



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**CAMBIOS EN EL MERCADO DE SWAPS CHILENOS: LA NECESIDAD DE
AJUSTARSE AL COLATERAL EN DÓLARES**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE OPERACIONES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL

DANIELA VALDOVINOS BEDWELL

PROFESOR GUÍA:
JOSÉ MIGUEL CRUZ GONZÁLEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
PABLO RODRÍGUEZ ELORZA
RICHARD WEBER HAAS

SANTIAGO, CHILE
2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE OPERACIONES
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL
POR: **DANIELA VALDOVINOS BEDWELL**
FECHA: 2020
PROF. GUÍA: JOSE MIGUEL CRUZ GONZÁLEZ

CAMBIOS EN EL MERCADO DE SWAPS CHILENOS: LA NECESIDAD DE AJUSTARSE AL COLATERAL EN DÓLARES

El propósito de esta tesis es estudiar como cambiaron las tasas de valorización del Swap Promedio Cámara¹ luego de la incorporación de colaterales en dólares a este producto a mediados del año 2017.

Este cambio en el mercado de swaps chileno genera la necesidad de desarrollar nuevas metodologías de valorización de este derivado, con el fin de evitar posibles arbitrajes como ocurrió en el mercado internacional durante la crisis sub prime. Es por esto que se propone una metodología para construir las curvas del SPC CLP en las situaciones actuales.

Con el objetivo de demostrar que esta metodología genera un ajuste correcto se desarrolla un método de cálculo de las tasas en dólares de este mismo swap en los momentos en donde no había colateralización de ningún tipo. Se espera que el método propuesto realice un buen ajuste. Lo anterior se comprueba si se obtiene que la diferencias de las series construidas a partir de un swap originalmente sin colateral y uno con colateral se deben a las componentes utilizadas en el cálculo de estas tasas (ICP par swaps y basis de moneda) y no que el método de construcción sea el que genere un sesgo en las tasas recreadas en el pasado.

En función del análisis realizado, se obtiene que las tasas de descuento presentan una disminución del nivel en las series con colateral lo cual se explica por las variables de construcción, en donde bajan las tasas PAR swaps y aumentan los basis de moneda, específicamente los basis cámara Libor 6M que representan en parte el riesgo país. Además, se observa una leve disminución de la volatilidad de las tasas de descuento lo cual se debe a las mismas variables anteriores y no al método de construcción que representa volatilidades iguales en ambas series.

En base a los resultados obtenidos por esta tesis se concluye que las metodologías propuestas son consistentes y logran recrear las tasas del Swap Promedio Cámara con colateral en dólares correctamente en el pasado sin producir sesgos e inconsistencias en las series. Por lo tanto, la metodología de construcción de tasas propuesta se puede utilizar para calcular las tasas del SPC CLP con colateral en dólares en la actualidad.

¹ Se abrevian SPC CLP

*A Irma, mi abuela,
por ser la mujer más fuerte
e inspiradora que he conocido.*

Agradecimientos

Finalizando mi experiencia universitaria me gustaría comenzar agradeciendo a mis padres Claudia y Roberto ya que ellos me han dado todo el apoyo necesario desde pequeña, enseñándome a perseguir mis sueños y luchar por ellos. También a mis hermanas, a Carolina por ser una referente para mi e inspirarme enormemente en todo lo que hace, a pesar de los miles de kilómetros que nos separan nunca deje de sentir su apoyo y compañía. A Amanda por acompañarme durante esta etapa y darme siempre su apoyo a pesar de las peleas que hayamos podido tener. Fue muy importante durante esta etapa tener una hermana presente con quien acompañarnos.

También quiero agradecer al resto de mi familia quienes han sido muy importantes en este proceso: a mis tíos, primos, sobrino y abuelos ya que a pesar de ser una pequeña familia siempre hemos sido muy unidos y he sentido el apoyo de cada uno de ellos en esta etapa y a lo largo de toda mi vida. Quiero agradecer especialmente a mi abuela Irma ya que ella fue un gran pilar en mi vida y en la de mi familia, una mujer muy fuerte que les inculcó a mi mamá y tío desde pequeños lo importante de estudiar y seguir las metas que nos proponemos aunque ella no haya podido hacer lo mismo.

Quiero agradecer a mis amigas del colegio quienes siguen conmigo hasta el día de hoy y con las cuales puede compartir alegres momentos durante estos años. También a los amigos que formé durante la universidad, a los que hice en plan común que siguen hasta el día de hoy y a quienes conocí mas adelante en la carrera pero que han sido un apoyo importante. Fue muy importante tener amigos con quienes poder estudiar y también salir pudiendo escaparnos un poco del estrés universitario.

Finalmente, quiero agradecer a quienes hicieron posible la realización de esta tesis, especialmente a mi profesor guía José Miguel quien fue un gran apoyo desde el comienzo dándome un tema de tesis y guiándome en todo este proceso, dándome comentarios de forma oportuna e insertándome en el mundo de las finanzas que tanto me apasiona. También quisiera agradecer a Cristóbal, quien me apoyó en la parte técnica estando dispuesto a resolver mis dudas en todo momento y con muy buena disposición.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
2. Antecedentes históricos	2
2.1. Colaterales	3
2.2. Goldman Sachs y el arbitraje del mercado	6
2.3. Situación actual chilena	9
3. Mercado de swaps en Chile	10
3.1. Definición de Swaps	10
3.2. Mercado de dólares en Chile	12
3.3. Swaps Promedio Cámara	13
4. Desafíos en la construcción de curvas swaps	15
4.1. Literatura cálculo swaps en el mercado internacional	16
4.1.1. Swaps sin colateral	17
4.1.2. Swaps con colateral	17
4.1.3. Swaps colateralizado en moneda extranjera	19
4.2. Cálculo curvas cero	20
4.2.1. Bootstrapping	21
4.2.2. Dual curve stripping	22
4.3. Método propuesto de construcción de curvas del SPC CLP con CSA en USD	23
4.3.1. Construcción curvas mercado con colateral en dólares	25
4.3.1.1. Curva Cero del costo de oportunidad asociado al CSA en dólares para el SPC CLP	25
4.3.1.2. Curva de proyección de los flujos flotantes en pesos con colateral	26
4.3.2. Construcción curvas en el mercado SPC CLP sin colateral	26
4.3.2.1. Curva de proyección de flujos flotantes en pesos sin colateral	26
4.3.2.2. Tasas de descuento de flujos en pesos con colateral en dólares ficticio	27
5. Evidencia empírica en el cambio del mercado de swaps chilenos	28
5.1. Cálculo tasas en el mercado chileno	28
5.2. Definición del problema	31
5.3. Análisis del nivel de tasas de descuento	33
5.3.1. Análisis nivel PAR swap rates	35
5.3.2. Análisis nivel basis de moneda	36
5.3.2.1. Basis Cámara vs Libor 6M	39

5.3.2.2.	Basis Libor 6M vs Libor 3M	40
5.3.2.3.	Basis Libor 3M vs OIS	41
5.3.3.	Análisis nivel tasas mercado	42
5.3.4.	Análisis nivel métodos de construcción	43
5.4.	Análisis de volatilidad	46
5.4.1.	Análisis volatilidad PAR swaps	49
5.4.2.	Basis moneda	51
5.4.2.1.	Basis Libor 3M vs OIS	53
5.4.2.2.	Basis Libor 6M vs Libor 3M	55
5.4.2.3.	Basis Cámara vs Libor 6M	57
5.4.2.3.1.	Libor 6 meses	60
5.4.2.3.2.	Basis ICP-L6 calculados	62
5.4.3.	Análisis volatilidad tasas mercado	64
5.4.4.	Análisis volatilidad métodos de construcción	66
5.4.5.	Descomposición de Taylor	68
6.	Conclusiones	71
	Bibliografía	73
	Anexo A. Tasas SPC CLP en el mercado chileno	75
	Anexo B. Modelos ARIMA	76
	Anexo C. Volatilidad	78

Índice de Tablas

4.1.	Tasas PAR ICP	21
5.1.	Promedio diferencias valor presente SPC 5 años.	30
5.2.	Promedio diferencias valor presente ICP.	30
5.3.	Promedio tasas de descuento.	33
5.4.	Test de medias tasas de descuento 5 años	33
5.5.	AIC series ARIMA tasas de descuento sin colateral.	34
5.6.	AIC series ARIMA tasas de descuento con colateral.	34
5.7.	Series ARIMA tasas de descuento.	34
5.8.	Promedio tasas de descuento.	35
5.9.	Test de medias tasas ICP	36
5.10.	Series ARIMA par swap rates.	36
5.11.	Promedio basis de moneda.	37
5.12.	Test de medias basis de moneda.	37
5.13.	Series ARIMA basis de moneda.	38
5.14.	Serie ARIMA(0,1,1) basis de moneda 3 años.	38
5.15.	Correlaciones entre basis de moneda y sus componentes.	38
5.16.	Variaciones basis de moneda por componentes	39
5.17.	Promedio basis Cámara vs Libor 6M.	39
5.18.	Series ARIMA basis Cámara vs Libor 6M.	40
5.19.	Promedio basis Libor 6M vs Libor 3M.	40
5.20.	Series ARIMA basis Libor 6M vs Libor 3M.	41
5.21.	Promedio basis Libor 3M vs OIS.	41
5.22.	Series ARIMA basis Libor 3M vs OIS.	42
5.23.	Promedio tasas mercado: Fondeo, BCU y BCP.	43
5.24.	Test de medias variables de mercado.	43
5.25.	Series ARIMA basis Libor 3M vs OIS.	43
5.26.	Promedio y desviación tasas SPC con dos métodos de cálculo.	44
5.27.	Test de medias dos métodos de cálculo tasas de descuento.	45
5.28.	Serie AR(1) tasas descuento dos métodos de cálculo.	45
5.29.	Desviación estándar tasas de descuento (%)	47
5.30.	Test homogeneidad de varianzas	47
5.31.	Media modelos volatilidad móvil tasas de descuento (%)	48
5.32.	Varianza tasas de descuento series ARMA	48
	49table.caption.60	
5.34.	Desviación estándar ICP par swaps (%)	50
5.35.	Test homogeneidad de varianzas ICP par swaps	50
5.36.	Media modelos desviación móvil ICP PAR swaps (%)	51

5.37.	Varianza tasas ICP series ARMA	51
5.38.	Desviación estándar basis de moneda totales.	52
5.39.	Media modelos desviación móvil basis moneda.	53
5.40.	Volatilidad modelos ARMA basis de moneda	53
5.41.	Desviación estándar basis Libor 3M vs OIS.	54
5.42.	Media modelos desviación móvil basis L3 vs OIS.	55
5.43.	Volatilidad modelos ARMA basis de moneda	55
5.44.	Desviación estándar basis Libor 6M vs Libor 3M	56
5.45.	Media modelos desviación móvil basis L6 vs L3.	57
5.46.	Volatilidad modelos ARMA basis L6 vs L3.	57
5.47.	Desviación estándar basis Cámara Libor.	58
5.48.	Test homogeneidad de varianzas basis Cámara Libor.	58
5.49.	Media modelos EWMA basis Cámara vs L6.	59
5.50.	Volatilidad modelos ARMA basis cámara libor 6m	59
5.51.	Desviación estándar Libor 6M (%)	60
5.52.	Media modelos volatilidad Libor 6M (%)	61
5.53.	Volatilidad modelos ARMA libor 6m (%)	61
5.54.	Desviación estándar basis ICP - L6 calculados vs basis broker.	62
5.55.	Media modelos volatilidad Libor 6M.	63
5.56.	Volatilidad modelos ARMA basis cámara Libor calculados.	63
5.57.	Media modelos EWMA volatilidad tasas mercado (%)	65
5.58.	Volatilidad modelos ARIMA tasas mercado.	65
5.59.	Desviación estándar diferencias tasas descuento dos métodos de construcción.	67
5.60.	Media desviación móvil diferencias tasas descuento dos métodos de construcción	67
5.61.	Volatilidad series ARMA dos métodos de construcción.	68
5.62.	Volatilidad descomposición de Taylor	69
C.1.	Matriz covarianza aproximación de Taylor sin colateral (bp).	82
C.2.	Matriz covarianza aproximación de Taylor con colateral (bp).	82

Índice de Ilustraciones

2.1.	Impacto del colateral en la exposición del derivado.	5
2.2.	Basis spread Libor - OIS antes y durante la crisis.	7
2.3.	Basis EUR/USD.	8
3.1.	Interest Rate Swaps en Chile.	14
4.1.	Aproximación de Taylor diferencias tasas de descuento.	27
4.2.	Aproximación de Taylor diferencias tasas de descuento.	27
5.1.	Tasas descuento sin colateral y con colateral en dólares.	28
5.2.	Tasas cero para descontar flujos sin colateral y con colateral en dólares.	29
5.3.	Diferencias valor presente del swap de 5 años.	30
5.4.	Tasas descuento colateralizadas en dólar.	32
5.5.	Diferencias diarias tasas de descuento	32
5.6.	Par swap rates.	35
5.7.	Basis de moneda hasta 5 años.	37
5.8.	Basis Cámara Libor 6M hasta 5 años.	39
5.9.	Basis Libor 6M vs Libor 3M hasta 5 años.	40
5.10.	Basis Libor 3M vs OIS hasta 5 años.	41
5.11.	Tasas mercado.	42
5.12.	Tasas SPC con dos métodos de cálculo.	44
5.13.	Diferencias tasas SPC con dos métodos de cálculo.	45
5.14.	Diferencia tasas descuento 5Y	46
5.15.	Desviación móvil tasas descuento 2 y 5 años.	47
5.16.	Desviación móvil tasas descuento 10 y 15 años.	48
5.17.	Diferencias ICP PAR 5Y años.	49
5.18.	Modelos desviación móvil ICP 2 y 5 años.	50
5.19.	Diferencias basis moneda 5 años.	52
5.20.	Modelo volatilidad desviación 30 días basis moneda 2 y 5 años.	52
5.21.	Diferencias basis Libor 3M vs OIS 5 años.	54
5.22.	Modelo volatilidad desviación 30 días basis L3 vs OIS 2 y 5 años.	55
5.23.	Diferencias basis Libor 6M vs Libor 3M 5 años.	56
5.24.	Modelo volatilidad desviación 30 días basis L6 vs L3 2 y 5 años.	57
5.25.	Diferencias basis Cámara vs Libor 6M de 5 años.	58
5.26.	Modelo volatilidad EWMA basis cámara Libor 6m 2 y 5 años.	59
5.27.	Diferencias diarias Libor 6M de 5 años.	60
5.28.	Modelo volatilidad móvil Libor 6M 2 y 5 años.	61
5.29.	Diferencias basis calculados vs basis broker cámara Libor 5 años.	62
5.30.	Modelo volatilidad móvil basis ICP-L6 calculados vs basis broker 2 y 5 años.	63
5.31.	Modelos volatilidad BCP.	64

5.32.	Modelos volatilidad IPSA.	65
5.33.	Resumen hipótesis de volatilidad.	66
5.34.	Desviación móvil tasas de descuento con dos métodos de cálculo.	67
5.35.	Aproximación de Taylor diferencias tasas de descuento.	69
6.1.	Deuda/PIB y basis Cámara Libor 6M.	72
A.1.	Tasas descuento sin colateral y con colateral en dólares.	75
A.2.	Diferencias valor presente del swap.	75
C.1.	EWMA tasas descuento 5Y.	78
C.2.	GARCH tasas descuento 5Y.	78
C.3.	Retorno BCU.	79
C.4.	Retorno BCP.	79
C.5.	Retorno tasas fondeo 10 años.	80
C.6.	Retorno IPSA.	80
C.7.	Modelos volatilidad BCU.	81
C.8.	Modelos volatilidad tasas fondeo 10Y.	81
C.9.	Modelo desviación 30 días basis cámara Libor 6M.	82

Capítulo 1

Introducción

Luego de la crisis sub-prime el mercado OTC¹ presencié cambios importantes, siendo uno de ellos el aumento en la utilización de colaterales en los derivados financieros para disminuir el riesgo de contraparte y riesgo de crédito. Esto ocurrió de igual forma en Chile, en donde los Swap Promedio Cámara en pesos se comenzaron a colateralizar en dólares. En esta tesis se analizará específicamente el cambio en las tasas de descuento las cuales presentan una bajada importante luego del cambio del colateral debiendo ajustarse al nuevo mercado.

Los objetivos de la presente tesis son entender el cambio ocurrido en el mercado y la forma de construcción de curvas para valorizar estos swaps. Para esto se propone una metodología con la cual se construyen las curvas de descuento y proyección del swap con colaterales en dólares desde el 2017 y se desarrolla un metodología para recrear este mismo mercado en las fechas en donde los SPC CLP² no tenían colaterales. Dentro de los objetivos también se encuentra analizar los cambios en las tasas de descuento construidas en las series sin colateral y con colateral para entender los cambios en la volatilidad y nivel de éstas, descartando la hipótesis de que estos cambios se deben a los dos métodos de construcción (método de cálculo de tasas en el mercado con colaterales originalmente en dólares y cálculo de tasas en el mercado con colateral en dólares) que pudieran generar sesgos en las tasas.

La tesis se estructura de la siguiente forma. En el capítulo 2 se describen los antecedentes históricos que enmarcan el contexto de la tesis, en el capítulo 3 se explica el funcionamiento del mercado de swaps internacional y chileno, el capítulo 4 describe las metodologías de construcciones de curvas de forma genérica y las metodologías propuestas para la construcción de curvas en el mercado de Swaps Promedio Cámara en pesos con colateral en dólares en Chile, el capítulo 5 muestra los resultados obtenidos y por último el capítulo 6 concluye.

¹ El mercado de derivados Over The Counter (OTC) es un mercado secundario o de negociación, es el mayor mercado de derivados financieros, en donde las transacciones ocurren entre dos partes. Las transacciones se pueden presentar a una contraparte central o compensarlas bilateralmente. [13, Capítulo 1]

² SPC CLP viene de Swap Promedio Cámara en pesos. Este es un tipo de Swap del mercado chileno en donde la tasas nominal es el Índice Cámara Promedio (ICP) y los flujos son en pesos chilenos.

Capítulo 2

Antecedentes históricos

Entre los años 2007 a 2010 se produjo en Estados Unidos y en el mundo la crisis subprime, una de las mayores crisis financieras a nivel mundial. Esta crisis produjo grandes cambios en el mercado de derivados financieros, principalmente en la forma de gestionar el riesgo de crédito entre las contrapartes involucradas en los contratos. El mercado de derivados, específicamente el mercado OTC había tenido un gran aumento durante los 5 años anteriores al comienzo de esta crisis de aproximadamente un 30 % anual [15].

Durante la crisis se materializaron importantes pérdidas en el mercado de derivados, lo que mostró que el riesgo de contraparte era mayor al previsto el mercado OTC. Esto en parte se debió a que al ser un mercado poco regulado las barreras de entrada eran muy bajas y las contrapartes empezaron a utilizar estos derivados no solo como forma de protección si no también de especulación, lo que produjo un aumento del riesgo de estos instrumentos y mayor incertidumbre en sus precios [24]. Debido a esto se produjo una acumulación de pérdidas financieras y nace la preocupación por minimizar y mitigar los riesgos de crédito y de contraparte¹ en estas transacciones.

Uno de los problemas que ocurrían con los instrumentos OTC es que las valorizaciones no se realizaban adecuadamente, muchas veces se subestimaba el valor real de la transacción y del riesgo. Esto se producía debido a que se consideraba la existencia de una única tasa libre de riesgo: la Libor², la cual era utilizada como única curva al momento de valorizar los instrumentos sin poder reflejar correctamente los costos de oportunidad de éstos [24]. Hasta antes de la crisis este supuesto funcionaba bastante bien, siendo una buena aproximación de la tasa libre de riesgo³.

En este contexto, del aumento del riesgo de contraparte en los derivados OTC, aumenta la utilización de los “Credit Support Annex” (CSA), los cuales son acuerdos en los que se

¹ El riesgo de contraparte se aplica al mercado OTC, consiste el riesgo de que una contraparte caiga en default en una transacción [7].

² La Libor (London Interbank Offered Rate) es la tasa a la cual los bancos y grandes instituciones financieras están dispuestos a dar préstamos a los otros bancos a un plazo determinado, representa los costos de fondeo y de préstamos entre los bancos [25]. Esta tasa refleja la trayectoria esperada de la política monetaria y una prima por riesgo relacionada con el riesgo de crédito y liquidez entre otros.

³ En la sección 2.2 se explica a mayor detalle las formas en que se arbitró el mensaje debido a la utilización de tasas incorrectas.

utilizan colaterales⁴ para cubrir la exposición y así tener protección en caso de fluctuaciones del valor del derivado con reglas predefinidas en el CSA⁵. La utilización de colaterales tomó gran importancia, los cuales no solo son vistos como un instrumento capaz de reducir este riesgo sino también como un instrumento que permite tener acuerdos respecto a los valores de los derivados cuando todos los bancos tienen distintos costos de fondeo [24].

