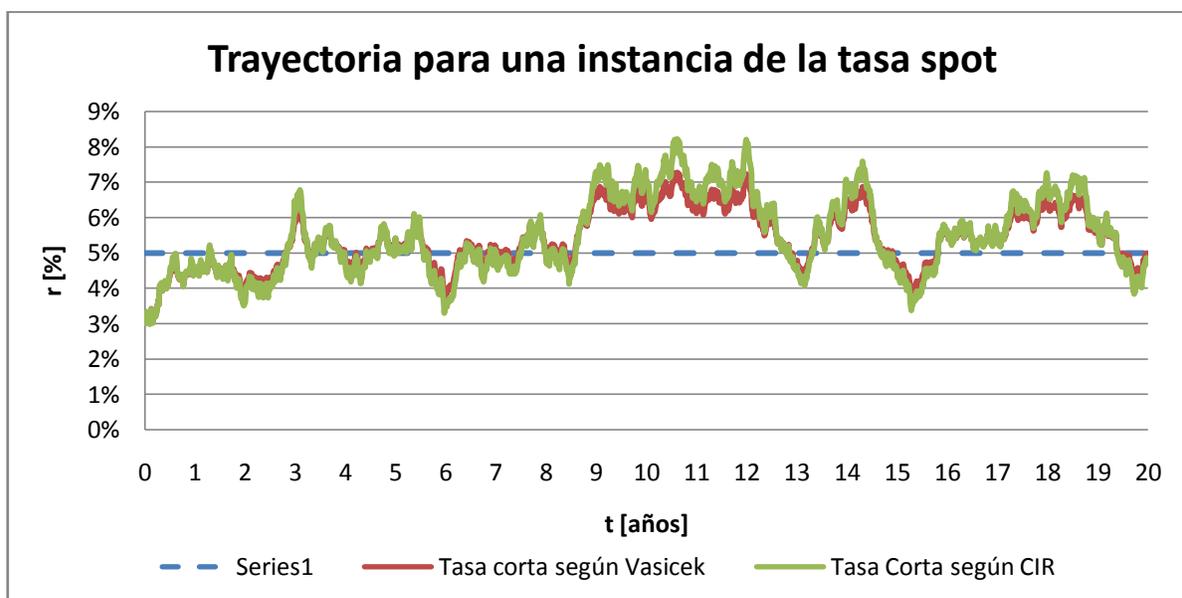


Figura 17. Evolución de la tasa spot  $r_0=3\%$  según modelo. Elaboración propia.

El impacto de esta tendencia dependerá de cuán rápido se alcance el nivel de largo plazo, por ende el parámetro  $a$  se vuelve relevante para el nivel de riesgo que deberá asumir un agente al entrar a un swap. Así, para este caso, el valor en riesgo de un swap para ambos agentes se muestra en la siguiente figura:

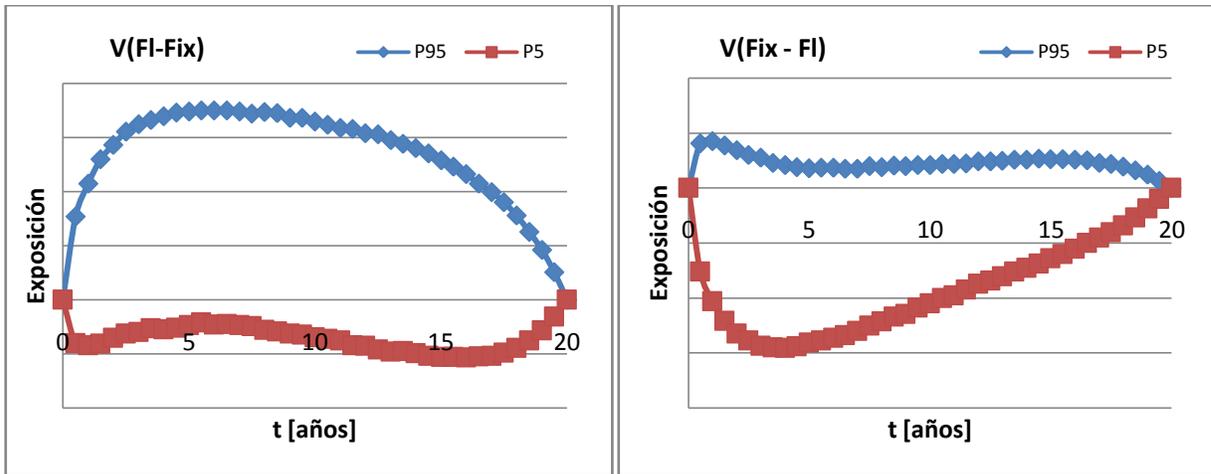


Figura 18. Evolución del valor de un swap para ambos agentes cuando  $r_0=3\%$ . Elaboración propia.

Debido a la tendencia al alza de las tasas, el agente que acuerda recibir tasa flotante a cambio de entregar tasa fija posee una mayor exposición al riesgo de contraparte. Esto, principalmente porque si las tasas suben, los factores de descuento se vuelven más pequeños. Por ende, los flujos de caja en cada entrega de intereses fijos son afectados negativamente por los factores de descuento, lo que causa que, considerando el valor de la pierna fija como un bono a tasa fija, este tenga una mayor tendencia a estar bajo la par, mientras que los flujos de la pierna flotante son valorizados en el instante de entrega de intereses como un bono variable con valor par. Luego, en una situación en que se entrega tasa fija y se recibe tasa variable, el valor del swap tiende a ser positivo con una mayor probabilidad. En el caso contrario, en para el agente que entrega tasa variable y recibe tasa fija, el valor del swap tiende a ser negativo con una mayor probabilidad.

Por otro lado, cuando la tasa spot  $r_0$  se encuentra sobre la tasa de largo plazo, ésta tenderá a ir en el sentido del nivel de largo plazo, a una velocidad dada por el parámetro  $a$ . Lo anterior generará una tendencia a la baja, lo cual impactará al valor del swap a lo largo de su vida.

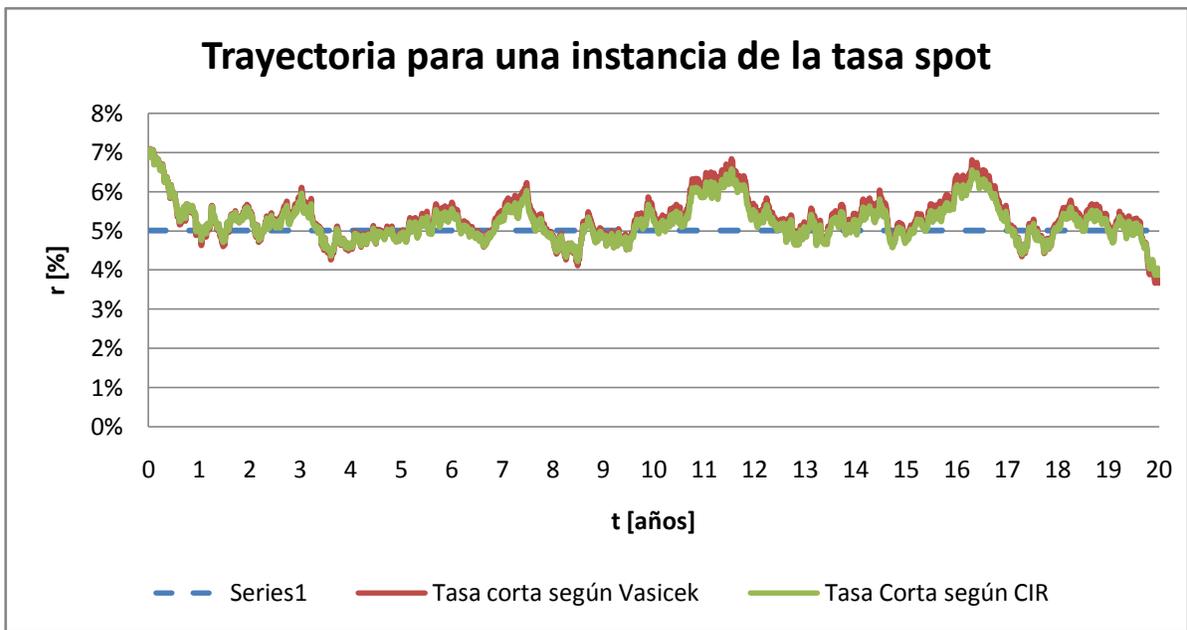


Figura 19. Evolución de la tasa spot  $r_0=7\%$  según modelo. Elaboración propia.

El impacto de esta tendencia dependerá de cuán rápido se alcance el nivel de largo plazo, por ende el parámetro  $a$  se vuelve relevante para el nivel de riesgo que deberá asumir un agente al entrar a un swap. Así, en este caso, el valor en riesgo de un swap para ambos agentes se muestra en la siguiente figura:

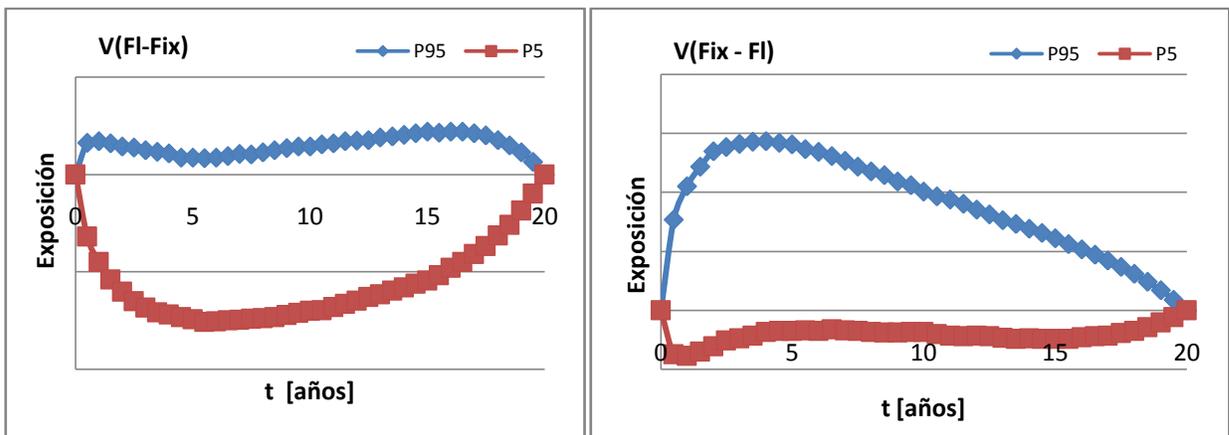


Figura 20. Evolución del valor de un swap para ambos agentes cuando  $r_0=7\%$ . Elaboración propia.

De la figura anterior se puede apreciar que la exposición al riesgo de contraparte para un agente que recibe interés variable y entrega interés fijo es mucho menor que en el caso del agente que recibe interés fijo y entrega interés variable. Esto es diametralmente opuesto a lo ocurrido en el caso anterior, debido a la tendencia a la baja

que posee la tasa en este caso. El argumento financiero es similar al expuesto en el caso anterior.

A partir del análisis de variación de la tasa spot es posible visualizar que la exposición al riesgo de contraparte a la cual están sujetos depende considerablemente tanto de la tasa spot como del nivel de largo plazo. Esto, relacionado además con la velocidad con la que se alcance el nivel de largo plazo, pues si la velocidad es baja el proceso de la tasa de interés demora mucho más en alcanzar el nivel de largo plazo, con lo que probablemente la exposición al riesgo de contraparte para ambos agentes se torna más parecida.

Para el caso de la volatilidad, es esperable que, a mayor volatilidad, la exposición al riesgo de contraparte será mayor, lo cual afectará en la misma medida a ambos agentes.

Así, parece ser relevante la relación de reversión a la media para el modelamiento del riesgo de contraparte, por lo que se complementará la estimación del riesgo utilizando modelos que ajusten a través del tiempo el nivel de largo plazo con al menos un factor adicional de aleatoriedad.

## **6. DINÁMICA DE TASA DE INTERÉS CON 2 FACTORES**

A partir de la implementación y análisis preliminar se opta por estudiar el comportamiento de un modelo con un mayor nivel de complejidad en su especificación para describir el comportamiento de las tasas de interés. La idea tras la determinación es que, si bien los modelos de equilibrio como los anteriormente expuestos permiten describir la estructura de tasa de interés completa – para todos los plazos- de una manera simple, éstos poseen limitaciones. Por un lado, los modelos de un factor asumen que las estructuras de tasa de interés para los distintos plazos están perfectamente correlacionadas, lo cual se contradice con la evidencia empírica. Además, las formas que adopten las distintas estructuras de tasa de interés se encuentran limitadas. Por último, con parámetros invariantes en el tiempo se tiende a proveer un muy pobre ajuste a las estructuras de tasa observadas en el mercado<sup>14</sup>.

Lo anterior permite extender el análisis hacia alguna especificación que utilice parámetros que varíen con el tiempo. Esto, sumado a lo discutido en el punto anterior, faculta para escoger un modelo de 2 factores que convierte al parámetro de largo plazo en un factor de comportamiento aleatorio, por lo que el nivel de largo plazo pasa a ser un nuevo parámetro que varía con el tiempo. Esta especificación recibe el nombre de “Central Tendency model”

---

<sup>14</sup> Review of continuous-time Term-Structure models, Jesper Lund. Pgs., 10-11

## 6.1 Central Tendency Model

Propuesto por Beaglehole & Tenney (1991), esta especificación se enmarca dentro de la clase de modelos exponenciales-afines, pues posee solución analítica. Lo anterior permite, por ejemplo, encontrar una solución cerrada para la estructura tasa de interés bajo esta especificación. Este modelo, que hereda el modelamiento propuesto por Vacisek, describe el movimiento de la tasa corta como:

$$dr = a_1(b - r)dt + \sigma_1 dz_1$$

$$db = a_2(\theta - b)dt + \sigma_2 dz_2$$

$$\text{Corr}(dz_1, dz_2) = \rho dt$$

Donde  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\rho$  son constantes, mientras que  $r$  y  $b$  varían con el tiempo. Las ecuaciones anteriores permiten que la tasa corta  $r$  revierta hacia un nivel de largo plazo  $b$  gobernado por un proceso estocástico separado del proceso propio de  $r$ , teniendo ambas especificaciones un coeficiente de correlación  $\rho$ . Su aplicación, primero se vuelve relevante para este estudio pues permite sofisticar el parámetro de drift que, como se vio anteriormente, posee gran importancia a la hora de estimar riesgo en swaps y además porque permite generar estructuras de tasa de interés para distintos plazos con mayor grado de libertad para la forma que adopten. Esto, pues la tasa es construída con un mayor número de parámetros que en el caso de los modelos de un factor como Vacisek y además, producto de la existencia del parámetro de correlación  $\rho$ , las estructuras de tasa de interés dejan de estar perfectamente correlacionadas, pudiendo así cambiar su forma con el transcurso del tiempo.

A partir de la especificación del Central Tendency model es posible encontrar una expresión para el precio al tiempo  $t$  de un bono cero cupón que paga \$1 en el tiempo  $T$ :

$$P(t, T) = e^{A(t,T) + B(t,T)r(t) + C(t,T)b(t)}$$

Donde  $r(t)$  es el valor de la tasa corta al tiempo  $t$ ,  $b(t)$  es el valor de la tasa de largo plazo al tiempo  $t$  y,

$$B(t, T) = \frac{e^{-a_1(T-t)} - 1}{a_1}$$

$$C(t, T) = \frac{e^{-a_2(T-t)} - 1}{a_2} - \frac{e^{-a_1(T-t)} - e^{-a_2(T-t)}}{a_1 - a_2}$$

$$A'(t, T) = \frac{1}{2}\sigma_1^2 B(t, T)^2 + \frac{1}{2}\sigma_2^2 C(t, T)^2 + \rho\sigma_1\sigma_2 B(t, T)C(t, T) - \lambda_1\sigma_1 B(t, T) - (a_2\theta - \lambda_2\sigma_2)C(t, T)$$

Donde  $A(t, T)$ ,

$$A(t, T) = \int_0^T A'(s) ds$$

Así, la estructura de tasas de interés queda completamente determinada por  $r(t)$  y  $b(t)$  una vez que los parámetros  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\rho$  son seleccionados.

## 7. IMPLEMENTACIÓN FINAL Y CALIBRACIÓN DE DINÁMICAS DE TASA DE INTERÉS

Para la implementación final de las dinámicas ya revisadas, se escoge una dupla compuesta por el modelo Vasicek (VAS) y el modelo Central Tendency (CT). Esto, pues ambas especificaciones poseen fundamentos similares, heredando CT el comportamiento de la tasa expuesto en VAS, con diferencia sólo en la dependencia temporal del parámetro de largo plazo. Así, se excluye del análisis final el modelo CIR antes visto, dado que el énfasis de estudio se centra en la componente de drift de las modelísticas, donde el modelo presenta los mismos fundamentos que VAS por lo que no sugiere un aporte significativo su inclusión a la discusión. Por el contrario, si el análisis se centrara en la componente de volatilidad de los modelos, sería interesante contrastar modelísticas en torno a CIR.

Para el análisis del desempeño relativo del modelo CT, se utiliza por un lado, VAS como benchmark del modelo CT y por otro lado los ponderadores propuestos por la metodología del ente regulador del mercado, SBIF. Esto pues el objetivo principal del estudio es valorar la conveniencia de utilizar dinámicas de tasa de interés sofisticadas para la estimación de riesgo en swaps, por lo que se debe primero estudiar el desempeño del modelo con mayor sofisticación contra una especificación menos compleja que caracterice bajo los mismos fundamentos el comportamiento de la tasa de interés, para luego contrastar dicho análisis con una comparación entre el enfoque de tasas de interés estocásticas y la metodología de SBIF basada en ponderadores.

Para la implementación y calibración de las dinámicas seleccionadas bajo parámetros locales, se utiliza un panel de datos extraído desde tasas observadas del mercado para swap cámara \$ (SPC \$). El panel está compuesto por 1479 datos entre 10-Junio de 2003 a 10-Junio de 2009, de tasas swap para distintos plazos. A partir de esto, se

calibran ambas dinámicas de tasa (VAS y CT), lo que permite construir un escenario base para el modelamiento de la tasa relevante para el estudio, esto es, la tasa swap- $\$^{15}$ , y poder realizar un análisis según la realidad del mercado chileno.

Una vez calibrados los parámetros para el modelo de Vacisek, se obtienen los siguientes parámetros base:

a	b	$\sigma$	R0
0,5054	6,3%	1,76%	4,6%

*Tabla 4. Parámetros base calibrados a partir de Mínimos Cuadrados Ordinarios para la generación de instancias de la trayectoria de la tasa a través de Vacisek.*

Para el caso del modelo Central Tendency, se obtienen los parámetros base:

a1	a2	$\theta$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\rho$	R0	b0
0,4301	0,8006	6,75%	1,19%	1,62%	0,2434	4,6%	5,4%

*Tabla 5. Parámetros base calibrados a partir de Mínimos Cuadrados Ordinarios para la generación de instancias de la trayectoria de la tasa a través de Central Tendency.*

Con estos parámetros es posible estimar a partir de ambas dinámicas el riesgo de contraparte y de mercado para SPC  $\$$  según distintas condiciones, tanto de mercado como de los contratos evaluados.

## 8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A partir de los parámetros calibrados para ambos modelos, es posible analizar el comportamiento del riesgo de mercado y riesgo de contraparte en SPC  $\$$  para cada especificación. Para ello, el análisis comprende la evaluación y comparación del riesgo para swaps bajo diferentes casos y escenarios. Primero, se analiza el riesgo para swaps de distintos plazos, para luego analizar que ocurre con el riesgo bajo distintos casos sobre el comportamiento de las tasas:

- ❖ Trayectorias de tasas sometidas a distintos niveles de volatilidad
- ❖ Diferente velocidad de reversión a la media para la proyección de las tasas

<sup>15</sup> Calibración base realizada a partir de mínimos cuadrados ordinarios (OLS).

❖ Diferencia entre nivel de corto plazo y nivel de largo plazo (premio por plazo)

Para todos los casos, se analiza la exposición al riesgo de mercado y contraparte tanto desde el punto de vista del agente que acuerda recibir tasa fija a cambio de entregar tasa variable (es decir, que se activa a tasa fija) como de su contraparte en el contrato (que se activa a tasa flotante). A fin de cuantificar la exposición al riesgo, para todas las estimaciones, se calculan porcentajes de valor en riesgo sobre el monto nominal del contrato. Para tales efectos, dado que la obtención de resultados implica la realización de simulaciones de Montecarlo, se realizan 10000<sup>16</sup> simulaciones para cada caso, obteniéndose así los percentiles 95 y 5 que caracterizan el comportamiento del swap en cuanto a riesgo de contraparte y mercado, respectivamente.

Por último, es importante mencionar que con el objeto de poseer una base fija para todas las evaluaciones se utiliza un swap SPC \$ sobre un monto nominal fijo<sup>17</sup>.

## **8.1 Plazo<sup>18</sup>**

Para analizar distintos plazos es necesario hacerlo sobre contratos que presenten algún nivel de liquidez para el mercado local. Luego, a partir de los precios obtenidos a través de un Broker<sup>19</sup>, se fijan los plazos para los cuales se evalúa el riesgo en SPC \$. Además, se considera que, para plazos superiores a 1,5 años para un swap, éste devenga intereses de manera semestral mientras que para plazos menores o iguales a 1,5 años actúa como un swap cero cupón, esto es, devenga intereses sólo una vez cumplido el plazo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para todos los plazos relevantes:

❖ **SPC-\$ a 20 años**

El swap de más largo plazo con precios disponibles y que por ende se transa en algún grado en el mercado local es el contrato a 20Y. Para este plazo, se tiene el siguiente perfil de riesgo:

---

<sup>16</sup> Para determinar el número de simulaciones, se consideraron criterios como la convergencia de la distribución a niveles aceptables (Test de Normalidad) y el tiempo de simulación.

<sup>17</sup> Naturalmente la tasa swap dependerá tanto de los plazos involucrados como de las condiciones de simulación y proyección de la tasa swap.

<sup>18</sup> En el Anexo D se muestran los perfiles completos de riesgo para cada uno de los swaps analizados.

<sup>19</sup> En el Anexo A se adjunta un Closing run para SPC \$, de donde se desprenden los plazos relevantes.

Contraparte	20Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	20Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	2,87%		3,14%		<b>0,27%</b>	V(Fix-FI)	-5,81%	
V(FI-Fix)	5,87%		8,09%	<b>2,22%</b>	V(FI-Fix)	-2,87%		-3,16%	<b>0,28%</b>

Lo anterior muestra que, para un swap a 20 años, la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 3,1% y 8,1% del notional del swap según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT, y de 2,8% y 5,8% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Además, se desprende que existen diferencias entre las estimaciones tanto por riesgo de mercado como de riesgo de contraparte según el modelo utilizado. Por un lado, existen diferencias del orden de 0,3% y 2,2% para cada posición sobre el swap, habiendo una pequeña diferencia (0,2%) entre modelos cuando se estima el riesgo de contraparte para el agente activo a tasa fija y riesgo de mercado para el agente activo a tasa flotante, pero una diferencia mayor (2,2%) en la estimación de riesgo de contraparte para el agente activo a tasa flotante y de riesgo de mercado para el agente activo a tasa fija, siendo mayor la estimación obtenida bajo el modelo de Central Tendency para todos los casos. Por ende, la diferencia estimativa entre un modelo y otro es notoria en este caso.

Por otro lado, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la diferencia de la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo es distinta, alcanzando valores en torno al 3% para VAS y 5% para CT. Esta diferencia es explicada principalmente por el efecto de reversión a la media, que tiende a llevar la tasa hacia un nivel determinado, por lo que la tasa para este caso tiende a darle un gran peso al nivel de largo plazo, lo que se ve reflejado en la disparidad obtenida para la estimación del riesgo.

#### ❖ SPC-\$ a 15 años

Otro de los swap de largo plazo que posee precio en el mercado es el SPC-\$ 15Y. Su perfil de riesgo se presenta a continuación:

Contraparte	15Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	15Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	2,89%		3,25%		<b>0,36%</b>	V(Fix-FI)	-5,72%	
V(FI-Fix)	5,70%		7,88%	<b>2,17%</b>	V(FI-Fix)	-2,94%		-3,27%	<b>0,33%</b>

A partir de lo anterior, es posible apreciar que la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 3,2% y 7,9% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 2,9% y 5,7% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Además, se desprende que en este caso siguen prevaleciendo las diferencias entre estimaciones según el modelo utilizado. Por un lado, es posible ver que en este plazo las diferencias entre modelos para el agente que se

activa a tasa fija en lo que respecta a riesgo de contraparte y el agente que se activa a tasa flotante en el caso del riesgo de mercado presenta valores pequeños del orden de 0,35%, generando una diferencia de **+0,15%** con respecto al caso anterior (SPC-\$ 20Y), mientras que en el caso del agente que se activa a tasa flotante en cuanto a riesgo de contraparte y el agente que se activa a tasa fija en lo que respecta a riesgo de mercado alcanza valores del orden de 2,1% de diferencia entre modelos, generando una diferencia de **-0,1%** con respecto al caso anterior. También, es posible verificar que todas las estimaciones a través del modelo Central Tendency para este plazo presentan mayores valores que a través del modelo Vasicek.

Por otro lado, comparando entre posiciones en el contrato, es posible observar que la diferencia de la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo es distinta, alcanzando valores en torno al 2,8% para VAS y 4,6% para CT, lo cual significa una diferencia de **-0,2%** y **-0,4%** con respecto al swap de 20 años, tendiendo a minimizar dicha diferencia en este caso.

#### ❖ SPC-\$ a 10 años

El último swap que supera los 10 años plazo es el SPC-\$ 10Y y su perfil de riesgo se presenta a continuación:

Contraparte	10Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	10Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	3,17%		3,56%		<b>0,39%</b>	V(Fix-FI)	-5,43%	
V(FI-Fix)	5,48%		7,18%	<b>1,70%</b>	V(FI-Fix)	-3,12%		-3,44%	<b>0,33%</b>

El perfil muestra que para este plazo, la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 3,5% y 7,2% % según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 3,1% y 5,5% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Además, se desprende que en este caso las diferencias entre estimaciones según el modelo utilizado siguen presentes. Por un lado, es posible ver que en este plazo las diferencias entre modelos para el agente que se activa a tasa fija en lo que respecta a riesgo de contraparte y el agente que se activa a tasa flotante en el caso del riesgo de mercado presenta valores del orden de 0,35%, manteniendo por ende diferencias similares al caso anterior, mientras que en el caso del agente que se activa a tasa flotante en cuanto a riesgo de contraparte y el agente que se activa a tasa fija en lo que respecta a riesgo de mercado alcanza valores del orden de 1,7% de diferencia entre modelos, generando una diferencia de **-0,4%** con respecto al caso anterior. También, es posible verificar que todas las estimaciones a través del modelo Central Tendency para este plazo presentan mayores valores que a través del modelo Vasicek, lo cual mantiene la tendencia mostrada en los casos anteriores.

Por otro lado, comparando entre posiciones en el contrato, es posible observar que la diferencia de la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo es distinta, alcanzando valores en torno al 2,3% para VAS y 3,6% para CT, lo cual significa una diferencia de **-0,5%** y **-1%** con respecto al swap analizado en el caso anterior siguiendo con la tendencia a disminuir esta diferencia a medida que se acortan los plazos.

### ❖ SPC-\$ a 9 - 8 - 7 - 6 años

Considerando que para los casos anteriores existen precios para swaps con 5 años plazo de diferencia y que, para el caso de swaps a plazos inferiores a 10 años, existen precios para swaps por periodos de un año de diferencia, se presentarán los perfiles de riesgo para swaps de 9, 8, 7 y 6 años plazo de manera agrupada, profundizando en los casos bordes para representar diferencias más significativas pero sin perder de vista los resultados intermedios:

Contraparte	9Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	9Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	3,01%		3,53%		<b>0,53%</b>	V(Fix-FI)	-5,36%	
V(FI-Fix)	5,38%		6,98%	<b>1,59%</b>	V(FI-Fix)	-3,01%		-3,51%	<b>0,51%</b>

Contraparte	8Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	8Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	3,07%		3,56%		<b>0,49%</b>	V(Fix-FI)	-5,17%	
V(FI-Fix)	5,18%		6,59%	<b>1,40%</b>	V(FI-Fix)	-3,06%		-3,56%	<b>0,50%</b>

Contraparte	7Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	7Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	3,08%		3,40%		<b>0,32%</b>	V(Fix-FI)	-5,13%	
V(FI-Fix)	4,99%		6,15%	<b>1,16%</b>	V(FI-Fix)	-3,09%		-3,47%	<b>0,37%</b>

Contraparte	6Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	6Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	2,99%		3,25%		<b>0,27%</b>	V(Fix-FI)	-4,75%	
V(FI-Fix)	4,77%		5,53%	<b>0,76%</b>	V(FI-Fix)	-2,96%		-3,33%	<b>0,37%</b>

Según los perfiles presentados en este caso, es posible ver que la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 3,5% y 7% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 3% y 5,4% para el caso de la estimación a través de Vasicek en el perfil de más largo plazo expuesto, esto es, para el swap a 9 años plazo. En el caso del perfil con más corto plazo, la exposición

al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 3,2% y 5,5% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 3% y 4,8% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Con respecto a las diferencias experimentadas en estimación entre modelos, es posible apreciar que para el swap a 9 años plazo las diferencias entre modelos para el agente que se activa a tasa fija en lo que respecta a riesgo de contraparte y el agente que se activa a tasa flotante en el caso del riesgo de mercado presenta valores del orden de 0,5%, lo cual representa una diferencia de **+0,15%** con respecto al caso del swap a 10 años, mientras que en el caso del agente que se activa a tasa flotante en cuanto a riesgo de contraparte y el agente que se activa a tasa fija en lo que respecta a riesgo de mercado alcanza valores del orden de 1,6% de diferencia entre modelos, generando una diferencia de **-0,1%** con respecto al caso anterior. Para el swap a 6 años, se experimentan diferencias del orden de 0,3% y 0,75%, lo cual representa una diferencia de **-0,2%** y **+0,85%** con respecto al caso del swap a 9 años plazo. Además, es importante mencionar que en el tramo de plazos analizado, se produce un cambio de tendencia sobre las diferencias experimentadas entre modelos, pues en el caso de las diferencias en cuanto a riesgo de contraparte para el agente que se activa a tasa fija éstas muestran tendencia a crecer desde los plazos más largos hasta el swap a 9 años plazo, para luego comenzar a decrecer a partir del swap a 8 años plazo, haciendo que las estimaciones de riesgo de cada modelo se vuelvan cada vez más similares. Para el caso de las diferencias en cuanto a riesgo de contraparte para el agente que se activa a tasa variable, se mantiene la tendencia decreciente experimentada desde los plazos más largos hasta el caso del swap a 6 años plazo.

Para cada uno de los perfiles de riesgo presentados, es posible ver que las estimaciones realizadas tanto para riesgo de contraparte como riesgo de mercado siguen siendo mayores bajo el modelo de Central Tendency.

Por último, comparando entre posiciones en el contrato para la estimación bajo un mismo modelo se tiene que, en el caso del swap a 9 años plazo, la diferencia de la exposición al riesgo para ambos agentes presenta diferencias en torno a 2,3% para VAS y 3,4% para CT, lo que significa una diferencia de **0%** y **-0,2%** con respecto al caso del swap a 10 años plazo y, para el swap a 6 años plazo, la diferencia de exposición al riesgo presenta diferencias en torno a 1,8% para VAS y 2,2% para CT significando una diferencia de **-0,5%** y **-1,2%** con respecto al swap a 9 años plazo. Esto muestra que, el efecto de largo plazo presente en ambos modelos, va decreciendo a medida que los plazos disminuyen.

#### ❖ **SPC-\$ a 5 - 4 - 3 - 2 años**

En este caso, se agrupan los perfiles de riesgo de swaps bajo la misma lógica que en el caso anterior, esto es, la cercanía entre plazos que disminuye las diferencias entre

perfiles. Por ello se presentan los perfiles de riesgo para 4 plazos de SPC-\$, analizándose el plazo tanto para el swap con más largo plazo como para el plazo más corto del grupo sin dejar de lado las posibles diferencias significativas que pudiesen existir entre todos los perfiles presentados a continuación:

Contraparte	5Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	5Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	2,92%		2,99%		<b>0,07%</b>	V(Fix-FI)	-4,40%	
V(FI-Fix)	4,38%		4,78%	<b>0,39%</b>	V(FI-Fix)	-2,91%		-3,02%	<b>0,11%</b>

Contraparte	4Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	4Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	2,65%		2,67%		<b>0,02%</b>	V(Fix-FI)	-3,76%	
V(FI-Fix)	3,80%		4,02%	<b>0,22%</b>	V(FI-Fix)	-2,64%		-2,72%	<b>0,08%</b>

Contraparte	3Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	3Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	2,27%		2,08%		<b>0,19%</b>	V(Fix-FI)	-3,06%	
V(FI-Fix)	3,04%		2,97%	<b>0,07%</b>	V(FI-Fix)	-2,29%		-2,09%	<b>0,20%</b>

Contraparte	2Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	2Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	1,59%		1,39%		<b>0,20%</b>	V(Fix-FI)	-2,00%	
V(FI-Fix)	2,01%		1,71%	<b>0,30%</b>	V(FI-Fix)	-1,60%		-1,40%	<b>0,20%</b>

A partir de lo anterior, es posible ver que la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 3% y 4,8% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 2,9% y 4,4% para el caso de la estimación a través de Vasicek en el perfil de más largo plazo expuesto. En el caso del perfil con más corto plazo, la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 1,4% y 1,7% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 1,6% y 2% para el caso de la estimación a través de Vasicek, mostrando un marcado descenso en la estimación del riesgo conforme disminuyen los plazos. Con respecto a las diferencias experimentadas en estimación entre modelos, es posible apreciar que para el swap a 5 años plazo las diferencias entre modelos para el agente que se activa a tasa fija en lo que respecta a riesgo de contraparte y el agente que se activa a tasa flotante en el caso del riesgo de mercado presenta valores muy pequeños del orden de 0,1%, lo cual representa una diferencia de **-0,2%** con respecto al caso del swap a 6 años, mientras que en el caso del agente que se activa a tasa flotante en cuanto a riesgo de contraparte y el agente que se activa a tasa fija en lo que respecta a riesgo de mercado alcanza valores del orden de 0,4% de diferencia entre modelos, generando una diferencia de **-0,35%** con respecto al mismo swap, mostrando

que los perfiles entre modelos tienden a parecerse. Ahora bien, en el caso del swap a 2 años, se experimentan diferencias del orden de 0,2% y 0,3%, lo cual representa una diferencia de **+0,2%** y **-0,1%** con respecto al caso del swap a 5 años plazo, notando además que en este tramo de plazos se produce un nuevo cambio de tendencia sobre las diferencias experimentadas entre modelos, las cuales hasta el swap de 4 años plazo según riesgo de contraparte para el agente activo a tasa fija presentan una tendencia a decrecer para luego comenzar a crecer nuevamente y, hasta el swap a 3 años plazo para el agente activo a tasa variable presentan una tendencia sostenida desde los swaps de más largo plazo a decrecer para posteriormente comenzar a crecer nuevamente. Este efecto es de suma importancia, pues en este tramo se producen los perfiles de riesgo más cercanos entre modelos, específicamente para los plazos antes mencionados.

Otro punto importante es que, en el tramo de plazos analizado, se produce un importante cambio en la magnitud de las estimaciones realizadas pues para todos los casos anteriormente analizados, las estimaciones a través del modelo de Central Tendency producen perfiles de riesgo mayores que en el caso de Vacisek. Sin embargo, es posible apreciar que a partir del swap a 3 años plazo las estimaciones a través del modelo Vacisek se vuelven mayores que las estimadas a través del modelo de Central Tendency.