Es sumamente importante entender los costos de los derivados y las curvas utilizadas para su valorización, así se evitan pérdidas debido a costos que no fueron bien comprendidos en el proceso de valorización. Esta es la situación que ocurrió antes de la crisis, en donde como se mencionó anteriormente se utilizaba una única tasa para calcular y descontar los flujos. La utilización de una única tasa para la estructuración de un derivado produce que no se consideren las primas por riesgo adecuadamente y por lo tanto no se cobren, teniendo valores del derivado diferentes del valor real [24].

2.1. Colaterales

Uno de los riesgos principales que aumentó drásticamente durante la crisis fue el riesgo de contraparte, el cual corresponde al riesgo de que una contraparte caiga en default en una transacción en el mercado OTC. Este aumento en el riesgo se debe a que como se mencionó anteriormente los valores de los derivados no estaban siendo bien calculados, ya que no se consideraban las primas por riesgo de forma adecuada. Uno de los mecanismos muy utilizados para cubrirse frente a este riesgo son los colaterales.

Los colaterales son activos que se utilizan para cubrir el riesgo de contraparte y se tienen como una garantía en caso de que una parte caiga en default. Los colaterales más comunes son en efectivo pudiendo también ser activos, bonos u otros instrumentos según lo definan las contrapartes. [1, Capítulo 6] Se utilizan para compensar las exposiciones en caso de default, por esto se pueden entender como inversiones libres de riesgo [18].

Los colaterales se entregan de una parte a otra en función del MTM (Mark to Market o valor a mercado) de la cartera, debiendo pagar quien tiene un valor negativo la cantidad definida, y quien recibe el colateral debe pagar intereses a una tasa $c(t)$ a su contraparte sobre el colateral entregado. Como menciona Piterbarg [19] el valor de un derivado completamente colateralizado en todo momento es siempre cero, debido a que, al pagar por éste inmediatamente se devuelve la misma suma de dinero como colateral, y a medida que cambia el valor del derivado se vuelve a entregar colateral. Además es importante mencionar que quien recibe el colateral, solo es dueño de éste en caso de que su contraparte caiga en default y lo puede utilizar para cubrir las pérdidas relacionadas con el MTM de su portafolio.

Lo anterior se puede ejemplificar a partir de los siguientes flujos entre dos contrapartes A y B, donde $V(t)$ corresponde al valor del derivado en t y $c(t)$ la tasa de remuneración del colateral en t :

⁴ Los colaterales son activos que se utilizan como garantías para cubrir el riesgo de contraparte.

⁵ En estos acuerdos se definen los términos bajo los cuales ambas partes postéan colaterales. Los CSA y los colaterales se definen a mayor detalle en la sección 2.1

- A compra el derivado B, pagando $V(t)$ a la parte B.
- En ese mismo instante t , la parte B le entrega colateral igual al MTM de A, lo cual es el valor del derivado $V(t)$
- A debe devolver el colateral en $t + dt$ y pagar el interés sobre este colateral. Lo anterior genera un flujo de $V(t + dt) + V(t)c(t)$.
- Se debe generar un nuevo valor, considerando el valor de mercado actual de A: $V(t + dt)$, por lo que la parte B le debe entregar esa cantidad en colateral

Los flujos para A en $t + dt$ serían:

- $-V(t)(1 + c(t)dt) + V(t + dt)$
- $-V(t) - V(t)c(t)dt + V(t + dt)$
- $V(t + dt) - V(t) - V(t)c(t)dt$
- $dV(t) - c(t)V(t)dt$

Esto se resume en la siguiente ecuación:

$$V(t + dt) - V(t)(1 + c(t)dt) = dV(t) - c(t)V(t)dt \quad (2.1)$$

Donde, $V(t + dt)$ es el valor del derivado tras en el momento $t + dt$, $V(t)(1 + c(t)dt)$ es el interés que se paga del colateral entregado en t , $dV(t)$ corresponde a la diferencia del valor del instrumento entre los dos plazos y $c(t)V(t)$ es el interés pagado sobre el colateral que se entrego en t a la parte con MTM positivo.

No existe ninguna obligación legal de postear colaterales en los derivados OTC. No obstante, en los contratos ISDA⁶ es posible incluir un Credit Support Annex (CSA) que permite a las partes mitigar el riesgo de contraparte acordando postear colaterales y ciertos términos definidos en el acuerdo [1]. Por ejemplo, dentro de las condiciones definidas en los CSA se encuentran:

- **Métodos de las valorizaciones:** corresponden a las técnicas definidas entre ambas partes que serán utilizadas para calcular el valor presente de sus posiciones.
- **Cálculo de las cantidades de colateral a postear:** las contrapartes pueden decidir postear el 100 % del MTM del derivado o definir métricas sobre las cuales se posteará una parte del MTM como colateral.
- **Tipos de colateral:** existen distintos activos que pueden ser utilizados como colateral. El tipo más común de colateral es “cash”, pudiendo utilizarse también bonos, acciones o el tipo de activo que decidan las contrapartes.
- **Tasas de remuneración:** es la tasa de interés definida sobre la cual la parte que posee el colateral debe pagar intereses a la contraparte que postea éste.

⁶ ISDA (International Swaps and Derivatives Association) agrupa a los mayores actores del mercado de derivados.

- **Re-hipotecación:** corresponde a la reutilización del colateral. Es el derecho de utilizar el colateral recibido en otro acuerdo en donde también debe entregar colateral. Este aspecto se utiliza para tener eficiencias de fondeo.

Además se definen ciertas métricas sobre los colaterales como son:

- **Threshold:** es el valor de la cartera bajo el cual no se necesita postear colateral. Si el MTM está sobre el threshold la contraparte con exposición positiva deberá recibir colateral.
- **Margen inicial:** es la cantidad adicional de colateral que se debe postear independiente del MTM del derivado, generalmente se entrega antes del comienzo del derivado. Sirve como una seguridad ante ciertos riesgos como son el desfase en la recepción de los colaterales y los costos en los procesos de liquidación.
- **Cantidad mínima de transferencia:** es la cantidad mínima de colateral posteadada en caso de que se supere el threshold.

En la figura a continuación, se observa cómo varía la exposición de la cartera en función del colateral que entrega la contraparte. Como se observa en esta figura, si el MTM es positivo, por ende también la exposición, la contraparte con MTM negativo entrega la misma cantidad como colateral lo cual produce una disminución del MTM del derivado llegando a una exposición casi nula.

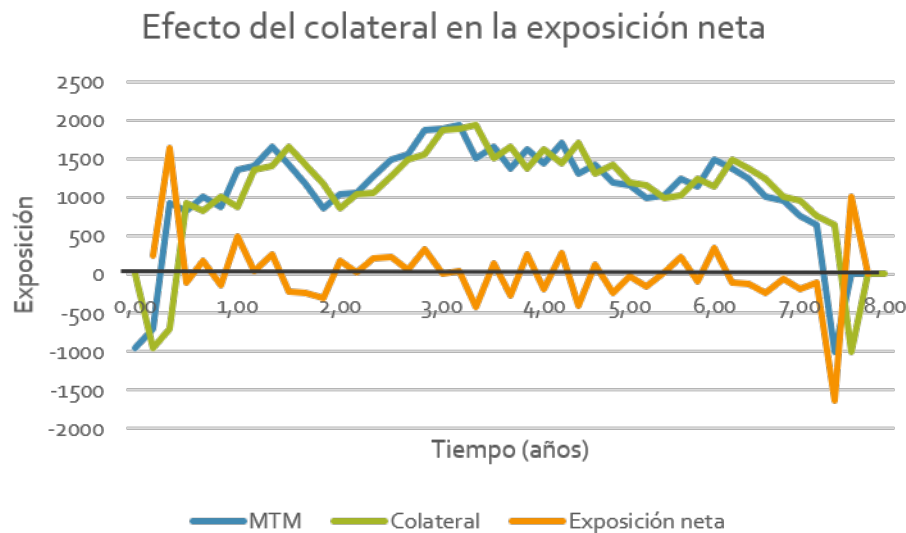


Figura 2.1: Impacto del colateral en la exposición del derivado.

Fuente: elaboración propia.

2.2. Goldman Sachs y el arbitraje del mercado

Uno de los grandes problemas al cual se enfrentó el mercado financiero antes y durante la crisis fue el arbitraje que realizaron las entidades que estaban calculando los valores de sus derivados de forma correcta, específicamente Goldam Sachs. Al no tomar en cuenta todos los riesgos del instrumento, se tienen diferencias en los valores calculados lo cual produce que entidades puedan aprovecharse de esta situación y tener beneficio. Esta situación es importante para reconocer lo esencial que es calcular los valores de las posiciones de forma adecuada, escogiendo correctamente las tasas de descuento y de proyección de flujos.

Esta sección toma como referencia el artículo “Goldman and the OIS gold rush” [6]. Como se menciona en el artículo el banco Goldman Sachs realizó una importante estrategia de arbitraje al mercado de derivados estadounidense antes y durante la crisis financiera que comenzó en el 2007.

A comienzos de los años 2000 esta institución se dió cuenta de que la valorización de los derivados se estaba realizando de forma incorrecta, ya que aquellos instrumentos que tenían incorporado un colateral se debían descontar con la tasa de remuneración del colateral (OIS) y no la tasa de construcción de los flujos flotantes, la cual era la Libor en la mayoría de los casos.

Debido a que el riesgo de la tasa OIS es menor que el de la Libor⁷ se obtenían precios del derivado que eran mayores que los calculados por el mercado con la tasa Libor. Es por esto que compraban las posiciones a precios levemente mayores a los del mercado y para los bancos parecía que tenían ganancias con estas transacciones.

En la figura (2.3) se observa el basis⁸ entre estas tasas antes y durante la crisis. Antes de la crisis financiera el problema de utilizar solo la curva Libor no generaba grandes pérdidas, ya que los basis eran bajos, siendo 6 basis points en enero del 2007. Sin embargo, mientras se fue desarrollando la crisis este basis llegó a 344 basis points en octubre del 2008, en donde las entidades financiera perdían grandes cantidades de dinero al utilizar una curva incorrecta de valorización.

⁷ La primera se calcula diariamente y es difícil que un banco caiga en default en el transcurso de un día, por lo que disminuye su riesgo.

⁸ El basis (o basis points) corresponde a la diferencia en puntos básicos entre dos tasas. La conversión utilizada para el cálculo de puntos básicos viene dada de la relación de que 1% corresponde a 100 puntos básicos, por lo que una diferencia de 0,5% sería 50 basis o puntos básicos.



Figura 2.2: Basis spread Libor - OIS antes y durante la crisis.

Fuente: elaboración propia.

La metodología de arbitraje de Goldman Sachs consistía en construir un portafolio de arbitraje de compra y venta aprovechándose de las tasas de valorización utilizadas en el mercado y generando ganancias a partir de esto. Compraban fondos cuyas contrapartes valorizaban con la tasa Libor, y ellos los valorizaban con tasa OIS que mostraba el costo de oportunidad del derivado, teniendo un valor mayor al cual los compraban. Luego vendían los mismos fondos al precio más alto que ellos calculaban teniendo una ganancia sin correr riesgos. De estas oportunidades de arbitraje, se considera un ejemplo que permite mostrar la operatoria involucrada. Se considera un fondo de 100 millones de dólares a un plazo de 10 años y tasas con composición lineal.

En primer lugar, se considera una situación en donde el basis entre las curvas es bajo siendo la tasa Libor solo 10 basis points superior a la OIS cuyos valores son 1,9% y 2% respectivamente.

- $VP_{OIS} = \frac{100}{(1+1,9\%*10)} = 84 \text{ millones USD}$
- $VP_{Libor} = \frac{100}{(1+2\%*10)} = 83,33 \text{ millones USD}$

En este caso el valor del derivado calculado con la tasa OIS es 0,67 millones de dólares superior, podían comprar el fondo a 83,5 millones en donde la contraparte creía que tenía una ganancia cuando no era así. Para materializar esta ganancia vendían el mismo fondo a otra entidad al precio calculado con la tasa OIS (84 millones USD) y generaban una ganancia de 0,5 millones USD sin tener ningún riesgo.

Esta situación empeoró drásticamente en plena crisis cuando se incrementó el basis entre las tasas. Se calcularán las diferencias de valor considerando la misma tasa OIS y una tasa Libor de 5%, 310 basis points mayor.

- $VP_{OIS} = \frac{100}{(1+1,9\%*10)} = 84 \text{ millones USD}$
- $VP_{Libor} = \frac{100}{(1+5\%*10)} = 66,7 \text{ millones USD}$

La diferencia entre ambos cálculos es de 17,3 millones de dólares siendo mucho mayor y para nada despreciable. En esta situación Goldman Sachs podía comprar el fondo a 70 millones de USD y estaría ganando 14 millones cuando su contraparte también creería que era una buena transacción siendo que estaba perdiendo una importante suma de dinero.

El arbitraje al mercado también se hizo aprovechándose de la opcionalidad de monedas en los colaterales. Como se ve en la figura a continuación, a partir del año 2007 el basis entre el euro y dolar cayó drásticamente, por lo que la mejor estrategia era recibir colaterales en dólares y pagar euros.

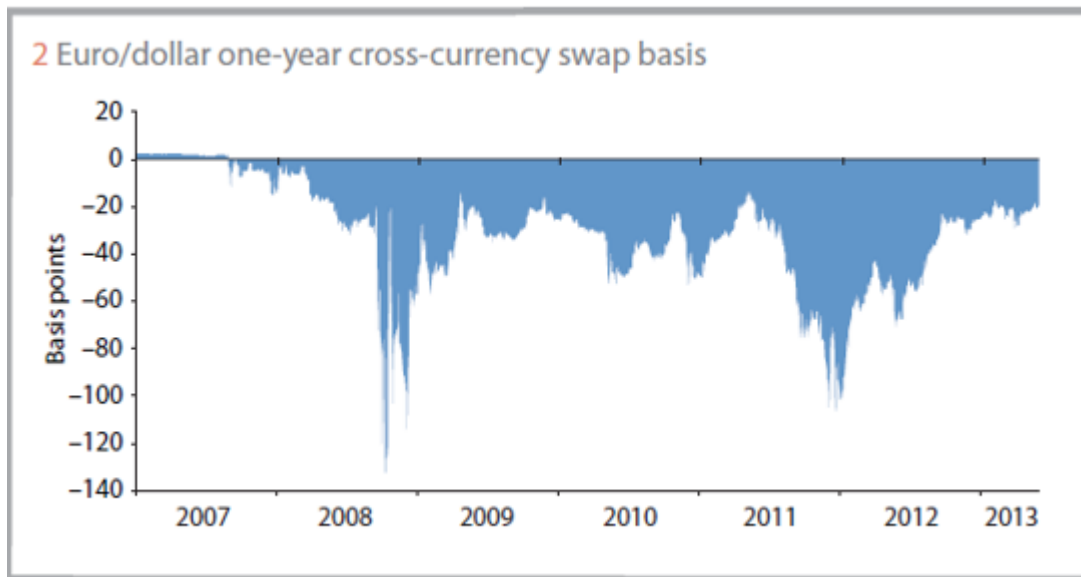


Figura 2.3: Basis EUR/USD.

Fuente: Piterbarg [19]

Se generaron estrategias en donde se aprovechaban de esta opcionalidad, pagando colaterales en euros y recibiendo dólares. Esto se realizó teniendo contratos en donde las contrapartes debían pagar dólares sin saber que esto era más costoso y Goldman Sachs levantaba fondos en euros a partir de los dólares obtenidos con lo que tenía una importante ganancia.

En base a estas estrategias de arbitraje generadas durante la crisis, Goldman Sachs fue capaz de ganar mil millones de dólares en el transcurso de solo 3 años.

2.3. Situación actual chilena

La situación actual chilena es similar a la situación internacional. De igual forma que en el resto de mundo se comenzaron a colateralizar los derivados. Esto con el fin de mitigar el riesgo de contraparte que había aumentando significativamente en los últimos años. Debido a lo anterior aumentó el uso de los CSA, los cuales reconocen el costo financiero generado por la mitigación del riesgo de contraparte [2]. Más aún, en los últimos años, desde mediados del 2017, se comenzaron a masificar los derivados en donde la moneda del colateral es el dólar estadounidense, siendo el costo de oportunidad del colateral la tasa “Fed Funds Rate”⁹ o tasa OIS¹⁰ en dólares.

El problema que ocurre con este cambio de CSA, que se discutirá durante esta tesis, es que la moneda de estructuración del derivado sigue siendo el peso chileno (CLP), no obstante el costo de oportunidad está asociado a una tasa en dólares. El costo de oportunidad de un swap esta asociado a la tasa de fondeo del derivado. En el caso de un SPC éste está colateralizado en dólares por lo que el costo de oportunidad está asociado a la tasa de remuneración del colateral que corresponde al levantamiento de dólares a tasa Fed funds Rate. Por esto es necesario transformar la tasa FED en dólares a una tasa en pesos equivalente, siendo necesario utilizar dos curvas distintas para valorizar los derivados chilenos produciéndose un basis spread entre ambas curvas. Históricamente estos basis como el cross currency basis¹¹ y el basis spread entre la OIS¹², y la Libor¹³ eran despreciables, sin embargo, desde el 2007 estos comenzaron a aumentar. Como se mencionará en capítulos posteriores esto justifica la necesidad de la utilización de dos curvas en Chile y en el mundo: una curva para calcular los flujos del swap y una curva distinta para descontar los flujos.

⁹ La tasa “Federal funds rate” (FED) es la tasa a la cual los bancos en Estados Unidos se cobran entre sí en préstamos de los fondos de la reserva nacional overnight

¹⁰ La tasa OIS (overnight indexed swap) es una tasa de interés no securitizada a la cual los grandes bancos se dan préstamos en el mercado overnight. Algunos ejemplos de tasas OIS son Fed Funds en Estados Unidos, EONIA en Europa y SONIA en el Reino Unido. [1]

¹¹ Un cross-currency basis spread representa el costo asociado a intercambiar temporalmente dos monedas [4].

¹² La tasa Overnight Index Swap (OIS) es una medida de las expectativas del mercado en las tasas overnight no garantizadas durante el plazo del contrato. El riesgo de default es muy bajo debido a que no hay intercambio de notional, los fondos se intercambian solo a la finalización del contrato en donde las partes se pagan los intereses mutuamente [25].

¹³ El basis spread entre la OIS y la Libor es una medida de estrés de las tasas interbancarias, reflejando la condición en que se encuentra el mercado financiero. Es un indicador del sistema financiero completo, con una importante componente asociada al riesgo de crédito y de default [8].

Capítulo 3

Mercado de swaps en Chile

Durante este capítulo se analizarán las curvas del Swap Cámara Promedio en pesos con CSA en dólares. Es por esto que, en primer lugar se introducirá al mercado de swaps de forma general, luego se explicará el mercado de dólares en Chile y por último se explicarán los términos que definen el mercado de swaps chilenos.

3.1. Definición de Swaps

Un swap es un acuerdo Over The Counter entre dos partes que intercambian flujos en el futuro. En el acuerdo se definen las fechas en las cuales se pagarán los flujos y la forma en como se calcularán [13, Chapter1]. Estos derivados son utilizados por los bancos e instituciones financieras como forma de cobertura de riesgos y para minimizar la incertidumbre sobre los pagos que se realizarán en el futuro.

Existen distintos tipos de swaps, en esta tesis se analizará uno de los “interest rate swaps” (IRS) más típicos chileno. Este es un contrato entre dos partes que se intercambian periódicamente pagos de intereses sobre un determinado notional definido entre ambas contrapartes. Estos swaps tienen dos piernas: la pierna fija y la pierna flotante. El pagador de tasa fija paga cupones periódicamente sobre una tasa fija predefinida y el pagador de tasa flotante paga intereses flotantes, en base a una tasa de referencia definida por las partes sobre el mismo notional que se calculan los pagos fijos [22, Chapter2].

Las curvas necesarias para el cálculo y valorización de un swap son las siguientes:

- **Curva PAR**

La curva PAR refleja las condiciones y expectativas de tasas del mercado en instrumentos de tasas de interés, en este caso los interest rate swaps. Esta curva es publicada diariamente por los brokers.

La tasa PAR para un periodo específico se calcula buscando la tasa cupón que hace que el valor de la pierna fija sea igual a su valor par (o notional). Se obtienen sumando todos los flujos fijos del bono en función de la tasa cupón, haciendo este valor igual al notional del bono. Esto corresponde a un swap de valor presente igual a cero. [13, Chapter4] Debido a que no hay instrumentos para cada periodo, la curva PAR se construye calculando las tasas para los tenores en los que se cuenta con datos en el

mercado, luego con técnicas de interpolación, extrapolación, suavizamiento y modelación de spreads se obtienen las tasas faltantes. [2]

■ Curva cero (spot)

Las tasas cero son tasas que se utilizan para un solo flujo de caja a un plazo determinado. Esta curva se utiliza para descontar los flujos, calculando el valor presente de estos.

Esta curva se puede entender como el rendimiento que tendrá un flujo cero cupón para una cierta madurez. Por ejemplo, la curva cero de 1 año, es el rendimiento esperado en un flujo cuya madurez es de 1 año sin amortizaciones ni pago de intereses durante su duración.

■ Curva forward

Las tasas forward son las estimaciones que el mercado tiene de forma implícita hoy de tasas futuras. Son tasas de equilibrio en el futuro que hacen que una inversión a largo plazo tenga el mismo retorno que una inversión a corto plazo¹. Estas se utiliza para el cálculo de los flujos flotantes del swap.

Se calculan de la siguiente forma²:

$$f_{1,2} = \frac{(1 + r_2 \cdot t)}{(1 + r_1 \cdot t)} - 1 \quad (3.1)$$

El cálculo de la parte fija del swap se realiza de igual forma que como se calcula un bono en donde la tasa cupón es la tasa PAR, la periodicidad de los cupones depende de como se haya estructurado el swap. Se calculan los flujos para los distintos plazos y tenores, luego se calcula el valor presente utilizando la curva cero ya calculada.

$$Valor(Pierna fija) = \sum_{n=1}^T Nocial \cdot r \cdot FD_n \cdot dias_n + Nocial \cdot FD_T \cdot dias_T \quad (3.2)$$

En donde la tasa r es la tasa PAR del tenor a calcular, los factores de descuento (FD) se calculan a partir de las tasas cero y $dias_n$ son los días anualizados según la convención de composición escogida, teniendo días diferentes para cada flujo semestral.

Para el cálculo de la parte flotante se utilizan las tasas forward (en lugar de tasas flotantes que son desconocidas hoy para los flujos futuros) para el cálculo de los flujos y la curva cero para calcular los factores de descuento que permiten obtener el valor presente.

$$Valor(Pierna flotante) = \sum_{i=1}^T Nocial \cdot forward_n \cdot FD_n \cdot dias_n \quad (3.3)$$

¹ Por ejemplo se utilizan para calcular la tasa de un flujo que comienza en un año más de duración 1 año. Para esto se deben utilizar las tasas cero a 1 y 2 años.

² Considerando composición de tasas lineal.

3.2. Mercado de dólares en Chile

Luego de la crisis financiera del 2008, el mercado chileno alcanzó un nivel de sofisticación y desarrollo en el cual se dio una apertura a nuevos mercados [3]. Uno de los productos que ha tenido una mayor sofisticación durante los últimos años son los Swap Promedio Cámara en pesos, los cuales en el año 2017 comenzaron a colateralizarse con dólares estadounidenses. Este producto y las implicancias de la nueva forma de colateralización serán abordados en esta tesis.

Como se mencionó anteriormente los swaps chilenos son cubiertos con colaterales en dólares para mitigar el riesgo de contraparte. Es por esto que, es importante entender las diferencias entre el financiamiento Off-shore y On-shore de esta moneda y las implicancias que tienen financiar productos locales con monedas extranjeras.

En este sentido, el financiamiento Off-Shore corresponde al fondeo de dólares en el lugar de origen de la moneda. Al contrario, el financiamiento On-shore es el fondeo de dólares vía instrumentos financieros emitidos en Chile. En este caso específico se tienen tasas de financiamiento Off-Shore menores a las tasas On-shore, debido a que el financiamiento en el país de origen (Estados Unidos) es más barato y con menor riesgo que el financiamiento de la misma moneda en Chile

Esta diferencia en las tasas On-shore y Off-shore se debe a distintos factores, principalmente a primas por riesgo. Al aumentar el riesgo del financiamiento se tienen tasas mayores lo cual es el caso de las tasas en dólares emitidas en Chile. Dentro de los premios por riesgo se puede mencionar el riesgo país, riesgo crediticio corporativo y riesgo de convertibilidad de la moneda [11].

- **Riesgo país:** las tasas en Chile son mayores que en Estados Unidos debido a un premio por riesgo entregado ya que una inversión en Chile es más riesgosa que en Estados Unidos. Esto genera que las tasas en dólares On-Shore sean mayores que las tasas Off-Shore, ya que al tener mayor riesgo se espera un mayor retorno.
- **Riesgo crediticio corporativo o bancario:** además del mayor costo de endeudamiento debido al riesgo país, se tiene un costo adicional por el riesgo crediticio de las empresas o bancos en sí.
- **Riesgo de convertibilidad de la moneda:** la existencia de impuestos y controles cambiarios genera un rango donde el precio forward se puede mover sin que los agentes que participan en el mercado tengan la posibilidad de arbitraje.

A su vez, se debe entender que las variaciones en el precio forward del dólar se pueden deber a los siguientes factores:

- **Premio por liquidez:** esto hace referencia a la demanda/oferta de dólares que hay en Chile. Cuando la liquidez de la moneda extranjera en Chile es mayor se obtiene un menor costo de financiamiento y por ende menores tasas. No obstante, este factor es difícil de estimar ya que muchas veces depende de la emisión de bonos de grandes empresas o del Banco Central, según condiciones que ellos estimen convenientes y no de conocimiento común.

- **Riesgo cambiario:** Este es el riesgo que surge de las pérdidas potenciales que pueden ocurrir debido a las fluctuaciones del tipo de cambio USD/CLP.

3.3. Swaps Promedio Cámara

En Chile, las operaciones de swaps de tasas de interés en moneda nacional (CLP o UF) se conocen como “Swap Promedio Cámara” (SPC)³. El SPC CLP es del tipo fijo-flotante, en donde la tasa flotante depende del índice cámara promedio (ICP) nominal. [26]

El Índice Cámara Promedio representa el costo de fondeo equivalente de financiar una posición a la tasa overnight de las instituciones bancarias. Se calcula a partir de la Tasa de Interés Promedio Interbancaria (TIB) publicada por el Banco Central en un plazo overnight:

$$ICP_i = ICP_{i-1} * \left(1 + \frac{TIB_{baseannual(i-1)}}{100} * \frac{Días}{360} \right) \quad (3.4)$$

Este swap se utiliza principalmente como cobertura de riesgo de tasas de interés. El flujo flotante refleja la expectativa de tasa de política monetaria (TPM), por lo que los traders o bancos pueden apostar a una expectativa mayor o menor a lo reflejado en el mercado transando este derivado [2]. Es decir, este producto es utilizado para mitigar riesgo de tasas.

Algunas condiciones importantes de este swap son:

- El SPC es cero cupón hasta los 18 meses y tiene cupones semestrales para plazos mayores.
- Al ser un swap de tasas de interés en la misma moneda, no hay intercambio de capital. Por lo tanto, se considera un instrumento con bajo riesgo de no pago.
- Este producto es transado por instituciones privadas por lo que los precios transados incorporan un spread por sobre un bono libre de riesgo del Banco Central.
- Este swap es bastante líquido para los plazos más cortos, sin embargo, la liquidez disminuye al aumentar el plazo final del swap.

En el gráfico a continuación se reportan los resultados de la encuesta trianual realizada por “Bank for International Settlements” (BIS) [9] en donde se muestra que en los últimos años, específicamente luego del cambio de la incorporación de los colaterales en dólares el mercado de IRS chileno aumentó en gran medida el nivel de transacciones.

³ SPC CLP para las operaciones en pesos chilenos y SPC UF para las operaciones en UF

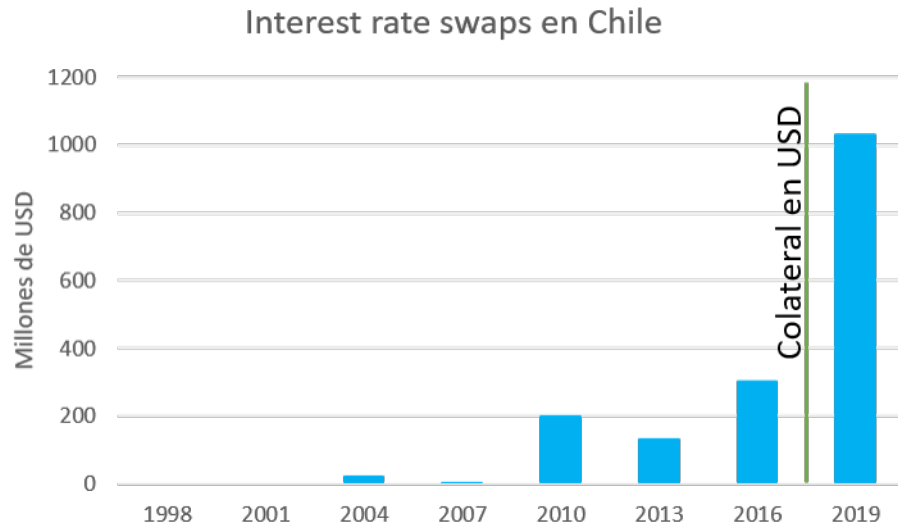


Figura 3.1: Interest Rate Swaps en Chile.

Fuente: Bank for International Settlements (BIS)

Además, durante los últimos años aumentó la participación de agentes extranjeros en el mercado chileno en donde la participación por entidades extranjeras representa el 62.8 %, siendo la participación de contrapartes interbancarias solo el 32.5 % [23].

Capítulo 4

Desafíos en la construcción de curvas swaps

El objetivo de las metodologías presentadas a continuación es calcular las curvas de proyección y de descuento de los swaps promedio cámara en pesos con CSA en dólares para después estimar las diferencias entre las tasas sin colateral y con colateral.

En primer lugar se explicarán las metodologías utilizadas para la valorización de swaps de forma general (swaps sin colateral, swaps con colateral en moneda nacional y swaps con colateral en moneda extranjera), los métodos de cálculo de tasas cero de descuento y proyección (bootstrapping y dual curve stripping). Estos se utilizarán como base para el desarrollo de las metodologías propuestas de cálculo de las curvas chilenas del SPC CLP.

Como se mencionó en los antecedentes (2.3) en el año 2017 se produjo un cambio en el mercado de swaps en donde se comenzaron a cobrar colaterales en los derivados SPC CLP en dólares estadounidenses. Es por esto que se realizaron dos metodologías distintas para el mercado chileno: la primera se utiliza para el cálculo de estas tasas en el mercado actual en donde la moneda de los colaterales es efectivamente el dólar[2]. La segunda metodología es para reconstruir un mercado con colateral en dólares en el momento en donde no se utilizaba garantías ni colaterales.

Como menciona Piterbarg en [18], luego de la crisis fue necesario desarrollar una nueva metodología de valorización de derivados, debido a que la teoría estándar estaba construida bajo el supuesto de una única tasa para dar y recibir préstamos, supuesto que ya no es creíble. Esto se debe a que la utilización de colaterales cambia el riesgo de los derivados, debiendo utilizarse una tasa que represente correctamente el nuevo riesgo. Al usarse una nueva tasa se producen discordancias en los precios y oportunidades de arbitraje como ocurrió con Goldman Sachs.

Al incorporar CSA en los derivados se deben realizar ajustes que representen la diferencia de valor entre transacciones con CSA y aquellas sin CSA, no colateralizadas, siendo el principal ajuste calcular tasas de descuento diferentes para ambos tipos de transacciones. Esto se debe hacer ya que la tasa de descuento debe representar el costo de oportunidad del swap, el cual varía en función de la utilización de los fondos y presencia de colaterales.

Es importante entender la diferencia de financiamiento entre un swap que no está colateralizado y uno que si lo está. Las fuentes de financiamiento son diferentes lo que implica diferentes riesgos y costos de oportunidad del derivado. En primer lugar, los swaps sin colateral necesitan fondos para pagar los flujos de caja periódicos que se producen en el derivado, los cuales se levantan con una tasa de préstamo interbancaria. El riesgo de un swap no colateralizado es mayor debido a que no hay ningún tipo de garantía en caso de que la contraparte caiga en default. Es por esto que se espera una rentabilidad mayor y se tienen un mayor costo de oportunidad. En el caso de swaps colateralizados se tiene un respaldo en caso de que la contraparte no pueda cumplir con sus obligaciones, teniendo un menor riesgo y por ende un costo de oportunidad más bajo. Un swap o cualquier instrumento debe ser descontado con la tasa que represente el costo de oportunidad que está en juego para la contraparte, para tener incorporado de forma adecuada el riesgo que presenta la contraparte.

La justificación matemática de porqué se deben descontar los swaps con la tasa que representa el costo oportunidad de la transacción se mostrará a continuación en base a la literatura desarrollada en el mercado.

4.1. Literatura cálculo swaps en el mercado internacional

Tradicionalmente la forma de valorizar swaps era con un enfoque de una única curva, en donde la Libor era un buena aproximación de la tasa libre de riesgo crediticio o de contraparte. Se estimaba que en los plazos de las operaciones financieros, los riesgos de contraparte eran despreciables por lo que no se consideraba el caso en que una parte cayera en default. Sin embargo, después del comienzo de la crisis considerada los derivados OTC comenzaron a colateralizarse bajo acuerdos, en donde la tasa del colateral era la tasa Fed Funds [20].

Después del año 2007 se produjo un aumento en el spread entre las tasas Libor y OIS cuya diferencia dejó de ser despreciable [7]. El basis entre estas tasas es una medida del estrés y de como está funcionando el sistema financiero. Durante la crisis subprime se tenía la preocupación de que los problemas en los créditos hipotecarios se extendieran fuera de este mercado, lo cual producía estrés financiero y un aumento el spread Libor OIS. Debido a lo anterior, se debió realizar un cambio en las tasas utilizadas para valorizar los swaps en donde la tasa Libor, solo se utiliza como proyección y se comenzaron a utilizar las tasas OIS como descuento. Estas tasas representaban correctamente el costo de oportunidad asociado al costo del derivado debido a que eran tasas calculadas diariamente como ocurre con el colateral. Es decir, en un swap que intercambiaba índice Libor era necesario proyectar las tasas forward con la curva Libor. Sin embargo, para descontar los flujos se requiera la curva OIS la cual refleja adecuadamente el costo de oportunidad y riesgo asociado al swap. Se tiene un menor riesgo ya que el swap esta colateralizado, con lo cual disminuye la probabilidad de no pago de las obligaciones por parte de las contrapartes.

A continuación, se explicará la forma de valorizar swaps de tasas de interés en el mercado distinguiendo en tres tipos: swaps sin colateral, swaps con colateral en la moneda del país donde se transa el instrumento y swaps con colateral en moneda extranjera. Estas metodo-

logías se definen de forma general y en la sección (4.3) se aplicarán en el caso chileno.

Las definiciones de cálculo de swaps se realizan a partir de la siguiente literatura: Swaps sin colateral o con colateral en la moneda nacional: [18][12], [14] y [20]. Swaps con múltiples curvas de valorización: [19] [27] y [10].

4.1.1. Swaps sin colateral

Tradicionalmente los swaps IRS se calculaban con una única tasa: la Libor, la cual era considerada como la tasa libre de riesgo, y por ende representaba el costo de oportunidad del financiamiento del banco y a su vez estaba definida como la tasa flotante.

La valorización de la parte fija del swap se realizaba a partir de las par swaps implícitas en las tasas de descuento (Libor), y la parte flotante se construye usando como tasa de protección la tasa Libor, siendo esta única curva utilizada para descontar y proyectar flujos.

$$PV(\text{parte fija}) = k \sum_{n=0}^T \delta_{n-1,n}^{fi} FD(t, T_n) \quad (4.1)$$

Donde k es la tasa par swap para el tenor calculado, $\delta_{n-1,n}^{fi}$ son los días entre dos flujos fijos y $FD(t, T_n)$ es el factor de descuento calculado a partir de la tasa Libor en t para la madurez T_n .

Para obtener el valor de la parte flotante, se deben calcular las tasas de proyección a partir de los mismos factores de descuento utilizados para el cálculo del valor presente de los flujos:

$$PV(\text{parte flotante}) = k \sum_{m=0}^T \delta_{m-1,m}^{fl} * E_t[L(T_{m-1}, T_m)] * FD(t, T_m) \quad (4.2)$$

En donde, $E_t[L(T_{m-1}, T_m)]$ corresponde a las tasas de proyección, es decir, las tasas forwards:

$$E_t[L(T_{m-1}, T_m)] = \frac{1}{\delta_{m-1,m}^{fl}} \left(\frac{FD(t, T_{m-1})}{FD(t, T_m)} - 1 \right) \quad (4.3)$$

4.1.2. Swaps con colateral

Con la masificación de los colaterales luego de la crisis sub-prime fue necesario desarrollar un nuevo método de valorización de derivados en donde se utiliza un enfoque de multi curvas, utilizando dos curvas diferentes para descontar flujos y para proyectar los flujos flotantes.

Los modelos desarrollados en la literatura revisada realizan los siguientes supuestos:

- La parte con MTM positivo recibe colateral de su contraparte. Para compensarla, se paga un interés sobre el colateral entregado (collateral rate).
- Se asume colateral en efectivo y colaterización completa. Es decir, el threshold¹ es cero

¹ Threshold: es el valor de la cartera bajo el cual no se necesita postear colateral. Si el MTM está sobre el

y toda la parte negativa del MTM debe ser colateralizada, proceso que se realiza a diario.

A continuación, se muestran de forma resumida las metodologías desarrolladas por Piterbarg [18] para el cálculo del valor presente de un swap colateralizado. Los resultados obtenidos demuestran que un derivado colateralizado debe ser descontado a la tasa libre de riesgo de remuneración del colateral y no a la tasa de fondo como se realizaba antes del estallido de la crisis del 2007.

Se considera un activo cuyo precio se denota como $S(t)$ y se definen las siguientes tasas de interés:

- r_R : tasa repo² que se paga sobre un fondo securitizado
- r_C : tasa de remuneración del colateral posteado
- r_F : tasa en préstamos no seguros (con riesgo de contraparte)
- r_D : tasa de pago de dividendos del activo $S(t)$

En donde, $r_C(t) \leq r_R(t) \leq r_F(t)$ y se define el spread de fondeo como $s_F = r_F(t) - r_C(t)$.

El argumento que sigue es un clásico desarrollo de una cartera que se replica mediante instrumentos disponibles en el mercado, y que determina las rentabilidades que deben generar para que no existan oportunidades de arbitraje. Se considera el activo $S(t)$ ya definido y el derivado $V(t, S)$ sobre ese activo. Luego se replica el derivado con $\Delta(t)$ unidades del activo y $\gamma(t)$ en efectivo, el valor del portafolio replicado se denota como $\Pi(t)$:

$$V(t) = \Pi(t) = \Delta(t)S(t) + \gamma(t) \quad (4.4)$$

El cash $\gamma(t)$ se compone de $C(t)$ en colateral y $V(t) - C(t)$ que se debe pedir o prestar a la tasa r_F para cubrir el resto de los fondos. Además se debe pedir $\Delta(t)S(t)$ para financiar la compra de las Δ unidades del activo, con lo anterior queda las siguientes ecuaciones para $\gamma(t)$:

$$d\gamma(t) = [r_C(t)C(t) + r_F(t)(V(t) - C(t)) - r_R(t)\Delta(t)S(t) + r_D(t)\Delta(t)S(t)] dt \quad (4.5)$$

$$d\gamma(t) = dV(t) - \Delta(t)dS(t) = r_F(t)V(t) - (r_F(t) - r_C(t))C(t) \quad (4.6)$$

Uniendo las ecuaciones 4.5 y 4.6 queda:

$$V(t) = E_t \left(e^{\int_t^T -r_F(u)du} V(T) + \int_t^T e^{-\int_t^u r_F(v)dv} (r_F(u) - r_C(u)) - C(u) du \right) \quad (4.7)$$

Donde, el primer término $e^{\int_t^T -r_C(u)du} V(T)$ representa el valor del derivado descontado a la tasa de préstamos riesgosos. El segundo término es y el segundo término $\int_t^T e^{-\int_t^u r_F(v)dv} (r_F(u) -$

threshold la contraparte con exposición positiva deberá recibir colateral.

² La tasa repo es la tasa a la cual el banco central de un país da préstamos de corto plazo a los bancos.

$r_C(u) - C(u)du$ es el valor descontado del interés sobre el colateral calculado a partir del spread de fondeo. Por lo tanto, el valor del derivado corresponde al valor presente de sus flujos menos los intereses pagados sobre el colateral.

Reordenando la ecuación anterior se tiene:

$$V(t) = E_t \left(e^{\int_t^T -r_C(u)du} V(T) - \int_t^T e^{-\int_t^u r_C(v)dv} (r_F(u) - r_C(u))(V(u) - C(u))du \right) \quad (4.8)$$

Lo cual es equivalente a:

$$E_t(dV(t)) = (r_F(t)V(t) - (r_F(t) - r_C(t))C(t)) dt = (r_F(t)V(t) - s_F(t)C(t)) dt \quad (4.9)$$

Por lo tanto, la tasa de crecimiento del derivado es la tasa $r_F(t)$ de fondeo aplicado a su valor menos el spread de crédito $s_F(t)$ calculado sobre el colateral. Entonces si el colateral es igual a $V(t)$, lo cual ocurre en caso de que el derivado este completamente colateralizado :

$$E_t(dV(t)) = r_C(t)V(t)dt \quad (4.10)$$

$$V(t) = E_t \left(e^{-\int_t^T r_C(u)du} V(T) \right) \quad (4.11)$$

En donde se obtiene que el derivado $V(t)$ debe ser descontado a la tasa de remuneración del colateral r_C que representa el costo de oportunidad del derivado.

En caso de que el derivado no este colateralizado [$C(t) = 0$] de la ecuación (4.9) se obtendría:

$$V(t) = E_t \left(e^{-\int_t^T r_F(u)du} V(T) \right) \quad (4.12)$$

Donde se deben descontar los flujos con la tasa de fondeo no securitizada de fondeo entre bancos r_F que representa el costo de oportunidad del derivado no colateralizado.