Por último, comparando entre posiciones en el contrato para la estimación bajo un mismo modelo se tiene que, en el caso del swap a 5 años plazo, la exposición al riesgo para ambos agentes presenta diferencias en torno a 1,5% para VAS y 1,9% para CT, lo que significa una diferencia de **-0,3%** en cada caso con respecto al swap a 6 años plazo y, para el swap a 2 años plazo, la exposición al riesgo presenta diferencias en torno a 0,4% para VAS y 0,3% para CT significando una diferencia de **-1,1%** y **-1,6%** con respecto al swap a 9 años plazo. Lo anterior reafirma que, el efecto de largo plazo presente en ambos modelos, va decreciendo a medida que los plazos disminuyen y hace más similares los perfiles de riesgo para los agentes en plazos más cortos que en los swaps de más largo plazo y muestra que además esta diferencia crece fuertemente en este tramo para los perfiles estimados a través de CT.

#### ❖ **SPC-\$ a 1,5 años**

La estructura del swap a partir de este plazo cambia con respecto a los plazos superiores principalmente porque éste se transforma en un swap con intercambios de flujo sólo en el vencimiento. Su perfil de riesgo es el siguiente:

Contraparte	1,5Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	1,5Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	3,31%	2,59%	<b>0,72%</b>		V(Fix-FI)	-3,85%	-3,14%	<b>0,71%</b>
	V(FI-Fix)	3,84%	3,11%	<b>0,72%</b>		V(FI-Fix)	-3,29%	-2,60%	<b>0,69%</b>

A partir de lo anterior, es posible apreciar que la magnitud del valor en riesgo en este caso es distinto comparado con el caso anterior del swap a 2 años por efecto de la disminución de flujos futuros. Luego, la exposición al riesgo de contraparte para este swap alcanza valores cercanos al 2,6% y 3,1% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 3,3% y 3,8% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Además, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente aumentan considerablemente producto de esta nueva estructura del contrato, alcanzando valores del orden de 0,7% para el agente activo a tasa fija según su perfil de riesgo de contraparte y para el agente activo a tasa variable según riesgo de mercado, representando una diferencia de **+0,5%** con respecto al caso del swap a 2 años, mientras que para el agente activo a tasa variable según su perfil de riesgo de contraparte y para el agente activo a tasa fija según riesgo de mercado la diferencia alcanza también valores del orden de 0,7%, con la diferencia que dicho valor representa una diferencia de **+0,4%** con respecto al caso anterior. Siguiendo con la última tendencia mostrada en los perfiles de mayor plazo analizados, es posible verificar que todas las estimaciones a través del modelo de Vasicek son comparablemente mayores que las obtenidas a través del modelo Central Tendency.

Por último es importante mencionar que, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo es distinta, alcanzando diferencias en torno al 0,5% para ambos modelos, lo cual significa una diferencia de **+0,1%** para las estimaciones a través de VAS y **+0,2%** a través de CT con respecto al swap de 2 años, mostrando un crecimiento en las diferencias sobre la exposición de cada agente producto del cambio de estructura del swap.

#### ❖ SPC-\$ a 1 año

El último swap con vencimiento anual posee el siguiente perfil de riesgo:

Contraparte	1Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	1Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	2,00%	1,55%	<b>0,45%</b>		V(Fix-FI)	-2,32%	-1,74%	<b>0,58%</b>
	V(FI-Fix)	2,34%	1,78%	<b>0,56%</b>		V(FI-Fix)	-2,05%	-1,57%	<b>0,48%</b>

A partir de lo anterior, es posible apreciar que la exposición al riesgo de contraparte para este caso alcanza valores cercanos al 1,6% y 1,7% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 2% y 2,3% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Además, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 0,5% para el agente activo a tasa fija según su perfil de riesgo de contraparte y para el agente activo a tasa variable según riesgo de mercado, representando una diferencia de **-0,2%** con respecto al caso del swap a 1,5 años y por ende revirtiendo el cambio de tendencia anterior, mientras que para el agente activo a tasa variable según su perfil de riesgo de contraparte y para el agente activo a tasa fija según riesgo de mercado la diferencia alcanza valores del orden de 0,6%, representa una diferencia de **-0,1%** con respecto al caso anterior. Siguiendo con la tendencia mostrada en el perfil de riesgo anteriormente analizado, es posible verificar que todas las estimaciones a través del modelo de Vasicek son comparablemente mayores que las obtenidas a través del modelo Central Tendency.

Por último es importante mencionar que, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo es distinta, alcanzando diferencias en torno al 0,3% para el modelo VAS y 0,2% para el modelo de CT, lo cual significa una diferencia de **-0,2%** para las estimaciones a través de VAS y **-0,3%** a través de CT con respecto al swap de 1,5 años, mostrando un nuevo decrecimiento en las diferencias sobre la exposición de cada agente producto del cambio de estructura del swap.

❖ **SPC-\$ a 0,75 - 0,5 - 0,25 años**

Para el último grupo de plazos de este tipo de swap estos son agrupados por su gran cercanía y porque todos corresponden a swaps con plazo menor a un año. A pesar de esta cercanía y siendo los swaps de más corto plazo disponibles en el mercado, es interesante conocer el perfil de riesgo de cada uno de ellos, los cuales son presentados a continuación:

Contraparte	0,75Y	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	0,75Y	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	1,78%		1,34%		<b>0,43%</b>	V(Fix-FI)	-2,05%	
V(FI-Fix)	2,10%		1,58%	<b>0,52%</b>	V(FI-Fix)	-1,79%		-1,34%	<b>0,45%</b>

Contraparte	<b>0,5Y</b>	Vasicek	Central Tend	<b>diff</b>	Mercado	<b>0,5Y</b>	Vasicek	Central Tend	<b>diff</b>
	V(Fix-FI)	1,04%	0,77%	<b>0,27%</b>		V(Fix-FI)	-1,22%	-0,87%	<b>0,36%</b>
	V(FI-Fix)	1,22%	0,84%	<b>0,37%</b>		V(FI-Fix)	-1,06%	-0,79%	<b>0,27%</b>

Contraparte	<b>0,25Y</b>	Vasicek	Central Tend	<b>diff</b>	Mercado	<b>0,25Y</b>	Vasicek	Central Tend	<b>diff</b>
	V(Fix-FI)	0,41%	0,29%	<b>0,13%</b>		V(Fix-FI)	-0,46%	-0,32%	<b>0,14%</b>
	V(FI-Fix)	0,46%	0,30%	<b>0,16%</b>		V(FI-Fix)	-0,41%	-0,30%	<b>0,11%</b>

A partir de los perfiles presentados, es posible ver que la exposición al riesgo de contraparte para el caso de más largo plazo presentado alcanza valores cercanos a 1,3% y 1,6% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 1,8% y 2,1% para el caso de la estimación a través de Vasicek en el perfil de más largo plazo expuesto. En el caso del perfil con más corto plazo, la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 0,3% para ambas posiciones del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 0,4% y 0,5% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Con respecto a las diferencias experimentadas en estimación entre modelos, es posible apreciar que para el swap a 9 meses plazo (0,75Y) las diferencias entre modelos para el agente que se activa a tasa fija en lo que respecta a riesgo de contraparte y el agente que se activa a tasa flotante en el caso del riesgo de mercado presenta valores del orden de 0,4%, lo cual representa una diferencia de **-0,1%** con respecto al caso del swap a 1 año, mientras que en el caso del agente que se activa a tasa flotante en cuanto a riesgo de contraparte y el agente que se activa a tasa fija en lo que respecta a riesgo de mercado alcanza valores del orden de 0,5% de diferencia entre modelos, generando una diferencia de **-0,1%** con respecto al mismo swap. Ahora bien, para el caso del swap a 3 meses (0,25Y), se experimentan diferencias muy pequeñas del orden de 0,1% y 0,2%, lo cual representa una diferencia de **-0,3%** en para ambos casos con respecto al swap a 9 meses plazo, por lo que la tendencia a disminuir la diferencia en la estimación entre modelos para ambas posiciones sobre el swap se mantiene respecto del caso anterior, llegando nuevamente a niveles mínimos de diferencia. Luego, en el tramo de más corto plazo, se vuelven a producir perfiles de riesgo muy cercanos entre modelos sobre todo para el caso del swap a 3 meses plazo. Esto puede ser explicado por el bajo impacto que tiene en este nivel el efecto de la tasa a largo plazo.

Por último, comparando entre posiciones en el contrato para la estimación bajo un mismo modelo se tiene que, en el caso del swap a 9 meses plazo, la exposición al riesgo para ambos agentes presenta diferencias en torno a 0,3% para VAS y 0,2% para CT, lo que significa una diferencia de **0%** en cada caso con respecto al swap a 1 año y, para el swap a 3 meses plazo, la exposición al riesgo presenta diferencias en torno a 0,05% para VAS y 0,02% para CT por lo que la estimación para ambos agentes bajo un mismo modelo tiende a ser la misma, además de significar una diferencia de **-0,3%** y -

0,2% con respecto al swap a 9 meses plazo. Lo anterior permite aseverar que para el swap a más corto plazo, es posible obtener perfiles de riesgo similares tanto para el agente que se activa a tasa fija como el que lo hace a tasa variable, producto de la nula influencia del efecto de largo plazo en este caso.

## 8.2 Volatilidad<sup>20</sup>

En este caso, se analizará el perfil de riesgo en base a distintos escenarios de volatilidad, a modo de ver de qué manera impacta esto sobre la estimación de riesgo tanto en un SPC-\$ de plazo mayor como en uno de plazo menor a 2 años con lo que se busca aislar el efecto de diferenciación de la estructura del swap.

Para ello, se utilizarán los parámetros base de cada dinámica de tasa, sensibilizando sólo los parámetros de volatilidad de cada modelo<sup>21</sup>. Además, dado que la volatilidad de las tasas proyectadas a través de Vacisek dependen de un solo factor a diferencia de Central Tendency en el que la volatilidad depende de tres factores, se requiere hacer comparables los niveles de volatilidad entre modelos para que el análisis realizado tenga sentido y no sesgue las estimaciones de riesgo realizadas, para lo cual se utiliza un procedimiento para equilibrar los niveles de volatilidad de ambos modelos<sup>22</sup>. Los parámetros de volatilidad obtenidos bajo este procedimiento y que serán la base para la estimación de riesgo en cada caso son los siguientes:

Escenario de Alta Volatilidad				Escenario de Baja Volatilidad			
<i>Vacisek</i>	<i>Central Tendency</i>			<i>Vacisek</i>	<i>Central Tendency</i>		
$\sigma$	$\sigma 1$	$\sigma 2$	$\rho$	$\sigma$	$\sigma 1$	$\sigma 2$	$\rho$
2,34%	1,66%	2,07%	0,2434	1,18%	0,70%	1,18%	0,2433

Tabla 6. Parámetros para escenarios de alta y baja volatilidad.

### ❖ SPC-\$ a 5 años, alta volatilidad

El primer caso en ser analizado corresponde al de un swap a 5 años plazo bajo un escenario de alta volatilidad. Su perfil de riesgo es el siguiente:

<sup>20</sup> En el Anexo E se muestran los perfiles completos de riesgo para cada uno de los swaps analizados.

<sup>21</sup> Para la estimación de escenarios de alta y baja volatilidad, se utiliza el panel de datos sobre el cual se realizó la estimación base, del cual se obtiene la volatilidad histórica para un periodo de 90 días. A partir de esto, se determina que el nivel de alta volatilidad corresponderá al promedio más 1,5 desviaciones estándar de la volatilidad histórica y el nivel de baja volatilidad corresponderá al promedio menos 1,5 desviaciones estándar.

<sup>22</sup> El procedimiento se encuentra disponible en el Anexo C.

Contraparte	5Y-HV	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	5Y-HV	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	4,12%		4,36%		<b>0,24%</b>	V(Fix-FI)	-5,42%	
V(FI-Fix)	5,44%		6,25%	<b>0,81%</b>	V(FI-Fix)	-4,12%		-4,40%	<b>0,28%</b>

De lo anterior es posible ver que bajo un escenario de alta volatilidad sobre el nivel de las tasas la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 4,4% y 6,3% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 4,1% y 5,4% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Esto, representa un alza para todos los casos con respecto al caso base (SPC-\$ a 5 años plazo), representando alzas de **+1,4%**, **+1,5%**, **+1,2%** y **+1,1%** respectivamente. Por otro lado, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 0,3% para el agente activo a tasa fija según su perfil de riesgo de contraparte y para el agente activo a tasa variable según riesgo de mercado, representando una diferencia de **+0,2%** con respecto al caso base, mientras que para el agente activo a tasa variable según su perfil de riesgo de contraparte y el agente activo a tasa fija según riesgo de mercado la diferencia alcanza valores del orden de 0,8%, representa una diferencia de **+0,4%** con respecto al caso base, por lo que, producto del alza del nivel de volatilidad, las estimaciones entre modelos tienden a separarse mínimamente. Al igual que en el perfil de riesgo para el caso base, las estimaciones a través del modelo Central Tendency son comparablemente mayores que las obtenidas a través del modelo Vasicek.

Por último es importante mencionar que, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo es distinta, alcanzando diferencias en torno al 1,3% para el modelo VAS y 1,9% para el modelo de CT, lo cual significa una diferencia de **-0,2%** para las estimaciones a través de VAS y **0%** a través de CT con respecto al caso base, mostrando un leve descenso en las diferencias entre agentes ante un aumento en la volatilidad para este caso.

#### ❖ SPC-\$ a 5 años, baja volatilidad

El swap a 5 años, bajo un escenario de baja volatilidad, presenta el siguiente perfil de riesgo, el que será contrastado tanto con el caso base como ante el caso de alta volatilidad analizado anteriormente:

Contraparte	5Y-LV	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	5Y-LV	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	1,71%	1,62%	<b>0,08%</b>		V(Fix-FI)	-3,17%	-3,49%	<b>0,32%</b>
	V(FI-Fix)	3,14%	3,53%	<b>0,39%</b>		V(FI-Fix)	-1,72%	-1,65%	<b>0,07%</b>

De lo anterior es posible ver que la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 1,6% y 3,5% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 1,7% y 3,1% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Esto, representa diferencias con respecto al caso base de **-1,2%**, **-1,2%**, **-1,4%** y **-1,3%** respectivamente y diferencias con respecto al escenario de alta volatilidad de **-2,4%**, **-2,3%**, **-2,7%** y **-2,7%** respectivamente. Así, se puede corroborar que el impacto del alza y baja de volatilidad hace que ambos perfiles de riesgo aumenten o disminuyan en magnitudes similares.

Por otro lado, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 0,1% para el agente activo a tasa fija según su perfil de riesgo de contraparte y para el agente activo a tasa variable según riesgo de mercado, mientras que para el agente activo a tasa variable según su perfil de riesgo de contraparte y el agente activo a tasa fija según riesgo de mercado la diferencia alcanza valores del orden de 0,4%, no existiendo diferencias con respecto al caso base pero alcanzando diferencias de **-0,2%** y **-0,4%** respectivamente con respecto al escenario de alta volatilidad. Además, las estimaciones de riesgo a través del modelo Central Tendency son comparablemente mayores sólo en los casos del agente activo a tasa flotante según riesgo de contraparte y del agente activo a tasa fija según riesgo de mercado, por sobre las obtenidas a través del modelo Vasicek.

Por último es importante mencionar que, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo es distinta, alcanzando diferencias en torno al 1,4% para el modelo VAS y 1,9% para el modelo de CT, lo cual significa una diferencia de **-0,1%** para las estimaciones a través de VAS y **+0,1%** a través de CT con respecto al caso base y una diferencia de **+0,1%** y **0%** respectivamente frente al escenario de alta volatilidad.

#### ❖ SPC-\$ a 1,5 años, alta volatilidad

Este caso es atractivo de ser analizado pues en este plazo la estructura del swap cambia. Su perfil de riesgo es el siguiente:

Contraparte	1,5Y-HV	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	1,5Y-HV	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	4,36%	3,60%	<b>0,76%</b>		V(Fix-FI)	-4,89%	-4,10%	<b>0,79%</b>
	V(FI-Fix)	4,88%	4,13%	<b>0,75%</b>		V(FI-Fix)	-4,40%	-3,59%	<b>0,81%</b>

De lo anterior es posible apreciar que bajo un escenario de baja volatilidad sobre el nivel de las tasas la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 3,6% y 4,1% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 4,4% y 4,9% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Esto, representa un alza para todos los casos con respecto al caso base (SPC-\$ a 1,5 años plazo), representando alzas de **+1,0** en todas las estimaciones. Por otro lado, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 0,8% para todos los casos, representando una diferencia de **0%** con respecto al caso base por lo que dichas diferencias no varían ante un alza en el nivel de volatilidad de las tasas. Al igual que en el perfil de riesgo para el caso base, las estimaciones a través del modelo Central Tendency son comparablemente menores que las obtenidas a través del modelo Vasicek.

Por último, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo es distinta, alcanzando diferencias en torno al 0,5% en ambos modelos, mostrando valores similares con respecto al caso base y por ende no teniendo efecto el alza de volatilidad sobre estas diferencias

#### ❖ SPC-\$ a 1,5 años, baja volatilidad

El swap a 1,5 años, bajo un escenario de baja volatilidad, presenta el siguiente perfil de riesgo, el que será contrastado tanto con el caso base como ante el caso de alta volatilidad analizado anteriormente:

Contraparte	1,5Y-LV	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	1,5Y-LV	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	2,17%		1,47%		<b>0,69%</b>	V(Fix-FI)	-2,63%	
V(FI-Fix)	2,61%		1,96%	<b>0,65%</b>	V(FI-Fix)	-2,13%		-1,51%	<b>0,62%</b>

De lo anterior es posible ver que la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 1,5% y 2% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 2,2% y 2,6% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Esto, representa diferencias con respecto al caso base de **-1,1%, -1,2%, -1,1%** y **-1,2%** respectivamente y diferencias con respecto al escenario de alta volatilidad de **-2,2%, -2,3%, -2,1%** y **-2,2%** respectivamente. Así, nuevamente se puede corroborar que

el impacto del alza y baja de volatilidad hace que ambos perfiles de riesgo aumenten o disminuyan en magnitudes similares.

Por otro lado, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 0,7% para ambos agentes, existiendo diferencias de **0%** y **-0,1%** con respecto al caso base y diferencias de **0%** y **-0,1%** para ambos agentes con respecto al escenario de alta volatilidad. Además, las estimaciones a través del modelo Central Tendency son comparablemente menores que las obtenidas a través del modelo Vacisek.

Por último es importante mencionar que, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo es distinta, alcanzando diferencias en torno al 0,5% para ambos modelos, no existiendo diferencias ni con respecto al caso base ni con respecto al escenario de alta volatilidad, por lo que el efecto de baja volatilidad no parece producir diferencias sobre las estimaciones entre agentes.

### 8.3 Reversión a la media<sup>23</sup>

Otro de los casos de importancia para este estudio es el de conocer el impacto sobre los perfiles de riesgo de diferentes magnitudes en el parámetro de velocidad de reversión a la media. Este parámetro permite modelar cuán rápido se alcanza el nivel de largo plazo como condición para la proyección de las tasas de interés y se busca cuantificar su efecto sobre la estimación de riesgo bajo ambas dinámicas de tasa.

Para este efecto, se considera una variación significativa en el parámetro antes mencionado sobre el obtenido en la estimación de los parámetros base de este estudio, correspondiente a escenarios de reversión rápida y reversión lenta a la tasa de largo plazo con una variación de  $\pm 30\%$ . Luego, los parámetros que servirán como base para el análisis de este caso son los siguientes:

Velocidad reversión	<i>Vacisek</i>	<i>Central Tendency</i>
	<b>a</b>	<b>a1</b>
Rápido	0,81	0,73
Base	0,51	0,43
Lenta	0,21	0,13

Tabla 7. Parámetros de reversión a la media.

<sup>23</sup> En el Anexo F se muestran los perfiles completos de riesgo para cada uno de los swaps analizados.

## ❖ SPC-\$ a 5 años, reversión rápida

El perfil de riesgo para este swap en base a un escenario en que se alcance muy rápidamente el nivel de largo plazo es el siguiente:

Contraparte	5Y-FR	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	5Y-FR	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	1,50%		2,34%		<b>0,85%</b>	V(Fix-FI)	-2,95%	
V(FI-Fix)	2,99%		4,36%	<b>1,38%</b>	V(FI-Fix)	-1,51%		-2,29%	<b>0,78%</b>

De lo anterior es posible apreciar que el aumento en la velocidad de reversión a la media produce un descenso en las estimaciones de riesgo puesto que bajo este escenario la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 2,3% y 4,3% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 1,5% y 3% para el caso de la estimación a través de Vasicek, representa una diferencia para todos los casos con respecto al caso base (SPC-\$ a 5 años plazo) de **-0,7%**, **-0,4%**, **-1,4%** y **-1,4%**, respectivamente.

Por otro lado, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 0,9% para el agente activo a tasa fija según su perfil de riesgo de contraparte y para el agente activo a tasa variable según riesgo de mercado, representando una diferencia de **+0,8%** con respecto al caso base, mientras que para el agente activo a tasa variable según su perfil de riesgo de contraparte y el agente activo a tasa fija según riesgo de mercado la diferencia alcanza valores del orden de 1,4%, representando una diferencia de **+1%** con respecto al caso base, haciendo que las diferencias estimativas entre modelos sean mayores para este escenario. Además, las estimaciones a través del modelo Central Tendency son comparablemente mayores que las obtenidas a través del modelo Vacisek, no existiendo diferencias en esto con respecto al caso base.

Por último es importante mencionar que, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo sigue siendo distinta, alcanzando diferencias en torno al 1,5% para el modelo VAS y 2% para el modelo de CT, lo cual significa una diferencia de **+0,2%** para las estimaciones a través de VAS y **0%** a través de CT con respecto al caso base, mostrando una leve aumento en las diferencias entre agentes cuando se alcanza el nivel de largo plazo con mayor rapidez.

## ❖ SPC-\$ a 5 años, reversión lenta

Contrario al caso anterior, se analiza ahora el perfil de riesgo para este swap en base a un escenario en que se alcance lentamente el nivel de largo plazo:

Contraparte	5Y-SR	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	5Y-SR	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	6,19%		5,39%		<b>0,79%</b>	V(Fix-FI)	-7,06%	
V(FI-Fix)	7,00%		6,00%	<b>0,99%</b>	V(FI-Fix)	-6,22%		-5,35%	<b>0,87%</b>

De lo anterior es posible ver que la exposición al riesgo de contraparte presenta un importante aumento en este caso, alcanzando valores cercanos al 5,4% y 6% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 6,2% y 7% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Esto, representa diferencias con respecto al caso base de **+2,4%**, **+1,2%**, **+3,3%** y **+2,6%**, respectivamente y diferencias con respecto al escenario de reversión rápida de **+4,7%**, **+4,0%**, **+3,1%** y **+1,6%** respectivamente.

Por otro lado, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 0,8% para el agente activo a tasa fija según su perfil de riesgo de contraparte y para el agente activo a tasa variable según riesgo de mercado, mientras que para el agente activo a tasa variable según su perfil de riesgo de contraparte y el agente activo a tasa fija según riesgo de mercado la diferencia alcanza valores del orden de 1%, existiendo diferencias con respecto al caso base de **+0,7%** y **+0,6%** y diferencias de **-0,1%** y **-0,4%** respectivamente con respecto al escenario de velocidad de reversión rápida, mostrando así que, tanto para el escenario de reversión rápida como el de reversión lenta aumenta las diferencias entre estimaciones pero para este caso lo hace en una mayor magnitud. Cabe mencionar además que las estimaciones de riesgo a través del modelo Central Tendency son comparablemente menores que las obtenidas a través del modelo Vasicek, por lo que el escenario en este caso es inverso con respecto al escenario de rápida velocidad de reversión.

Por último es importante mencionar que, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo es distinta, alcanzando diferencias en torno al 0,8% para el modelo VAS y 0,6% para el modelo de CT, lo cual significa una diferencia de **-0,7%** para las estimaciones a través de VAS y **-1,2%** a través de CT con respecto al caso base y una diferencia de **-0,7%** y **-1,4%** respectivamente frente al escenario de rápida reversión a la media, haciendo en este caso más similares los perfiles de riesgo entre agentes.

❖ **SPC-\$ a 1,5 años, reversión rápida**

Para este swap, el que sólo intercambia flujos en el vencimiento del contrato, su perfil de riesgo bajo un escenario de rápida reversión al nivel de largo plazo es el siguiente:

Contraparte	1,5Y-FR	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	1,5Y-FR	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	2,63%		2,36%		<b>0,27%</b>	V(Fix-FI)	-3,36%	
V(FI-Fix)	3,36%		3,13%	<b>0,23%</b>	V(FI-Fix)	-2,61%		-2,37%	<b>0,24%</b>

De perfil presentado es posible apreciar que el riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 2,4% y 3,1% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 2,6% y 3,4% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Esto, representa una disminución para todos los casos con respecto al caso base (SPC-\$ a 1,5 años plazo) de **-0,2%**, **0%**, **-0,7%** y **-0,5%** respectivamente, mostrando que, cuando se alcanza el nivel de largo plazo rápidamente, los niveles de riesgo disminuyen y lo hacen principalmente para el caso de las estimaciones por Vasicek. Por otro lado, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 0,3% y 0,2%, representando diferencias de **-0,4%** y **-0,5%** con respecto al caso base, haciendo que ambas estimaciones se acerquen a niveles similares de riesgo. Al igual que en el perfil de riesgo para el caso base, las estimaciones a través del modelo Central Tendency son comparablemente menores que las obtenidas a través del modelo Vasicek.

Por último, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo sigue siendo distinta, alcanzando diferencias en torno al 0,7% en ambos modelos, mostrando diferencias del orden de **+0,2%** con respecto al caso base, por lo que bajo este escenario se amplifica la asimetría entre la exposición de ambos agentes.

❖ **SPC-\$ a 1,5 años, reversión lenta**

El último caso a presentar al sensibilizar el parámetro de reversión es el del swap a 1,5 años plazo bajo un escenario de velocidad reversión al nivel de largo plazo lento. Su perfil de riesgo es el siguiente

Contraparte	1,5Y-SR	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	1,5Y-SR	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	4,18%		3,24%		<b>0,95%</b>	V(Fix-FI)	-4,30%	
V(FI-Fix)	4,33%		3,04%	<b>1,28%</b>	V(FI-Fix)	-4,19%		-3,20%	<b>0,98%</b>

De lo anterior es posible ver que la exposición al riesgo de contraparte para este caso alcanza valores cercanos al 3,2% y 3% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 4,2% y 4,3% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Esto, representa diferencias con respecto al caso base de **+0,7%**, **0%**, **+0,9%** y **+0,5%** y diferencias con respecto al escenario de reversión rápida de **+0,9%**, **0%**, **+1,6%** y **+1,0%** respectivamente. Esto permite apreciar que el aumento del riesgo producto del menor empuje de la tasa a corto plazo hacia el nivel de largo plazo sigue siendo significativo al igual que en el caso del swap a 5 años plazo, pero en menor medida.

Por otro lado, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 1% y 1,3% según la posición del agente en el contrato, existiendo diferencias de **+0,2%** y **+0,6%** con respecto al caso base y diferencias de **+0,7%** y **+1%** para ambos agentes con respecto al escenario de reversión rápida. Esto, permite vislumbrar que las diferencias de estimaciones entre modelos tienden a aumentar en este escenario. Además, las estimaciones a través del modelo Central Tendency son comparablemente menores que las obtenidas a través del modelo Vasicek y se puede apreciar que a diferencia del caso base y del caso de reversión rápida, la exposición por riesgo de contraparte para el agente activo a tasa fija (y la exposición por riesgo de mercado para el agente activo a tasa flotante) es mayor que para el caso del otro agente bajo Central Tendency, revirtiendo la tendencia mostrada en el caso base y el caso opuesto.

Por último es importante mencionar que, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo tiende a ser menor que en los otros casos, alcanzando diferencias en torno al 0,1% para las exposiciones estimadas a través de Vasicek y 0,2% para Central Tendency, existiendo diferencias con respecto al caso base de **-0,4%** para ambos modelos y **-0,6%** para ambos modelos con respecto al escenario de reversión rápida, por lo que el efecto producido en este escenario es el de hacer muy similares las exposiciones entre agentes.

#### 8.4 Premio por plazo<sup>24</sup>

<sup>24</sup> En el Anexo G se muestran los perfiles completos de riesgo para cada uno de los swaps analizados.

El último caso a estudiar sobre las condiciones que pudieran influir en el riesgo en swaps para ambos modelos es la diferencia estimativa que se produce en ambas dinámicas de tasa de interés producto de la distancia a la cual se encuentra el nivel de corto plazo actual del nivel de largo plazo. Luego, se busca cuantificar cual es el impacto sobre las estimaciones respecto de tasas que se proyectan desde un punto inicial muy cercano al nivel de largo plazo y las tasas proyectadas desde un punto inicial lejano a éste, bajo las condiciones estipuladas en el caso base. Luego, el parámetro a sensibilizar en este caso es la tasa inicial  $r_0$ , la cual adoptará los siguientes valores<sup>25</sup>:

Parámetros		Premio por plazo bajo	Premio por plazo alto
VAS	b	6,3%	6,3%
	$r_0$	6,1%	2,3%
CT	b	6,8%	6,8%
	$r_0$	6,6%	2,8%

Tabla 8. Parámetros de premio por plazo.

#### ❖ SPC-\$ a 5 años, premio por plazo alto

Para este swap, considerando el escenario en que el nivel de corto plazo se encuentre lejano al nivel de largo plazo, mantiene un perfil de riesgo como el siguiente:

Contraparte	5Y-LTP	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	5Y-LTP	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	2,00%	2,35%	<b>0,35%</b>		V(Fix-FI)	-5,55%	-5,80%	<b>0,25%</b>
	V(FI-Fix)	5,57%	5,78%	<b>0,21%</b>		V(FI-Fix)	-2,00%	-2,32%	<b>0,32%</b>

Lo anterior muestra que las estimaciones de riesgo se ven alteradas en este escenario, alcanzando valores cercanos al 2,3% y 5,8% según posición dentro del contrato para las estimaciones a través de CT y de 2,9% y 4,4% para las estimaciones a través de Vasicek, representando diferencias con respecto al caso base de **-0,6%**, **+1%**, **-0,9%** y

<sup>25</sup> Para la variación se consideró una variación mínima de 0,2% sobre el nivel de largo plazo para construir el escenario de premio por plazo bajo para ambos modelos y una variación de 4% para el escenario de premio por plazo alto.

**+1,2%** respectivamente. Estas diferencias representan un comportamiento no registrado anteriormente, donde se ve que las estimaciones para un agente tienden a disminuir mientras que para el segundo agente tienden a aumentar.

Además, es posible apreciar que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 0,3% para el agente activo a tasa fija según su perfil de riesgo de contraparte y para el agente activo a tasa variable según riesgo de mercado, representando una diferencia de **+0,2%** con respecto al caso base, mientras que para el agente activo a tasa variable según su perfil de riesgo de contraparte y el agente activo a tasa fija según riesgo de mercado la diferencia alcanza valores del orden de 0,2%, representando una diferencia de **-0,2%** con respecto al caso base, haciendo que estas diferencias también muestren un comportamiento opuesto al hacer más similares las estimaciones para una posición y más cercanas para la otra posición. A pesar de esto, las estimaciones a través del modelo Central Tendency siguen siendo comparablemente mayores que las obtenidas a través del modelo Vasicek, no existiendo diferencias en esto con respecto al caso base.

Por último es importante mencionar que, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la diferencia de la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo se hace más notoria bajo este escenario, alcanzando diferencias en torno al 3,6% para el modelo VAS y 3,5% para el modelo de CT, lo que representa una diferencia de **+2%** para las estimaciones a través de VAS y **+1,6%** a través de CT con respecto al caso base.

❖ **SPC-\$ a 5 años, premio por plazo bajo**

En este caso, se considera el escenario en que el nivel de corto plazo se encuentre muy cercano al nivel de largo plazo. El perfil de riesgo para el swap es el siguiente:

Contraparte	5Y-STP	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	5Y-STP	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	3,55%		3,80%		<b>0,25%</b>	V(Fix-FI)	-3,63%	
V(FI-Fix)	3,64%		3,88%	<b>0,25%</b>	V(FI-Fix)	-3,56%		-3,82%	<b>0,26%</b>

A partir de lo anterior es posible ver que la exposición al riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 3,8% y 3,9% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 3,5% y 3,6% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Esto, representa diferencias con respecto al caso base de **+0,8%**, **-0,9%**, **+0,6%** y **-0,7%** y diferencias con respecto al escenario de alta volatilidad de

**+1,5%, -1,9%, +1,6% y -1,9%** respectivamente. Así, se puede corroborar que el impacto de una corta distancia entre el nivel de corto plazo y el nivel de largo plazo hace que las estimaciones varíen en sentido contrario al caso del premio por plazo alto.

Por otro lado, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 0,25% para todos los casos, existiendo diferencias con respecto al caso base de **+0,2%** y **-0,1%** y diferencias de **-0,1%** y **0%** respectivamente con respecto al escenario de alto premio por plazo. Esto hace que las diferencias para cada agente presenten valores similares, homogeneizando el performance de ambos modelos.

Además, las estimaciones de riesgo a través del modelo Central Tendency siguen siendo comparablemente mayores, para todos los casos, por sobre las obtenidas a través del modelo Vasicek.

Por último es importante mencionar que, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que bajo este escenario la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo se torna muy similar teniendo un efecto balanceador sobre el riesgo de cada agente, alcanzando diferencias en torno al 0,1% bajo ambos modelos, lo cual significa una diferencia de **-1,4%** para las estimaciones a través de VAS y **-1,8%** a través de CT con respecto al caso base y una diferencia de **-3,5%** y **-3,4%** respectivamente frente al escenario de un premio por plazo alto.

#### ❖ SPC-\$ a 1,5 años, premio por plazo alto

En este último swap a evaluar, su perfil de riesgo bajo un escenario de alto premio por plazo es el siguiente:

Contraparte	1,5Y-LTP	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	1,5Y-LTP	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	2,46%		1,98%		<b>0,49%</b>	V(Fix-FI)	-4,78%	
V(FI-Fix)	4,77%		3,85%	<b>0,91%</b>	V(FI-Fix)	-2,44%		-1,95%	<b>0,49%</b>

De perfil presentado es posible apreciar que el riesgo de contraparte alcanza valores cercanos al 2% y 3,8% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 2,4% y 4,8% para el caso de la estimación a través de Vasicek. Esto, representa diferencias con respecto al caso base (SPC-\$ a 1,5 años plazo) de **-0,6%**, **+0,7%**, **-0,8%** y **+0,9%** respectivamente, por lo que de esta forma el

riesgo frente a un agente se ve disminuido y frente al otro agente aumentado, con la resultante de hacer más dispares las estimaciones entre agentes.

Por otro lado, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 0,5% y 0,9%, representando diferencias de **-0,2%** y **+0,2%** con respecto al caso base. No obstante, se mantiene la tendencia mostrada en el perfil de riesgo para el caso base pues las estimaciones a través del modelo Central Tendency son comparablemente menores que las obtenidas a través del modelo Vasicek.

Por último, comparando entre posiciones sobre el contrato y como se anticipaba, es posible observar que la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo se ve aumentada, alcanzando diferencias en torno al 2,3% en el caso de Vasicek y 1,9% en el caso de Central Tendency, mostrando que las diferencias aumentan en **+1,8%** y **+1,3%** con respecto al caso base.