En ambos casos $V(T)$ es el valor futuro del swap el cual se calcula de igual forma que en el swap sin colateral. Calculando la parte fija y parte flotante (con tasas Libor de proyección). Luego se descuentan los flujos con la tasas de descuento correspondientes para obtener el valor presente del swap calculado.

Los resultados anteriores demuestran las necesidades de utilizar correctamente las curvas para descontar los flujos del swap. Si los colaterales se remuneran a una tasa y el descuento se realiza con una tasa diferente pueden ocurrir conflictos de arbitraje como sucedió durante la crisis con Goldman Sachs (2.2).

4.1.3. Swaps colateralizado en moneda extranjera

En la presente sección se abordará el caso en donde el colateral se entrega en una moneda extranjera, como ocurre en los SPC cuya moneda del colateral es el dólar.

Se define que el colateral en moneda extranjera sigue el siguiente proceso estocástico:

$$dV^f(s) = y^f(s)V^f(s) + a(s)d[h(s)/f_x(s)] \quad (4.13)$$

En donde $f_x(s)$ es el tipo de cambio en el tiempo s y $y^f(s) = r^f(s) - c^f(s)$ es el spread de fondeo en moneda extranjera calculado por la diferencia entre la tasa libre de riesgo y la tasa del colateral, $h(s)$ es el valor del swap en el tiempo s cuya madurez es en T y $a(s)$ es el numero de posiciones que se tienen del swap h en el momento s .

Integrando la ecuación anterior se obtiene:

$$V(T) = e^{\int_t^T y^f(u)du}V^f(t) + \int_t^T e^{\int_s^T y^f(u)du}a(s)d\left(\frac{h(s)}{f(s)}\right) \quad (4.14)$$

Se adopta la estrategia de trading:

$$V^f(t) = \frac{h(t)}{f(t)}$$

$$a(s) = e^{\int_t^s y^f(u)du}$$

Se re-escribe la ecuación (4.14):

$$V(T) = e^{\int_s^T y^f(u)du} \frac{h(T)}{f(T)} \quad (4.15)$$

El precio del swap en valor presente en la moneda doméstica viene dado por:

$$h(t) = V^f(t)f(t) = E_t^Q \left[e^{-\int_t^T r(s)ds} V^f(T)f(T) \right]$$

$$= E_t^Q \left[e^{-\int_t^T r(s)ds} \left(e^{-\int_t^T (r^f(s)-c^f(s))ds} \right) h(T) \right] \quad (4.16)$$

El valor del swap $h(T)$ se calcula de igual forma que en las ecuaciones (4.11) y (4.12). La diferencia entre la moneda de colateralización radica en la tasa de descuento del swap. Esta ya no es la tasa del colateral en moneda doméstica sino que se calcula a partir de la tasa libre de riesgo doméstica $r(s)$, las tasas libre de riesgo $r^f(s)$ y tasa de remuneración del colateral, ambas en moneda extranjera $c^f(s)$. Los flujos flotantes se calculan de igual forma que en un swap con colateral en moneda local ya que estos no dependen de la colateralización. Es decir, en el caso chileno deberíamos considerar la tasa cámara promedio ajustándola por el efecto del colateral en dólares a tasa OIS. Lo cuál se realiza restando los basis entre la tasa cámara promedio y OIS a la tas ICP.

4.2. Cálculo curvas cero

A continuación se detallan los métodos de cálculo de las curvas cero del swap en los casos que se tenga una única curva (Bootstrapping) o se deban utilizar curvas diferentes para descontar y proyectar flujos. Estas curvas cero son las que finalmente se utilizan en las

metodologías ya descritas para descontar los flujos (Dual curve stripping).

4.2.1. Bootstrapping

El bootstrapping es un proceso iterativo que permite extraer la curva cero a partir de las tasas PAR. Para esto se debe estructurar el swap fijo-flotante, siendo el valor de cada parte igual al notional y de despejan los factores de descuento o tasas cero. Esto se sustenta en el principio de no arbitraje en donde los flujos de la pierna fija descontados con la tasa PAR deben ser igual a los mismos flujos descontados con la tasa cero cupón. De esta forma se van incorporando nuevos swaps a plazos mayores, con tasas PAR conocidas y se deducen las tasas cero secuencialmente.

Por ejemplo, se puede considerar la siguiente estructura de tasas PAR ICP hasta 4 años:

Tabla 4.1: Tasas PAR ICP

Tenor	Tasa(%)
3M	1,63
6M	1,60
9M	1,645
1Y	1,65
1,5Y	1,715
2Y	1,825
3Y	2,03
4Y	2,235

Para el cálculo de las tasas cero del SPC se estructura un swap en donde los pagos son semestrales, por lo que las tasas 3M y 9M no se utilizan. Hasta los 18 meses las tasas son cero cupón, debido a esto se pueden ocupar directamente para descontar los flujos fijos. El proceso consiste en calcular los flujos fijos considerando como tasa cupón las tasas PAR y se construyen iterativamente las tasas cero para descontar los flujos.

El primer tenor a calcular es el de 2 años, ya que las tasas anteriores se pueden ocupar directamente para descontar debido a que son tasas construidas en base a un bono cero cupón. Se considerará un notional igual a 100\$ y tasas con composición anual.

$$100 = \frac{0,9125}{(1 + 1,6\%)^{0,5}} + \frac{0,9125}{(1 + 1,65\%)^1} + \frac{0,9125}{(1 + 1,715\%)^{1,5}} + \frac{100,9125}{(1 + r_2)^2}$$

$$100 = 2,6924 + \frac{100,9125}{(1 + r_2)^2}$$

Se despeja r_2 y se obtiene la siguiente tasa cero a dos años:

$$r_2 = 1,836\%$$

Luego se realiza el mismo proceso para el tenor 3Y utilizando como tasa cero con madurez de 2 años la tasa recién calculada y la tasa cero para el plazo 2,5 años se construye con la

interpolación log-lineal de los factores de descuento de 2 y 3 años:

$$100 = \frac{1,015}{(1 + 1,6\%)^{0,5}} + \frac{1,015}{(1 + 1,65\%)^1} + \frac{1,015}{(1 + 1,715\%)^{1,5}} + \frac{1,015}{(1 + 1,836\%)^2} + \frac{1,015}{(1 + r_{2,5})^{2,5}} + \frac{101,015}{(1 + r_3)^3}$$

$$96,0263 = \frac{1,015}{(1 + r_{2,5})^{2,5}} + \frac{101,015}{(1 + r_3)^3}$$

Se calcula la interpolación log-lineal de los factores de descuento $\frac{1}{(1+1,836\%)^2}$ y $\frac{1}{(1+r_3)^3}$ y se despeja $r_{2,5}$ y r_3 obteniendo las siguientes tasas cero:

$$r_{2,5} = 1,9659\%$$

$$r_3 = 2,0562\%$$

Este proceso iterativo se realiza con todos los tenores de la curva PAR³ para obtener las curvas ceros en los distintos plazos. En caso de tener una única curva de descuento y proyección, esta es la que se utilizaría para calcular el valor presente de los flujos.

4.2.2. Dual curve stripping

El Dual curve stripping se debe utilizar cuando los flujos no se pueden proyectar y descontar con la misma curva como es el caso de los SPC con colateral en dólares. Esto se debe a que el costo de oportunidad es el costo del CSA en dólares a tasa Fed y la curva de proyección proviene de las tasas PAR ICP.

En caso de que el colateral del SPC fuera en la misma moneda de los flujos, los flujos son traídos a valor presente con una única curva que representa el costo del colateral y a su vez las tasas de proyección de los flujos flotantes⁴.

El dual curve stripping se utiliza en el mercado chileno para extraer el valor implícito de las tasas de proyección de los flujos flotantes a tasa ICP. Por ende, el objetivo es extraer la curva cero de las tasas flotantes y no las tasas de descuento que ya fueron extraídas en el Bootstrapping anterior⁵. Las tasas cero son uno de los inputs necesarios para la realización del dual curve stripping en donde esta curva es utilizada para descontar los flujos.

³ Cabe mencionar, que el ejemplo anterior fue simplificado asumiendo que todos los plazos semestrales son de 0,5 años. Para realizar el cálculo correcto se deben calcular los días según convención ACT/360 en el caso de SPC o según la composición de tasas escogida.

⁴ El caso de los swaps SPC CLP es distinto a los swaps Libor debido a que las tasas PAR son las tasas ICP, las cuales a su vez representan el costo de oportunidad del swap. En el caso de los swaps Libor las tasas PAR son las tasas Libor y el costo de oportunidad es la tasa OIS. Es por esto que un SPC CLP con colateral en pesos se descuenta y proyecta con una única tasa, a diferencia de un swap Libor en donde se utilizan las tasas Libor y OIS. En caso del SPC CLP sin colateral, las tasas de descuento deben representar el costo de fondeo de los bancos lo cual no está representado por las tasas ICP.

⁵ Como se mencionará en la siguiente sección el cálculo de la curva cero de descuento no se realiza directamente a partir de las tasas ICP si no que hay que restar los basis de moneda antes de realizar el bootstrapping.

El proceso de cálculo de las tasas forward del dual curve stripping consiste en igualar los valores presentes de la pierna fija y pierna flotante. En donde, se conocen todos los datos para el cálculo de la pierna fija y la curva de descuento de ambas piernas. Lo que se debe despejar son las tasas forward implícitas en el swap.

Como ejemplo, se estructura el swap con pagos semestrales hasta los 2 años, en donde hasta los 18 meses se utilizan como tasas de proyección los PAR swap rates.

$$\begin{aligned} &VP(\text{Pierna fija}) = VP(\text{Pierna flotante}) \\ VP(\text{Pierna fija}) &= \sum_{n=1}^3 Nr \left(\frac{d_n}{360} \right) FD_n + \left[Nr \left(\frac{d_{2Y}}{360} \right) + N \right] FD_{2Y} \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$VP(\text{Pierna flotante}) = \sum_{n=1}^3 NFF_n \left(\frac{d_n}{360} \right) FD_n + \left[(1 + N)FF_{2Y} \left(\frac{d_{2Y}}{360} \right) \right] FD_{2Y} \quad (4.18)$$

Los factores forward desde 6 meses a 1,5 años se calculan a partir de las tasas ICP PAR swap. En la ecuación anterior se conocen todos los datos menos el factor forward de 2 años (FF_{2Y}). El cual se despeja de la siguiente forma:

$$FF_{2Y} = \frac{\sum_{n=1}^3 Nr \left(\frac{d_n}{360} \right) FD_n + \left[(1 + N)r \left(\frac{d_{2Y}}{360} \right) \right] FD_{2Y} - \sum_{n=1}^3 NFF_n \left(\frac{d_n}{360} \right) FD_n}{\left[(1 + N) \left(\frac{d_{2Y}}{360} \right) \right] FD_{2Y}} \quad (4.19)$$

Una vez despejado FF_{2y} de la ecuación (4.19), se despejan las tasas cero de proyección r^f de los flujos flotantes con la siguiente relación⁶:

$$FF_2 = \frac{(1 + r_2^f)^2}{(1 + r_{1,5}^f)^{1,5}}$$

Al igual que el bootstrapping, este es un proceso iterativo en donde se despejan las tasas de proyección de flujos sucesivamente, y para las tasas intermedias que no se tienen los valores se realiza una interpolación.

4.3. Método propuesto de construcción de curvas del SPC CLP con CSA en USD

Como se mencionó anteriormente, actualmente el SPC CLP tiene CSA en dólares. Es por esto que la curva cero y las tasas forward implícitas en las tasas ICP no se pueden utilizar directamente para proyectar y descontar los flujos. Estas sirven como punto de partida para calcular las tasas equivalentes de descuento y proyección a partir del dual curve stripping. Con este método se logra limpiar el efecto del colateral en dólares y tener tasas de descuento que representen correctamente el costo de oportunidad del SPC.

⁶ 2 y 1,5 son los días anualizados ACT/360

Para realizar este proceso se utilizan los siguientes productos⁷. Éstos se utilizan para calcular el basis de moneda entre las tasas en pesos chilenos y en dólares. Este basis representa cuanto más caro es fondear dólares en Chile (con la tasa implícita On-Shore), respecto al costo de fondeo de dólares en Estados Unidos a la tasa OIS al mismo plazo:

- **Non-Deliverable forward (NDF) USD/CLP**

Los NDF son un tipo específico de forward en donde no se intercambian nocionales, sino que se realizan composiciones. Son utilizados para cubrir riesgos y especulación, intercambiando tasas acordadas en diferentes momentos [16]. En el caso de los NDF de monedas, se utilizan para intercambiar tasas en dos monedas diferentes. Específicamente el NDF USD/CLP sirve para intercambiar tasas de fondeo de dólares en Chile (On-shore) por tasas de fondeo en pesos, ambas tasas para un mismo plazo y nocional. Los puntos forward entregados por la cotización del broker muestran la diferencia que hay entre ambas tasas mencionadas⁸.

Los siguientes tres instrumentos se utilizan para calcular el costo de fondeo de dólares en Chile para plazos desde los dos. La intuición detrás de la utilización de estos tres productos es tener un equivalente al costo de fondear pesos en Chile a tasa ICP respecto al costo de fondear dólares en Estados Unidos a tasa Fed Funds. Si bien, el cálculo final que se necesita es el basis spread entre la tasa ICP y la tasa OIS, se necesitan estos tres productos debido a que no existe un Swap OIS vs Cámara que permita realizar el cálculo directo.

- **Basis OIS vs Libor 3M**

Este basis representa la diferencia entre la Libor 3 meses y la tasa OIS. Mide la calidad del sistema financiero estadounidense general, incorporando los riesgos de liquidez y crédito. Hasta antes de la crisis subprime era cercano a cero, cuyo valor llegó a aproximadamente 400 puntos básicos en 2008 [25].

- **Basis Libor 3M vs Libor 6M**

Este spread mide la diferencias en un swap con ambas piernas flotantes. La diferencia entre ambas tasas es únicamente el plazo de financiamiento de éstas (trimestral en el caso de la Libor 3M y semestral en el caso de la Libor 6M) ya que al ser la misma tasa representan prácticamente el mismo costo de oportunidad. Las tasas Libor 6M son más altas debido a que los cupones componen cada más tiempo lo cual aumenta el riesgo. El descalce de los plazos y frecuencias de amortización genera la diferencia entre las tasas.

- **Basis Libor 6M vs Cámara**

Este basis incorpora dos componentes en su cálculo. La primera es la diferencia entre las tasas ICP y la tasa Libor 6M. La segunda componente, hace referencia al riesgo del

⁷ Los NDF, curva PAR del SCP CLP y basis cámara Libor 6M se obtienen de los brokers, los basis Libor 6M - Libor 3M, basis Libor 3M - OIS y las tasas OIS se obtienen de Bloomberg.

⁸ Los puntos forward USD/CLP se calculan con la siguiente relación: $Puntos_{forward} = \frac{(1+r_{USD} * dias)}{(1+r_{CLP} * dias)}$
Los días deben ser anualizados según la convención escogida.

peso respecto al dólar⁹, y por ende también al riesgo país.

A continuación, se presentan las metodologías propuestas de cálculos de las curvas de proyección y de descuento del producto SPC CLP con colateral en dólares. En primer lugar, se realiza una metodología para el cálculo de estas curvas en el mercado actual, en donde la moneda del colateral es efectivamente el dólar. En segundo lugar, se desarrolla una segunda metodología en donde se recrea el mercado con CSA en dólares en el momento en donde este swap no estaba colateralizado.

4.3.1. Construcción curvas mercado con colateral en dólares

Para este propósito se cuenta con las tasas par SPC CLP entregadas por los brokers las cuales incluyen el efecto de los colaterales en dólares remunerados a tasa Fed. Las tasas de descuento y proyección se calculan en dos pasos debido a que las tasas de descuento deben incorporar el efecto del colateral, y las tasas de proyección no lo incorporan.

4.3.1.1. Curva Cero del costo de oportunidad asociado al CSA en dólares para el SPC CLP

Se necesita una curva en pesos que refleje el nuevo perfil de riesgo del colateral en dólares. Debido a que esta moneda es de menor riesgo que los pesos chilenos, se deben ajustar las tasas par swaps para ser utilizadas como curva de descuento y que puedan representar efectivamente el costo del colateral.

Con el propósito de realizar este ajuste, se deben restar a las tasas ICP el basis de moneda entre las tasas Cámara promedio y OIS estadounidense. De esta forma la tasa par equivalente representará correctamente el costo de oportunidad del SPC CLP. El proceso de obtención del basis de moneda se realiza de forma diferente para los tenores menores a 2 años y para los tenores mayores a 2 años¹⁰.

Basis tenores corto plazo

Para los tenores hasta 18 meses el basis de moneda se puede obtener extrayendo el basis implícito en los puntos forward de los seguros de cambio ya que estos no cambian con la moneda de colateralización. Para esto se debe calcular el spread entre la tasa en dólares implícita en Chile y la OIS estadounidense. Para calcular la primera tasa se utilizan los puntos forward dólar-peso (NDF), el tipo de cambio spot, y las tasas ICP publicadas por los bróker. Luego este spread entre la tasa implícita en dólares y la OIS se convierte a basis points y se utiliza como el basis de moneda en los pasos siguientes [2].

$$F_{usd/clp} = S_{usd/clp} \left[\frac{1 + r_{clp} \frac{d}{360}}{1 + r_{usd} \frac{d}{360}} \right]$$

⁹ Este costo depende de cuán barato resulte tener dólares en Chile. En Estados Unidos el fondeo de dólares es más barato debido a que al ser la moneda principal la liquidez es muy alta. En Chile a pesar de ser la moneda secundaria no es un mercado completamente líquido. Este riesgo depende del comportamiento de las empresas chilenas, la emisión de bonos en dólar de estas. También depende del diferencial de tasas entre Chile y EEUU, de los flujos financieros a través de operaciones off-shore. Además depende de los riesgos de convertibilidad y otros discutidos anteriormente.

¹⁰ Los tenores menores a dos años son cero cupón, los mayores a dos años tienen cupones semestrales.

$$r_{usd} = \left[\frac{S_{usd/clp}}{F_{usd/clp}} \left(1 + r_{clp} \frac{d}{360} \right) - 1 \right]^{\frac{d}{360}}$$

Basis tenores largo plazo

El cálculo de los basis de moneda para los tenores mayores a 18 meses se realiza sumando los basis entre diferentes curvas: basis Cámara vs Libor 6 meses, basis Libor 6 meses vs Libor 3 meses y basis Libor 3 meses vs OIS. Una vez obtenidos los basis de moneda estos se deben restar a las tasas PAR ICP publicadas por los brokers. De esta manera se obtiene la tasa PAR que refleja el costo de oportunidad asociado a un CSA en USD para flujos en pesos.

Luego de calcular las tasas PAR se deben obtener las tasas zeros a partir de éstas, las cuales servirán para descontar los flujos fijos y flotantes del swap cámara promedio en pesos con colateral en dólares. Esto se realiza mediante un bootstrapping en donde las tasas fijas son las tasas PAR obtenidas anteriormente.

4.3.1.2. Curva de proyección de los flujos flotantes en pesos con colateral

Una vez obtenidas las tasas cero de descuento se deben calcular las tasas de proyección, las cuales se pueden considerar limpias debido a que no incluyen el efecto del colateral. Como los flujos flotantes no dependen del colateral, se utilizan como tasas PAR las entregadas por los brokers y no es necesario restar los basis de moneda. En base a estas tasas y las tasas cero de descuento encontradas en el punto anterior, se realiza un dual curve stripping y se obtienen las tasas de proyección de los flujos flotantes del swap.

4.3.2. Construcción curvas en el mercado SPC CLP sin colateral

Antes de que comenzaran a regir los CSA en dólares, los swaps chilenos no tenían estructuras ni acuerdos claros respecto al pago de colaterales. Es por esto que se considera que antes de los CSA en dólares los derivados no estaban colateralizados en ninguna moneda. El propósito de esta metodología propuesta es recrear el mercado de swaps cámara promedio en pesos con colateral en dólares en los momentos en donde estos no estaban colateralizados, manteniendo las mismas características del mercado actual.

4.3.2.1. Curva de proyección de flujos flotantes en pesos sin colateral

En primer lugar, se deben construir las tasas de proyección de los flujos, las cuales son las tasas ICP limpias que no tienen incorporado el efecto del colateral. Es por esto, que en primer lugar se recrea el swap en pesos sin colateralización y a partir de este se obtienen las tasas de proyección.

Con el objetivo de recrear el swap sin colateral y extraer las curvas de proyección, se utilizan como tasas PAR las entregadas por los brokers y como tasas de descuento una curva que logre reproducir el costo de oportunidad de los bancos en los tiempos donde no habían colaterales en estos instrumentos. Esta curva se calcula utilizando las tasas en pesos para plazos cortos y medianos obtenidas de Reuters y las tasas de los bonos AA y AAA¹¹.

¹¹ Se utilizan las tasas de bonos debido a que representan la calidad crediticia promedio de los bancos chilenos,

Para obtener las tasas de proyección, se realizó un dual curve stripping con las tasas PAR entregadas por los bróker y como tasas de descuento, las tasas de fondeo promedio de los bancos calculadas anteriormente.

4.3.2.2. Tasas de descuento de flujos en pesos con colateral en dólares ficticio

Una vez calculadas las tasas de proyección (tasas ICP PAR limpias¹²), se calculan las tasas de descuento limpiando por el efecto del colateral en dólares. Esto se realiza restando a estas tasas los basis de moneda, los cuales se calculan de igual forma que en la metodología con colaterales en dólares, debido a que el cálculo de estos basis no depende de la moneda de colaterización.

Después de obtenidas las tasas PAR que representan el costo de oportunidad del CSA en dólares, se realiza un bootstrapping para obtener la curva cero de descuento de los flujos en pesos con colateral en dólares.

Con estas dos metodologías (4.3.2) y (4.3.1) se calcularon las tasas de descuento y de proyección en toda la ventana de datos comprendida entre 2012 y julio del 2017 para el caso sin colateral; y agosto del 2017 a octubre del 2019 para el caso con CSA en dólares.

En las figuras siguientes se muestra un cuadro de resumen de los procesos del cálculo de las distintas curvas mencionadas.



Figura 4.1: Aproximación de Taylor diferencias tasas de descuento.

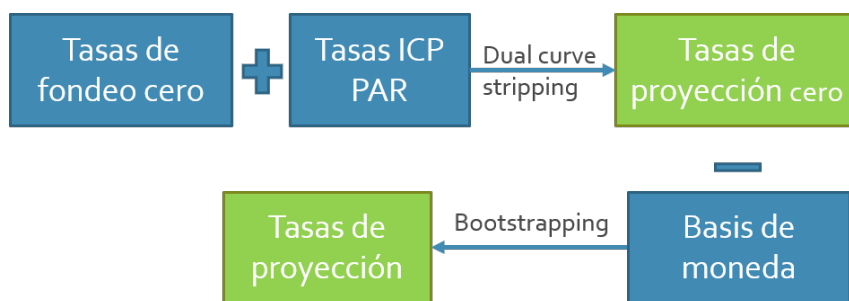


Figura 4.2: Aproximación de Taylor diferencias tasas de descuento.

y por ende el costo de financiamiento de los bancos chilenos. Cabe mencionar que las tasas de los bonos son tasas reales, por lo cual se debió hacer un ajuste a partir de la inflación. Esta se calculó realizando una interpolación lineal entre la diferencia de ambas tasas en 5 años y la meta inflacionaria de 3% en 20 años.

¹² Estas tasas se calculan como tasas PAR para poder hacer la resta con los basis de moneda correctamente.

Capítulo 5

Evidencia empírica en el cambio del mercado de swaps chilenos

5.1. Cálculo tasas en el mercado chileno

Como se mencionó anteriormente en el año 2017 se produjo un cambio en el mercado de Swaps Promedio Cámara, en donde los swaps que no estaban colateralizados comenzaron a ser colateralizados en dólares lo cual produjo cambios en la manera que se valorizaban estos derivados. Estos cambios se pueden observar a continuación en las tasas de descuento que representan el costo de oportunidad del SPC CLP calculadas para los tenores de 2, 5, 10 y 15 años.

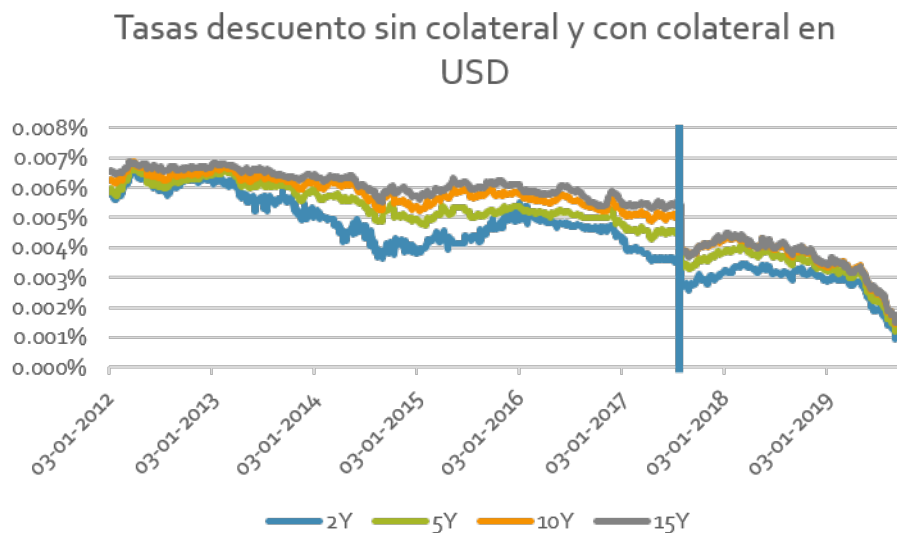


Figura 5.1: Tasas descuento sin colateral y con colateral en dólares.

En el gráfico anterior se observa que el costo de oportunidad del SPC CLP era mucho mayor cuando éste no estaba colateralizado. Esto se debe a que estas tasas representan el costo total de financiamiento del banco, a través de bonos y cuentas de personas, entre otros. En el caso de las tasas de descuento con colateral en dólares éstas representan el costo de fondeo de dólares a tasas Fed. Al ser un swap colateralizado el riesgo del instrumento disminuye respecto a un swap no colateralizado, y al colateralizar en dólares dicho riesgo disminuye aún más ya que

esta moneda es menos riesgosa que el peso chileno.

A diferencia de las tasas de descuento, las tasas de proyección de los flujos flotantes¹ no tienen un salto al cambiar la forma de colateralizar el SPC CLP. Esto se debe a que las tasas de proyección no depende del colateral si no de la moneda en la que se estructura el swap, la cual siguen siendo los pesos chilenos.

Anterior a la colateralización este derivado debía ser descontado con los costos de fondo del banco debido a que estos representan el costo total de oportunidad de mantener este derivado. Actualmente la manera correcta de descontar los flujos es a través de las tasas cero que se generan al restar los basis de moneda entre la tasa Cámara y OIS a las tasas ICP. Sin embargo, las metodologías de construcción de curvas no son claras en el mercado por lo que los bancos pueden calcularlas acorde a sus propias metodologías. A continuación, se muestran las tasas cero con distintos métodos de cálculo: tasas de fondeo en swaps sin colaterales, ICP menos basis Cámara vs OIS e ICP menos basis cámara vs Libor para el swap con colateral y tasas ICP cero en todo el intervalo analizado debido a que estas podrían ser utilizadas por algunas instituciones en todas las fechas analizadas.

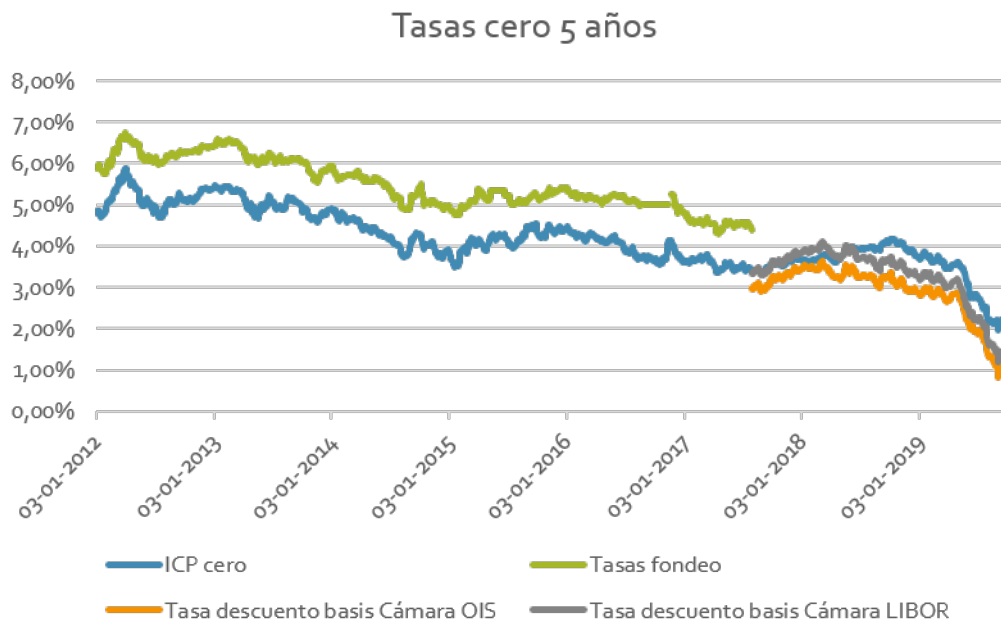


Figura 5.2: Tasas cero para descontar flujos sin colateral y con colateral en dólares.

El problema de calcular el valor presente de los flujos sin colateral con las tasas ICP cero recae en considerar un riesgo menor al que realmente enfrentan las instituciones lo cual produce un precio sobrevalorado, en donde se podrían tener más pérdidas de las que se consideran en caso de default de la contraparte. En el caso actual con colateral en dólares, el problema de utilizar la tasa ICP cero o la tasa ICP menos basis cámara vs OIS es que no se considera el costo de oportunidad correcto del colateral en dólares el cual se remunera a tasa

¹ El gráfico se encuentra en la figura (A.1) del anexo

FED. En el caso de considerar como tasa de descuento ICP menos basis Cámara vs Libor 6M, se considera un interés del colateral a tasa Libor 6M en vez de OIS en donde se sobre estima el riesgo calculando valores menores a los correctos como ocurrió con el arbitraje realizado por Goldman Sachs.

La utilización de las diferentes curvas de descuento genera valores del swap muy diferentes, en donde los bancos pueden ser arbitrados por otros agentes del mercado teniendo pérdidas importantes por una mala estimación del riesgo. En las figuras (5.3) se encuentran las variaciones en valor presente que ocurren al utilizar las tasas de descuento incorrectas.

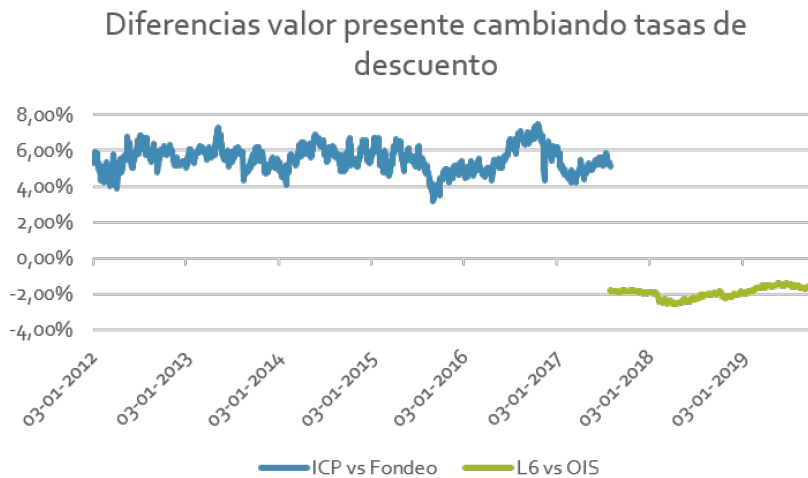


Figura 5.3: Diferencias valor presente del swap de 5 años.

En el gráfico se observan las diferencias descontando con la tasa ICP cero en vez de tasas de fondeo en la serie sin colateral y descuento con ICP menos basis Cámara vs Libor 6M en vez de Cámara vs OIS en la serie con colateral. Los resultados de diferencias promedio del valor del swap:

Tabla 5.1: Promedio diferencias valor presente SPC 5 años.

Tasas (incorrecta vs correcta)	Diferencia VP (%)	Diferencia tasas (%)
ICP vs Fondeo	5.52	-1.046
Basis L6 vs OIS	-1.93	0.391

Igualmente se calcularon las diferencias resultantes de utilizar la tasa ICP como tasa de descuento respecto al cálculo utilizando estas tasas con la resta de los basis de moneda Cámara vs Libor 6M o Cámara vs OIS, los resultados se encuentra en la tabla siguiente:

Tabla 5.2: Promedio diferencias valor presente ICP.

Tasas (incorrecta vs correcta)	Diferencia VP (%)	Diferencia tasas (%)
ICP vs basis L6	-1.22	0.244
ICP vs basis OIS	-3.13	3.116

Los resultados de los cálculos anteriores en la tabla (5.1) y (5.2) muestran que la mayor diferencia está en las series sin colateral en donde quizás valorizaban los swaps con las tasas ICP y no con los costos de fondeo que representan el verdadero costo de oportunidad detrás del swap. Esto produce que se adquieran las posiciones a precios menores lo cual puede parecer beneficioso pero se subestima el riesgo de default del instrumento. En el caso actual, si se utilizan los basis Cámara vs Libor 6M en vez de basis Cámara vs OIS, se podrían estar subestimando los precios en 1.93% lo cual podría generar importantes pérdidas en el caso de grandes flujos de dinero. Si se utilizan actualmente las tasas ICP para descontar los flujos la diferencia es aún más abismante, se obtiene una diferencia en tasas ICP en promedio 316 puntos básicos superiores a las tasas correctas, lo cual produce una disminución de un 3.13% promedio en el precio del swap.

5.2. Definición del problema

A partir de los resultados obtenidos en la figura (5.1) se observa que el mercado tuvo un importante cambio al momento de utilizar colaterales en dólares. Esto se ve reflejado en las tasas de descuento del swap las cuales cambian debido al cambio en el costo de oportunidad asociado a los colaterales.

Para enfrentar esta nueva situación se utilizó la metodología de construcción de tasas del Swap Promedio Cámara descritas en (4.3.1), la cual representa un ajuste para la construcción de tasas en el mercado actual con colateral en dólares. ¿Es éste un buen ajuste?

Para responder a esta pregunta se recreó hacia el pasado (cuando no había colateral en dólares) las tasas del mismo swap utilizando la metodología descrita en (4.3.2), en la cual se estructura un swap con colateral en dólares intentando mantener las mismas condiciones, aún cuando no estaban vigentes en ese momento.

Si la metodología desarrollada fuera la correcta significaría que las tasas recreadas en el pasado serían comparables con las que se calculan en el mercado actual con colateral en dólares, corrigiendo por los efectos de mercado de las tasas. Para definir si es un buen ajuste, y por ende las tasas son comparables, se testean las diferencias (de nivel y de volatilidad) entre las series de tasas de descuento con colateral en dólares: aquellas construidas a partir de series originalmente sin colateral² y las calculadas en el mercado actual. Si estas diferencias se explican por las variables de construcción de las series (tasas ICP par swaps y basis de moneda) y por las tasas del mercado financiero chileno, y no al método de construcción (que pudiera aportar volatilidad o cambia el nivel de las tasas) entonces el ajuste es el correcto y recrea hacia el pasado sin sesgos.

Utilizando las metodologías definidas en (4.3.1) y (4.3.2) se construyen las tasas del SPC CLP con colateral en dólares en todo el intervalo de tiempo comprendido entre el 5 de Enero del 2012 y el 10 de Octubre del 2019. A continuación, se muestran las tasas de descuento³

² De aquí en adelante esta serie se llamara únicamente “sin colateral”

³ El análisis se hace con las tasas de descuento y no con las de proyección, ya que estas últimas no presentan ningún quiebre evidente debido al cambio de colateral. Estas tasas no se debieran ver afectadas por la moneda ni tipo del colateral.

para el mercado actual con colaterales en dólares y la recreación hacia el pasado de estas tasas.

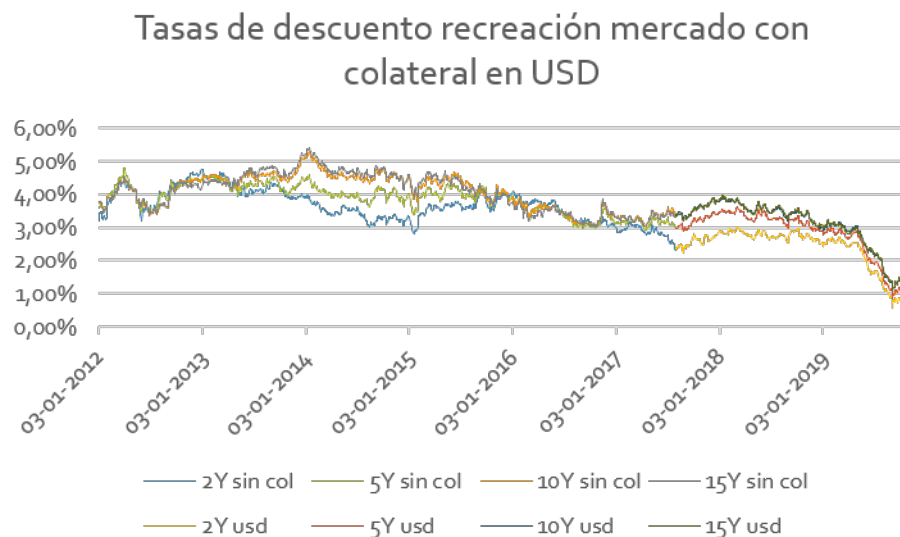


Figura 5.4: Tasas descuento colateralizadas en dólar.

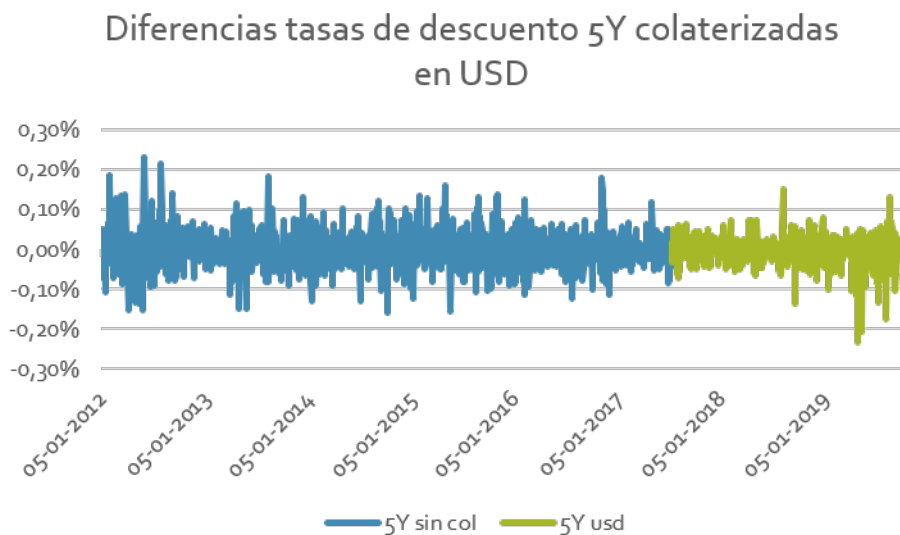


Figura 5.5: Diferencias diarias tasas de descuento

A partir de los gráficos anteriores se observa una disminución general del nivel de las tasas de descuento y pareciera que la volatilidad es menor en la serie originalmente sin colateral.

En base a lo anterior, se testeará que las diferencias de nivel y de volatilidad se deben a diferencias del mercado y no producto del método de construcción.

5.3. Análisis del nivel de tasas de descuento

En el gráfico (5.4) se observa una aparente baja del nivel de las tasas luego del cambio de colateral, siendo esta la hipótesis a testear. Ésta se descompondrá en analizar el cambio de las componentes de la construcción de tasas de descuento y el método de construcción.

La metodología de prueba de diferencias de nivel será la misma para todas las hipótesis que se mostrarán a continuación. Éstas medirán que las diferencias de nivel se deban a un cambio en las componentes del cálculo de las tasas de descuento. En primer lugar, se realizará un análisis gráfico calculando los promedios de ambas series. Luego se realizará un test de medias⁴ y por último se ajustarán series ARIMA⁵.

A continuación, se muestra el testeo de la hipótesis mencionada, analizando si las tasas de descuento efectivamente tienen un menor nivel tras el cambio de colateral. En primer lugar, se calculan los promedios simples de las tasas de descuento para 4 tenores representativos. A partir de los resultados se observa un cambio en los niveles donde las tasas de descuento son menores en la serie con colateral en dólares, después del 2017.

Tabla 5.3: Promedio tasas de descuento.

Promedio(%)	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	3.634	3.854	4.061	4.078
Con colateral	2.435	2.872	3.131	3.136

En segundo lugar, se realiza un test de medias paramétrico: U de Mann-Whitney debido a la no normalidad de los datos. Se prueban las siguientes hipótesis:

- $H_0 : P(x_i > y_j) = \frac{1}{2}$
- $H_0 : P(x_i > y_j) \neq \frac{1}{2}$

Se calcula el test de medias en SPSS. A continuación se muestran los resultados obtenidos para las tasas de descuento de 5 años:

Tabla 5.4: Test de medias tasas de descuento 5 años

	Tasa descuento
U de Mann-Whitney	215.488
Z (estadístico)	-12.768
P-value	0

Los resultados muestran un p-value menor a 0.05 por lo cual se rechaza la hipótesis nula con un 95 % de confianza. Se obtiene que efectivamente las medias son diferentes, comprobándose la hipótesis de que las medias son menores tras el cambio de colateral.

⁴ Debido a que la serie no es normal se probó con un test paramétrico y no paramétrico en donde se obtuvieron los mismos resultados.