#### ❖ SPC-\$ a 1,5 años, premio por plazo bajo

Por último, para el swap a 1,5 años plazo sometido a un escenario en que la tasa de corto plazo se encuentre muy cercana a la tasa de largo plazo, su perfil de riesgo es el siguiente:

Contraparte	1,5Y-STP	Vasicek	Central Tend	diff	Mercado	1,5Y-STP	Vasicek	Central Tend	diff
	V(Fix-FI)	3,75%		3,29%		<b>0,45%</b>	V(Fix-FI)	-3,17%	
V(FI-Fix)	3,18%		2,24%	<b>0,94%</b>	V(FI-Fix)	-3,76%		-3,27%	<b>0,49%</b>

De lo anterior es posible ver que la exposición al riesgo de contraparte para este caso alcanza valores cercanos al 3,3% y 2,2% según la posición del agente sobre el contrato para el caso de la estimación a través de CT y de 3,8% y 3,2% para el caso de la estimación a través de Vasicek, representando diferencias con respecto al caso base de **+0,7%**, **-0,9%**, **+0,4%** y **-0,7%** y diferencias con respecto al escenario de reversión rápida de **+1,3%**, **-1,6%**, **+1,3%** y **-1,6%** respectivamente. Al igual que el swap a 5 años sometido a este escenario, el efecto es opuesto al presentado en el escenario de premio por plazo alto, es decir, para el agente que se activa a tasa fija (según riesgo de contraparte) el riesgo aumenta y para el otro agente el riesgo disminuye.

Por otro lado, es posible ver que las diferencias entre modelos para un mismo agente alcanzan valores del orden de 0,5% y 0,9% según la posición del agente en el contrato,

existiendo diferencias de **-0,2%** y **+0,2%** con respecto al caso base y no mostrando diferencias con respecto al escenario de premio por plazo alto. Esto, muestra que, a este plazo y para ambos escenarios no hay alteración significativa en la diferencia entre modelos para la estimación de riesgo.

Además, las estimaciones realizadas a través del modelo Central Tendency son comparablemente menores que las obtenidas a través del modelo Vacisek, manteniendo la misma tendencia mostrada tanto en el caso base como en el caso de alto premio por plazo.

Por último es importante mencionar que, comparando entre posiciones sobre el contrato, es posible observar que la exposición al riesgo para ambos agentes bajo un mismo modelo alcanza diferencias en torno al 0,6% para las exposiciones estimadas a través de Vacisek y 1% para Central Tendency, existiendo diferencias con respecto al caso base de **0%** en el caso de Vacisek y **+0,5%** en el caso de CT y **-1,7%** y **-0,8%** para ambos modelos con respecto al escenario de alto premio por plazo, por lo que el efecto producido en este escenario tiende a acercar las estimaciones entre agentes, pero en menor grado que en el caso base.

## **8.5 Análisis general de resultados**

De forma complementaria al análisis individual realizado, es necesario conocer en líneas generales que ocurre con las estimaciones de riesgo para las dinámicas de tasa de interés bajo cada escenario generado. Esto pues si bien el análisis anterior permite conocer las particularidades de cada caso y cuantificar las diferencias existentes en las estimaciones tanto por las producidas a partir de las dinámicas como por las diferencias entre las posiciones sobre el swap, es necesario conocer también las tendencias absolutas de cada escenario para poder generar recomendaciones sobre la utilización de una dinámica u otra.

En primer lugar y a grueso modo es importante destacar que, a partir de los resultados particulares mostrados en el punto anterior, el perfil de riesgo de contraparte es opuesto al riesgo de mercado para ambas posiciones en el contrato, lo cual es consistente con la evidencia puesto que como existe la probabilidad de que para una posición el valor del contrato sea positivo, es la otra posición la que deberá asumir la pérdida para poder marcar el swap a valor de mercado (Mark-To-Market) la que será igual a la ganancia en la otra posición. Luego, la máxima pérdida potencial producto del riesgo de contraparte existente en cada intercambio de flujos en una posición es la pérdida por riesgo de mercado que deberá asumir la posición opuesta. Producto de esto, el análisis general se centrará en el riesgo de contraparte presente en los distintos swaps SPC-\$ analizados, homologando dichos resultados para el caso del riesgo de mercado a través de lo expuesto.

A partir de los resultados obtenidos para distintos plazos en un swap SPC-\$, es posible construir la evolución del riesgo de contraparte, la cual se muestra en la siguiente figura:

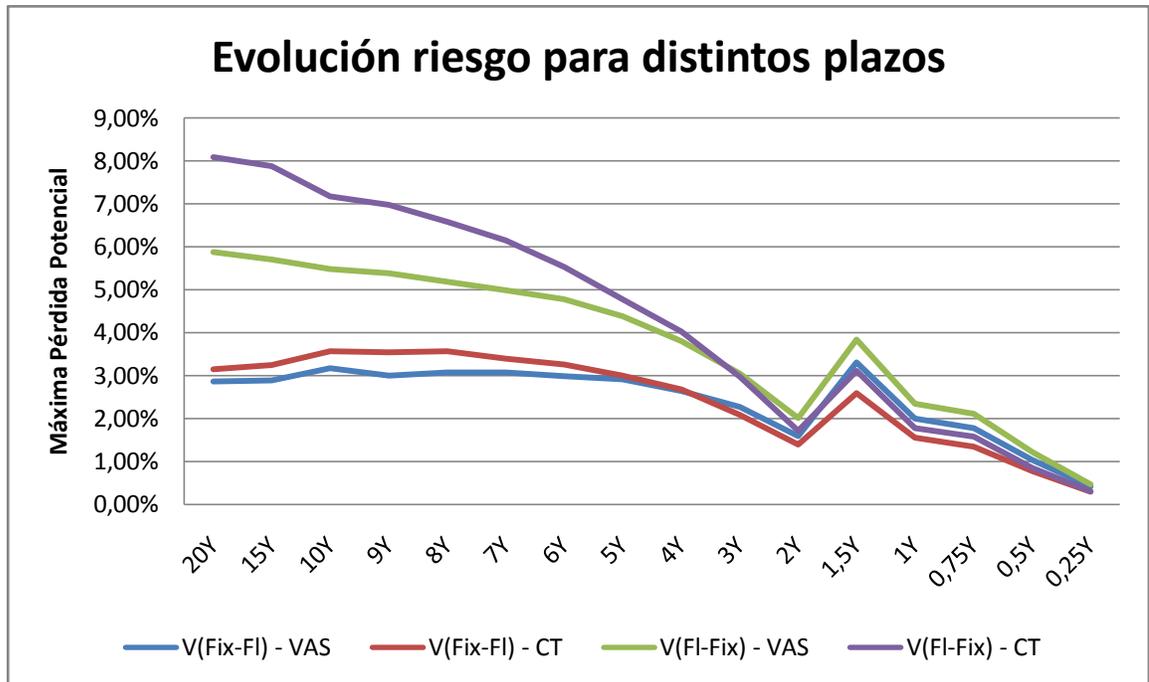


Figura 21. Evolución del riesgo de contraparte en un SPC-\$ para distintos plazos. Elaboración propia.

Observando la tendencia general de la máxima pérdida potencial es posible ver que los plazos más largos poseen una exposición al riesgo de contraparte mucho mayor que en los plazos más cortos, disminuyendo constantemente desde el plazo de 20 años hasta el plazo de 2 años, para luego aumentar en el plazo de 1,5 años y volver a disminuir hasta valores mínimos en el swap a 3 meses. La tendencia mostrada es explicada primero, por la disminución de flujos futuros comprometidos conforme disminuyen los plazos del swap lo cual hace que la exposición sea cada vez menor y también por la mayor variabilidad en los niveles de las tasas a medida que los plazos son mayores, lo cual hace crecer el riesgo en swaps de más largo plazo. Esos efectos son reflejados en las estimaciones de ambos modelos. Además, producto del cambio estructural que poseen los swaps de plazo inferior a 2 años (sólo intercambian flujos al final del periodo), esto hace que la exposición aumente para el swap a 1,5 años principalmente porque al no realizar intercambios de flujos de manera semestral como es en el caso de los swaps mayores a 1,5 años, el riesgo se encuentra concentrado en el único intercambio de flujos al vencimiento.

Adicionalmente, si se observan las estimaciones por modelo separadas por posición sobre el contrato, es posible ver que, primero, para la posición activa a tasa flotante la diferencia entre modelos es más notoria que en la posición activa a tasa fija para plazos

largos disminuyendo hasta el plazo de 3 años donde se produce la menor diferencia entre modelos. A partir de este plazo, las diferencias comienzan a aumentar nuevamente hasta el plazo de 1,5 años para decrecer luego hasta el plazo más corto. Para la posición activa a tasa fija, las diferencias entre modelos se aprecian menos significativas que en el caso anterior aumentando desde el plazo de 20 años hasta el plazo de 8 años para luego decrecer hasta el plazo de 4 años y volver a aumentar hasta el swap a 1,5 años plazo y por último a decrecer hasta el plazo más corto. Estas diferencias entre modelos se presentan principalmente por los fundamentos en la construcción de las dinámicas, principalmente por la mayor variabilidad en las tasas de largo plazo que imprime el modelo de CT al modelar este nivel como un proceso estocástico lo cual hace que las estimaciones a través de esta dinámica sean mayores para los plazos más largos, además de permitir que las estructuras de tasa de interés posean mayor libertad para adoptar diferentes formas, con mayor independencia de la estructura de tasas inicial lo cual produce valorizaciones de los flujos swap más independientes.

Además, es posible ver que las diferencias existentes entre posiciones sobre el contrato para un mismo plazo son máximas en los plazos más largos y comienzan a disminuir hacia los plazos más cortos, lo cual demuestra que el efecto del nivel de largo plazo presente en las dinámicas de tasa hace tender el riesgo para ambas posiciones a niveles distintos de riesgo en plazos mayores, siendo mucho más importante dicho efecto en las estimaciones bajo Central Tendency. Esto principalmente por el mayor empuje hacia de nivel de largo plazo de naturaleza variable que modela esta dinámica.

Por otro lado y a partir de los contratos sometidos a distintos escenarios de volatilidad, se obtuvo las variaciones de estimaciones de riesgo con respecto al caso base, las cuales se presentan en la siguiente figura:

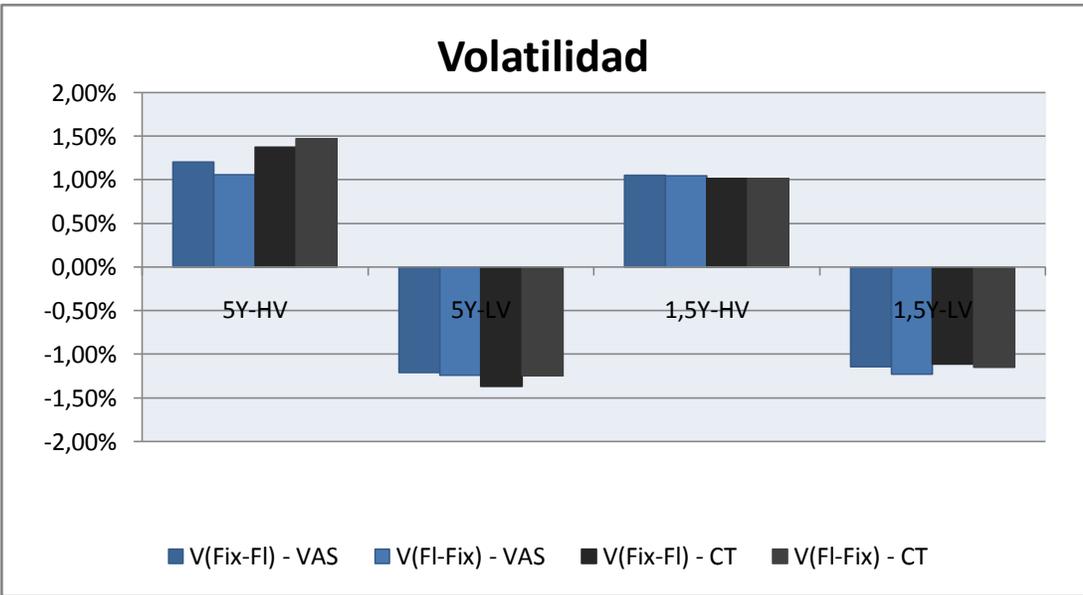


Figura 22. Diferencias con respecto al caso base en base a escenarios de alta y baja volatilidad. Elaboración propia.

En general, el único efecto claramente observable y cuantificable es el aumento de los perfiles de riesgo producto de alzas en los niveles de volatilidad de las dinámicas de tasa y el descenso en estos, producto de bajas en mismos niveles. Esto, tanto en el caso del swap con estructura semestral de pagos como con un swap con pagos al vencimiento. Lo anterior es consistente con la evidencia, pues los niveles mayores de volatilidad se reflejan directamente en mayores niveles de riesgo y, dado que la naturaleza de las dinámicas de tasa utilizadas modelan la volatilidad de las tasas a través de un parámetro constante, no se aprecian diferencias sustanciales entre las estimaciones de uno u otro modelo.

A nivel particular no se aprecian diferencias sustanciales respecto de efectos sobre las diferencias entre modelos y sobre las diferencias entre posiciones producto de los cambios en los niveles de volatilidad, manteniéndose las diferencias respectivas ya obtenidas a partir del caso base.

En lo concerniente a los distintos escenarios de velocidad de reversión a la media, se obtuvo variaciones con respecto al caso base, los cuales se presentan en la siguiente figura:

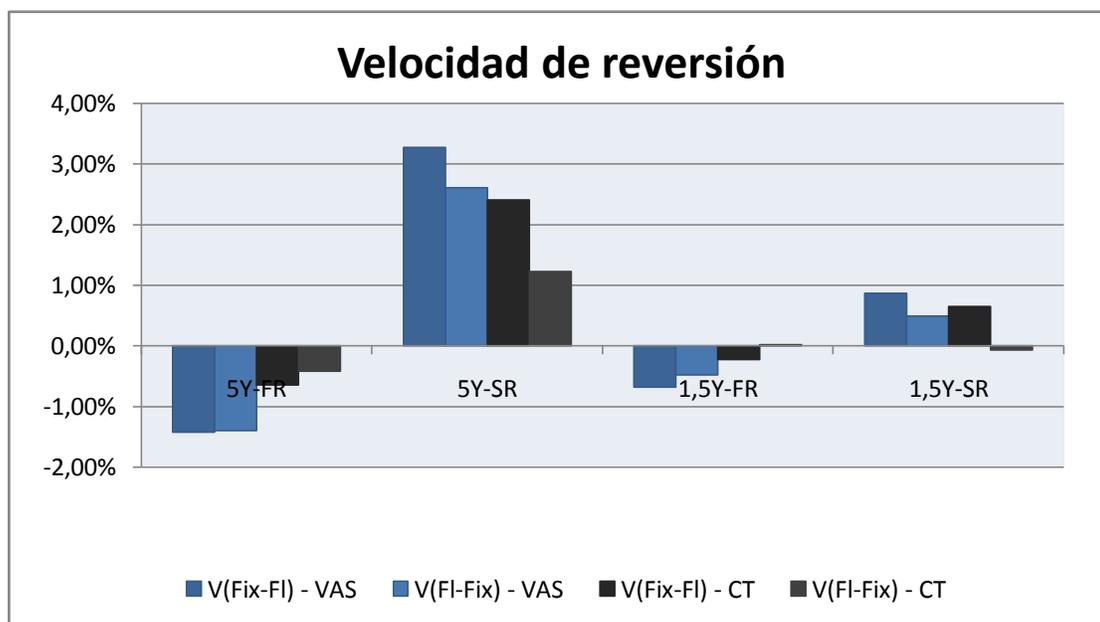


Figura 23. Diferencias con respecto al caso base en base a escenarios de alta y baja velocidad de reversión a la media. Elaboración propia.

En este tipo de escenarios, se puede apreciar que el efecto más notorio es el aumento de los perfiles de riesgo producto de la disminución en la velocidad del parámetro de reversión a la media para ambos swaps evaluados y además un efecto de disminución

en los perfiles producto del aumento en la velocidad del parámetro de reversión. El primer efecto es el de mayor magnitud y se ve impulsado principalmente porque a valores pequeños en el parámetro de reversión, la tasa corta proyectada posee mayor libertad de movimiento pues no se ve mayormente forzada a seguir una trayectoria determinada, por ende el factor de drift de ambas dinámicas disminuye su influencia sobre la tasa haciendo que ésta se gobierne principalmente por el factor de volatilidad y por ende se acerque al comportamiento de un camino aleatorio, aumentando el riesgo en ambos agentes. A su vez, el segundo efecto expuesto se ve impulsado principalmente porque al aumentar el parámetro de reversión a la media éste condiciona la tendencia y posibles fluctuaciones de las proyecciones de cada modelo al generar una gran atracción hacia el nivel de largo plazo, causando que la proyección de la tasa corta sea más acotada y más predecible y por ende disminuya el riesgo para los agentes. Cabe mencionar que en este caso además que la mayor baja en el nivel de riesgo se produce en las estimaciones a través de Vasicek, precisamente porque en esta dinámica el parámetro de largo plazo es constante a lo largo de la proyección de las tasas por ende las posibles trayectorias son mucho más acotadas que en el caso de Central Tendency, donde el parámetro de largo plazo es estocástico.

Además, bajo estos escenarios se puede apreciar que cuando se alcanza el nivel de largo plazo rápidamente se acentúan las diferencias entre modelos para el swap a 5 años, mientras que para el swap a 1,5 años se acercan dichas diferencias. Esto principalmente porque ante un aumento en la velocidad de reversión el parámetro de largo plazo se hace más influyente en las estimaciones, por ende su efecto se hace más notorio en plazos más largos. En el caso del escenario en que el nivel de largo plazo se alcanza lentamente, las diferencias entre modelos también tienden a alejar sus perfiles de riesgo.

Con respecto a las diferencias entre posiciones sobre el contrato estas tienden a aumentar producto de un aumento en la velocidad de reversión a la media, principalmente por el efecto de la mayor atracción hacia el nivel de largo plazo en las tasas. En el caso contrario, se puede apreciar que los perfiles para las distintas posiciones en el swap tienden a ser más parecidas ante un lento alcance del parámetro de largo plazo.

Por último, en lo concerniente a los distintos escenarios de premio por plazo, se obtuvo variaciones con respecto al caso base, representadas en la siguiente figura:

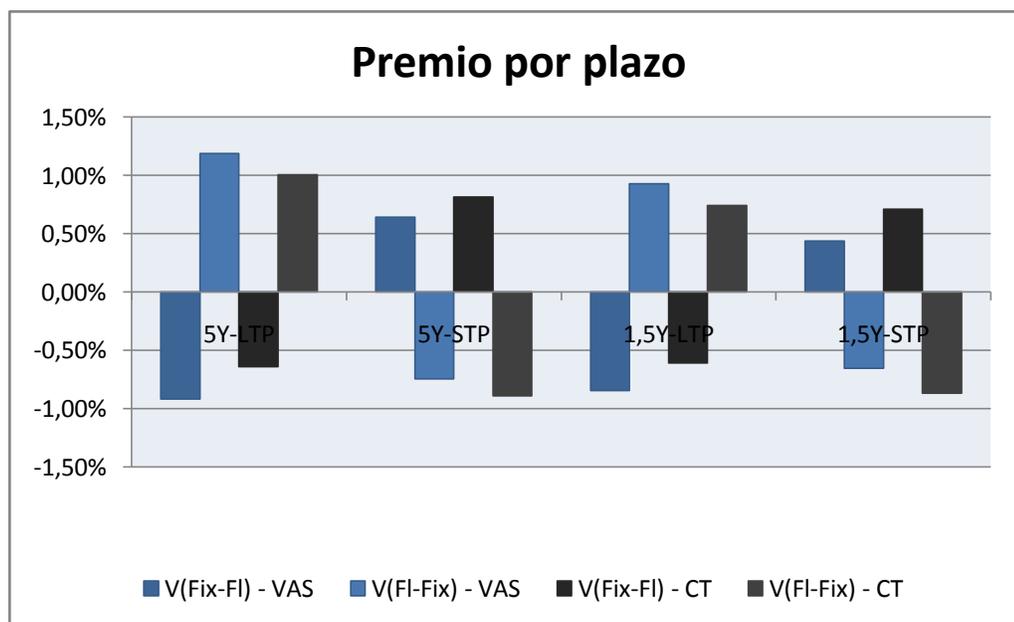


Figura 24. Diferencias con respecto al caso base en base a escenarios de alto y bajo premio por plazo. Elaboración propia.

En este conjunto de escenarios, el efecto más claro producido es la variación en las diferencias entre posiciones sobre el contrato, haciendo que para los casos en que la tasa de corto plazo se encuentre muy cercana al nivel de largo plazo la diferencia entre posiciones disminuya considerablemente, haciendo que los perfiles de riesgo para ambas posiciones sean más parecidos. Esto, debido a que la tasa fija del swap en este escenario tiende a estar también muy cercana al nivel de largo plazo y como la tasa corta oscilará en torno a este nivel, la probabilidad de que la tasa esté tanto bajo el nivel de la tasa fija del swap como sobre este nivel tiende a igualarse, lo que causa que el riesgo para ambas posiciones se torne similar. Por el contrario, ante un escenario en que la tasa de corto plazo se encuentre muy lejana de la tasa de largo plazo el efecto producido es el de un aumento en las diferencias de los niveles de riesgo para las distintas posiciones sobre el swap, producto que esta mayor diferencia acentúa el efecto del parámetro de largo plazo sobre el comportamiento de la tasa corta.

Dadas todas las características anteriormente descritas para los diferentes escenarios evaluados, se vuelve conveniente y relevante utilizar el modelo de Central Tendency sólo en casos en que las diferencias estimativas sean significantes y donde las características del modelo potencien la obtención de perfiles de riesgo acordes a lo esperado por el mercado. Esto, porque a pesar de que en la mayor cantidad de los casos expuestos existen beneficios asociados a la aplicación de este modelo principalmente por sus fundamentos, los costos de implementación de este deben ser tomados en cuenta. A modo de mencionar los costos presentes, por un lado existen los asociados al estudio y exploración de este tipo de modelos por sobre modelos ampliamente estandarizados y estudiados como son los modelos de equilibrio de un factor como el modelo Vasicek (o CIR) aplicado, los costos de implementación, como

por ejemplo los asociados a la generación de un número doble de variables aleatorias para la realización de las simulaciones de Montecarlo necesarias para la estimación de riesgo y el tiempo de cómputo de los resultados<sup>26</sup>.

Bajo esta perspectiva, es más conveniente utilizar el modelo de Central Tendency bajo plazos largos, principalmente a partir de swaps con plazos mayores a 3 años producto de que a partir de ese momento las diferencias entre modelos comienzan a aumentar considerablemente, y utilizar el modelo de Vasicek para plazos más cortos, debido a que las diferencias se mantienen dentro de niveles aceptables para todos los plazos menores a 3 años.

Por otra parte, al someter swaps a escenarios de volatilidad, el rendimiento mostrado por el modelo de Central Tendency es bastante similar al obtenido por el modelo de Vasicek, principalmente porque ambos modelan la volatilidad de la tasa como un parámetro constante. Por ende, en estos escenarios es más conveniente utilizar el modelo de Vasicek por su mayor simplicidad de implementación, ante el modelo de Central Tendency que no mostró entregar grandes beneficios bajo este tipo de escenarios.

En otro de los casos estudiados, se sensibilizó el parámetro velocidad de reversión al nivel de largo plazo, mostrando que ante estos escenarios el modelo de Central tendency se vuelve más conveniente y relevante de utilizar, principalmente porque al sofisticar el parámetro de largo plazo se obtiene una mejor estimación que en el caso de Vasicek, en el que se tiende a amplificar el efecto de largo plazo a través de un supuesto que permite simplificar el problema pero que no es observable empíricamente, esto es, el que el nivel de largo plazo se mantenga constante para todos los plazos. Luego, la utilización del modelo de Central Tendency entrega resultados más cercanos a lo que señala la evidencia empírica, mostrando el beneficio de incluir el parámetro de largo plazo como un factor estocástico al darle mayor peso a su efecto sobre el riesgo de contratos a plazos medianos y largos, siendo relevante su utilización en este caso.

Para el último caso en que se sensibilizó la diferencia entre el nivel de corto plazo y el nivel de largo plazo, es conveniente utilizar el modelo de Central Tendency en el caso en que el nivel de corto plazo se encuentre muy cercano al nivel de largo plazo puesto que a través de este modelo se puede reflejar con mayor certeza el riesgo asociado al swap utilizado, gracias a que el parámetro de largo plazo al poseer naturaleza estocástica permite generar estructuras de tasa de interés con mayor grado de libertad, capturando así el riesgo presente ante variaciones del nivel de largo plazo, lo cual no es posible de capturar a través de Vasicek. En el caso contrario, en que el nivel de largo

---

<sup>26</sup> **Las simulaciones de Montecarlo que permitieron la estimación del riesgo para cada swap evaluado demoran aproximadamente 6 horas en el caso de las estimaciones a través de Vasicek y aproximadamente 9 horas para las estimaciones a través de Central Tendency, siendo realizadas en base a una configuración de equipo con procesador Intel Pentium 4 de 3,06 Ghz y 1,0 GB de RAM.**

plazo esté lejano del nivel de corto plazo, se vuelve más conveniente utilizar Vacisek, pues el efecto estocástico del nivel de largo plazo pasa a incidir poco comparado con la incidencia del comportamiento de la tasa a corto plazo, haciendo que las diferencias estimativas se encuentren en niveles bajos.

## 8.6 Comparación de metodología basada en ponderadores SBIF

Según lo expuesto en la Norma 48<sup>27</sup>, creada por la Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras SBIF, existe un enfoque que permite valorizar activos ponderados por riesgo, introduciendo el riesgo equivalente de crédito al valor de mercado o valor justo del activo para así reflejar el riesgo que éste representa en la cartera de activos de una entidad bancaria. Esta estimación de riesgo equivalente de crédito (REC) depende tanto del activo subyacente como del vencimiento residual de un activo y es representada en base a ponderadores.

A partir del análisis realizado en esta memoria cabe preguntarse cómo es el desempeño relativo de una métrica de riesgo basada en modelos dinámicos de tasa de interés frente a una herramienta de mercado diseñada con el mismo propósito como la planteada por la SBIF. Para ello, se compara un perfil de riesgo obtenido a través del enfoque de dinámicas de tasas de interés contra la metodología sugerida por la SBIF, para este caso, en un activo bancario como es el swap cámara \$.

La siguiente tabla muestra una adaptación de los ponderadores propuestos por el organismo regulador comparada con el perfil de menor nivel de riesgo obtenido a través del modelo Central Tendency para el SPC-\$, para todos los plazos relevantes:

Plazo	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
<b>Factor SBIF</b>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
<b>Factor bajo modelos estocásticos</b>	0,3%	0,8%	1,3%	1,4%	1,6%	2,1%	2,6%	2,7%	3,0%	3,1%	3,2%	3,3%	3,4%	3,5%	3,6%	3,6%
<b>Diferencias</b>	0,3%	0,8%	1,3%	1,4%	1,1%	1,6%	2,1%	2,2%	1,5%	1,6%	1,7%	1,8%	1,9%	2,0%	2,1%	2,1%

Tabla 8. Diferencias entre factores SBIF y factores bajo modelos estocásticos. Elaboración propia.

La tabla anterior muestra que comparando entre ambos enfoques, claramente los ponderadores SBIF están por debajo de las estimaciones obtenidas a través de Central

<sup>27</sup> Un extracto de la Norma N°48 de la Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras se encuentra disponible en anexos.

Tendency, mostrando diferencias negativas que van desde un -0,3% hasta -2,2%, subestimando así el riesgo de contraparte presente en un contrato de este tipo. Además, como los ponderadores se encuentran definidos por tramos, producen perfiles de riesgo escalonados, y por ende no capturan las tendencias intermedias entre plazos presentes dentro de un tramo, algo que si es posible de ver a través de las estimaciones realizadas en base a dinámicas de tasa de interés.

No resulta razonable que un contrato swap a 1,5 años posea el mismo nivel de riesgo que un contrato a 4 años principalmente porque mientras más largos son los plazos el costo de predecir el comportamiento de las tasas se vuelve mayor producto del aumento en la variabilidad de los factores de mercado y en la incertidumbre propia que poseen los escenarios futuros.

A partir de las diferencias mostradas entre ambos enfoques, es posible aseverar que la metodología de ponderadores SBIF tiende a subestimar el riesgo de contraparte presente en activos, particularmente para el caso de swaps SPC-\$, generando importantes brechas en los requerimientos de capital que permiten asegurar el cumplimiento de los compromisos suscritos en un contrato de esta naturaleza, produciendo eventuales coberturas insuficientes para los niveles de riesgo asumidos.

Así, es posible ver que bajo los argumentos anteriormente esgrimidos, la metodología propuesta por la SBIF parece utilizar ponderadores de riesgo que están fuera de los rangos obtenidos a través del modelamiento en base al comportamiento histórico de la tasa swap-\$, quedando muy por debajo de los niveles obtenidos bajo este enfoque, lo que permite aseverar que la metodología propuesta pareciera estar completamente obsoleta.

## **9. CONCLUSIONES**

En líneas generales, este estudio pretendió explorar la conveniencia y relevancia de sofisticar los procesos de tasa de interés para Chile que permitan la estimación de riesgo de contraparte y riesgo de mercado en derivados ampliamente utilizados en la banca local, como son los swap cámara SPC-\$.

Bajo este contexto se revisaron y evaluaron importantes dinámicas de tasa de interés, específicamente las comprendidas bajo el marco de los modelos de equilibrio de 1 y 2 factores de aleatoriedad, los cuales fueron utilizados para la valorización de los contratos, adoptándose además un enfoque de Simulaciones de Montecarlo para la estimación de riesgo de mercado y contraparte en este tipo de derivados.

En una primera parte, se buscó conocer el comportamiento del swap en cuanto a su perfil de riesgo a lo largo de la vida del contrato a través de dinámicas de tasa ampliamente validadas y aceptadas mundialmente por la teoría financiera. Luego, el

punto de partida para este estudio se centró en el modelo de Vacisek y el modelo de Cox, Ingersoll y Ross, ambos modelos de un factor, a partir de los cuales se esperaba determinar donde se debía focalizar la sofisticación de las dinámicas y realizar un análisis más profundo en cuanto al modelamiento de la tasa de interés, concluyéndose que para el caso en estudio, el parámetro de largo plazo poseía gran relevancia frente a los perfiles de riesgo obtenidos, principalmente por la gran diferencia producida en las estimaciones de riesgo de las distintas posiciones sobre el contrato. La importancia de esta conclusión radica en que la existencia de un parámetro de largo plazo que gobierne el comportamiento de la tasa hace que las expectativas de los inversionistas y su aversión al riesgo deba ser compatible con la posición adoptada sobre el contrato, hecho que se ve reflejado en la exposición al riesgo de cada una de las posiciones por la diferencia existente entre una y otra, pues necesariamente una de las partes deberá asumir mayores riesgos que la otra al entrar en el contrato producto de no ser necesariamente simétricos el potencial beneficio ni la potencial pérdida. Por ende, se optó por complejizar el modelamiento en el sentido del nivel de largo plazo, pues este efecto poseía un potencial susceptible de ser explorado y contrastado con modelos menos complejos.

En una segunda parte y producto de lo anterior, se decidió utilizar un proceso de tasa de interés denominado Central Tendency, el cual posee la particularidad de modelar la tasa a partir de dos factores de aleatoriedad, parametrizando el factor de largo plazo como un proceso estocástico. Esto traería beneficios en estimación principalmente porque sus fundamentos permiten acercarse de mejor manera a los comportamientos observados de mercado para cada uno de los parámetros del modelo y por la posibilidad de generar estructuras de tasa de interés sin correlación perfecta, hecho esencial para la valorización del swap a estudiar.

Para la obtención de las estimaciones de riesgo, se concluyó que para analizar el desempeño de la dinámica de tasa compleja era complementario realizarlo junto con un modelo de menor complejidad, con el objeto de determinar el desempeño relativo de éste. Luego, se determinó contrastar los resultados obtenidos a través del modelo Central Tendency con resultados bajo el modelo Vacisek. Estos resultados serían sometidos a distintos casos posibles tanto para el instrumento evaluado como sobre parámetros relevantes de los modelos.

A partir de las estimaciones de riesgo de mercado y contraparte obtenidas, se concluyó que para los distintos plazos disponibles para el swap SPC-\$, el desempeño relativo muestra que el modelo sofisticado posee un performance superior al obtenido a partir del modelo de un factor principalmente en los contratos disponibles a mayor plazo, específicamente para plazos mayores a 3 años. Esto principalmente a las diferencias obtenidas entre las estimaciones de cada modelo y el impacto del parámetro de largo plazo sobre las diferencias de riesgo obtenido para cada posición sobre el contrato. Luego, para swaps de plazos menores a 3 años es conveniente utilizar el modelo de

Vacisek principalmente porque sus costos de implementación son menores que en el caso del modelo de Central Tendency, además de corroborar que las diferencias estimativas entre un modelo y otro en plazos más cortos no es significativa.

Para las estimaciones de riesgo bajo los distintos escenarios evaluados, se concluyó que ante variaciones en los niveles de volatilidad no se obtienen grandes diferencias estimativas para ambos modelos, por lo que se estima conveniente utilizar el modelo de Vacisek para escenarios de alta o baja volatilidad. En el caso de escenarios de distinta velocidad de reversión a la media, se concluye que es muy conveniente y relevante utilizar el modelo de Central Tendency, pues se observa claramente el beneficio de modelar el parámetro de largo plazo como un proceso estocástico en la estimación de riesgo para swaps de mediano y largo plazo. Por otra parte, en el último caso estudiado, se concluyó que ante escenarios de bajo premio por plazo es conveniente utilizar el modelo de Central Tendency pues ante una pequeña diferencia entre el nivel de corto plazo y el nivel de largo plazo, a través de este modelo se le imprime mayor libertad a las estructuras de tasa que permiten valorizar el swap para los distintos plazos relevantes, lo cual permite capturar riesgo que no es posible de capturar a través de Vacisek por su naturaleza constante. Además, dado que el efecto producido bajo un escenario de alto premio por plazo en cuanto a diferencias entre estimaciones es ínfimo, se concluye que es más conveniente utilizar el modelo de Vacisek.

Por último, a partir de la comparación realizada entre la metodología de estimación de riesgo equivalente de crédito según normas de la SBIF y el enfoque de procesos de tasa de interés dinámicas, se pudo concluir que, si bien los swap cámara SPC-\$ son instrumentos catalogados como de bajo riesgo al no poseer intercambio de principal, los ponderadores de la SBIF presentan niveles de riesgo que están muy por debajo de los mínimos niveles de riesgo obtenidos a través del enfoque estocástico de las tasas, entregando además ponderadores sólo comparables para contratos de corto y mediano plazo, subestimando así con creces el riesgo de contraparte presente en los swaps. Luego, esta metodología parece estar obsoleta. Esto pues se esperaba que al menos los ponderadores fuesen cercanos a un promedio para los tramos definidos de los niveles de riesgo obtenidos a través de las dinámicas.

A partir de cada una de las estimaciones realizadas en este estudio, es posible concluir acerca de la importancia de la estimación de riesgo en swaps, principalmente porque existen escenarios adversos que ponen en riesgo el valor del contrato. Además, a pesar de que los plazos más líquidos para el mercado de los SPC-\$ oscilan entre 1 años y 5 años, existen precios para contratos más largos, por lo que este tipo de contratos involucran exposiciones de crédito de largo plazo, principalmente porque el compromiso adquirido se extingue completamente en el vencimiento del contrato. Producto de lo anterior, la capacidad de salida del contrato está limitada, principalmente en contratos menos líquidos y con plazos largos, por lo que la exposición producto de utilizar swaps debe ser evaluada ex-ante.