⁵ Ver anexo (B)

Por último, se ajustan 4 series ARIMA y se escoge el mejor modelo en base al criterio de información AIC⁶. Los resultados obtenidos para las series de 2, 5, 10 y 15 años son los siguientes:

Tabla 5.5: AIC series ARIMA tasas de descuento sin colateral.

ARIMA	2Y	5Y	10Y	15Y
(0,1,0)	-16553	-16484	-16505	-16352
(1,1,0)	-16614	-16532	-16565	-16384
(1,1,1)	-16607	-16528	-16563	-16381
(0,1,1)	-16601	-16528	-16563	-16382

Tabla 5.6: AIC series ARIMA tasas de descuento con colateral.

ARIMA	2Y	5Y	10Y	15Y
(0,1,0)	-6277	-6281	-6281	-6281
(1,1,0)	-7115	-7115	-7213	-7123
(1,1,1)	-7110	-7123	-7123	-7123
(0,1,1)	-7116	-7124	-7125	-7124

En base a los resultados anteriores se seleccionan las series con menor AIC, ya que estos tendrán un mejor ajuste a los datos. Las series ARIMA para estos 4 periodos son las siguientes:

Tabla 5.7: Series ARIMA tasas de descuento.

ARMA	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	(1,1,0)	(1,1,0)	(1,1,0)	(1,1,0)
Con colateral	(0,1,1)	(0,1,1)	(0,1,1)	(0,1,1)

Las series ARIMA son diferentes en todos los tenores para la serie sin colateral y con colateral. En conclusión se afirma que los niveles de las tasas de descuento son diferentes en todos los tenores analizados, siendo menores tras la incorporación de colaterales en dólares en el SPC CLP.

A continuación, se analizarán las siguientes hipótesis esperando como resultado que los diferencias de nivel mostradas en las tasas de descuento se deban a los componentes de estas y/o a las variables del mercado financiero chileno y no al método de construcción que realiza un mal ajuste cambiando el nivel de las tasas más de lo debido.

Hipótesis 1: *“Las par swaps son menores con colateral en dólares.”*

Hipótesis 2: *“Los basis de moneda son mayores tras el cambio de colateral⁷.”*

⁶ Ver anexo B.

⁷ En este caso se prueba la disminución de los basis de moneda, debido que estos se restan a las tasas par swaps y para tener una disminución de las tasas de descuento se espera un aumento de estos basis.

Hipótesis 3: “Las tasas de mercado son menores en la serie con colateral en dólares.”

Hipótesis 4: “El método de construcción no tiene diferencias de nivel”

5.3.1. Análisis nivel PAR swap rates

Hipótesis 1: “Las par swaps son menores con colateral en dólares.”

Respecto al cambio de las PAR swaps se decidió analizar el cambio de nivel para las par swaps hasta 5 años que son las utilizadas para calcular las tasas de descuento de 5 años, debido a que esta última es la que tiene mayor correlación con los demás tenores. La correlación entre las tasas de descuento a distintos tenores es siempre mayor a 0,85 por lo que se espera que el cambio sea similar en todos los tenores.

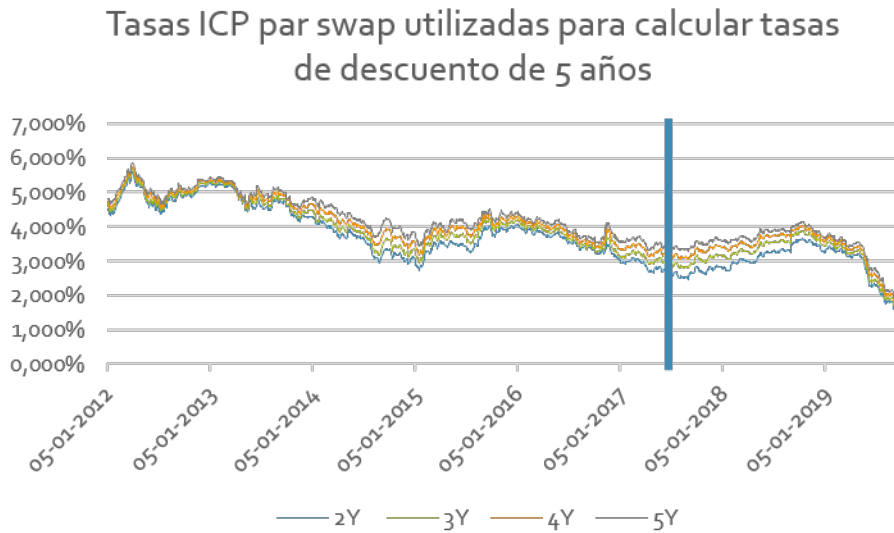


Figura 5.6: Par swap rates.

En el gráfico anterior se observa una disminución en el nivel de las tasas siendo aún más significativo desde mayo del 2019. Esta diferencia se comprueba al calcular los promedios de las tasas en donde estos son menores en todos los casos para las series con colateral.

Tabla 5.8: Promedio tasas de descuento.

Promedio(%)	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	3.907	4.054	4.206	4.354
Con colateral	2.915	3.135	3.314	3.465

Se realizaron test de medias y se obtienen los siguientes resultados para las tasas ICP PAR hasta 5 años:

Debido a que los p-value son menores a 0.05 para las tasas ICP, se concluye que se rechaza la hipótesis nula y por ende, hay una diferencia de medias significativa.

Tabla 5.9: Test de medias tasas ICP

	2 años	3 años	4 años	5 años
U de Mann-Whitney	99.972	108.251	102.913	90.944
Z (estadístico)	-23.94	-23.14	-23.65	-24.81
P-value	0	0	0	0

Por último se ajustan series ARIMA donde se obtiene que estas son diferentes para todos los tenores reforzando la hipótesis de que las series son distintas.

Tabla 5.10: Series ARIMA par swap rates.

ARMA	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	(2,1,0)	(2,1,0)	(1,1,0)	(1,1,0)
Con colateral	(2,2,2)	(2,2,2)	(0,2,1)	(0,1,1)

En base a los resultados para las ICP PAR swaps se concluye que se cumple la hipótesis testeada: se observa una disminución en el nivel de las tasas PAR swaps tras el cambio de colateral. Se observa un baja general de las tasas ICP, lo cual se debe a la tendiente baja de las tasas en el mercado chileno después del año 2017. Esta baja en las tasas ICP afecta directamente la disminución de nivel de las tasas de descuento del SPC CLP debido a que es una de las componentes principales utilizada en el cálculo de éstas.

5.3.2. Análisis nivel basis de moneda

Hipótesis 2: “*Los basis de moneda son mayores tras el cambio de colateral*”⁸.

A continuación, se analizará si hay un aumento en los basis de moneda tras el cambio de colateral. Si se cumple esta hipótesis junto con la hipótesis demostrada de las PAR swaps se puede afirmar que el cambio en el nivel de las tasas de descuento se deben a las componentes de estas y no al método de construcción.

Como se menciona en las metodologías de construcción de las tasas del Swap Promedio Cámara (4.3.1.1), los basis de moneda a partir de 2 años se calculan como los basis entre la tasa Cámara y la tasa OIS estadounidense. Estos se construyen sumando las siguientes tres componentes: basis Cámara vs Libor 6M, basis Libor 6M vs Libor 3M y Libor 3M vs OIS. Lo anterior debido a que no se cuenta con un producto basis Cámara vs OIS y se tiene que calcular por construcción de los productos líquidos existentes en el mercado. Por lo tanto, para probar un aumento en los basis de moneda se probará en primer lugar si hay un aumento en los basis totales y luego se estudiarán las 3 componentes por separado.

⁸ Se prueba la disminución de los basis de moneda, debido que estos se restan a las tasas PAR swaps y para tener una disminución de las tasas de descuento se espera un aumento de estos basis.

Comenzando con el análisis de los basis totales, a continuación se encuentra el gráfico de éstos y el promedio calculado hasta 5 años.

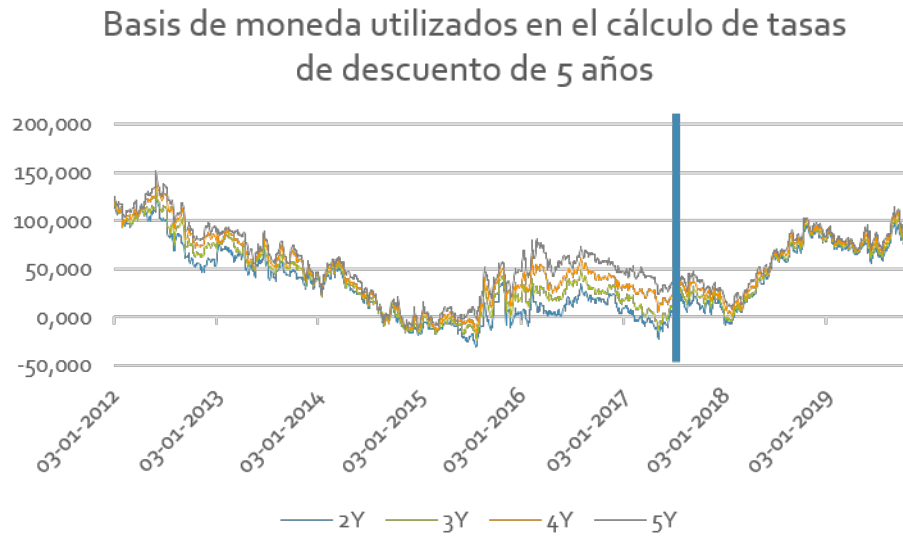


Figura 5.7: Basis de moneda hasta 5 años.

Tabla 5.11: Promedio basis de moneda.

Promedio	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	28.46	36.67	45.30	54.96
Con colateral	51.98	55.64	60.04	64.45

En el gráfico (5.7) y tabla (5.11) se obtiene que efectivamente hay un aumento en el nivel de los basis de moneda. Cabe destacar que esta diferencia entre ambas series disminuye mientras aumenta el plazo final del instrumento, teniendo una variación de solo 8,05 % entre la serie sin colateral y con colateral de 15Y. Respecto al test de medias se obtienen los siguientes resultados. En donde se obtiene un p-valor menor a 0.05 por lo que se observa una diferencia significativa en los 4 tenores analizados.

Tabla 5.12: Test de medias basis de moneda.

	2 años	3 años	4 años	5 años
U de Mann-Whitney	254.374	266.426	278.322	288.206
Z (estadístico)	-5.226	-5.534	-5.724	-5.819
P-value	0	0	0	0

A continuación, se ajustan las series ARIMA:

Se obtiene que las series son diferentes para todos los tenores salvo para 3 años. Esto se demuestra en la tabla (5.28) a continuación, en donde se muestran los intervalos de confianza para las series ARIMA de 3 años. Se puede observar, que ambos intervalos de confianza

Tabla 5.13: Series ARIMA basis de moneda.

ARMA	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	(2,1,0)	(0,1,1)	(0,1,2)	(1,1,0)
Con colateral	(0,1,1)	(0,1,1)	(0,1,1)	(0,1,1)

Tabla 5.14: Serie ARIMA(0,1,1) basis de moneda 3 años.

Series	Coefficiente	Error estándar	Intervalo de confianza
Sin colateral	0.1551	0.0266	[0.103,0.207]
Con colateral	0.1755	0.0437	[0.089,0.261]

incluyen el valor del coeficiente de las dos series por lo que se concluye que las series son estadísticamente iguales.

Por consiguiente, en base a los resultados anteriores se concluye que los basis de moneda si aumentan después del cambio de colateral en todos los tenores analizados⁹.

Se continuará el análisis para determinar cuál de las tres componentes de los basis de moneda es la que tienen una mayor responsabilidad en el aumento de nivel de los basis de moneda y por lo tanto de las tasas de descuento ya calculadas. Los basis Cámara vs Libor son los mayores de las tres componentes por lo que un movimiento en éstos produce un mayor movimiento en los basis de moneda. Los basis Cámara Libor 6 tienen una correlación mayor a 0.94 en todos los tenores analizados y las otras dos componentes de los basis de moneda una correlación menor a 0.5 en los cuatro plazos.

Tabla 5.15: Correlaciones entre basis de moneda y sus componentes.

Series	2 años	3 años	4 años	5 años
Basis Cámara VS L6	0.948	0.958	0.964	0.968
Basis L6 vs L3	0.012	0.042	0.094	0.169
Basis L3 vs ois	0.421	0.415	0.429	0.454

Se calculan las variaciones porcentuales de los promedios de las componentes del basis sin colateral y con colateral de 5 años, para determinar cual es la variable que más influye en el aumento de los basis totales.

En la tabla anterior se observa que los basis de moneda total y basis Cámara vs Libor 6M tienen el mayor aumento. Igualmente se analizarán las tres componentes del basis para poder determinar los cambios ocurridos luego de julio del 2017.

⁹ Se realizó además el análisis para los tenores de largo plazo (10 y 15 años) en donde se obtiene el mismo resultado.

Tabla 5.16: Variaciones basis de moneda por componentes .

Basis	Sin colateral	Con colateral	Variación
Basis moneda	53.840	63.151	17.29 %
Basis cámara vs Libor 6M	14.656	24.783	69.09 %
Basis Libor 6M vs Libor 3M	12.046	9.662	-19.79 %
Basis Libor 3M vs OIS	54.372	57.830	6.36 %

5.3.2.1. Basis Cámara vs Libor 6M

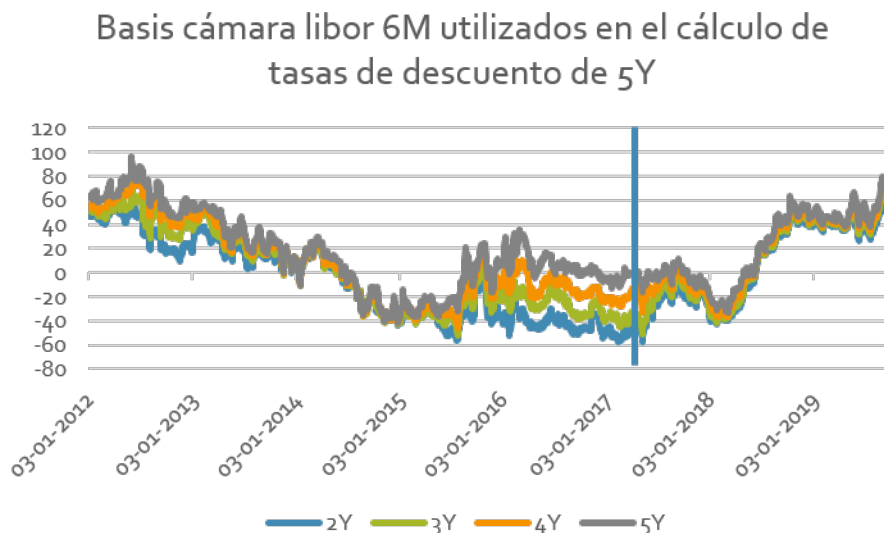


Figura 5.8: Basis Cámara Libor 6M hasta 5 años.

Tabla 5.17: Promedio basis Cámara vs Libor 6M.

Promedio(%)	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	-9.85	-1.87	6.44	14.75
Con colateral	15.57	18.88	27.75	26.53

A partir de los resultados de los basis Cámara vs Libor 6M en el gráfico y tabla anterior, se observa un aumento significativo en los niveles, teniendo un aumento promedio superior a 69 % en los 4 tenores analizados. En los tenores siguientes se mantiene el aumento significativo de los basis, pero a un nivel menor, teniendo un aumento de solo 6 % entre la serie sin colateral y con colateral de 15 años.

Se ajustaron las serie ARIMA:

Se obtienen modelos diferentes para todos los tenores entre 2 años y 5 años. Por lo tanto, en base a lo anterior, se afirma que los basis Cámara Libor 6M efectivamente aumentaron tras el cambio de colateral, teniendo un aumento importante, el cual logra explicar el aumento de los basis de moneda totales.

Tabla 5.18: Series ARIMA basis Cámara vs Libor 6M.

ARIMA	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	(1,1,0)	(1,1,0)	(2,1,0)	(1,1,0)
Con colateral	(0,1,1)	(0,1,1)	(0,1,1)	(0,1,1)

5.3.2.2. Basis Libor 6M vs Libor 3M

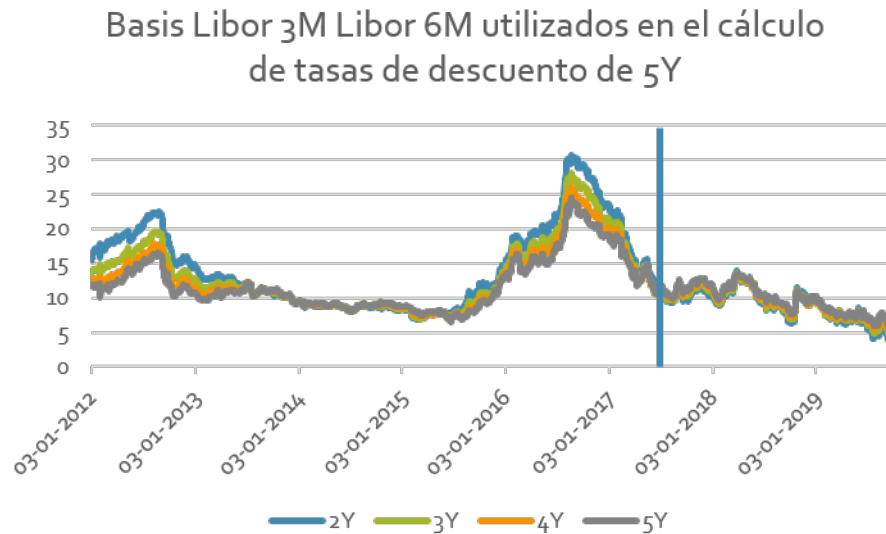


Figura 5.9: Basis Libor 6M vs Libor 3M hasta 5 años.

Tabla 5.19: Promedio basis Libor 6M vs Libor 3M.

Promedio(%)	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	14.36	13.24	12.516	12.06
Con colateral	8.76	8.99	9.24	9.53

Contrario a lo esperado, se observa una disminución en los basis calculados entre la Libor 6M y Libor 3M en todos los tenores que se utilizan para el cálculo de las tasas de descuento de 5 años. Esta diferencia entre las series sin colateral y con colateral va disminuyendo a medida que aumenta el plazo final del swap, logrando obtener un aumento en el caso de los basis de 15 años.

Se ajustan series ARIMA:

Se concluye que sí se presenta una diferencia significativa de nivel entre las series de basis Libor 6M vs Libor 3M, sin embargo, el cambio tiene el signo contrario al esperado. Es por esto que esta variable no es la causante de la disminución de las tasas de descuento, ya que al considerarla por si sola haría hecho que estas tasas aumentaran en la serie con colateral.

Tabla 5.20: Series ARIMA basis Libor 6M vs Libor 3M.

ARMA	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	(1,1,2)	(2,1,1)	(2,1,1)	(1,1,0)
Con colateral	(0,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0,1,0)

5.3.2.3. Basis Libor 3M vs OIS

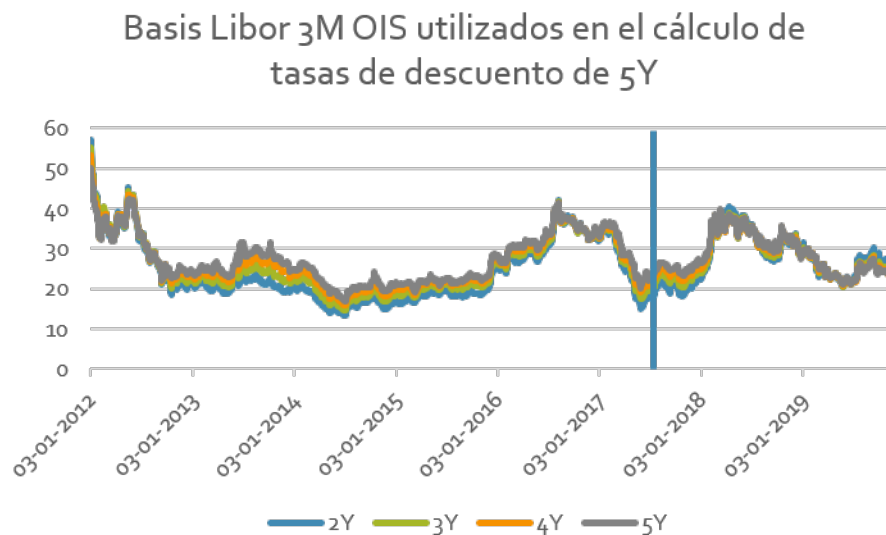


Figura 5.10: Basis Libor 3M vs OIS hasta 5 años.

Tabla 5.21: Promedio basis Libor 3M vs OIS.

Promedio(%)	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	23.95	25.29	26.34	27.16
Con colateral	27.65	27.77	28.05	28.39

Por último, la última componente de los basis de moneda a analizar son los basis existentes entre la Libor 3M y la OIS estadounidense. En este caso efectivamente se obtiene un aumento en el nivel de los basis para las series con colateral de acuerdo a lo esperado. El aumento va disminuyendo con el aumento del tenor, siendo siempre un aumento positivo a diferencia de los basis entre Libor 6M vs Libor 3M, en donde solo se logra observar un aumento positivo en los tenores de 15 y 20 años.

Se ajustan series ARIMA y se obtienen modelos diferentes para ambas series, lo cual apoya a mostrar que hay una diferencia de nivel. El aumento de estos basis apoya al aumento de los basis de moneda. No obstante, el aumento es en una media menor que los basis Cámara Libor 6M.

A partir de los resultados de los basis de moneda se concluye que, éstos efectivamente aumentan en la serie con colateral en dólares y la componente que provoca este cambio son principalmente los basis Cámara vs Libor 6M los cuales tienen incorporado el riesgo país. A

Tabla 5.22: Series ARIMA basis Libor 3M vs OIS.

ARMA	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	(0,2,1)	(0,2,2)	(0,2,2)	(1,1,2)
Con colateral	(0,2,2)	(3,1,2)	(0,1,0)	(0,1,1)

diferencia de lo esperado, los basis Libor 6M vs Libor 3M no apoyan el aumento de los basis por lo que no logran explicar la disminución de las tasas de descuento del SPC CLP.

En definitiva, se obtiene a priori que las variable de construcción de las tasas de descuento son las causante de su disminución, específicamente las PAR swaps y basis Cámara vs Libor 6M, y que la diferencia de nivel no se debe a las dos metodologías de cálculo mencionadas. Para sustentar el resultado, se analizará el cambio de valor en algunas tasas de mercado (BCU, BCP y tasas de fondeo). Por último, se realizará un análisis sobre los métodos de construcción en donde con ambas metodologías se calcularan las series entre 2012 y 2017 pretendiendo mostrar que no hay diferencias de nivel significativas que puedan afectar el nivel de las tasas de descuento finales.

5.3.3. Análisis nivel tasas mercado

En esta sección, se analizará el cambio de nivel de tres variables del mercado financiero chileno: tasas de fondeo interbancarias¹⁰, BCU y BCP.

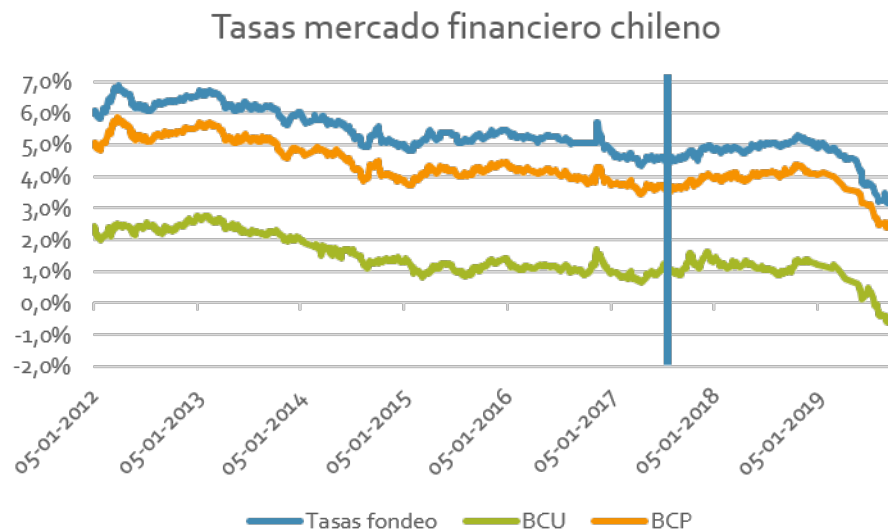


Figura 5.11: Tasas mercado.

Se realizó un test de medias sobre los datos anteriores en donde se obtiene que las tasas son estadísticamente diferentes entre las series sin colateral y con colateral en los 3 casos analizados. Lo anterior se concluye, ya que como se observa en la tabla a continuación el p-value en ambos casos es menor a 0.05.

¹⁰ Estas son las utilizadas como costo de oportunidad del SPC CLP sin colateral.

Tabla 5.23: Promedio tasas mercado: FONDEO, BCU y BCP.

Promedio(%)	FONDEO	BCU	BCP
Sin colateral	5.541	1.531	4.423
Con colateral	4.628	0.542	3.533

Tabla 5.24: Test de medias variables de mercado.

	Tasas FONDEO	BCU	BCP
U de Mann-Whitney	80.071	128.331	91.112
Z (estadístico)	-25.86	-13.86	-18.39
P-value	0	0	0

Por último, se ajustan series ARIMA y se obtuvieron modelos diferentes en las tres series:

Tabla 5.25: Series ARIMA basis Libor 3M vs OIS.

ARMA	Tasas FONDEO	BCU	BCP
Sin colateral	(0,1,1)	(2,1,1)	(2,1,3)
Con colateral	(1,2,1)	(1,1,1)	(0,1,0)

En base a lo anterior se concluye que el mercado financiero chileno efectivamente tuvo un cambio y se ven niveles de tasas menores. Esto se verifica observando el gráfico (5.11) en donde se ve que de manera general las tasas tienen a descender durante todo el periodo de tiempo analizado. Por ende, esto apoya la hipótesis de la disminución de las tasas de descuento las cuales están relacionadas con las PAR swaps y éstas a su vez con las tasas del mercado financiero chileno en donde se ve una disminución general de las tasas luego del 2017.

5.3.4. Análisis nivel métodos de construcción

Por otra parte, se pretende probar que las diferencias de nivel no se deben además a un cambio producido por los dos métodos de construcción propuestos. Es por esto que se procede a analizar los dos métodos de cálculo de tasas del SPC CLP con CSA en USD mencionados en la sección (4.3). Con este propósito se calcularon las tasas con ambos métodos para toda la serie de datos desde 2012 a 2019 para poder identificar si se obtienen resultados diferentes.

En los gráficos a continuación, se pueden ver los gráficos de las tasas del SPC CLP calculadas con ambos métodos en toda la ventana de datos:

Tasas SPC dos métodos de cálculo

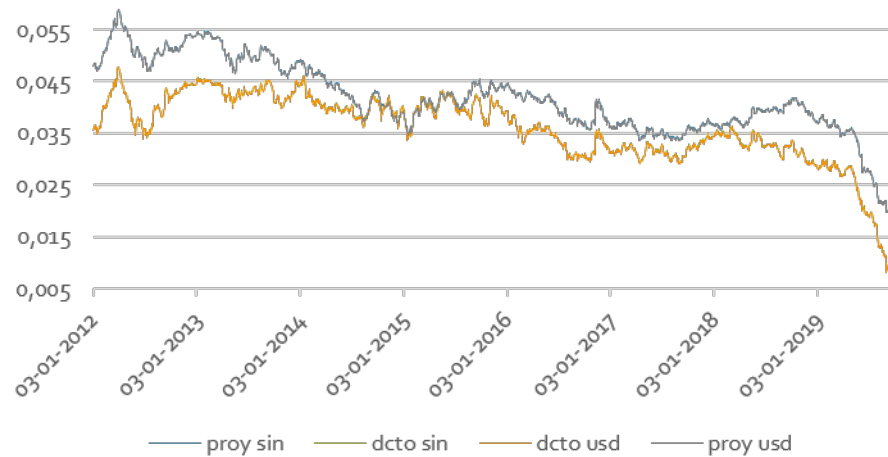


Figura 5.12: Tasas SPC con dos métodos de cálculo.

En el caso de las tasas de descuento y de proyección se muestra que las tasas calculadas se ven prácticamente idénticas ya que se sobreponen las series sin colateral y con colateral, lo cual se comprueba con los promedios de las series.

Tabla 5.26: Promedio y desviación tasas SPC con dos métodos de cálculo.

Promedio(%)	Tasas descuento	Tasas proyección
Sin colateral	3.58	4.15
Con colateral	3.57	4.14
Desviación estándar(%)		
Sin colateral	0.0442	0.501
Con colateral	0.0442	0.502

Según lo esperado los promedios son bastante parecidos. Se realizó un test de medias y ajuste de series ARMA sobre las diferencias de las series ya que estos test detectan mejor diferencias en series estacionarias.

Diferencias tasas descuento dos métodos de cálculo

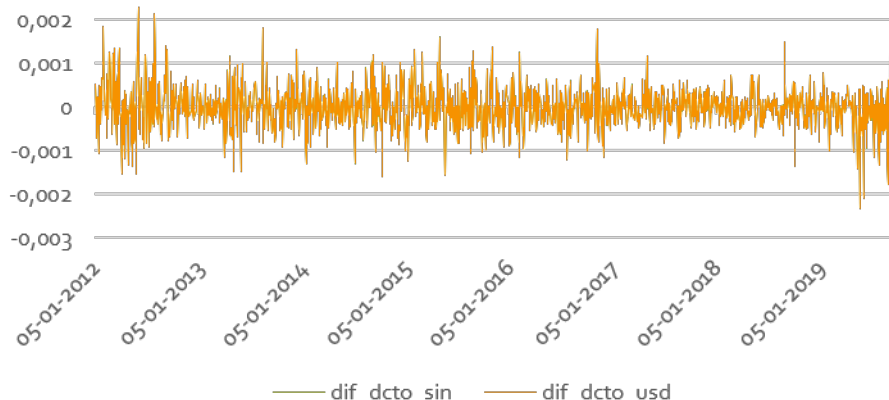


Figura 5.13: Diferencias tasas SPC con dos métodos de cálculo.

El test de media realizado es para muestras relacionadas y se obtienen los siguientes resultados con un 95 % de confianza:

Tabla 5.27: Test de medias dos métodos de cálculo tasas de descuento.

Tasas de descuento 5 años	
Intervalo de confianza (%)	[0.077 , 0.0080]
P-value	0.00

Debido a que el p-value es menor a 0.05 y el IC no incluye al cero se concluye que no hay diferencias significativas entre las medias de ambas series. Por último se ajustaron series ARMA en donde se obtiene que son todas AR(1) con coeficientes estadísticamente iguales para las series sin colateral y con colateral. Esto se comprueba con el cálculo de los intervalos de confianza de los coeficientes AR(1) de las dos series.

Tabla 5.28: Serie AR(1) tasas descuento dos métodos de cálculo.

Series	Coefficiente	Error estándar	Intervalo de confianza
Sin colateral	0.1697	0.023	[0.125,0.215]
Con colateral	0.1694	0.023	[0.1243,0.214]

Por lo tanto, se concluye que las diferencias de nivel en las tasas de descuento no son causadas por las metodologías de cálculo de las tasas sino que se deben a las variables que componen estas tasas: ICP par swaps y basis de moneda. El método de construcción de tasas propuesto a primera instancia pareciera ser una forma consistente de recrear el mercado con CSA en dólares hacia el pasado.

5.4. Análisis de volatilidad

En segundo lugar se analiza la volatilidad de las tasas de descuento, para esto se utilizaron las diferencias estacionarias de las series debido a que algunos de los modelos realizados funcionan mejor bajo este supuesto y en estos gráficos se pueden observar las variaciones diarias de las tasas.

Se plantea la siguiente hipótesis la cual será analizada en los puntos siguientes:

“La volatilidad de las tasas de descuento del SPC CLP con CSA en USD es menor en la serie originalmente con colateral .”

La metodología utilizada para probar esta hipótesis y las posteriores consiste en:

1. Test visual: gráfico diferencias diarias de las series y modelos de volatilidad (EWMA, GARCH y desviación móvil).
2. Test estadístico de varianzas¹¹.
3. Volatilidad calculada con series ARMA

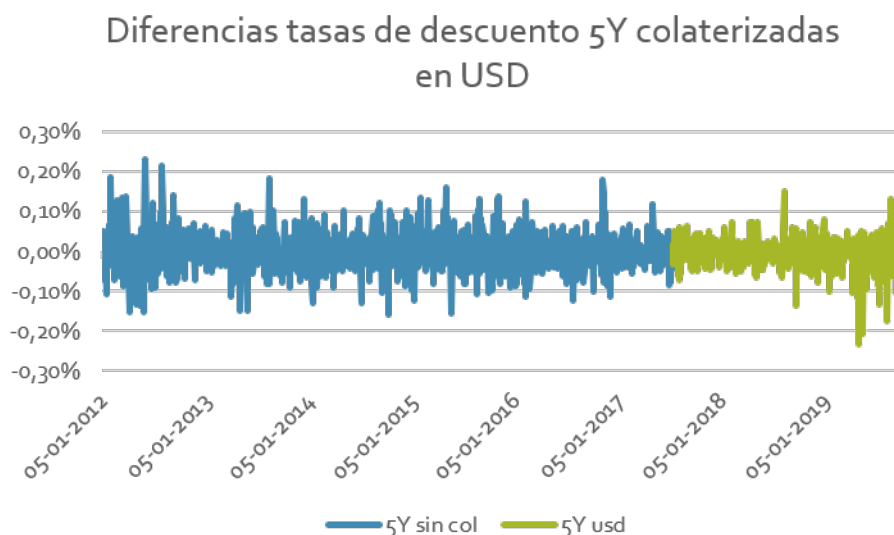


Figura 5.14: Diferencia tasas descuento 5Y

El gráfico (5.14) anterior muestra las variaciones de las tasas de descuento de 5 años entre dos días. Observándolo pareciera que aparentemente hay una ligera diferencia de volatilidad entre ambas series. Se calculan las desviaciones estándares para las tasas de 2, 5, 10 y 15 años y se obtienen los siguientes valores:

Para analizar la hipótesis planteada, se realizó un test de varianzas en donde se analiza la hipótesis nula: las varianzas de ambas series son iguales.

¹¹ En este caso se realizó un test de hipótesis de Levene no paramétrico [17] debido a que los datos no eran normales. El resultado obtenido fue el mismo que con un test de varianzas de Levene paramétrico.

Tabla 5.29: Desviación estándar tasas de descuento (%)

Serie	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	0.045	0.046	0.046	0.049
Con colateral	0.040	0.038	0.036	0.039

Tabla 5.30: Test homogeneidad de varianzas

Serie	2Y	5Y	10Y	15Y
Estadístico de Levene	7.204	19.151	24.646	23.978
P-value	0	0	0	0

En todos los casos el p-value es menor a 0.05, por ende, ambas series tienen varianzas estadísticamente iguales en los 4 tenores analizados.

Se calculó la volatilidad móvil con los siguientes modelos: desviación estándar móvil de 30 días, EWMA y GARCH¹². A continuación, se muestran los gráficos de desviación móvil de las tasas de descuento y en las figuras (C.1) del y (C.1) anexo se muestran los modelos EWMA y GARCH realizados para las tasas de descuento de 5 años.

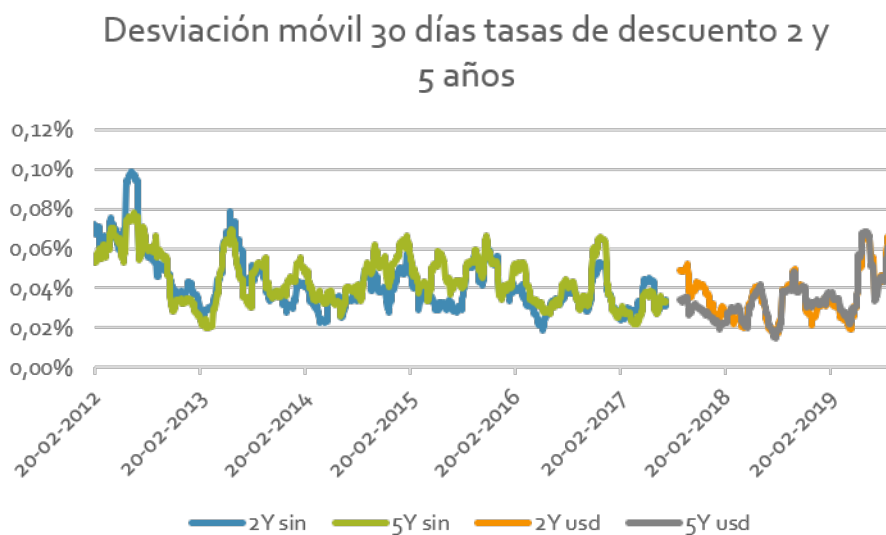


Figura 5.15: Desviación móvil tasas descuento 2 y 5 años.

¹² Los modelos de volatilidad EWMA y GARCH se realizaron optimizando los parámetros para cada serie mediante estimadores MLE.

Desviación móvil 30 días tasas de descuento 10 y 15 años

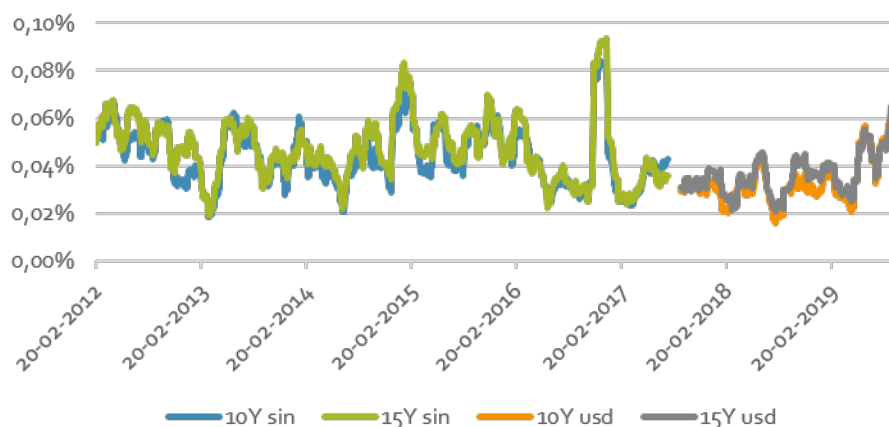


Figura 5.16: Desviación móvil tasas descuento 10 y 15 años.

En los modelos de volatilidad se observa una menor volatilidad en todos los tenores analizados lo que se comprueba con los cálculos de los promedios de las desviaciones calculadas:

Tabla 5.31: Media modelos volatilidad móvil tasas de descuento (%)

Serie	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	0.042	0.044	0.044	0.047
Con colateral	0.036	0.035	0.034	0.037

Por último se calculan varianzas a partir de los modelos ARMA que mejor ajustan las series en donde se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 5.32: Varianza tasas de descuento series ARMA

Serie	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	1.94 E-7	2.06 E-7	2.01 E-7	2.30 E-7
Con colateral	1.77 E-7	1.73 E-7	1.81 E-7	2.09 E-7

Se calculan los intervalos de confianza y se obtienen diferencias significativas de varianzas entre las series sin colateral y con colateral en todos los tenores. Esto se concluye ya que en ninguno de los casos la varianza calculada esta en los intervalos sin colateral y con colateral al mismo tiempo, por lo que son estadísticamente diferentes.

En base a los resultados anteriores se concluye que no hay evidencia estadística suficiente para demostrar diferencia de varianzas, debido a que el test de varianzas no rechaza la hipótesis nula. Sin embargo, los demás test muestran que la varianza es mayor en la serie que era originalmente sin colateral en dólares. A continuación se pretende descubrir a qué se debe este cambio, esperando que la diferencia de volatilidad sea por variables de mercado y de construcción de las tasas y no al método de construcción que cambia la volatilidad. Se plantean las siguientes hipótesis que se analizarán en los apartados siguientes:

Tabla 5.33: Intervalos de confianza Varianza tasas de descuento series ARMA^a

Serie	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	[1.79 , 2.09]	[1.91, 2.23]	[1.86 , 2.17]	[2.14 , 2.49]
Con colateral	[1.57 , 2.00]	[1.54 , 1.96]	[1.61 , 2.05]	[1.85 , 2.37]

^a Todos los valores son multiplicados por 10^{-7}

Hipótesis 1: “Las par swaps son más volátiles antes del cobro de colateral en dólares.”

Hipótesis 2: “Los basis de moneda son menos volátiles tras el cambio de colateral.”

Hipótesis 3: “El mercado financiero chileno es menos volátil tras el cambio de colateral.”

Hipótesis 4: “El método de construcción no agrega/quita volatilidad a las series.”

En las secciones que siguen se mostrarán los resultados y conclusiones más importantes.

5.4.1. Análisis volatilidad PAR swaps

En esta sección y en las posteriores se analizarán las variables utilizadas para el cálculo de las tasas de descuento de 5 años debido a que éstas son las que tienen mayor correlación con las demás tasas a distintos plazos. Por esto el análisis de las par swaps se realiza con las tasas de 2 a 5 años que son las utilizadas en este cálculo.

En el gráfico a continuación se observan las variaciones de la tasa ICP par swap de 5 años.