Con respecto a los beneficios de explorar las dinámicas de tasa en Chile se puede mencionar la posibilidad de generar mejores estimaciones de la exposición al riesgo para una entidad bancaria, mejorando así la gestión del uso de líneas de crédito producto de las exposiciones con distintas contrapartes así como también las reservas de capital ponderadas por riesgo y las provisiones necesarias producto de las posiciones en contratos como los estudiados. Además, otro de los grandes beneficios es el de poder conocer a partir de un contrato, el perfil de riesgo de contraparte del swap a lo largo de toda su vida, permitiendo explorar no solo la máxima exposición futura, sino que también generando un acercamiento de las exposiciones para cada uno de los intercambios de flujo que se produzcan y una mayor transparencia y trazabilidad de cada uno de los niveles de riesgo estimados.

Finalmente, se debe mencionar que este trabajo apunta a entregar lineamientos de partida y ser un avance en la introducción de este tipo de tecnología para la aplicación al mercado financiero chileno. Así, los modelos dinámicos de tasa de interés pueden ser expandidos hacia un conjunto más amplio de aplicaciones, inclusive incorporando otros modelos de la misma naturaleza que complementen los ya utilizados en este caso. Sin embargo, no se debe perder de vista que este estudio se basa en una serie de supuestos principalmente asociados a los modelos utilizados, así como también variables y efectos no considerados, los cuales pueden ser considerados para el desarrollo de estudios posteriores.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- BACK, K. (2005), A Course in Derivative Securities: Introduction to Theory and Computation. Springer.
- BANCO CENTRAL DE CHILE. Disponible en: <http://www.bcentral.cl>
- BANK OF INTERNATIONAL SETTLEMENTS (BIS). Disponible en: <http://www.bis.org>
- BEAGLEHOLE, D.R. and M.S. TENNEY (1991), "General Solutions of Some Interest Rate-Contingent Claim Pricing Equations," Journal of Fixed Income, 1, Sept., 69-83.
- BUDNEVICH, C., ZURITA, S. (2010), "Estudio de Diagnóstico, Evaluación y Propuesta de Desarrollo del Mercado de Derivados en Chile".
- CESARI, G., AQUILINA, J., CHARPILLON, N., FILIPOVIC, Z., LEE, G., MANDA, I. (2009), "Modeling, Pricing, and Hedging Counterparty Credit Exposure". Springer.
- COX, J.C., INGERSOLL, J.E. y ROSS. S.A.(1985), A Theory of the Term Structure of Interest Rates. Econometrica 53: 385-407.
- GARCIA, J., (2003), Estructuras de tasas de interés nominales y reales en Chile: estimación de modelos estáticos y de modelos dinámicos mediante Filtro de Kalman aplicado sobre paneles de datos incompletos, Mag. En Cs. de la Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- HULL, J. (2005), "Options, Futures and Other Derivatives". 7<sup>th</sup> Edition.
- JORION, P. (2001), "Value at Risk". Segunda edición. McGraw Hill.
- KARATZAS, I., SHREVE, S. (1988), "Brownian Motion and Stochastic Calculus". Springer.
- LUENBERGER, D. (1998), Investment Science. Oxford University Press.
- LUND, J., Review of continuous-time Term-Structure models, pp. 10-11.
- MORALES, L., FERNÁNDEZ, V. "Los productos derivados en Chile y su mecánica".
- SUPERINTENDENCIA DE BANCOS E INSTITUCIONES FINANCIERAS, (2010). Capítulo 12-1. Recopilación actualizada de normas.

- VARELA, F. (2007). “Mercados de Derivados: Swap de Tasas Promedio Cámara y Seguro Inflación”.
- VASICEK, O.A. (1977), An Equilibrium Characterization of the Term Structure. Journal of Financial Economics 5: 177 - 88.
- WILMOTT, P. (2007), “Introduces Quantitative Finance”. 2<sup>nd</sup> Edition.
- WU, TAO (2003). “What makes the yield curve move?”
- ZUÑIGA, S., (1999), Estimando un modelo de 2 factores del tipo “Exponential-Affine” para la tasa de interés chilena. Revista de Análisis Económico, Vol. 14, N°2, pp. 117-133.
- ZURITA, S., GÓMEZ, L. (2003). “Normativa de los mercados de derivados en Chile”.

## 11. ANEXOS

### A. Closing Run de TRADITION con precios para Swaps cámara SPC-\$ y UF en distintos plazos (Al 24 de Junio de 2011).

IRS UF vs Camara						
Tenor	maturity	Bid	Mid	Offer	Prev	Δbp
3M (local)	September 9, 2011	1,95	2,05	2,15	1,60	+0,45
6M (local)	December 9, 2011	1,40	1,45	1,50	1,40	+0,05
9M (local)	March 9, 2012	2,35	2,40	2,45	2,45	-0,05
1Y (local)	June 8, 2012	2,23	2,25	2,27	2,30	-0,05
1,5Y		2,16	2,18	2,20	2,23	-0,05
2Y		2,18	2,20	2,22	2,22	-0,02
3Y		2,23	2,25	2,27	2,25	+0,00
4Y		2,29	2,31	2,33	2,30	+0,01
5Y		2,32	2,34	2,36	2,33	+0,01
6Y		2,33	2,35	2,37	2,34	+0,01
7Y		2,34	2,36	2,38	2,35	+0,01
8Y		2,35	2,37	2,39	2,37	+0,00
9Y		2,40	2,42	2,44	2,42	+0,00
10Y		2,44	2,46	2,48	2,46	+0,00
15Y		2,46	2,48	2,50	2,48	+0,00
20Y		2,49	2,51	2,53	2,51	+0,00
12Y		2,44	2,46	2,48	2,46	+0,00

IRS CLP vs Camara						Implied	1 Yr
Tenor	Bid	Mid	Offer	Prev	Δbp	Inflation	Forward
3m	5,40	5,42	5,44	5,42	+0,00		
6m	5,50	5,52	5,54	5,50	+0,02		
9m	5,60	5,62	5,64	5,61	+0,01		
1Y	5,69	5,71	5,73	5,70	+0,01	3,38%	
1,5Y	5,82	5,84	5,86	5,83	+0,01		
2Y	5,63	5,65	5,67	5,65	+0,00	3,38%	3,37%
3Y	5,69	5,71	5,73	5,72	-0,00	3,38%	3,40%
4Y	5,76	5,78	5,80	5,78	+0,00	3,39%	3,42%
5Y	5,81	5,83	5,85	5,83	+0,00	3,41%	3,48%
6Y	5,84	5,86	5,88	5,86	+0,00	3,43%	3,53%
7Y	5,87	5,89	5,91	5,89	+0,00	3,45%	3,56%
8Y	5,88	5,90	5,92	5,90	+0,00	3,45%	3,45%
9Y	5,89	5,91	5,93	5,91	+0,00	3,41%	3,08%
10Y	5,90	5,92	5,94	5,92	+0,00	3,38%	3,10%
15Y	5,92	5,94	5,96	5,94	+0,00	3,38%	
20Y	5,95	5,97	5,99	5,97	+0,00	3,38%	
12Y	5,91	5,93	5,95	5,93	+0,00		

Fuente: Operadores de Mesa de Derivados

## B. Extracto Norma 48, Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras (SBIF).



### II. ACTIVO TOTAL Y ACTIVOS PONDERADOS POR RIESGO.

#### 1. Activo total.

El activo total corresponderá a los activos consolidados del banco según lo indicado en el N° 1 del título I de este Capítulo (o bien a los activos del banco cuando éste no prepara estados financieros consolidados), con las deducciones o agregados que se indican a continuación:

a) Se agregan los equivalentes de crédito de los instrumentos derivados según lo instruido en el N° 3 de este título y se deducen los activos correspondientes a estos instrumentos.

b) Se agregan los montos correspondientes a las exposiciones de los créditos contingentes, calculados según lo indicado en el Capítulo B-3 del Compendio de Normas Contables, menos los importes de las provisiones constituidas sobre esas operaciones.

Para los efectos de los requerimientos de capital, los activos se ponderarán por riesgo según lo indicado en el N° 2 siguiente.

#### 2. Clasificación de los activos por categorías.

Para los efectos de su ponderación por riesgo, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 67 de la Ley General de Bancos, los activos se clasificarán en las siguientes categorías cuyo porcentaje de riesgo se indica:

<u>Categoría</u>	<u>Porcentaje</u>
1	0 %
2	10 %
3	20 %
4	60 %
5	100 %

Para la clasificación de que se trata y según lo indicado en el N° 1 anterior, se incluirán en las categorías que correspondan los activos del balance netos de sus respectivas provisiones incluidas en el activo según lo indicado en el Compendio de Normas Contables; los equivalentes de crédito de derivados y las exposiciones de créditos contingentes netos de sus provisiones.

Las provisiones que cubran operaciones que deban separarse en categorías distintas se distribuirán proporcionalmente.

Los conceptos que abarca cada categoría son los señalados a continuación:

#### **2.1. Categoría 1.**

- a) Fondos disponibles mantenidos en caja o depositados en el Banco Central de Chile.
- b) Fondos depositados a la vista en instituciones financieras regidas por la Ley General de Bancos. Se incluyen, además, los depósitos en cuenta corriente o a la vista en el exterior, cuando la institución financiera depositaria esté calificada en primera categoría de riesgo por una empresa calificadora internacional incluida en la nómina del Capítulo 1-12 de esta Recopilación Actualizada de Normas.
- c) Instrumentos financieros emitidos o garantizados por el Banco Central de Chile, incluidos los equivalentes de crédito de las operaciones con instrumentos derivados que tuvieran como contraparte a ese Banco Central.

#### **2.2. Categoría 2.**

- a) Instrumentos financieros emitidos o garantizados por el Fisco de Chile. Se entienden comprendidos dentro de ellos, los activos del balance que correspondan a impuestos corrientes e impuestos diferidos.
- b) Instrumentos financieros en moneda de su país de origen, emitidos o garantizados por Estados o bancos centrales de países extranjeros, siempre que los instrumentos en esas monedas estén calificados en primera categoría de riesgo por una empresa calificadora internacional, incluida en la nómina del Capítulo 1-12 de esta Recopilación Actualizada de Normas.

#### **2.3. Categoría 3.**

- a) Créditos contra cualquier institución financiera regida por la Ley General de Bancos. Incluye préstamos interbancarios, depósitos a plazo, operaciones con pacto de retrocompra, inversiones en letras de crédito o en bonos y cualquier otro crédito contra bancos constituidos en Chile o sucursales de bancos extranjeros que operen en el país. Incluye también los equivalentes de crédito de operaciones con derivados y las exposiciones netas de provisiones de los créditos contingentes, cuando las contrapartes sean esas mismas entidades.
- b) Depósitos a plazo constituidos en bancos del exterior, con vencimiento no superior a 180 días a contar de la fecha del cómputo, clasificados en una categoría de riesgo no inferior a A-, por una empresa clasificadora internacional que figure en la nómina que se incluye en el Capítulo 1-12 de esta Recopilación.

- c) La ley también incluye en esta categoría las "cartas de crédito irrevocables y pagaderas a su sola presentación para operaciones de comercio exterior, pendientes de negociación, otorgadas por bancos extranjeros calificados en primera categoría de riesgo por empresas calificadoras internacionales que figuren en la nómina a que se refiere el artículo 78". De acuerdo con esto, podrán incluirse en esta categoría las exposiciones netas de provisiones de los créditos contingentes que se originan por las confirmaciones de cartas de crédito documentarias a la vista, emitidas por bancos extranjeros calificados en primera categoría de riesgo por una empresa que figure en la nómina del Capítulo 1-12 de esta Recopilación.

#### **2.4. Categoría 4.**

- a) Préstamos con garantía hipotecaria para vivienda, otorgados al adquirente final de tales inmuebles y contratos de leasing para vivienda en los términos señalados en el Capítulo 8-37 de esta Recopilación. Incluye las "colocaciones para vivienda" definidas en el Compendio de Normas Contables, con excepción de los activos agrupados bajo "Otros créditos y cuentas por cobrar".
- b) Depósitos a plazo constituidos en bancos del exterior, con vencimiento a más de 180 días a contar de la fecha del cómputo, clasificados en una categoría de riesgo no inferior a A-, por una empresa clasificadora internacional que figure en la nómina que se incluye en el Capítulo 1-12 de esta Recopilación.
- c) Exposiciones de créditos contingentes netas de provisiones, con excepción de las que se incluyen en la categoría 3 según lo indicado en las letras a) y c) del numeral 2.3 precedente.

#### **2.5. Categoría 5.**

En esta categoría deben computarse todos los demás activos no incluidos en las categorías anteriores, con excepción del activo correspondiente a "Documentos a cargo de otros bancos (canje)", el que se asignará a la Categoría 1. El importe clasificado en esta categoría corresponderá, en consecuencia, al activo total a que se refiere el N° 1 de este título II, menos los montos del activo que deben deducirse para determinar el patrimonio efectivo según lo previsto en las letras c) y d) del numeral 3.1 del título I de este Capítulo y menos los importes de los activos clasificados en las categorías anteriores.

### 3. Equivalente de crédito de los instrumentos derivados.

#### 3.1. Regla general.

Para los efectos de que trata este título, se considerará como activo el "equivalente de crédito" del instrumento derivado, el cual se incluirá para efectos de ponderación en la categoría de riesgo que le corresponda, según quien sea la contraparte.

El "equivalente de crédito" de que se trata corresponderá al valor razonable del instrumento derivado, más un monto adicional que se obtiene aplicando sobre el monto notional un factor de conversión que depende del subyacente y del plazo de vencimiento residual del derivado. Para los instrumentos derivados con valor razonable negativo o cero, el "equivalente de crédito" corresponderá sólo al monto adicional.

El monto adicional referido en el párrafo anterior, se calculará aplicando el factor que corresponda, según lo indicado en las tablas siguientes:

Contratos sobre tasas de interés	
Vencimiento residual	
Hasta un año	0.0%
Más de un año hasta cinco años	0.5%
Más de cinco años	1.5%

Contratos sobre monedas		
Vencimiento residual	Canasta 1	Canasta 2
Hasta un año	1.5%	4.5%
Más de un año hasta cinco años	7.0%	20.0%
Más de cinco años	13.0%	30.0%

Canasta 1: Contiene las monedas emitidas por países cuya deuda externa de largo plazo se encuentre clasificada a lo menos en AAA, o su equivalente, por algunas de las clasificadoras de riesgo señaladas en el Capítulo 1-12 de esta Recopilación. Incluye, además, el euro y el oro. Al tratarse de contratos sobre Unidades de Fomento, ella también se considera como moneda en esta canasta.

Canasta 2: Contiene las demás monedas, no incluidas en la canasta 1.

Contratos sobre acciones	
Vencimiento residual	
Hasta un año	6.0%
Más de un año hasta cinco años	8.0%
Más de cinco años	10.0%

**C. Procedimiento para equilibrar nivel de volatilidad entre un modelo Vasicek y un modelo Central Tendency.**

Como una forma de hacer comparables las estimaciones de riesgo obtenidas a través de ambas dinámicas, se realiza el siguiente procedimiento que equilibra los niveles de volatilidad entre modelos.

Para el modelo de Vasicek, su especificación es de la forma:

$$dr = a(c - r)dt + \sigma d\tilde{Z}$$

A partir de la ecuación diferencial estocástica de este caso, es posible obtener el valor esperado de la tasa corta y su varianza:

$$r(t) = c + (r(t_0) - c)e^{-a(t-t_0)} + \sigma \sqrt{\left(\frac{1-e^{-2a(t-t_0)}}{2a}\right)} \tilde{Z}$$

$$Var[r(t)] = \sigma^2 \left(\frac{1-e^{-2a(t-t_0)}}{2a}\right) (t - t_0) \quad (1)$$

Para el caso del modelo de Central Tendency, éste posee una especificación de la forma:

$$dr = a_1(\theta - r)dt + \sigma_1 d\tilde{Z}_1$$

$$d\theta = a_2(b - \theta)dt + \sigma_2 d\tilde{Z}_2$$

$$d\tilde{Z}_1 d\tilde{Z}_2 = \rho dt$$

A partir de ello, es posible encontrar el valor esperado de la tasa y su varianza bajo esta especificación:

$$r(t) = \theta + (r(t_0) - \theta)e^{-a_1(t-t_0)} + \sigma_1 \sqrt{\left(\frac{1 - e^{-2a_1(t-t_0)}}{2a_1}\right)} \tilde{Z}_1$$

$$\theta(t) = b + (\theta(t_0) - b)e^{-a_2(t-t_0)} + \sigma_2 \sqrt{\left(\frac{1 - e^{-2a_2(t-t_0)}}{2a_2}\right)} \tilde{Z}_2$$

$$Var[\theta] = \sigma_2^2 \left(\frac{1-e^{-2a_2(t-t_0)}}{2a_2}\right) (t - t_0) \quad (2)$$

$$Var[r] = Var[\theta] + \sigma_1^2 \left(\frac{1-e^{-2a_1(t-t_0)}}{2a_1}\right) (t - t_0) + 2\rho\sigma_1\sigma_2 \sqrt{\left(\frac{1-e^{-2a_1(t-t_0)}}{2a_1}\right) \left(\frac{1-e^{-2a_2(t-t_0)}}{2a_2}\right)} (t - t_0) \quad (3)$$

Luego, para igualar el nivel de volatilidad en ambos modelos, se utiliza la expresión de cada modelo para un bono que paga \$1 en un plazo determinado. Así,

$$P_{VAS}(t, T) = A(t, T)e^{-B(t, T)r(t)} \quad (4)$$

$$P_{CT}(t, T) = e^{A(t, T)+B(t, T)r(t)+C(t, T)\theta(t)} \quad (5)$$

Utilizando las ecuaciones (4) y (5), debe cumplirse que:

$$Var[Ln(P_{VAS}(t, T))] = Var[Ln(P_{CT}(t, T))] \quad (6)$$

Desarrollando la ecuación (6), implica que:

$$Var[-Br(t)] = Var[Br(t) + C\theta(t)] \quad (7)$$

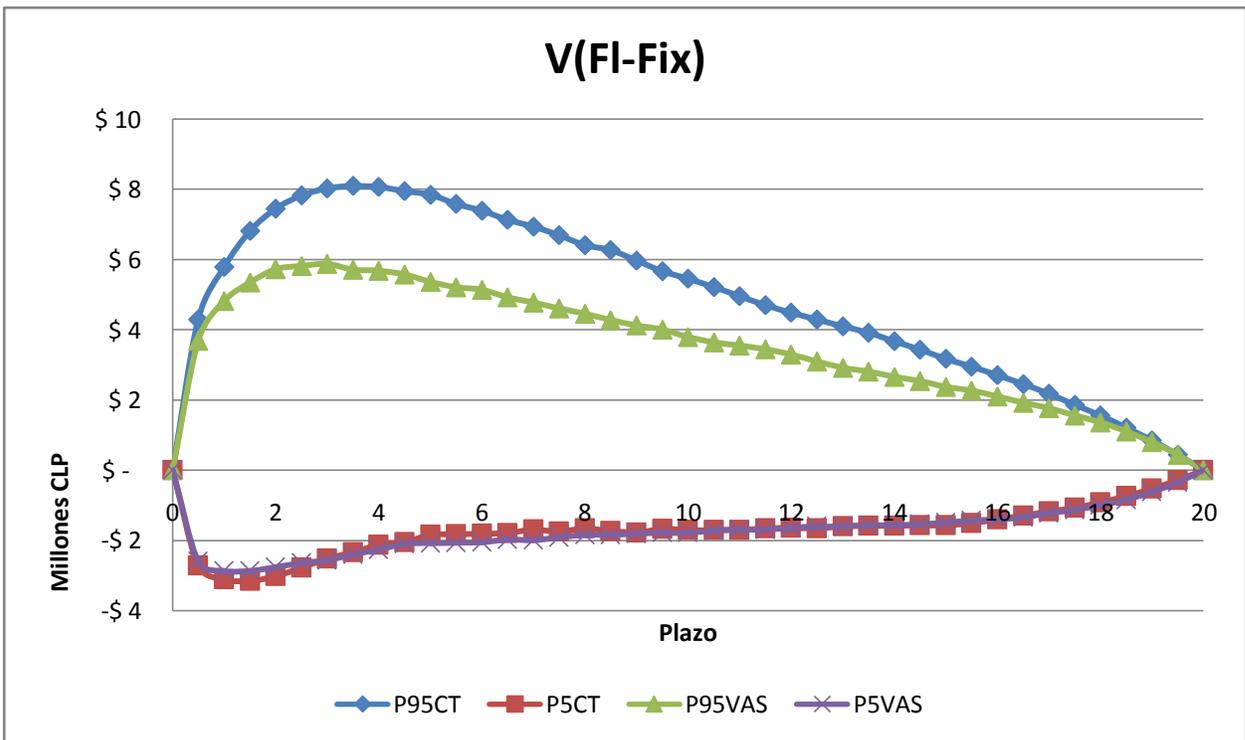
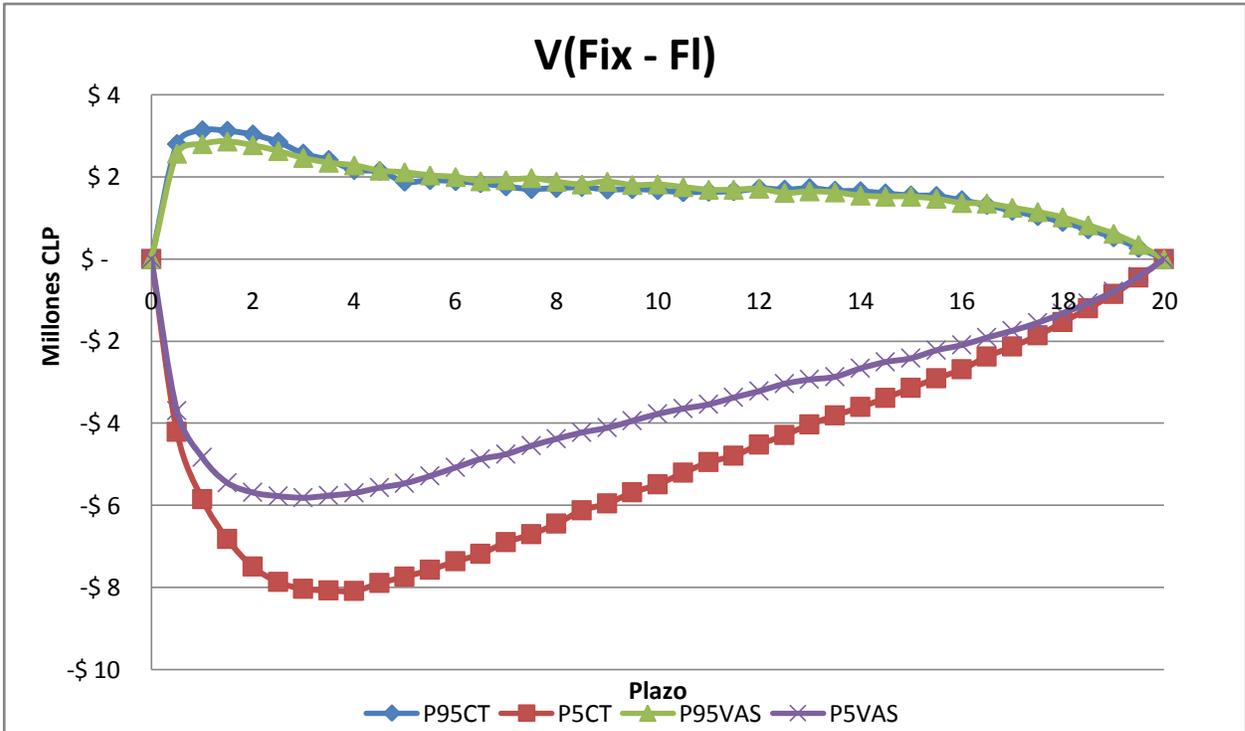
Resolviendo,

$$B^2Var[r(t)] = B^2Var[r(t)] + C^2Var[\theta(t)] + 2BC\rho Var[r(t)]Var[\theta(t)] \quad (8)$$

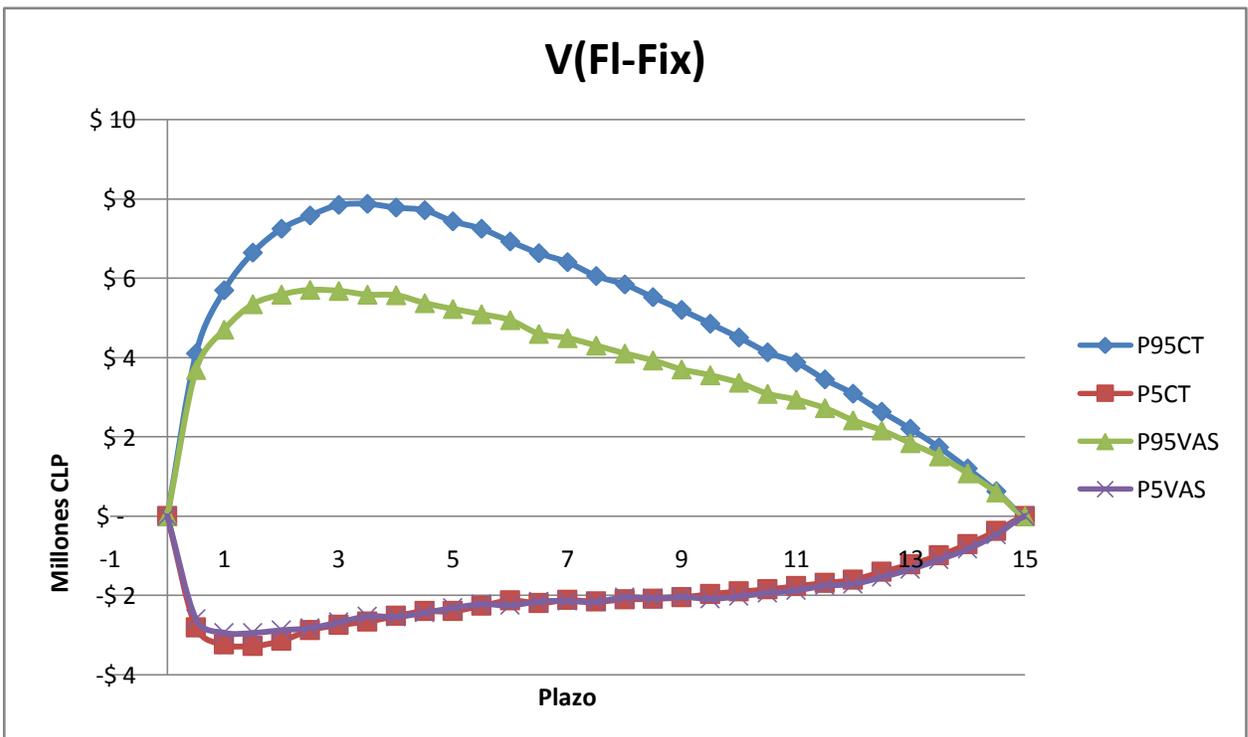
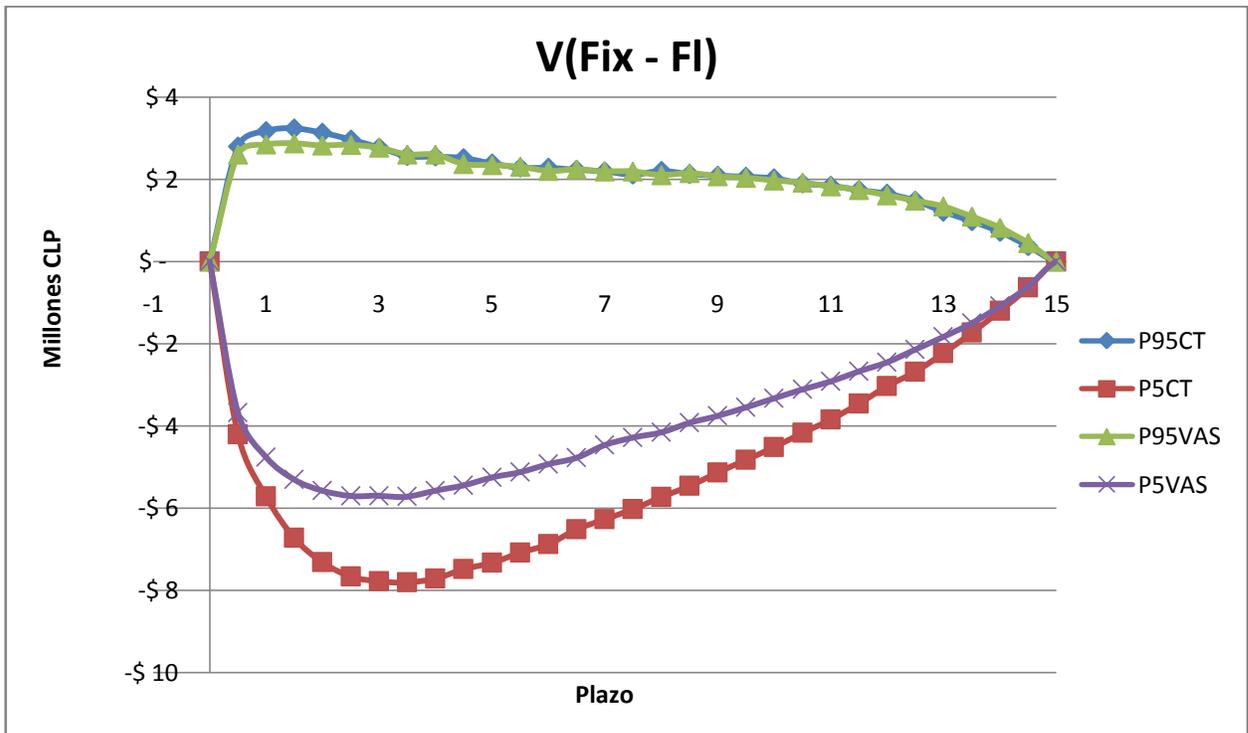
Por último, incorporando en la ecuación (8), los valores de (1), (2) y (3) y definiendo un valor para t y T que permita estimar los parámetros B para Vasicek y B y C para CT, es posible obtener valores para  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\rho$  y  $\sigma$  tales que ambas especificaciones adquieran un mismo nivel de volatilidad. (Dado que la última ecuación es muy extensa, se omite su explicitación).

**D. Perfiles de riesgo de contraparte y mercado para swaps a lo largo de su vida según plazos relevantes.**

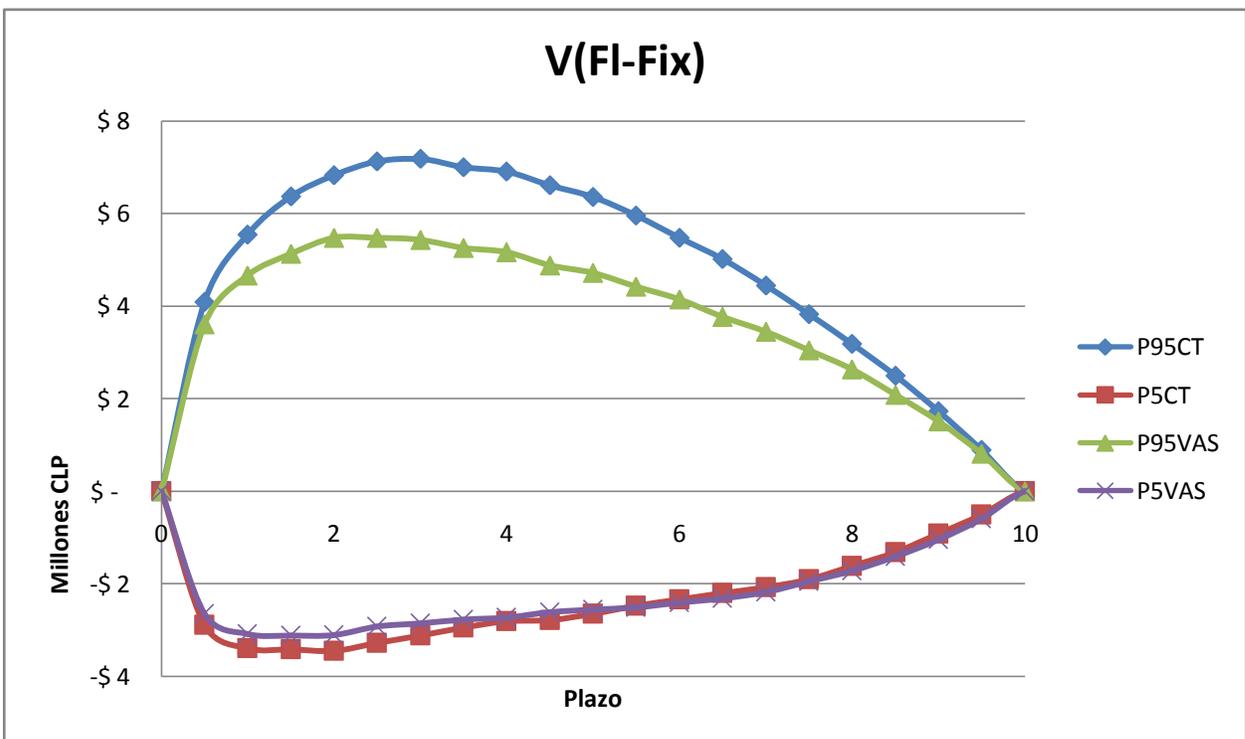
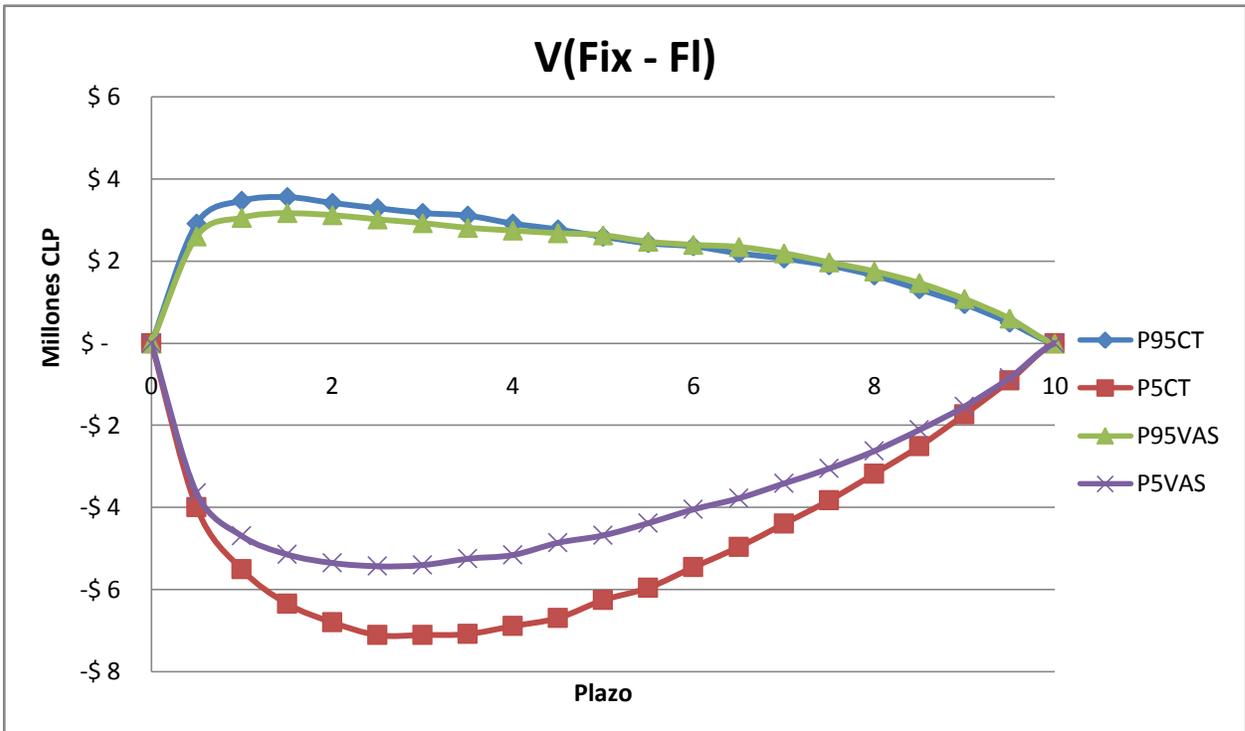
D.1. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 20 años plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



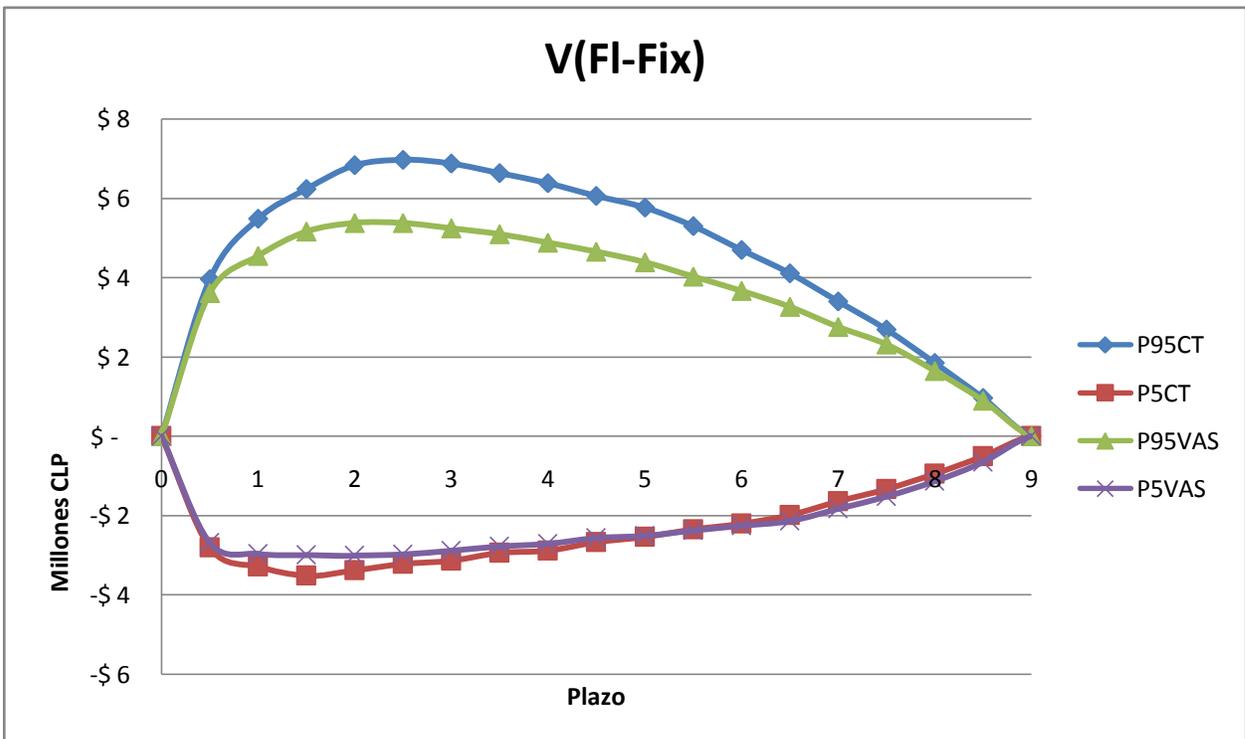
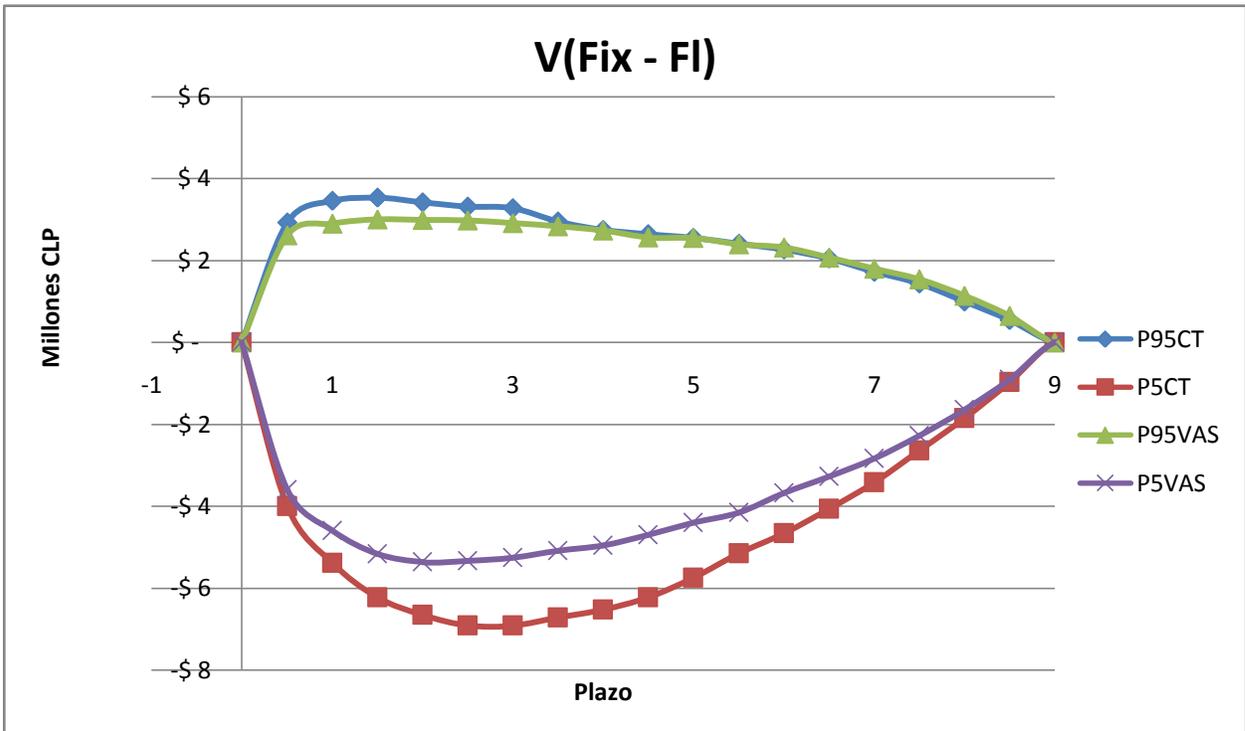
D.2. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 15 años plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



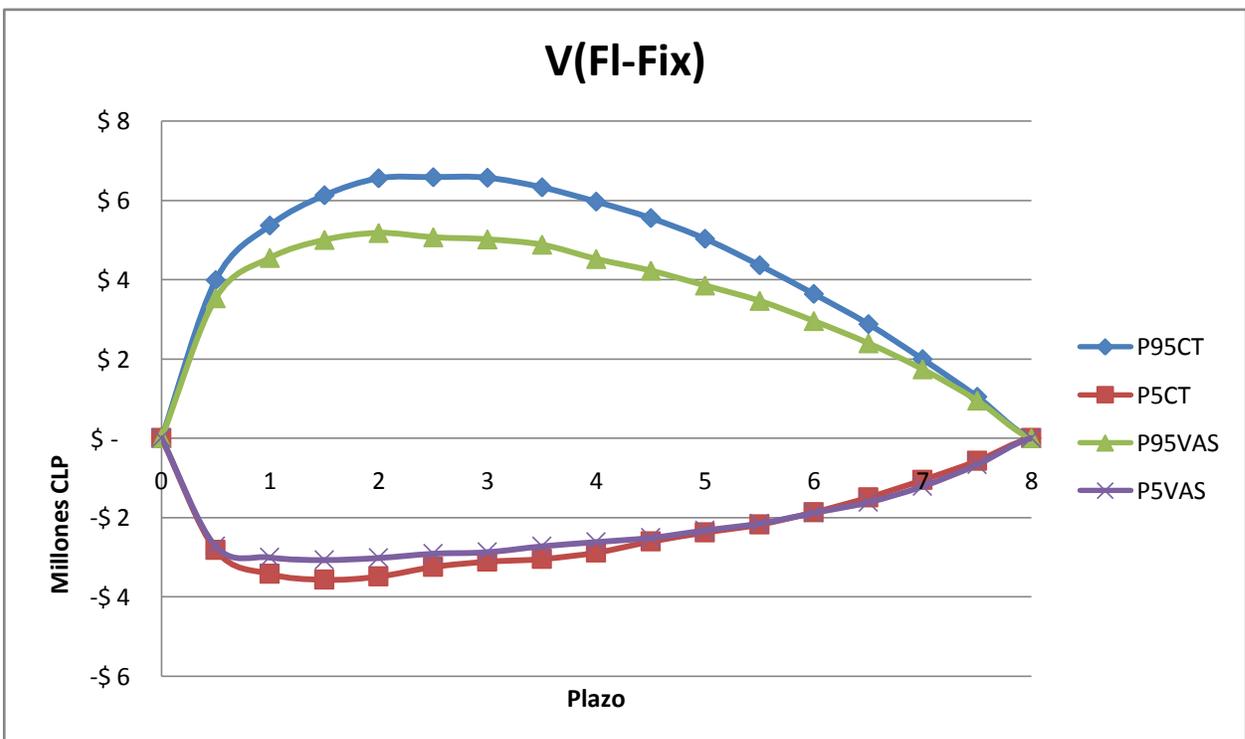
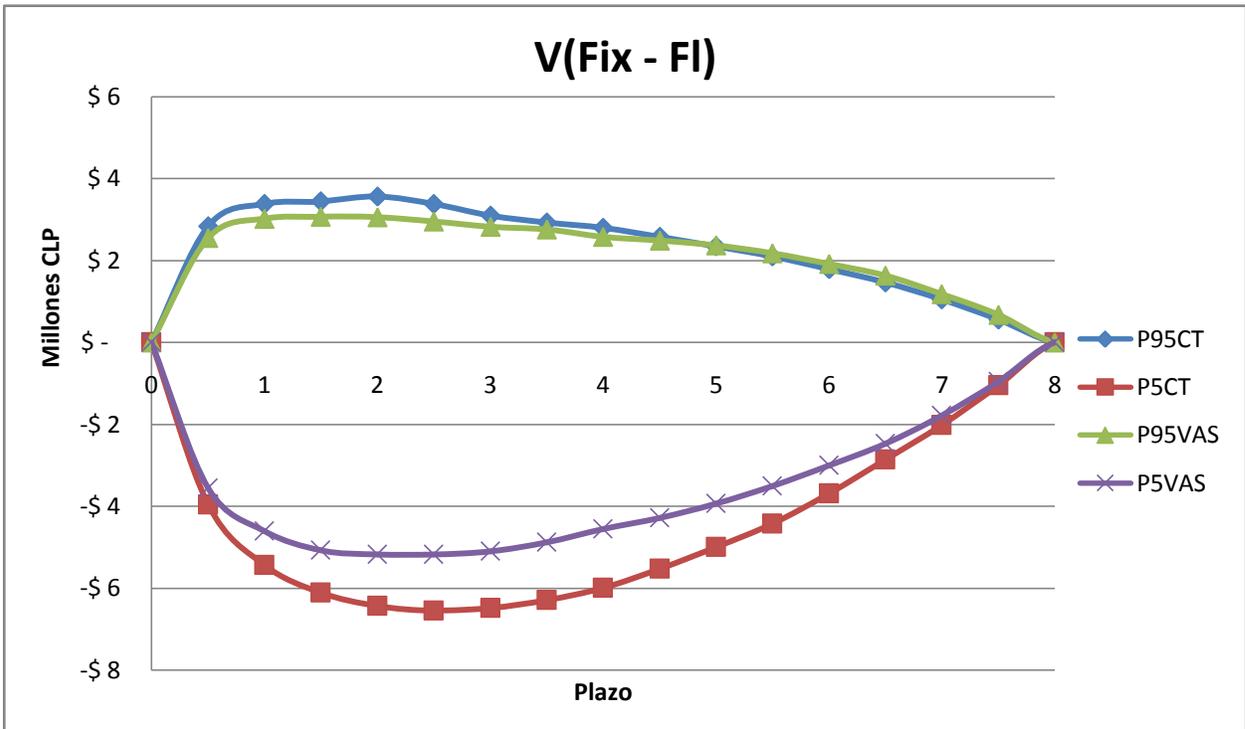
D.3. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 10 años plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



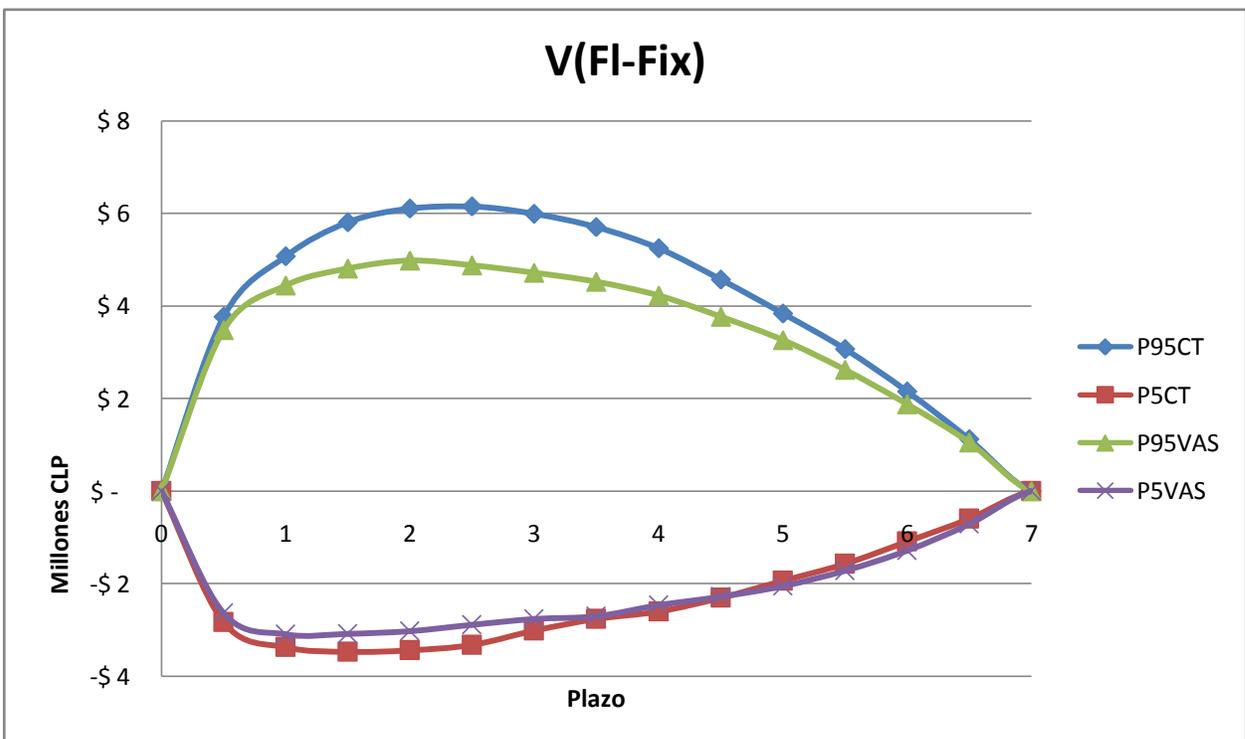
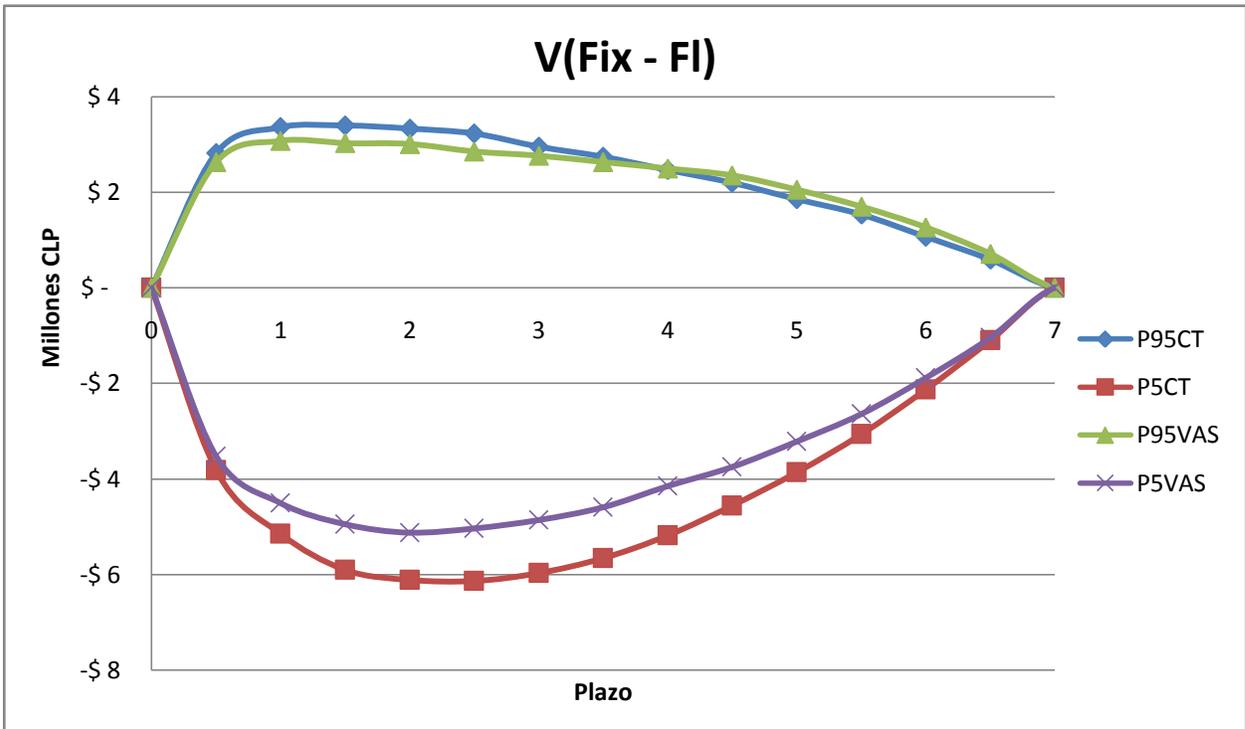
D.4. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 9 años plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



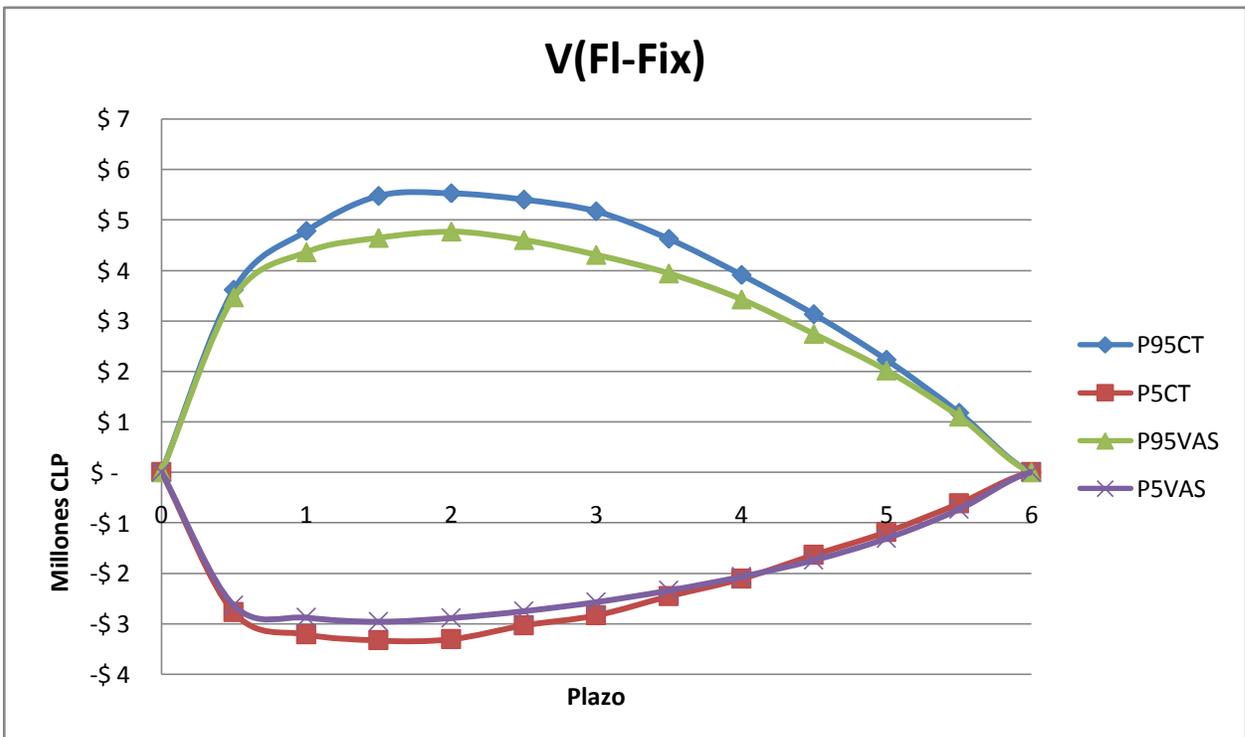
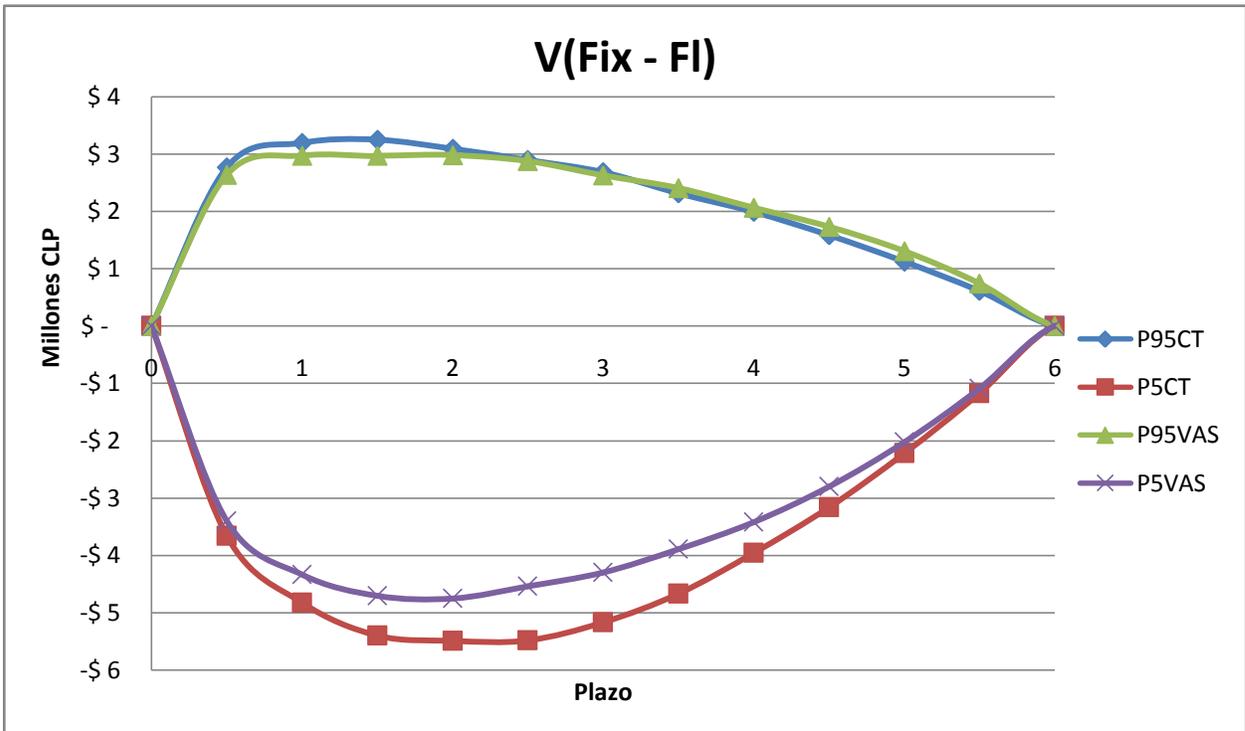
D.5. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 8 años plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



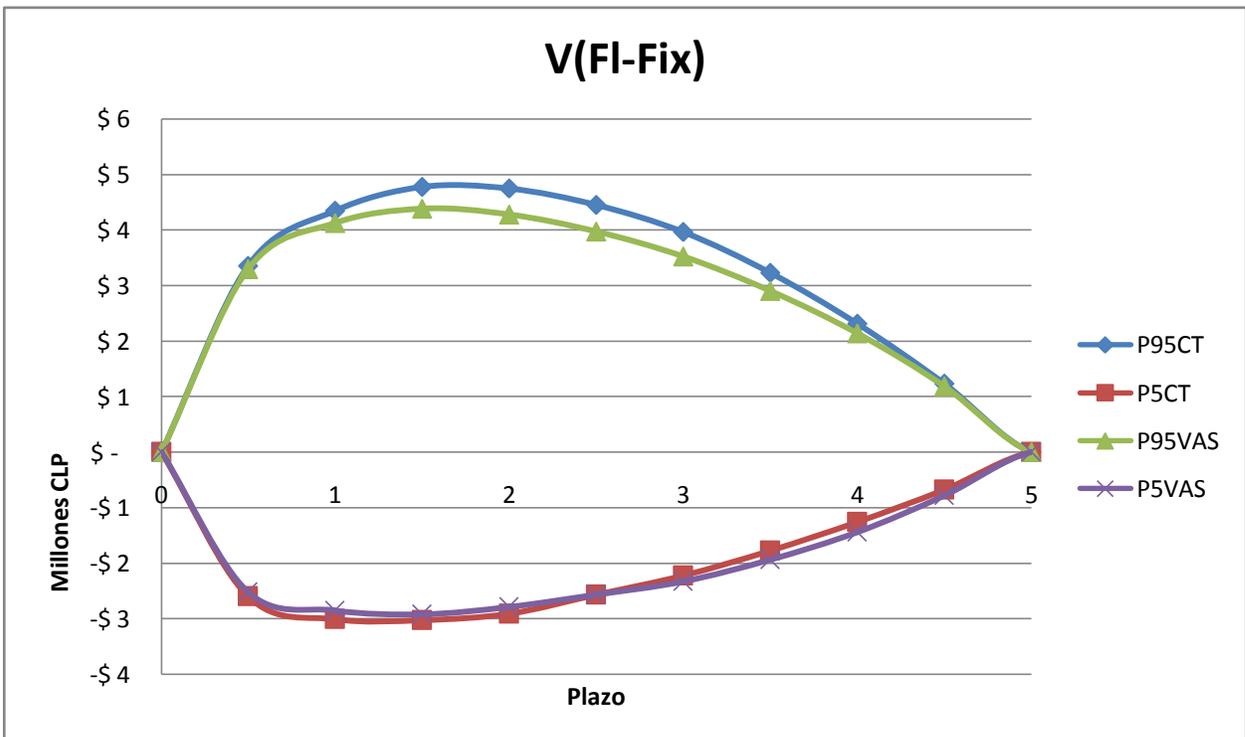
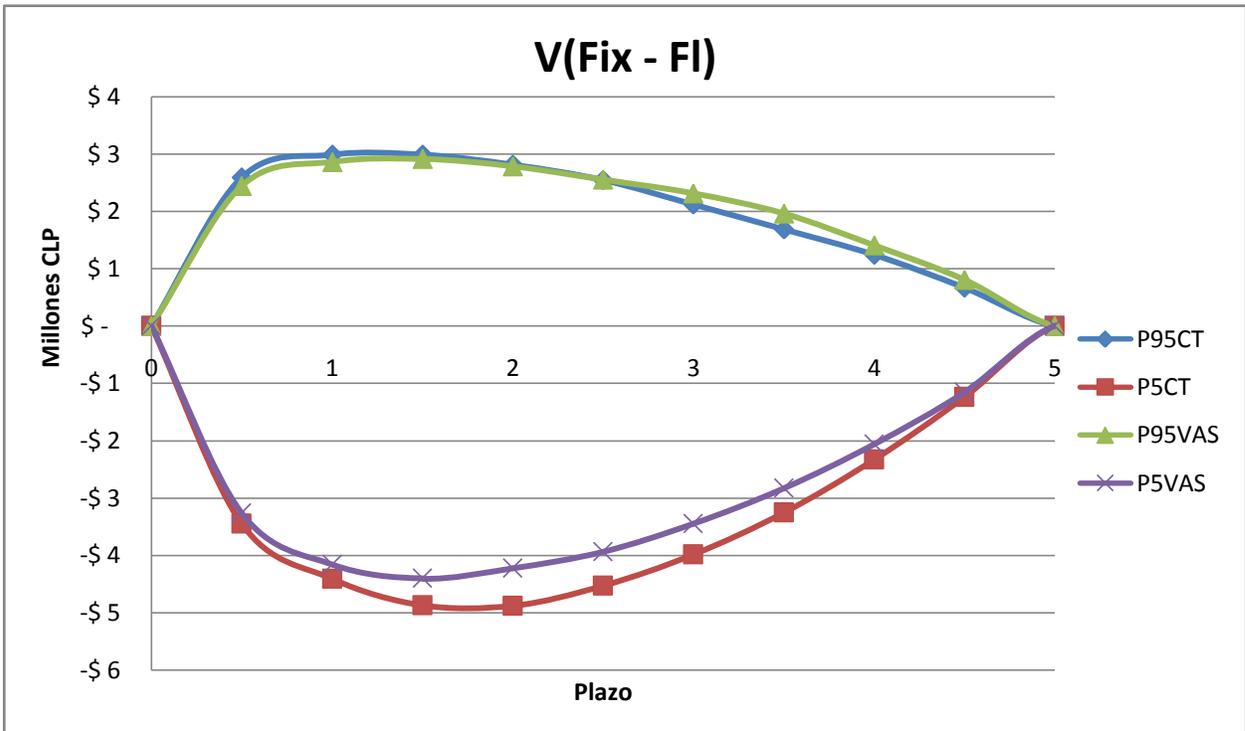
D.6. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 7 años plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



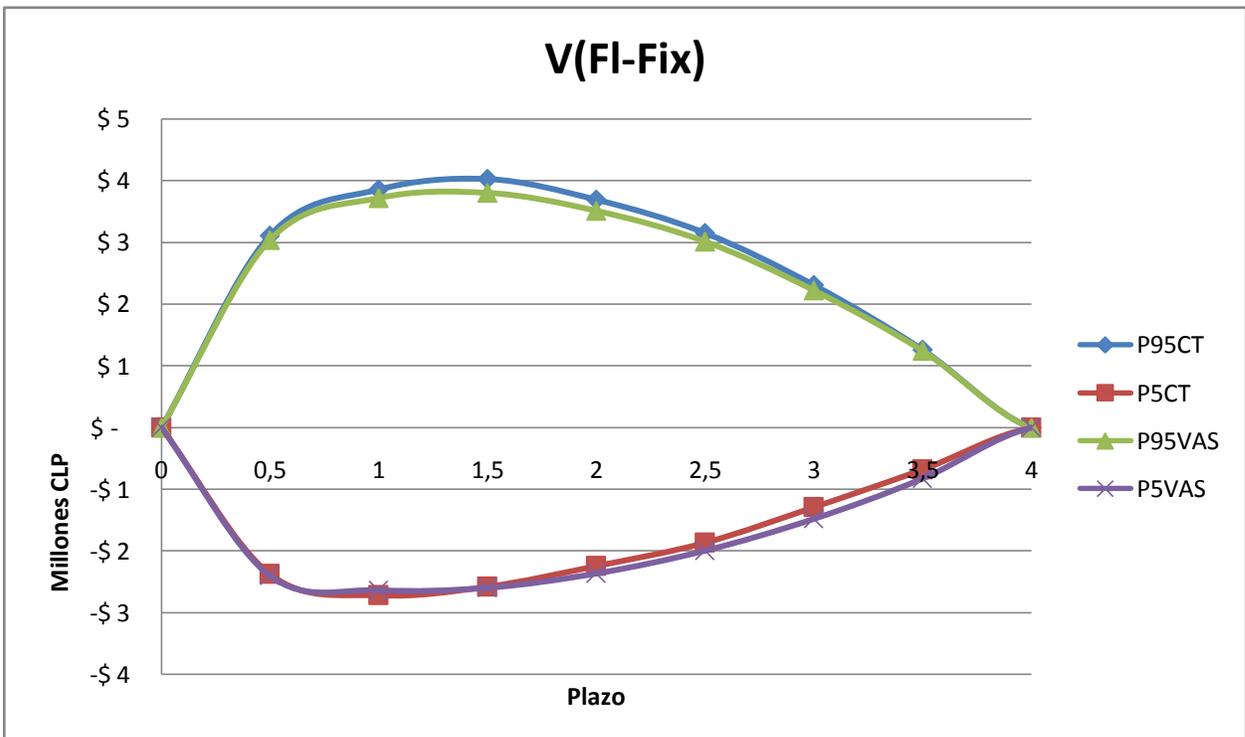
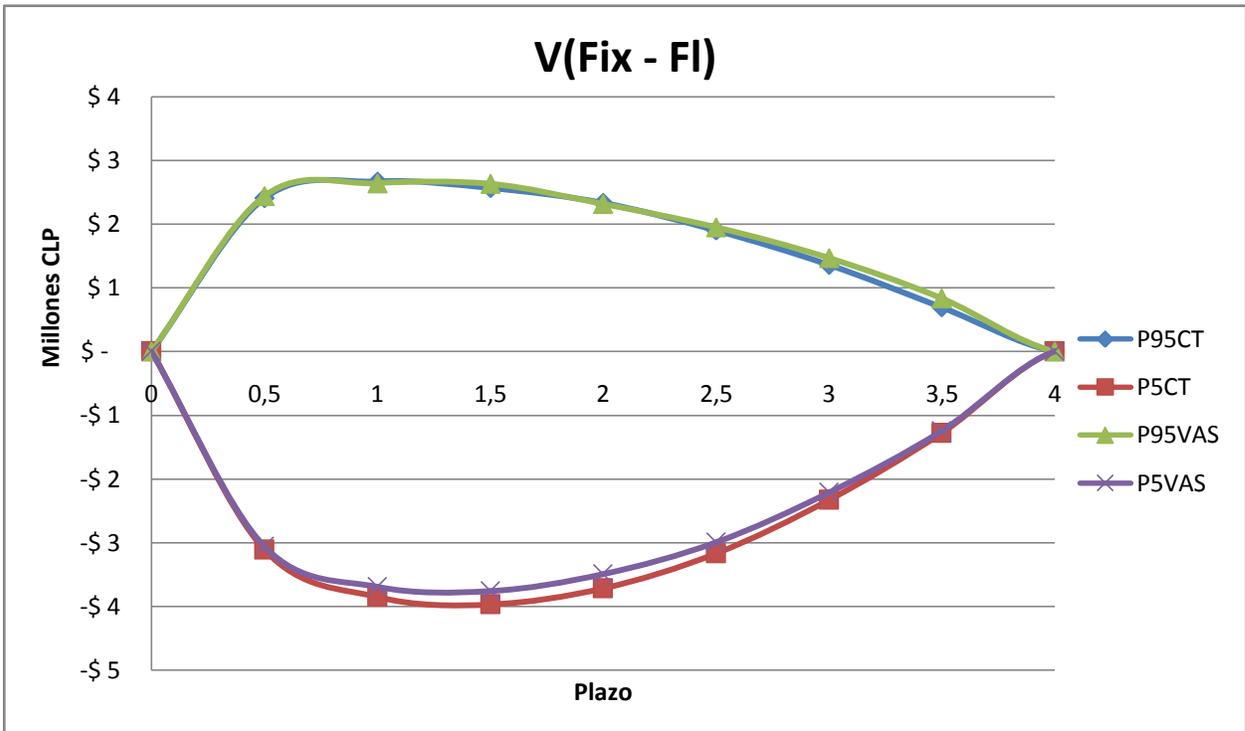
D.7. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 6 años plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



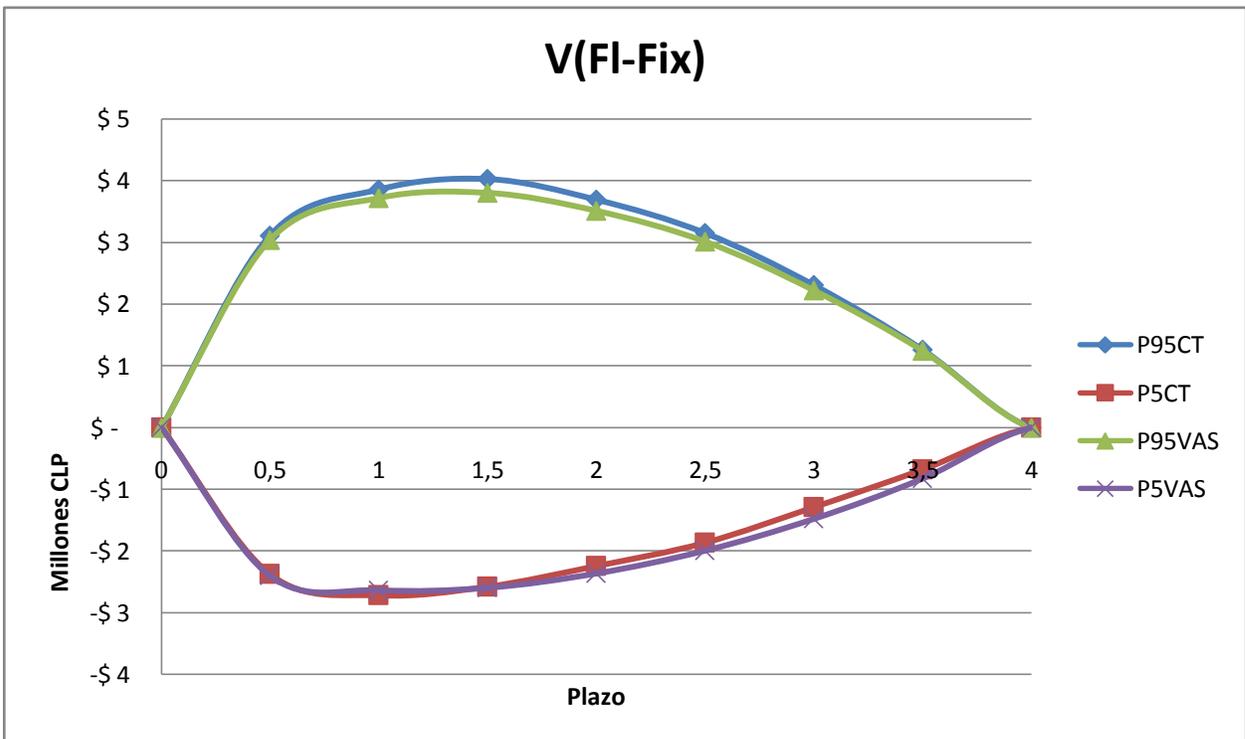
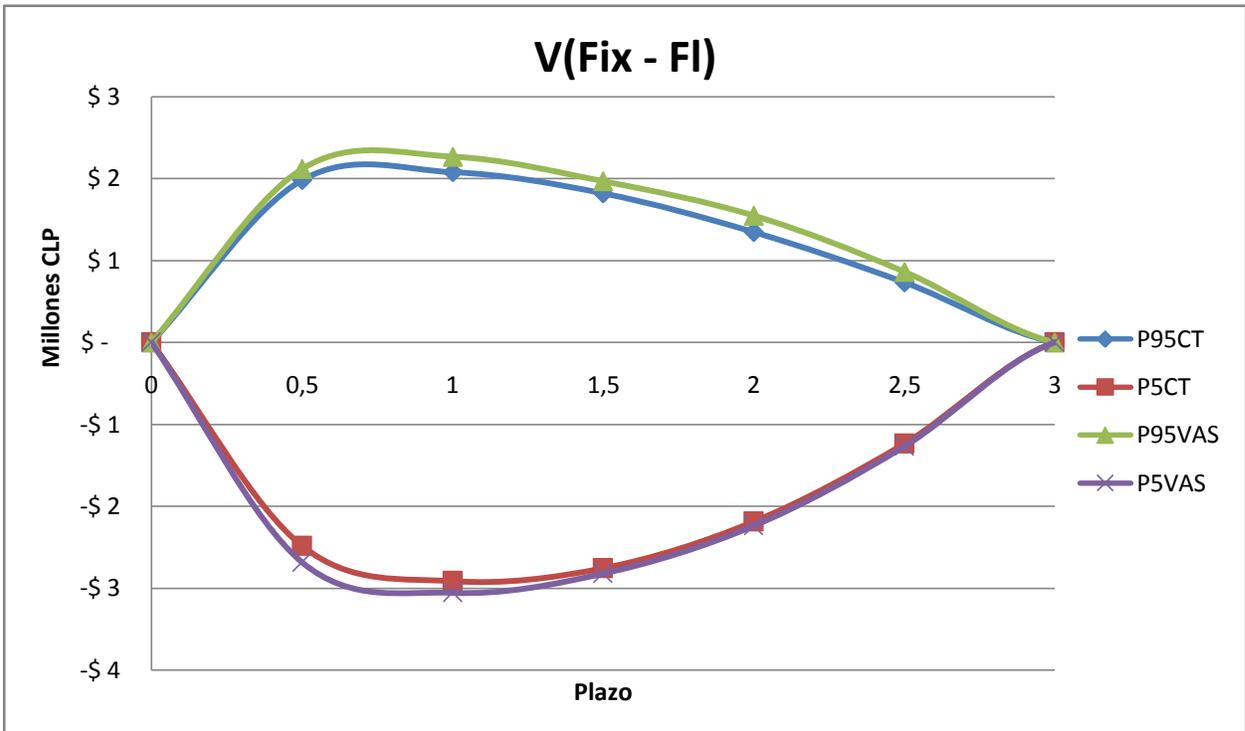
D.8. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 5 años plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



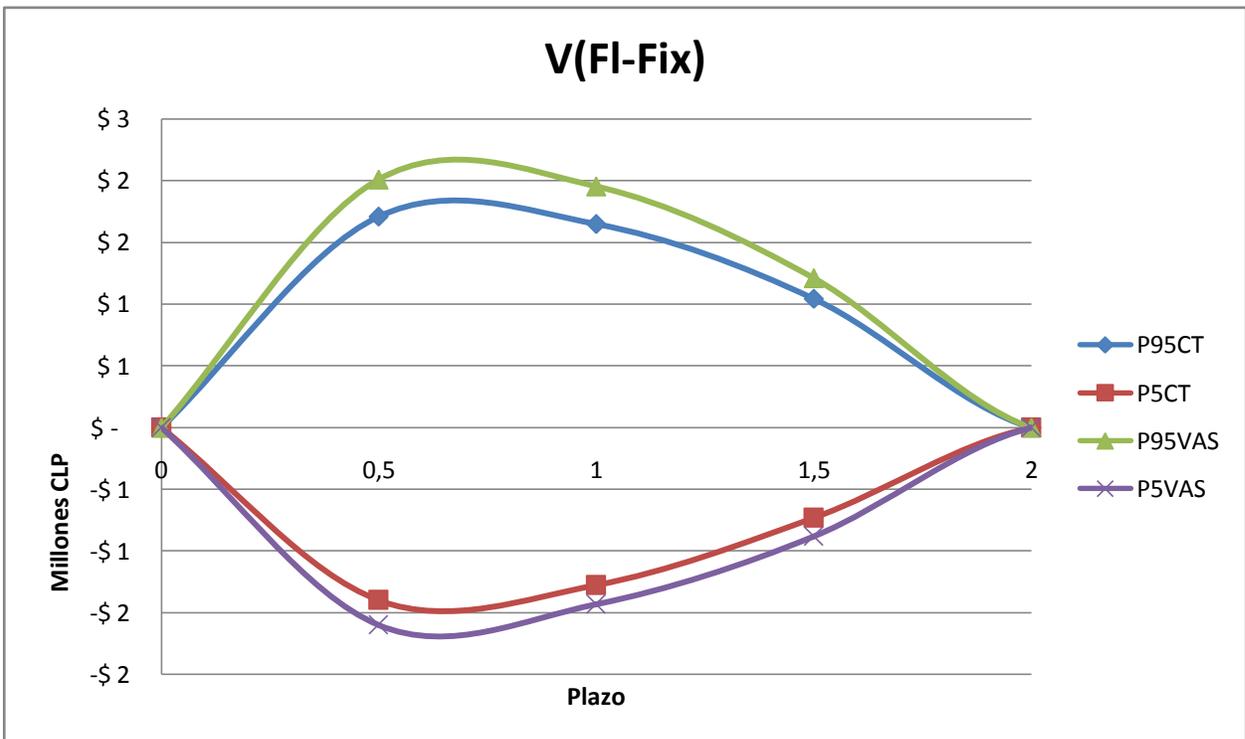
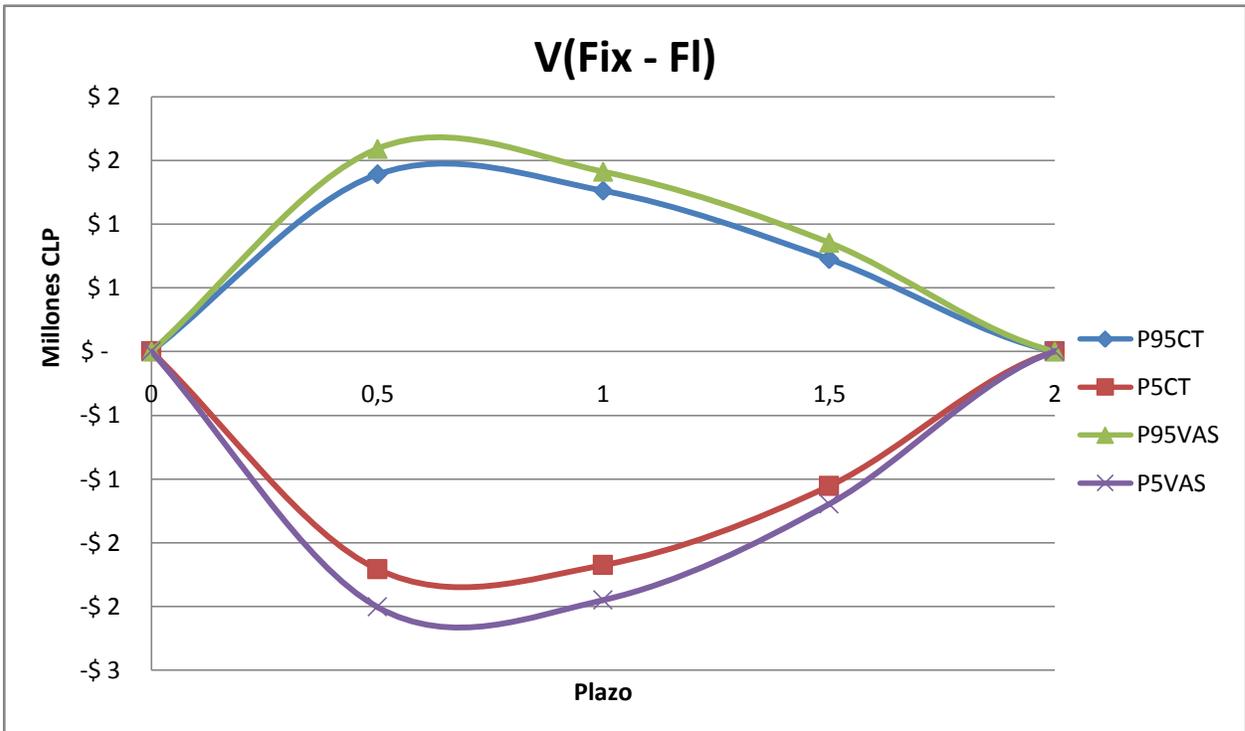
D.9. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 4 años plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



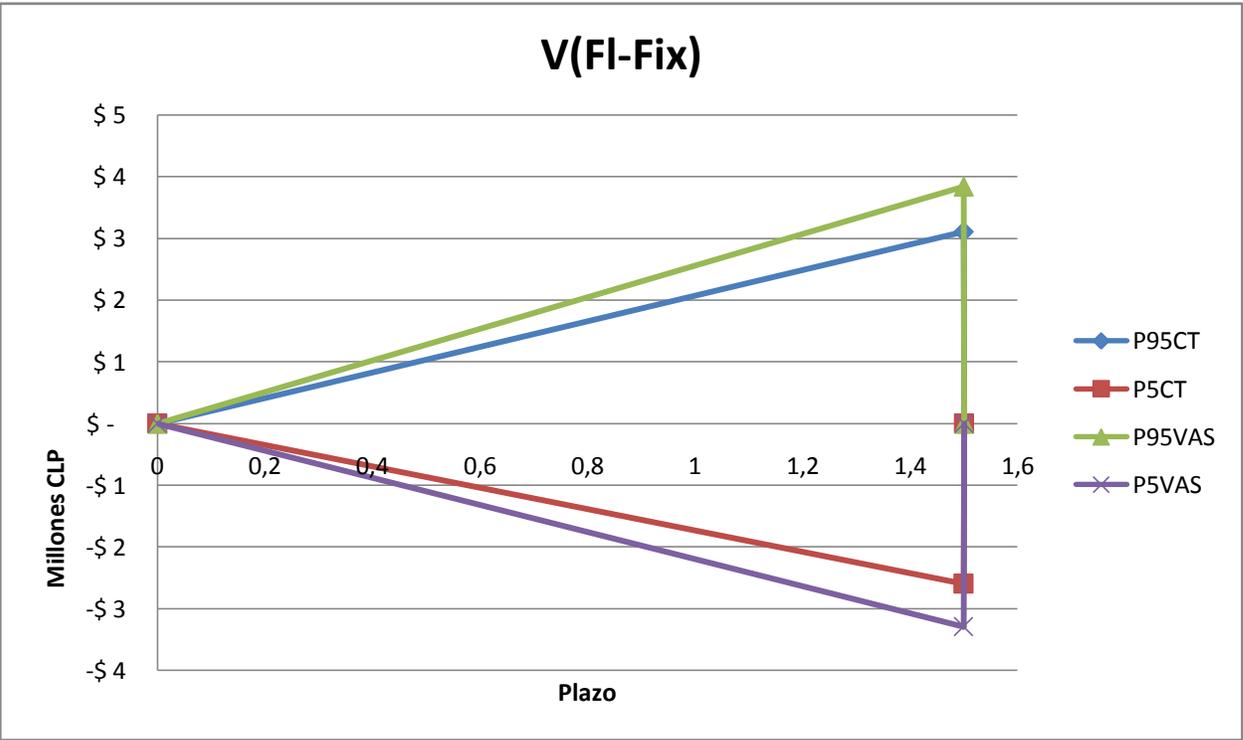
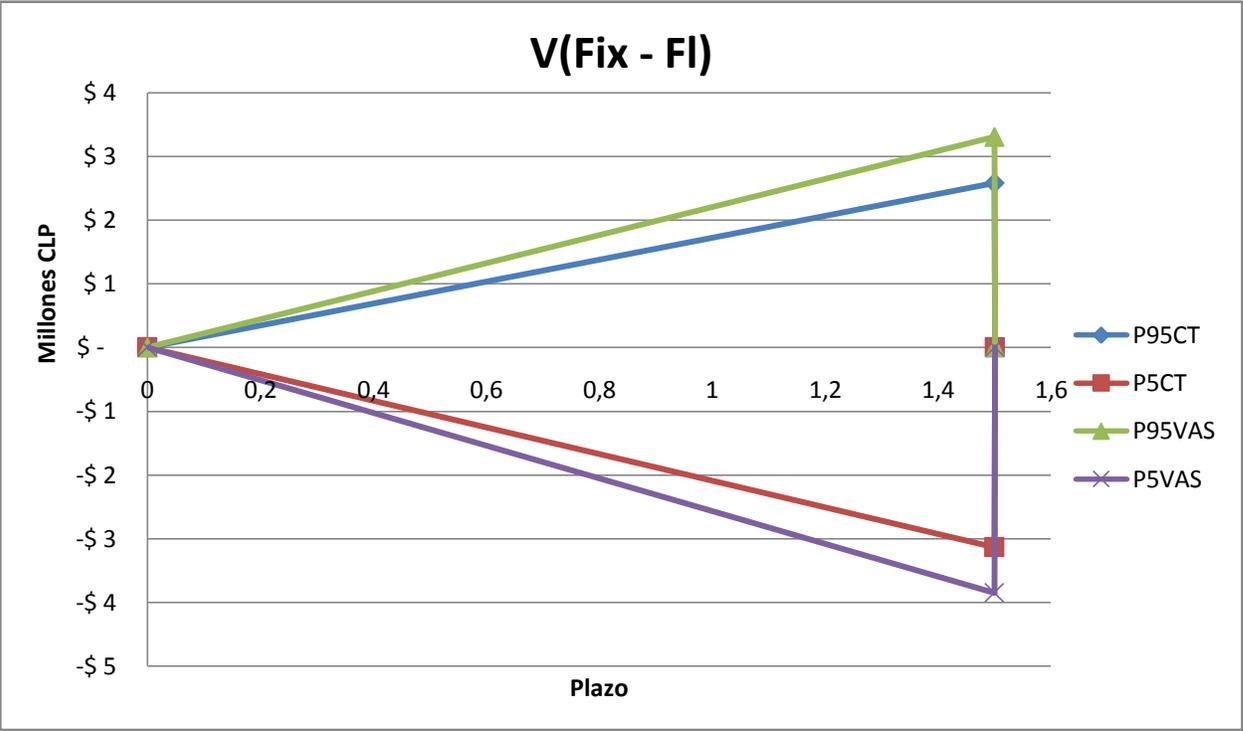
D.10. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 3 años plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



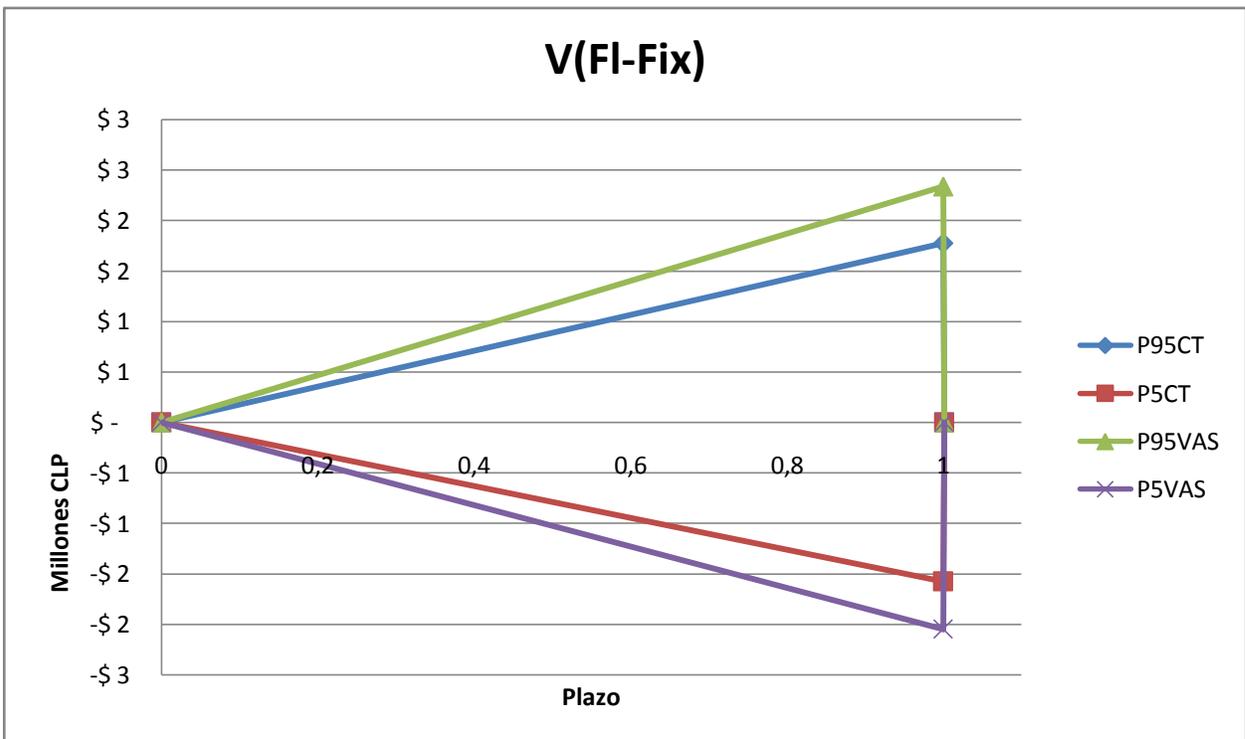
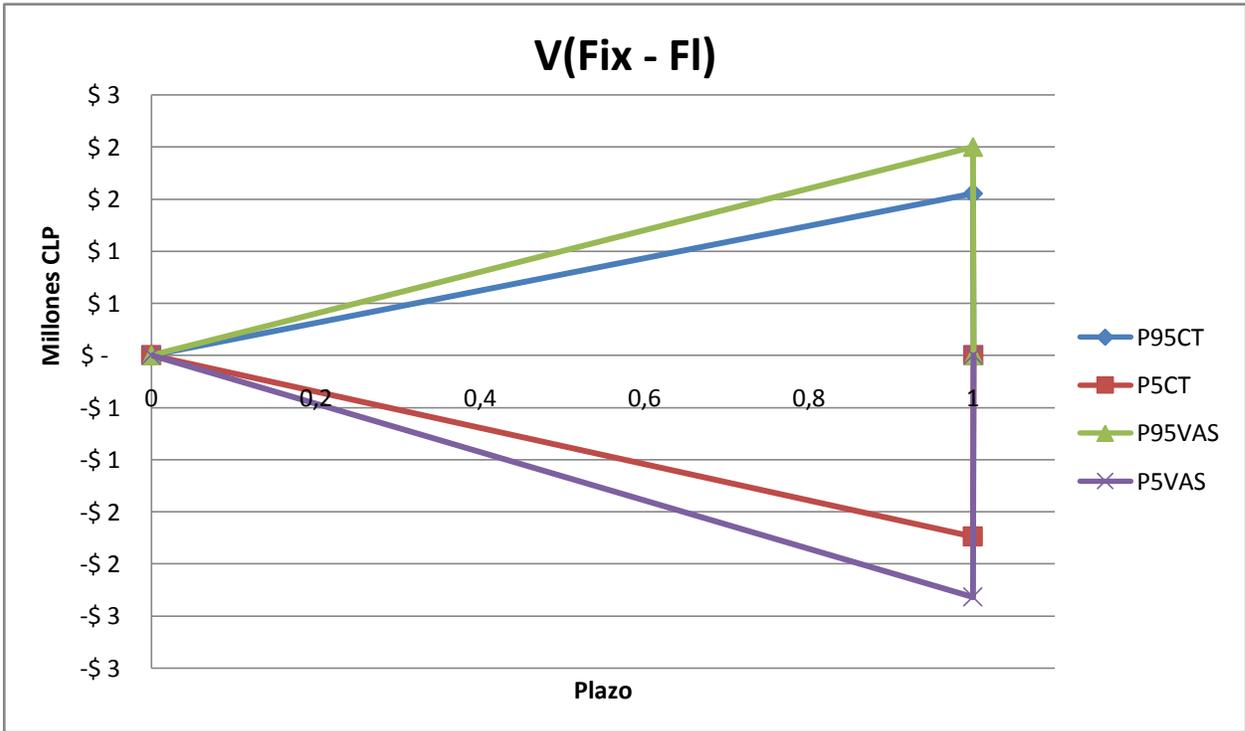
D.11. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 2 años plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



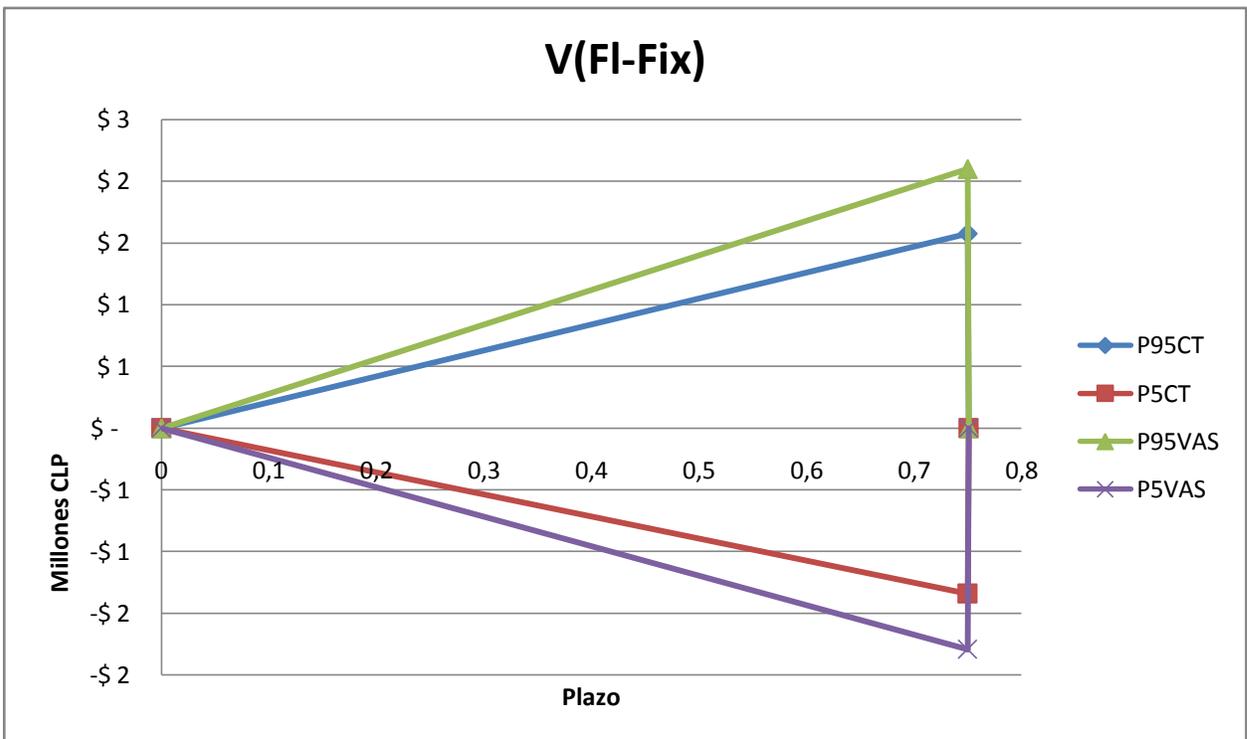
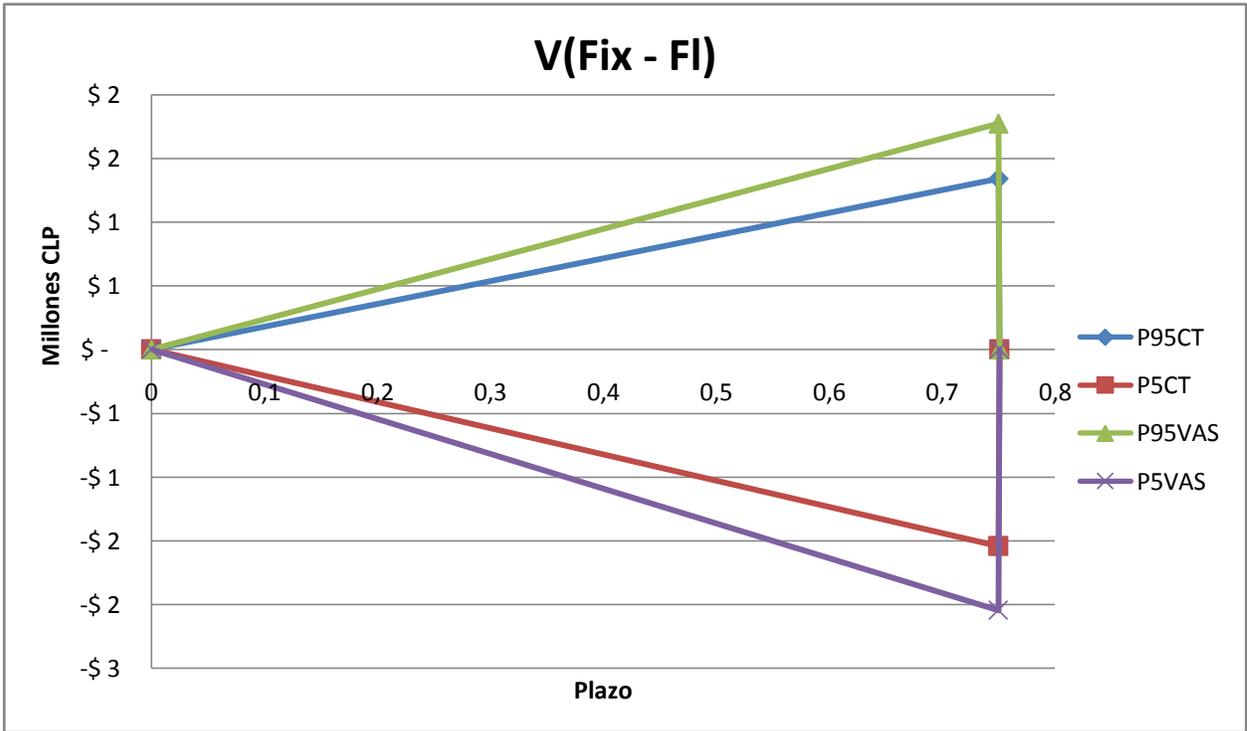
D.12. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 1,5 años plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



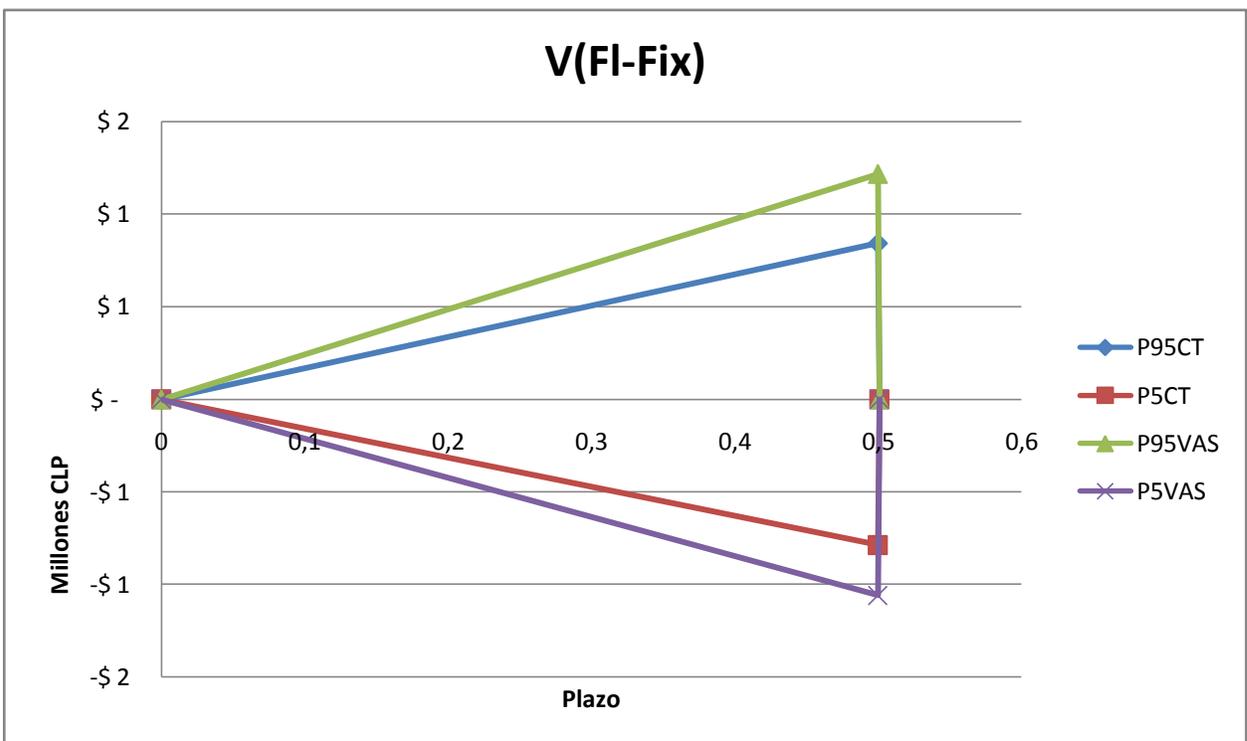
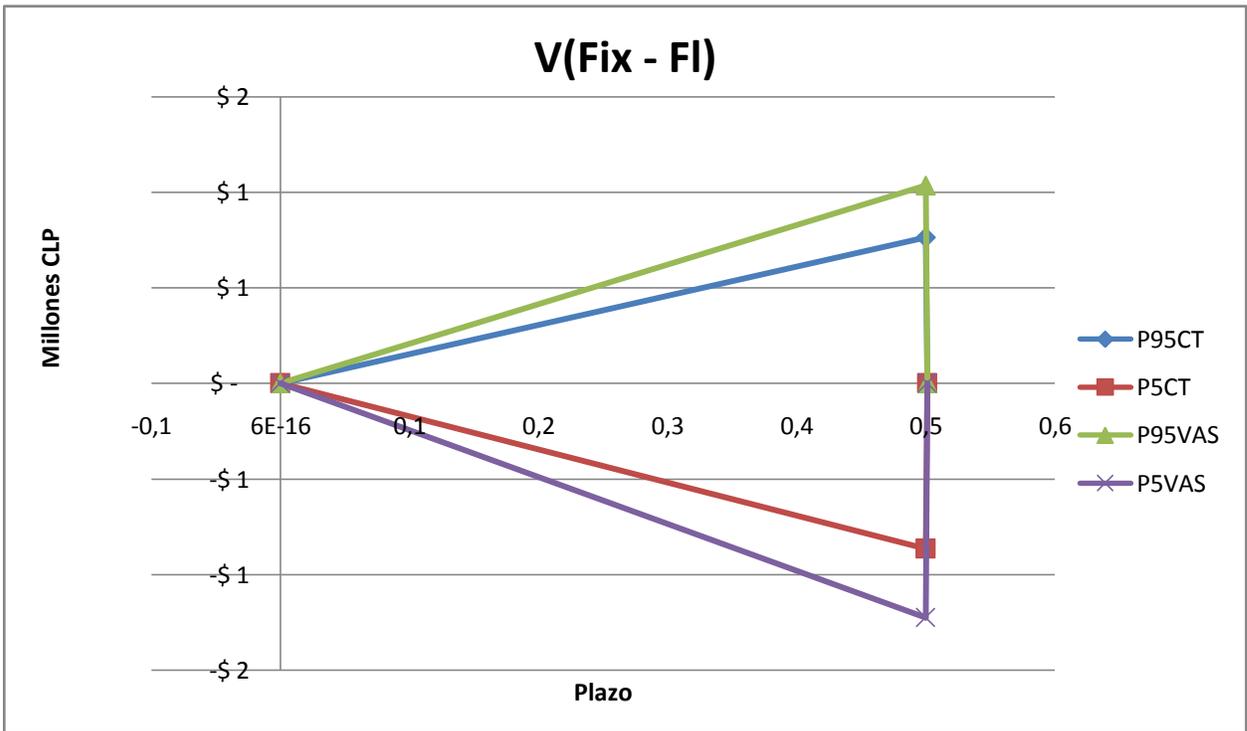
D.13. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 1 año plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



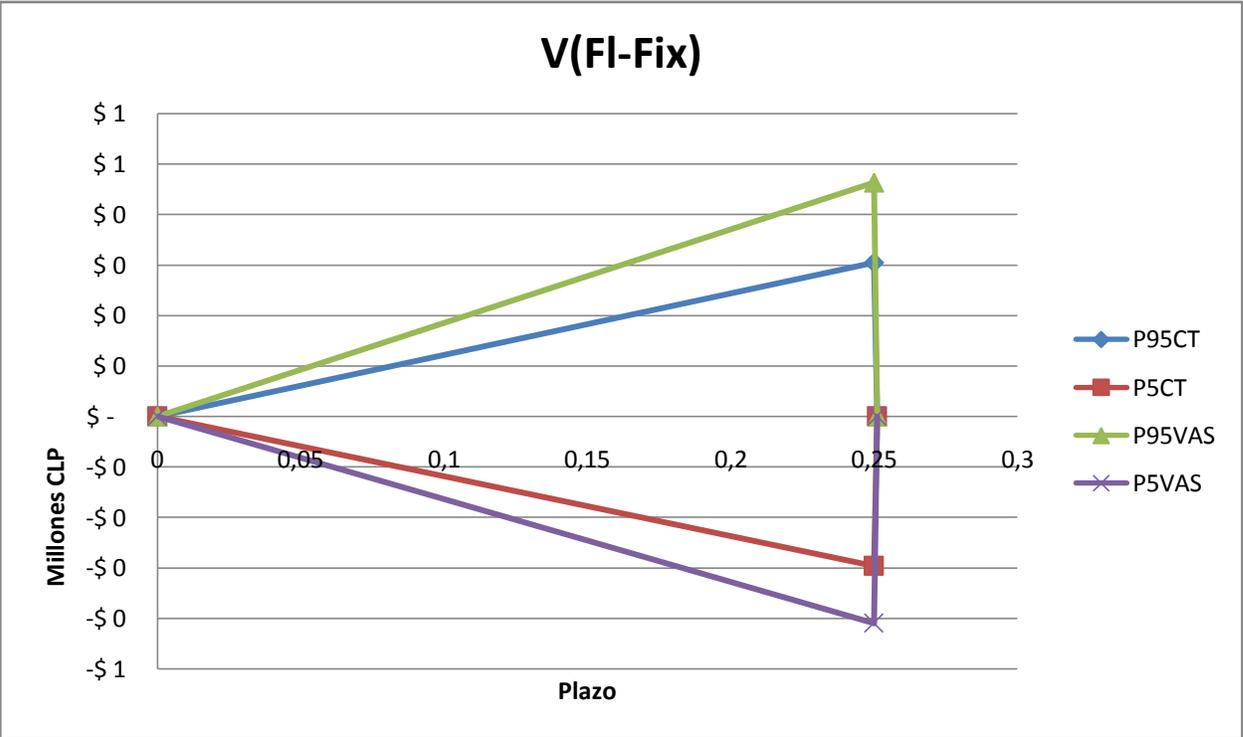
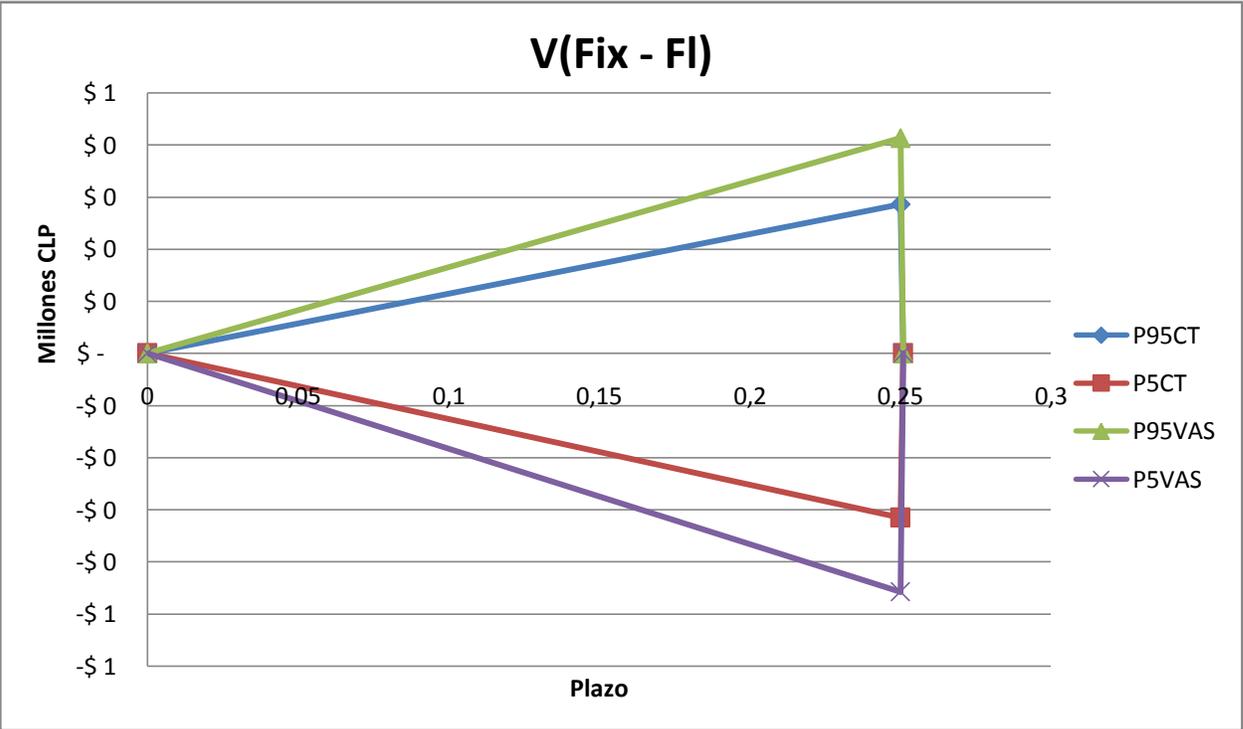
D.14. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 9 meses plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.



D.15. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 6 meses plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.

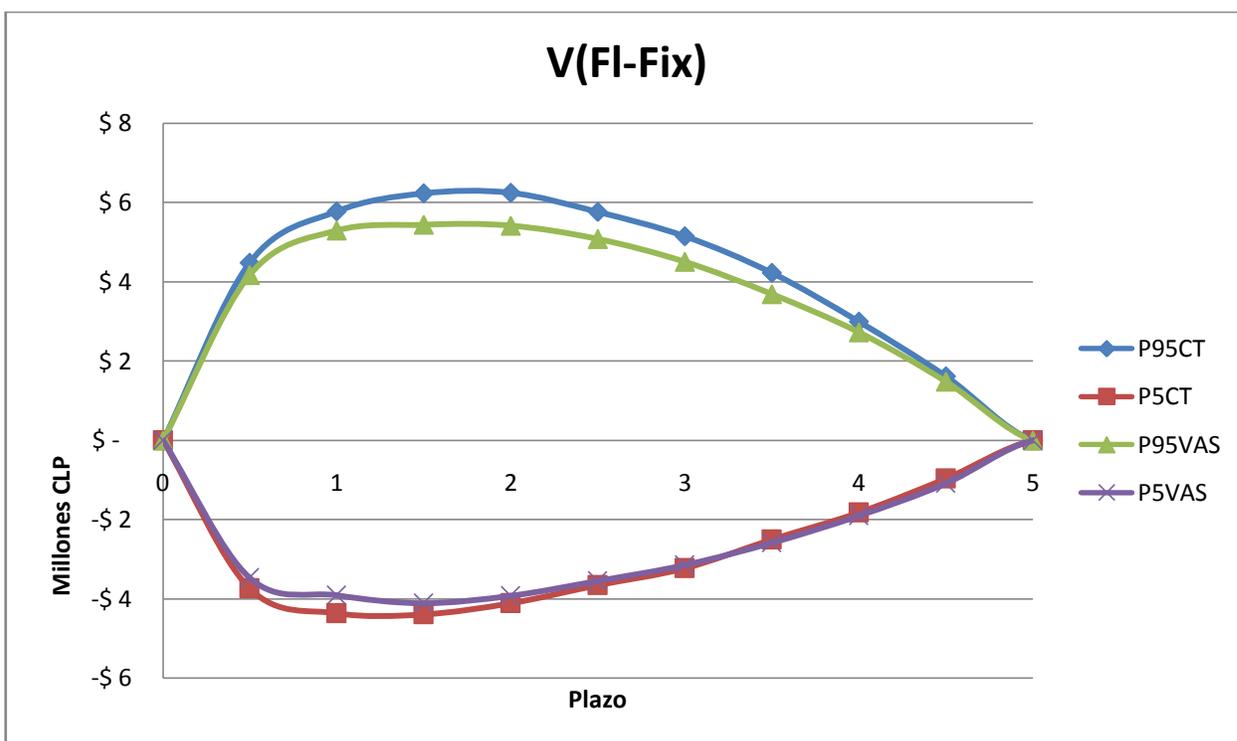
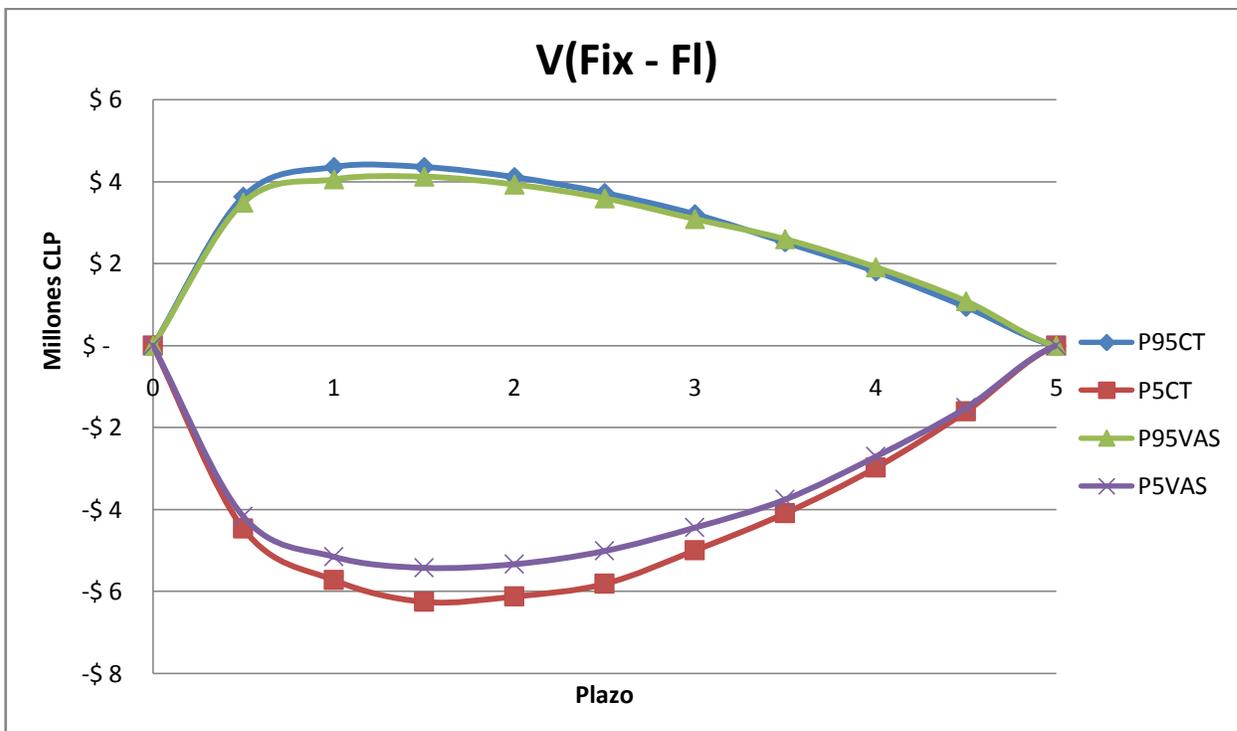


D.16. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 3 meses plazo, bajo condiciones de mercado estándares y según posición en el contrato.

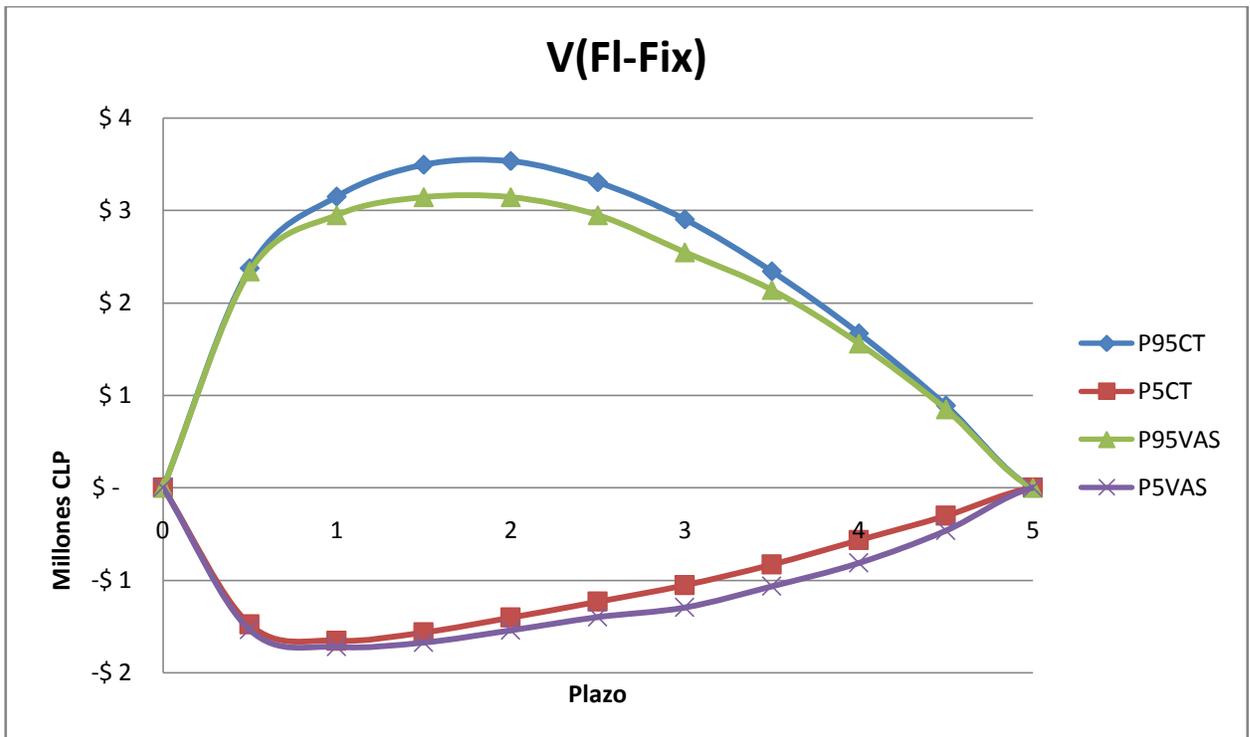
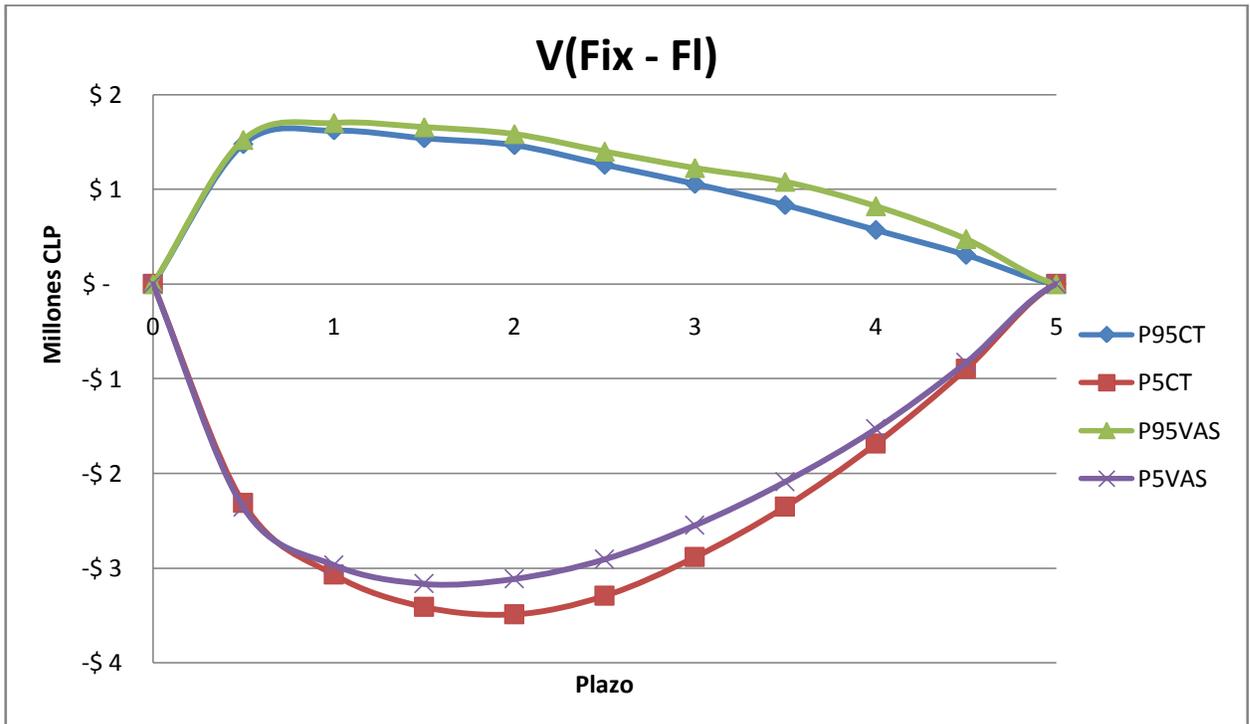


**E. Perfiles de riesgo de contraparte y mercado para swaps a lo largo de su vida según escenarios de volatilidad.**

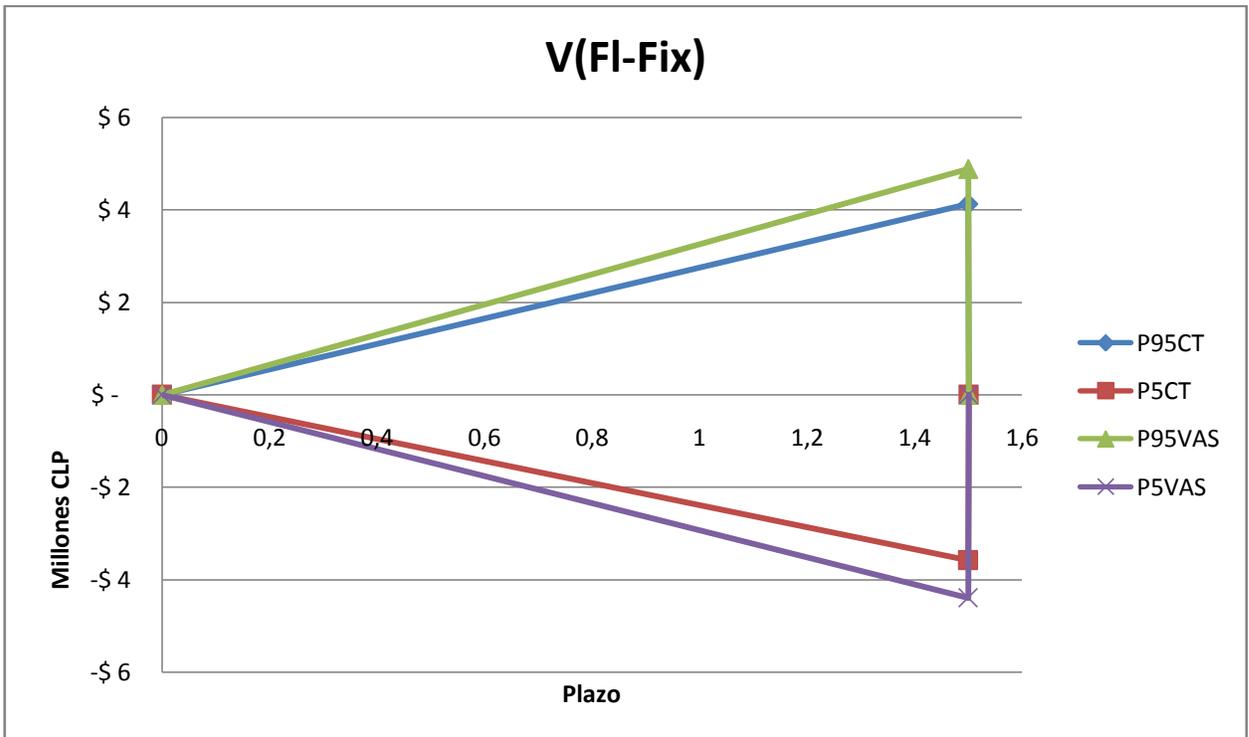
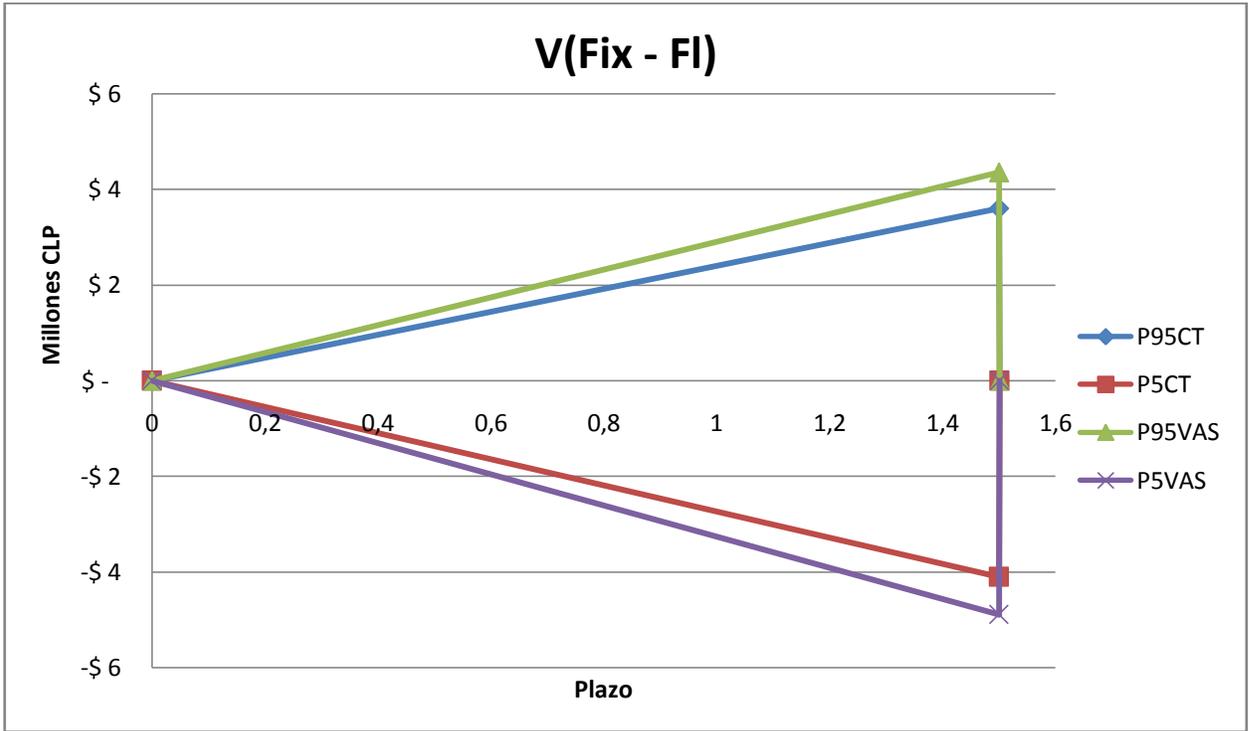
E.1. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 5 años plazo, bajo condiciones de alta volatilidad y según posición en el contrato.



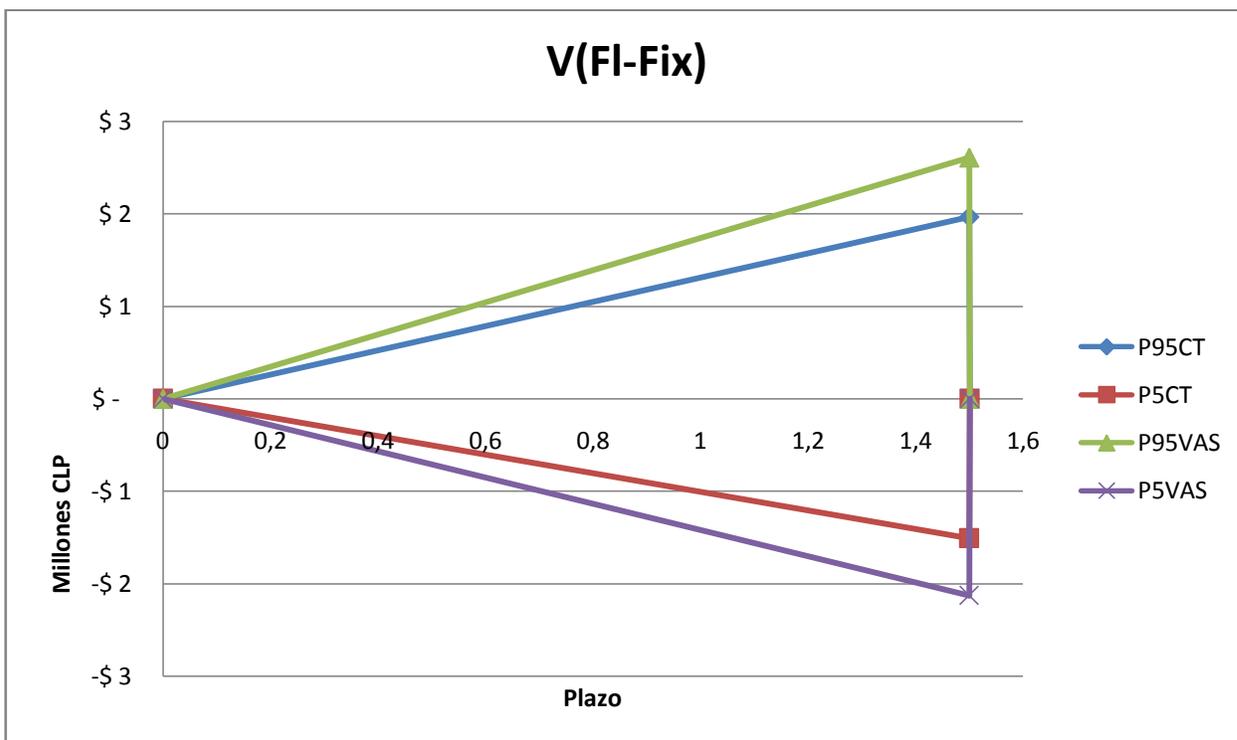
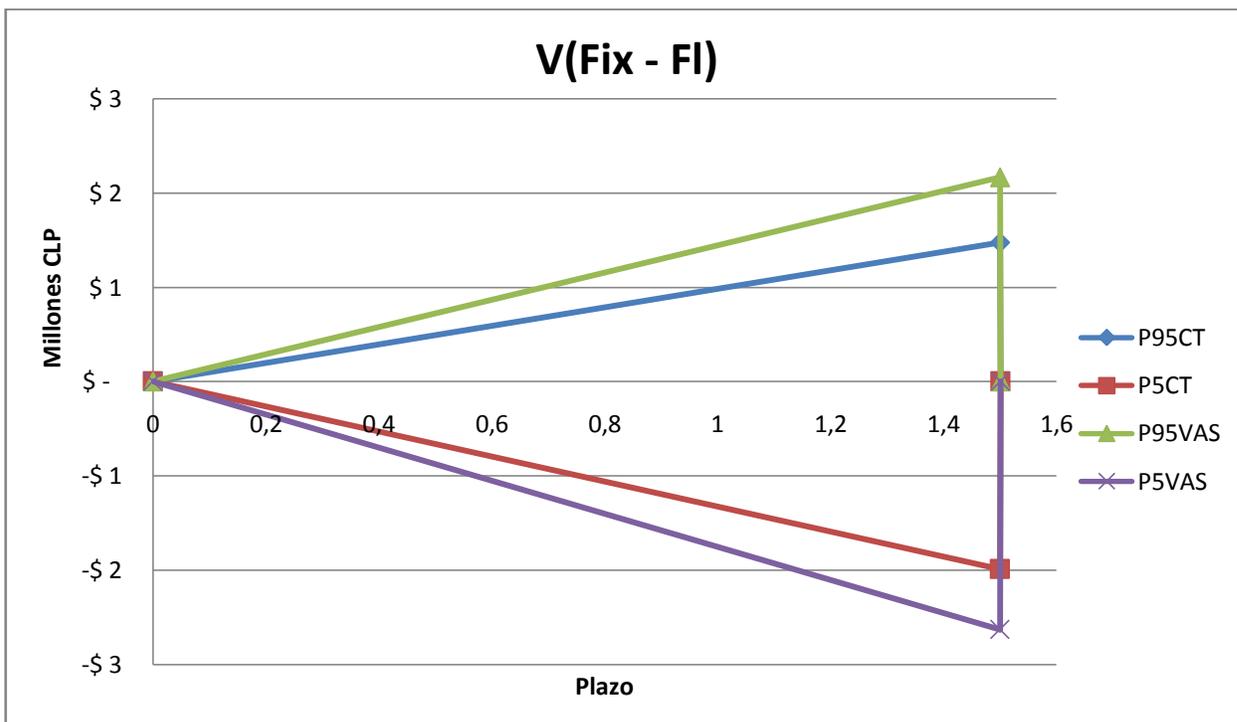
E.2. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 5 años plazo, bajo condiciones de baja volatilidad y según posición en el contrato.



E.3. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 1,5 años plazo, bajo condiciones de alta volatilidad y según posición en el contrato.

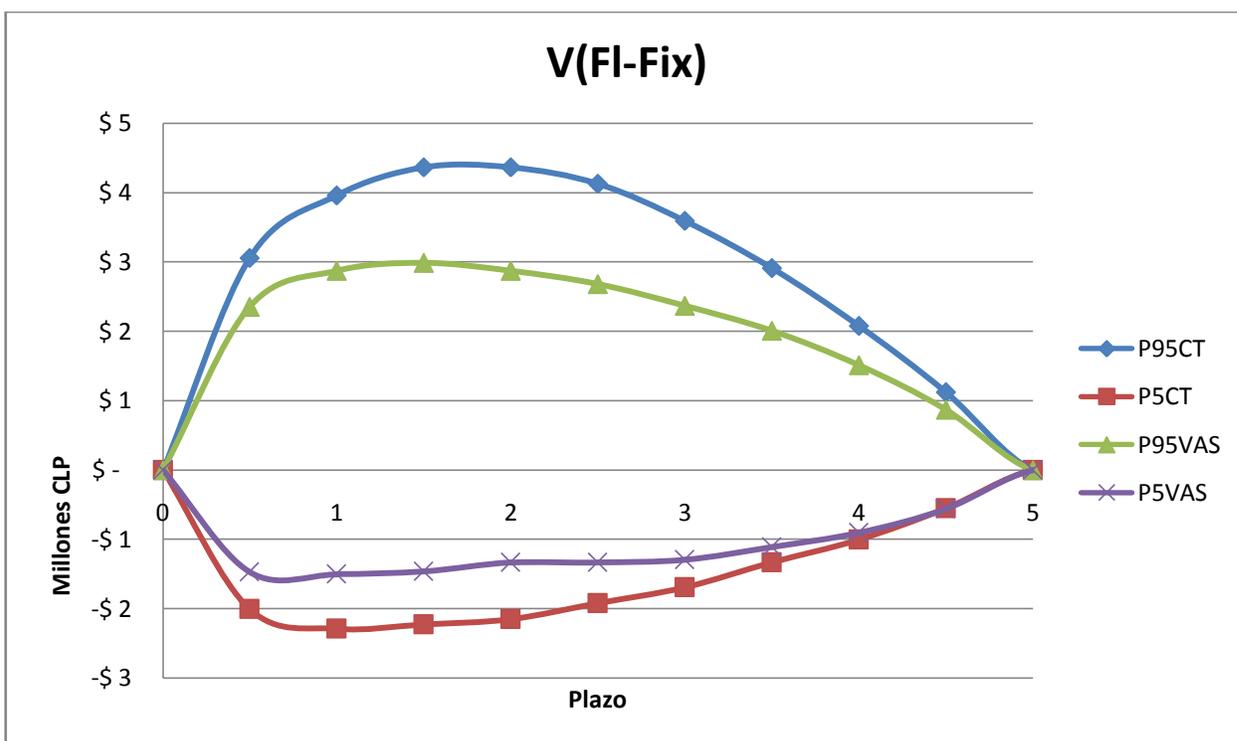
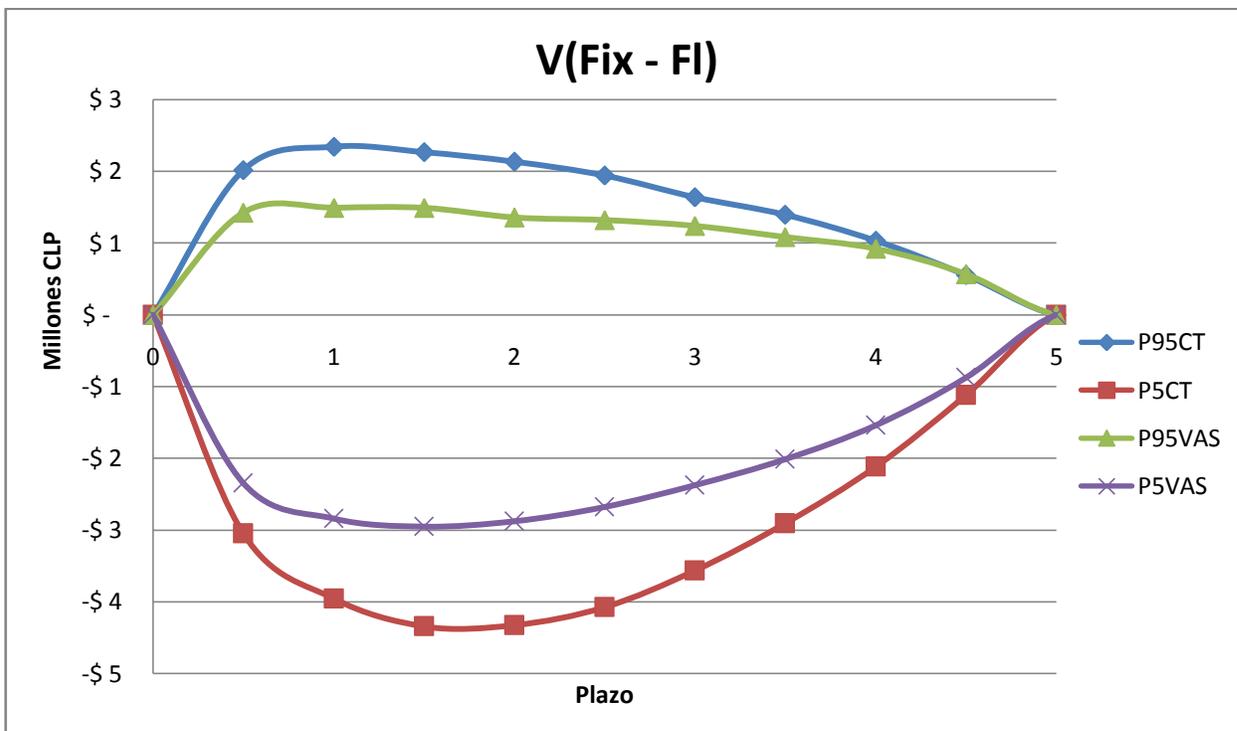


E.4. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 1,5 años plazo, bajo condiciones de baja volatilidad y según posición en el contrato.

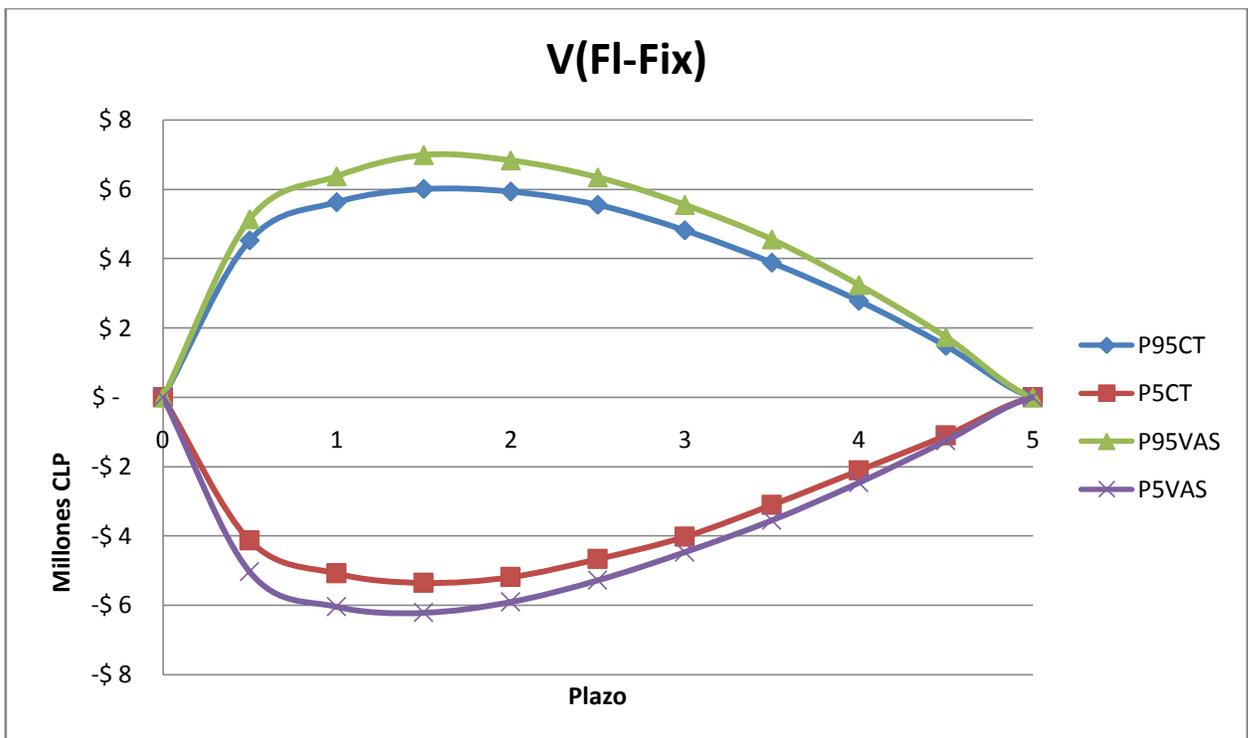
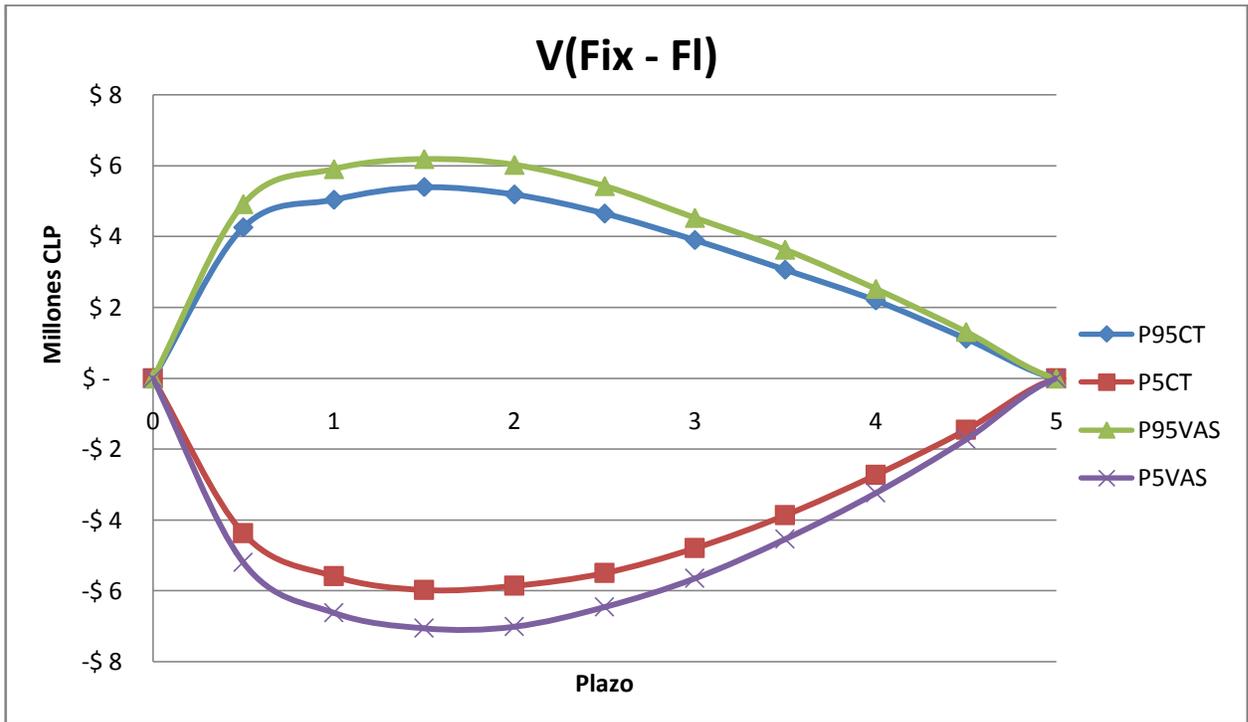


**F. Perfiles de riesgo de contraparte y mercado para swaps a lo largo de su vida según escenarios de velocidad de reversión.**

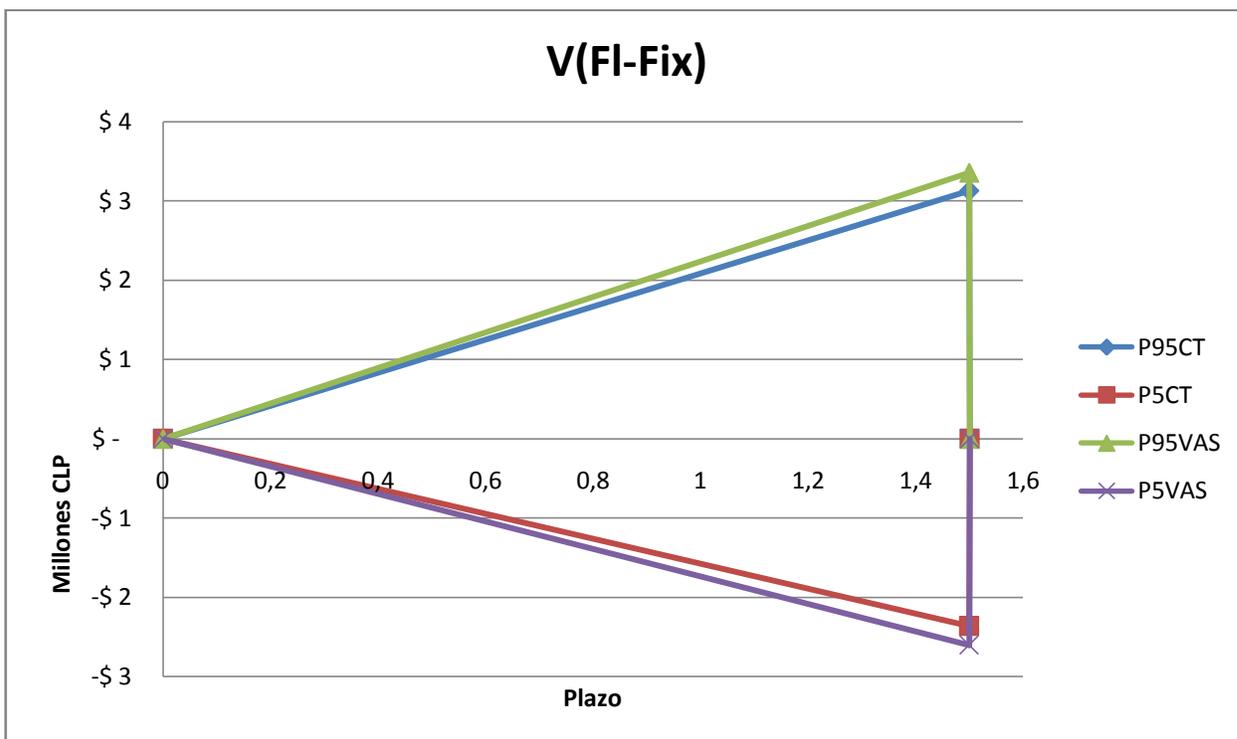
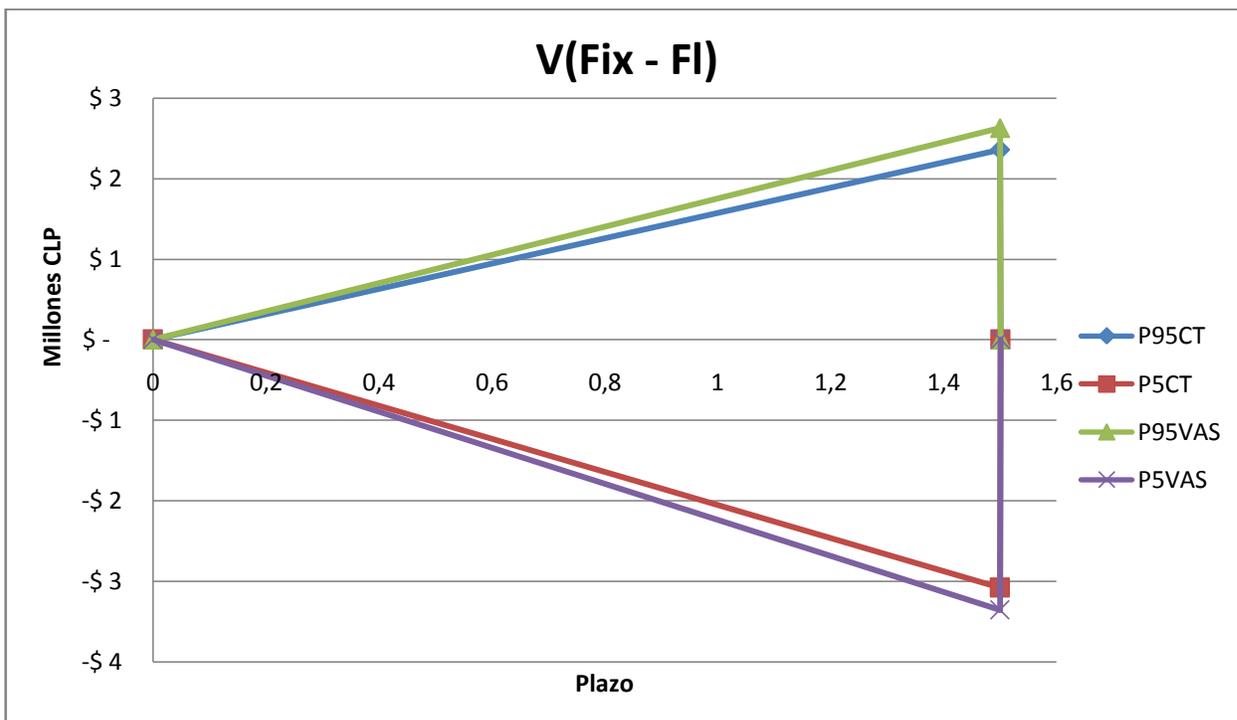
F.1. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 5 años plazo, bajo condiciones de velocidad de reversión rápida y según posición en el contrato.



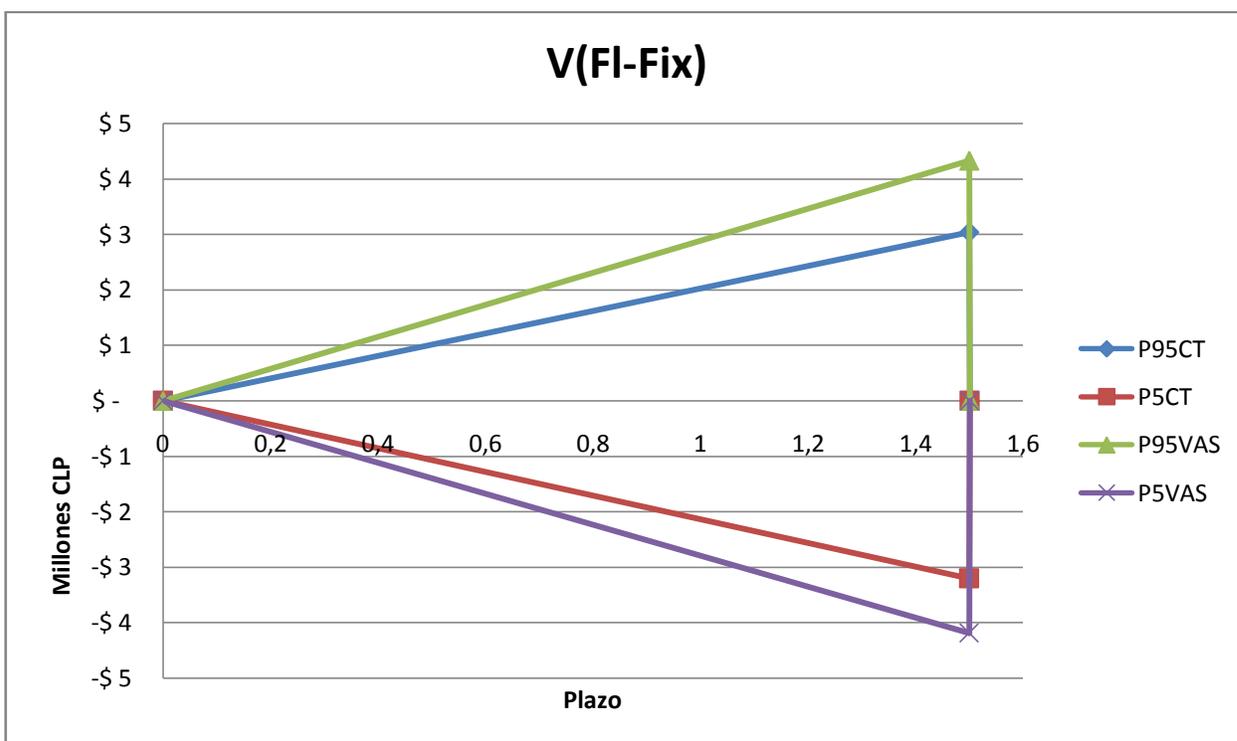
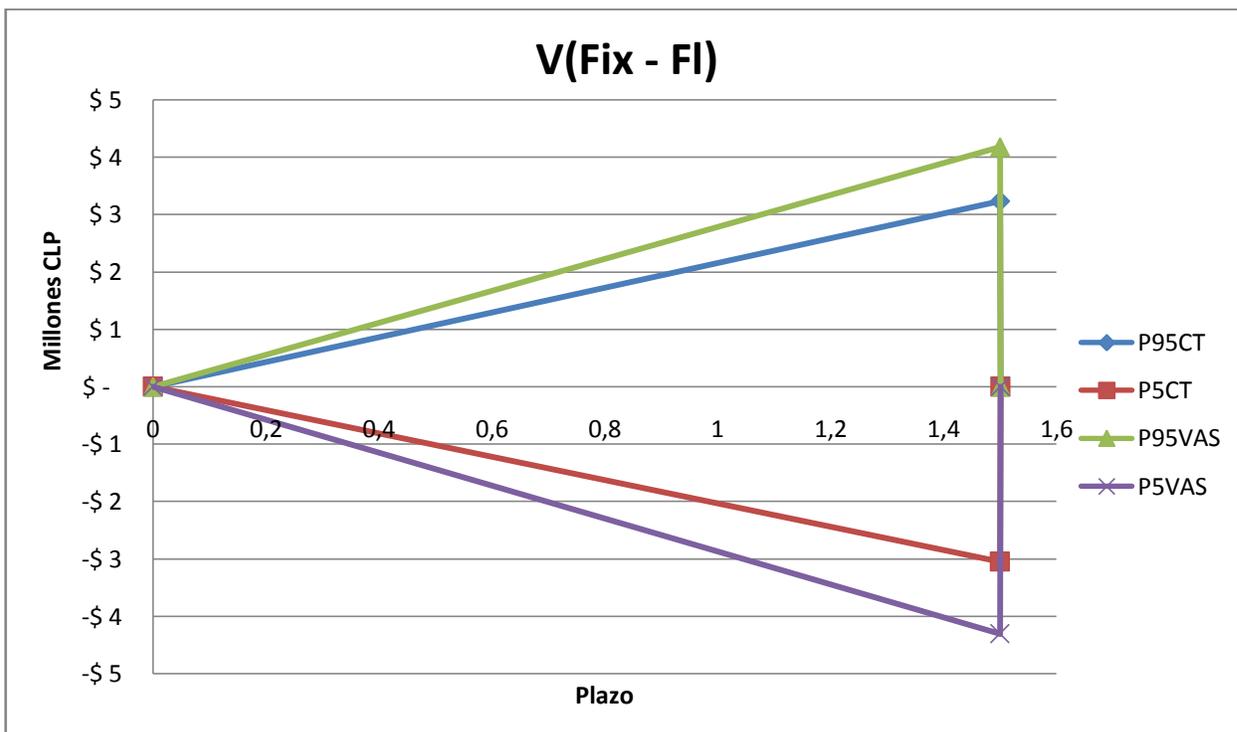
F.2. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 5 años plazo, bajo condiciones de velocidad de reversión lenta y según posición en el contrato.



F.3. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 1,5 años plazo, bajo condiciones de velocidad de reversión rápida y según posición en el contrato.

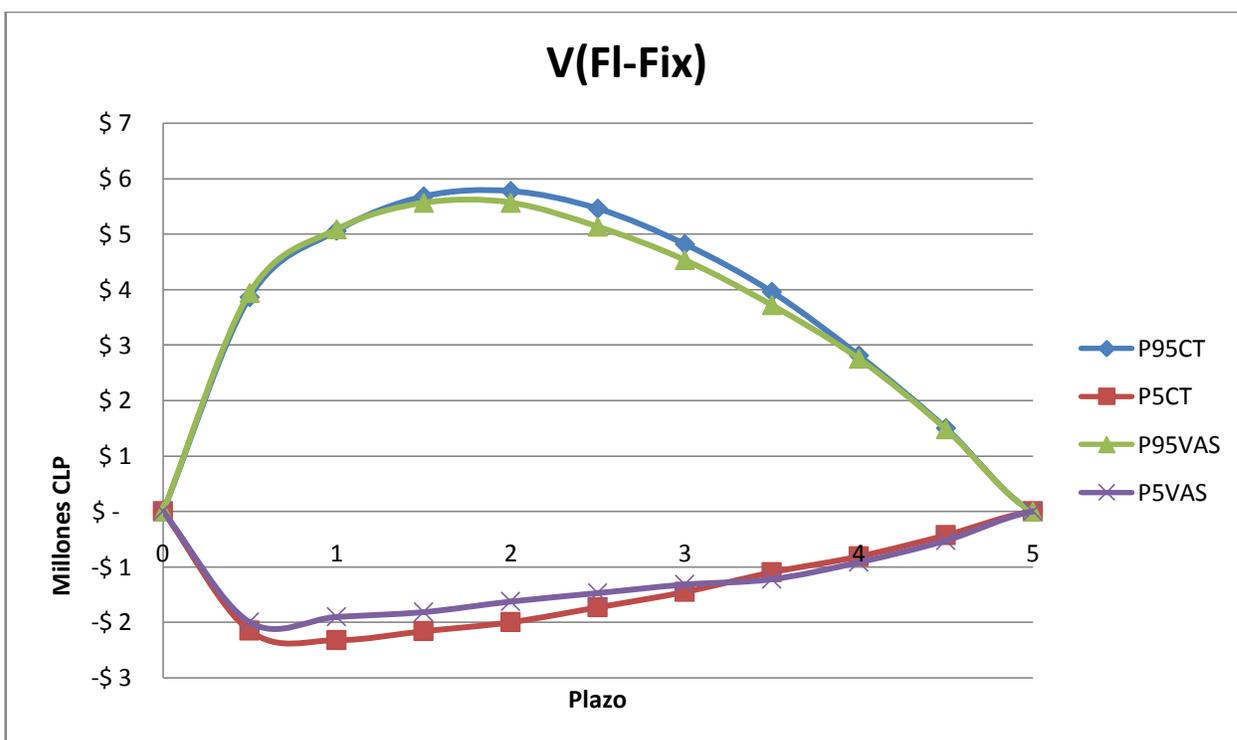
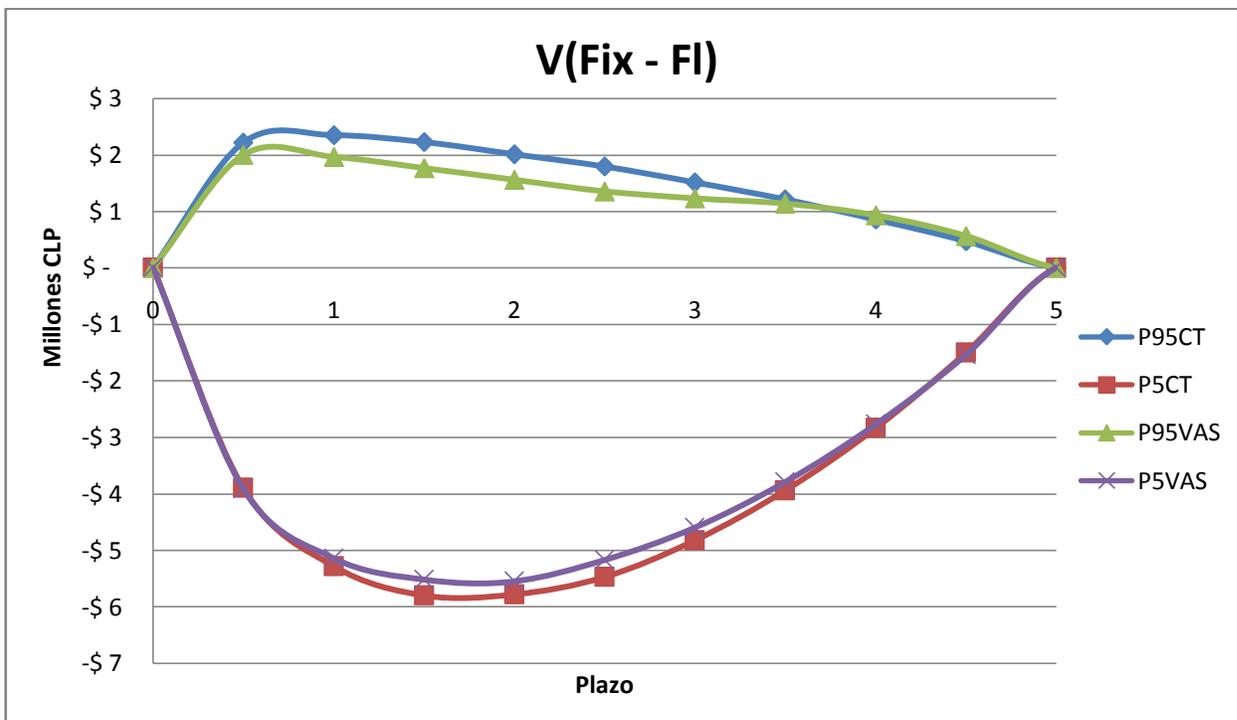


F.4. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 1,5 años plazo, bajo condiciones de velocidad de reversión lenta y según posición en el contrato.

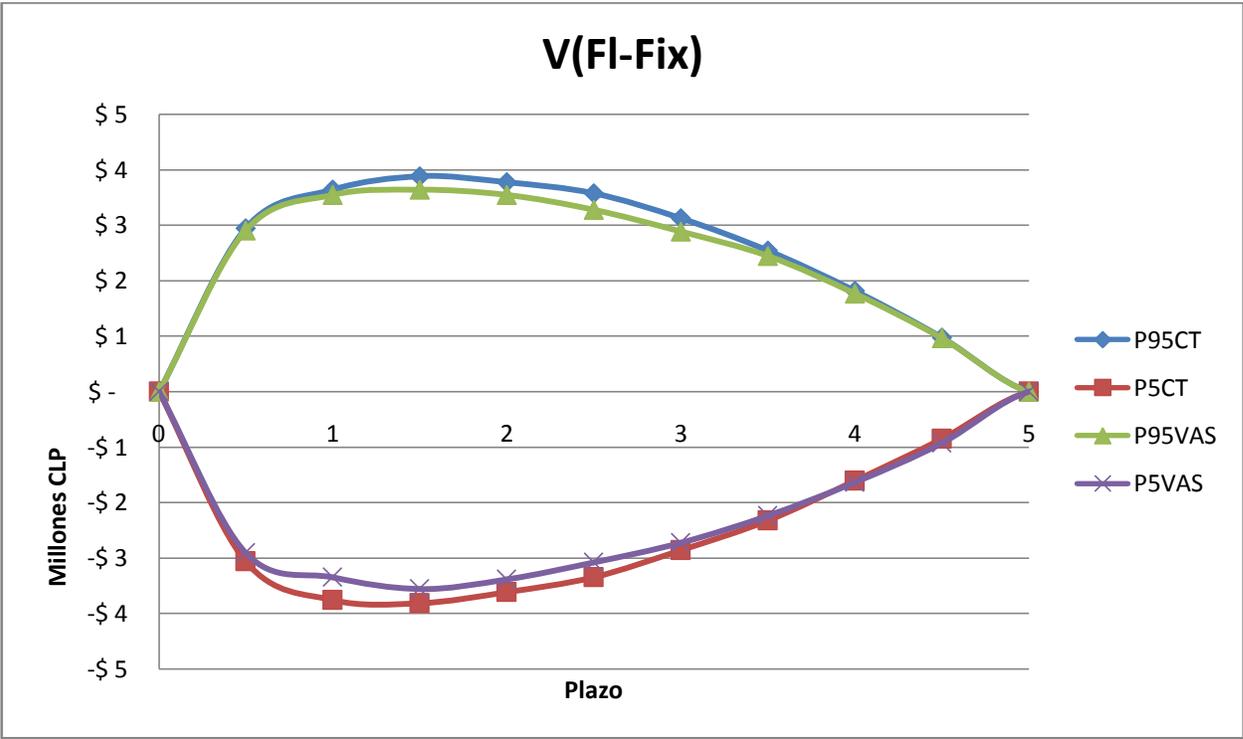
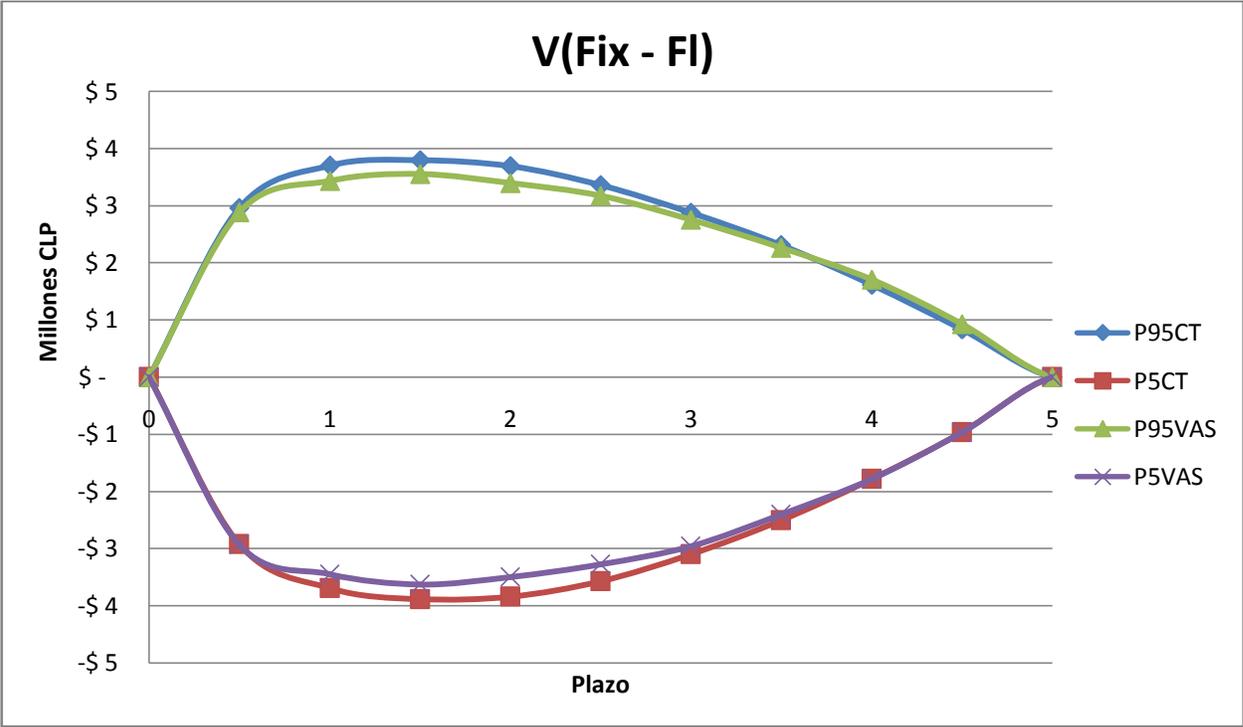


**G. Perfiles de riesgo de contraparte y mercado para swaps a lo largo de su vida según escenarios de premio por plazo.**

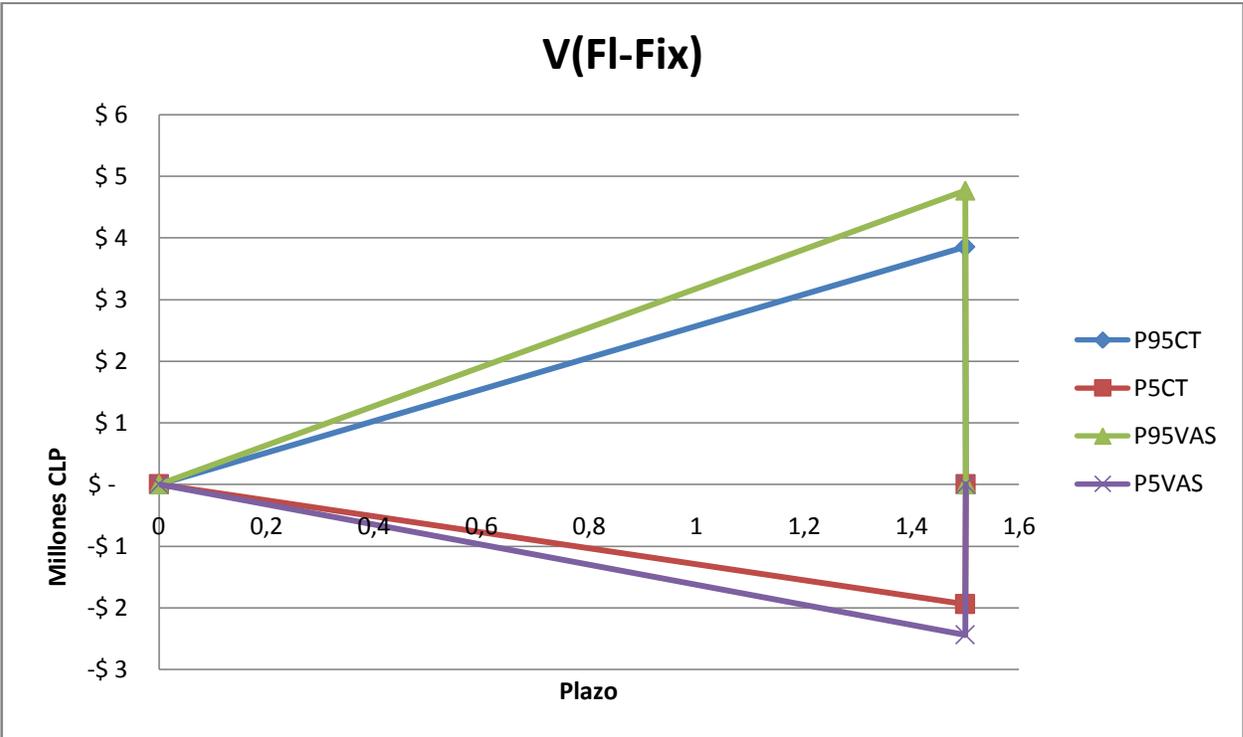
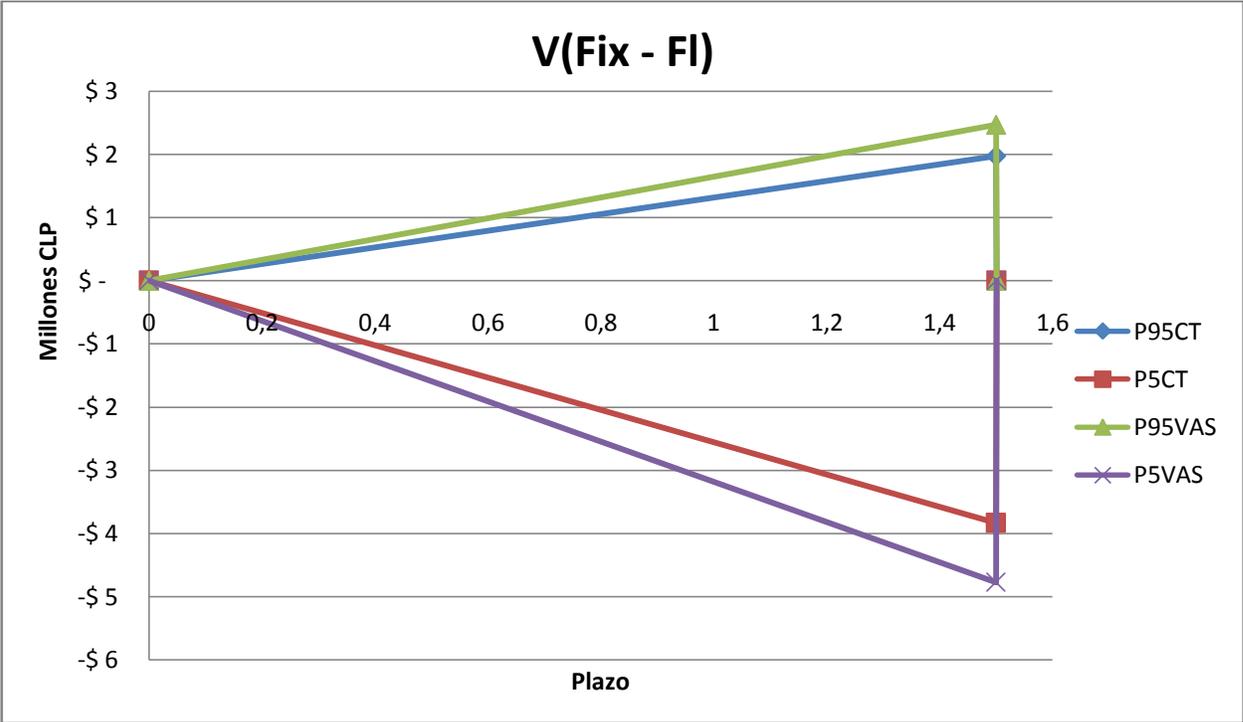
G.1. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 5 años plazo, bajo condiciones de alto premio por plazo y según posición en el contrato.



G.2. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 5 años plazo, bajo condiciones de bajo premio por plazo y según posición en el contrato.



G.3. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 1,5 años plazo, bajo condiciones de alto premio por plazo y según posición en el contrato.



G.4. Perfil de riesgo para swap SPC-\$ a 1,5 años plazo, bajo condiciones de bajo premio por plazo y según posición en el contrato.