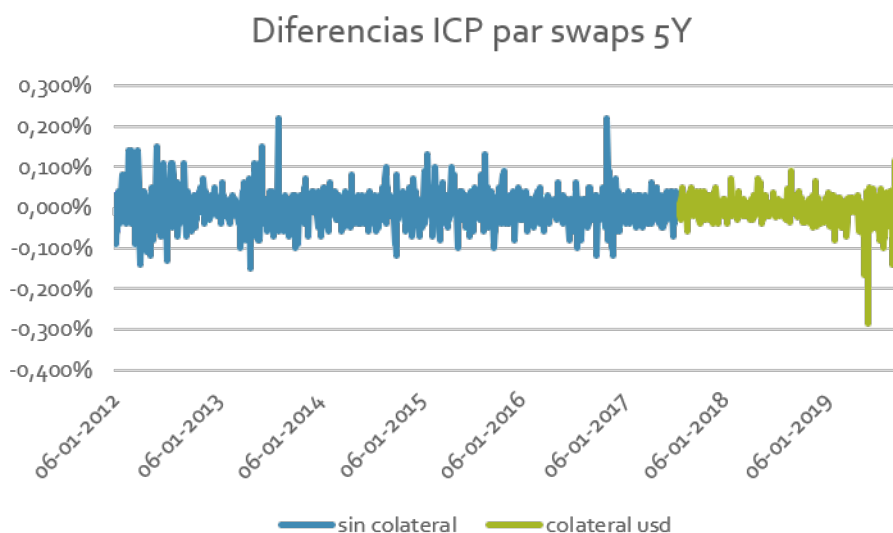


Figura 5.17: Diferencias ICP PAR 5Y años.

Analizando la serie en general, se puede observar que pareciera la volatilidad ser menor en la parte con colateral. Sin embargo, a partir de julio del 2019 aumenta significativamente

la volatilidad de esta ultima serie obteniendo los siguientes resultados de desviación estándar para las series par swaps de 2 a 5 años:

Tabla 5.34: Desviación estándar ICP par swaps (%)

Serie	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	0.037	0.037	0.036	0.037
Con colateral	0.032	0.032	0.031	0.030

Para continuar con el análisis se realizó un test de varianzas en donde se obtuvo que las varianzas de las ICP PAR desde 2Y a 5Y son estadísticamente iguales en las series sin colateral y con colateral en USD.

Tabla 5.35: Test homogeneidad de varianzas ICP par swaps

Serie	2Y	5Y	10Y	15Y
P-value	0.67	0.80	0.88	0.87

Se calcularon las series desviación móvil, EWMA y GARCH para la serie ICP de 2 años a 5 años. A continuación, se muestran los resultados de las series de desviación móvil de las series de 2 y 5 años¹³.

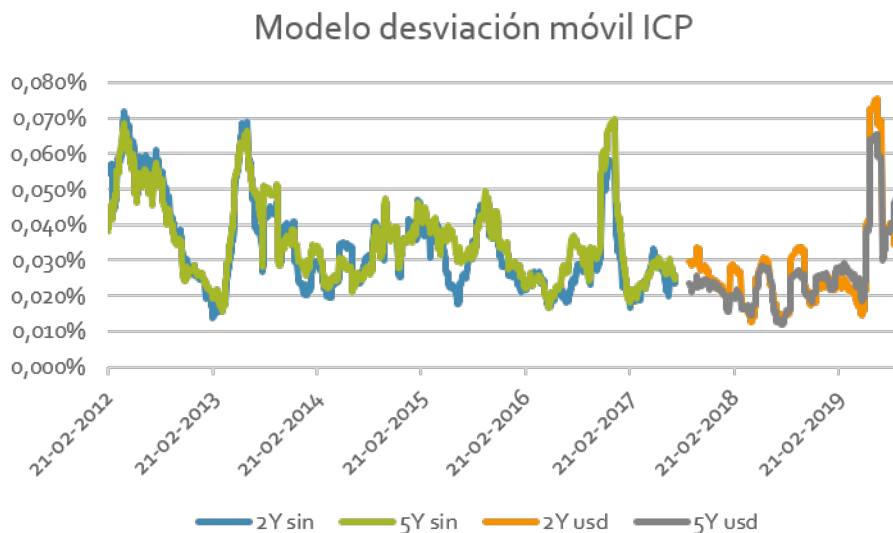


Figura 5.18: Modelos desviación móvil ICP 2 y 5 años.

Se obtienen los siguientes promedios de los modelos de desviación móvil calculados para las series de PAR swaps:

En el gráficos de volatilidad (5.18) se observa que la volatilidad de la serie con colateral es baja durante la mayor parte del intervalo analizado, no obstante esta aumenta en gran

¹³ Solo se muestran los resultados de la desviación móvil y no EWMA y GARCH debido a que se obtienen resultados muy similares.

Tabla 5.36: Media modelos desviación móvil ICP PAR swaps (%)

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	0.034	0.035	0.034	0.035
Con colateral	0.028	0.028	0.027	0.027

medida en la última parte de la serie. Sin embargo, se logra mantener una menor volatilidad promedio en la serie con colateral.

Por último, se realizaron las series ARIMA para las tasas ICP PAR swaps en donde se obtuvieron modelos diferentes en todos los casos con las siguientes varianzas calculadas

Tabla 5.37: Varianza tasas ICP series ARMA

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	1.27 E-7	1.279 E-7	1.22 E-7	1.32 E-7
Con colateral	9.08 E-8	9.66 E-8	9.05 E-8	8.80 E-8

Resumiendo, se obtiene que las volatilidades son menores en la serie con colateral en dólares. Por lo tanto, ésta es una de las posibles razones de la disminución de la volatilidad de las tasas de descuento. Las tasas par swaps son una de las dos componentes principales en el cálculo de las tasas de descuento. Es por esto que un aumento (o disminución) en la volatilidad de las pars waps afecta directamente la volatilidad total de las tasas de descuento. En la sección (5.4.5) se analizará cual de las variables es la que tiene un mayor aporte en la volatilidad de las tasas de descuento.

La siguiente hipótesis a probar será que la volatilidad de la segunda componente utilizada en el cálculo de las tasas de descuento: *basis de moneda* era mayor antes del cambio y esto produce una disminución en la volatilidad de las tasas de descuento después del cambio de CSA.

5.4.2. **Basis moneda**

A continuación se prueba la siguiente hipótesis *“Los basis de moneda son menos volátiles tras el cambio de colateral”*. Esto se realiza analizando la volatilidad de los basis de moneda totales compuestos por los basis Cámara vs Libor 6M, Libor 6M vs Libor 3M y Libor 3M vs OIS. En segundo lugar, se analiza la volatilidad de cada una de las componente utilizadas en la construcción de este basis.

Para comenzar, se muestra el gráfico de las variaciones de los basis de moneda totales de 5 años y las desviaciones estándar de las series de 2 a 5 años.

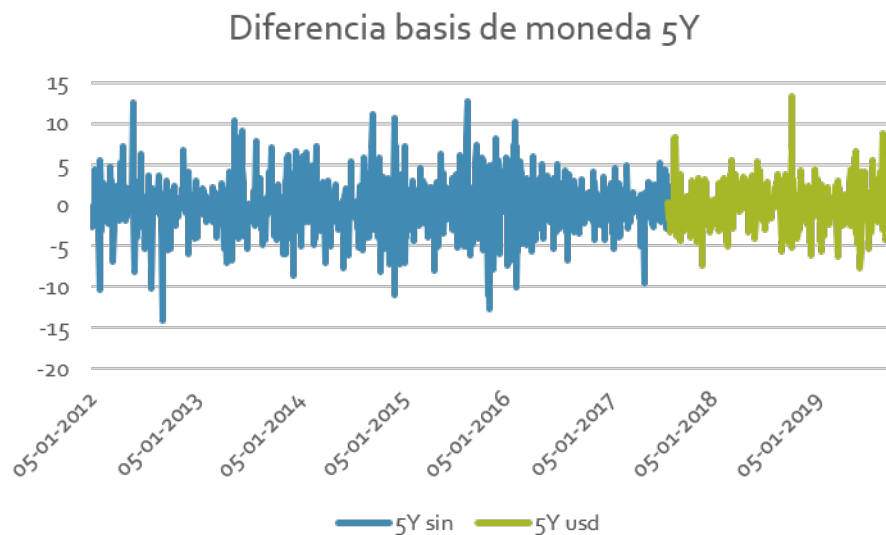


Figura 5.19: Diferencias basis moneda 5 años.

Tabla 5.38: Desviación estándar basis de moneda totales.

Serie	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	2.608	2.607	2.619	2.678
Con colateral	2.477	2.377	2.441	2.304

Los resultados anteriores muestran que las volatilidades son mayores en las series sin colateral de acuerdo a lo esperado, aunque la diferencia es pequeña. Por esto se realiza el test de varianzas de Levene en donde se obtiene que éstas son estadísticamente iguales en todos los tenores. A continuación se observa el gráfico de desviación móvil de los basis de moneda.

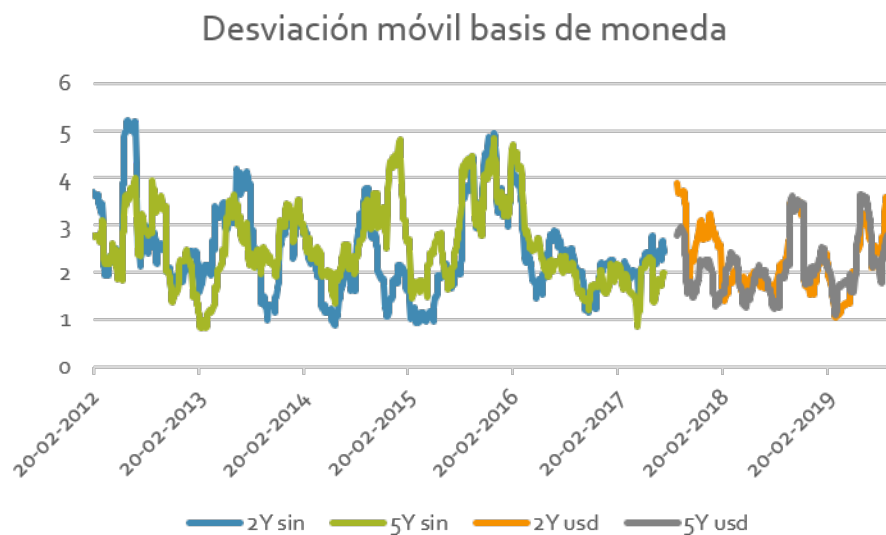


Figura 5.20: Modelo volatilidad desviación 30 días basis moneda 2 y 5 años.

Tabla 5.39: Media modelos desviación móvil basis moneda.

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	2.435	2.453	2.469	2.551
Con colateral	2.997	2.231	2.298	2.156

Por último, se calcula la varianza a partir de las series ARMA que mejor se ajustan a los basis de moneda en los 5 tenores analizados. Se obtiene que las varianzas son estadísticamente menores en las series sin colateral de acuerdo a lo esperado.

Tabla 5.40: Volatilidad modelos ARMA basis de moneda

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	6.594	6.636	6.719	6.942
Con colateral	5.996	5.493	5.894	5.131

Respecto a los gráficos realizados, los modelos de volatilidad y varianza calculada con series ARMA se obtiene que la volatilidad disminuye luego del 2017 cuando comenzó la incorporación de colaterales en dólares en los Swaps Promedio Cámara. Se afirma la hipótesis planteada, en donde la volatilidad de los basis de moneda totales disminuyen por lo que parece ser una de las razón de la volatilidad de las tasas de descuento.

A continuación se analizará cuál de las 3 componentes de los basis de moneda es la mayor causante de la disminución de volatilidad en los basis de moneda.

5.4.2.1. Basis Libor 3M vs OIS

Se prueba la hipótesis “*Los basis Libor 3M vs OIS son menos volátiles tras el cambio de colateral*”. Esto para determinar si ésta componente es la causante de la disminución de volatilidad de los basis de moneda totales.

En el gráfico siguiente se muestran las variaciones de los basis entre las tasas Libor de 3 meses y tasa OIS de 5 años y las desviaciones estándar de las series de 2 a 5 años.

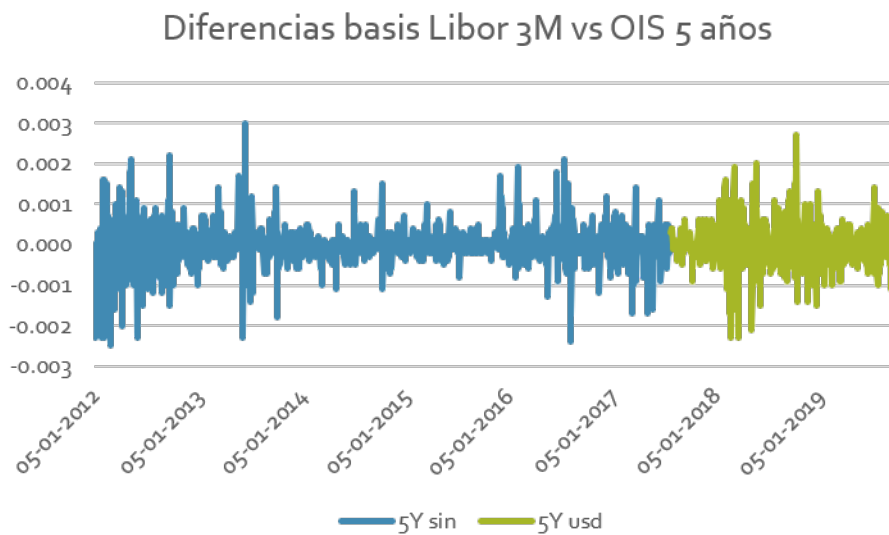


Figura 5.21: Diferencias basis Libor 3M vs OIS 5 años.

Tabla 5.41: Desviación estándar basis Libor 3M vs OIS.

Serie	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	0.610	0.558	0.510	0.486
Con colateral	0.696	0.627	0.580	0.561

Los resultados anteriores muestran que las volatilidades son siempre menores en las series sin colateral, contrario a lo esperado. Se realiza un test de varianzas y se obtiene que éstas son estadísticamente mayores en la serie con colateral.

Se realizan los modelos de volatilidad calculada a partir de la desviación estándar móvil con una ventana de 30 días en donde se obtienen los siguientes resultados:

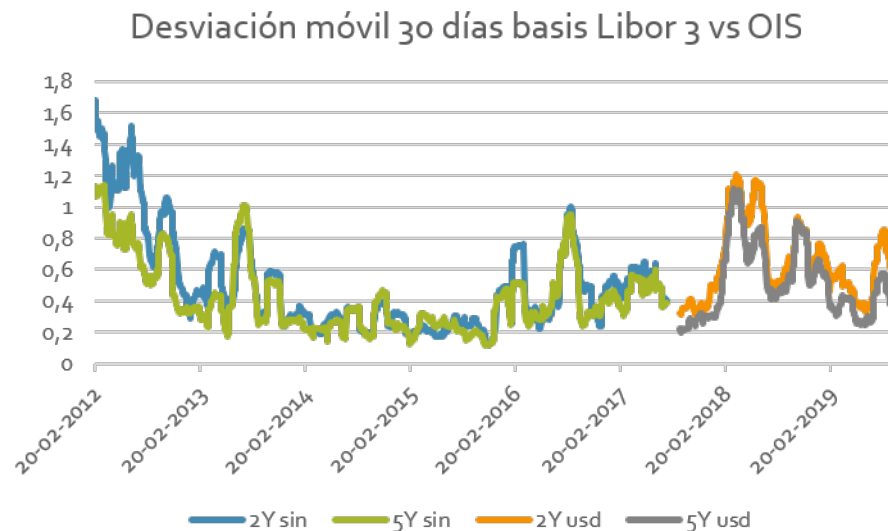


Figura 5.22: Modelo volatilidad desviación 30 días basis L3 vs OIS 2 y 5 años.

Tabla 5.42: Media modelos desviación móvil basis L3 vs OIS.

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	0.494	0.452	0.427	0.413
Con colateral	0.654	0.583	0.539	0.520

Por último, se calcula la varianza a partir de las series ARMA que mejor se ajustan a los basis Libor 3M vs OIS en los 5 tenores analizados. Se obtiene que las varianzas son estadísticamente mayores en las series sin colateral en todos los tenores.

Tabla 5.43: Volatilidad modelos ARMA basis de moneda

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	0.369	0.305	0.253	0.230
Con colateral	0.472	0.384	0.333	0.306

Se concluye que la volatilidad de los basis L3 vs OIS es mayor tras la fecha de cambio de colateral. Por lo que no se acepta la hipótesis testeada. Por ende esta componente no es la causante de la disminución de la varianza de los basis de moneda ya que más bien aumenta su volatilidad.

5.4.2.2. Basis Libor 6M vs Libor 3M

Se prueba la hipótesis “*Los basis Libor 6M vs Libor 3M son menos volátiles tras el cambio de colateral.*”.

En la siguiente figura se observa el gráfico de las variaciones de los basis de 5 años y las desviaciones estándar de las series de 2 a 5 años.

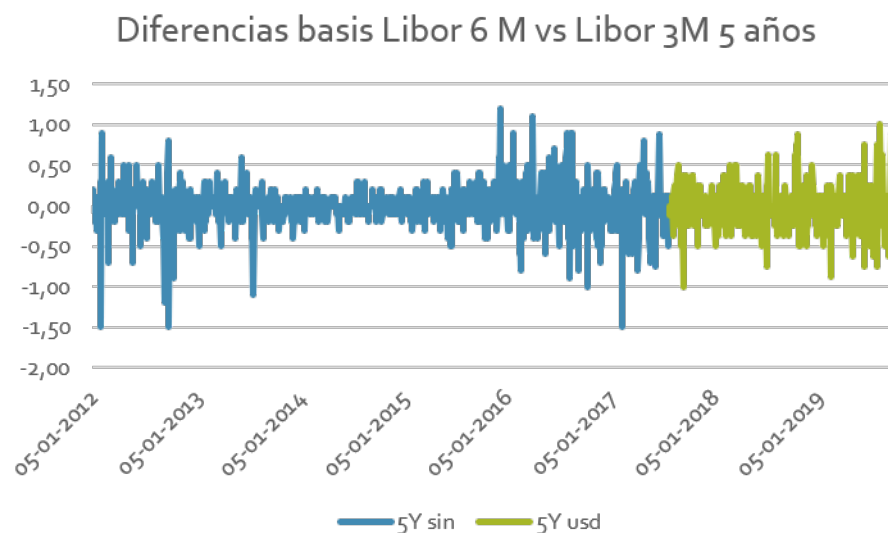


Figura 5.23: Diferencias basis Libor 6M vs Libor 3M 5 años.

Tabla 5.44: Desviación estándar basis Libor 6M vs Libor 3M

Serie	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	0.264	0.237	0.203	0.226
Con colateral	0.409	0.306	0.265	0.239

Los resultados anteriores muestran que las volatilidades van disminuyendo a medida que aumenta el plazo, siendo siempre menores en las series sin colateral, contrario a lo esperado. Se realiza un test de varianzas y se obtiene que éstas son estadísticamente mayores en la serie con colateral en los 4 tenores estudiados.

Se realizan los modelos de volatilidad calculada a partir de la desviación estándar móvil con una ventana de 30 días en donde se obtienen los siguientes resultados:

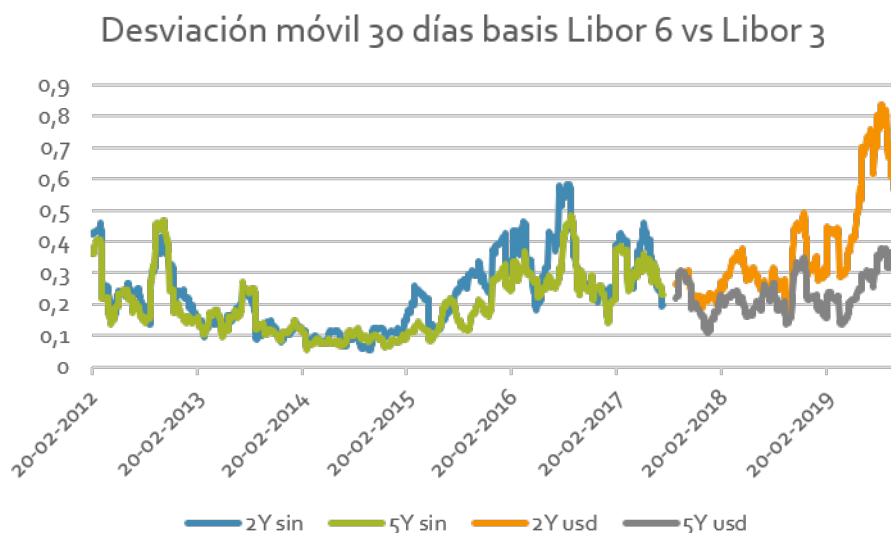


Figura 5.24: Modelo volatilidad desviación 30 días basis L6 vs L3 2 y 5 años.

Tabla 5.45: Media modelos desviación móvil basis L6 vs L3.

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	0.228	0.205	0.199	0.198
Con colateral	0.374	0.289	0.254	0.229

Por último, se calcula la varianza a partir de las series ARMA que mejor se ajustan a los basis Libor 6M vs Libor 3M. El resultado muestra que las varianzas son estadísticamente mayores en las series sin colateral de 2 a 4 años y estadísticamente iguales en el tenor de 5 años.

Tabla 5.46: Volatilidad modelos ARMA basis L6 vs L3.

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	0.067	0.054	0.052	0.050
Con colateral	0.160	0.091	0.069	0.052

En conclusión, hay evidencia estadística suficiente para definir que la volatilidad de los basis Libor 6M vs Libor 3M es mayor tras la fecha de cambio de colateral, en donde la diferencia va disminuyendo a medida que aumenta el tenor. Al ser mayores las varianzas tras el cambio de colateral no se cumple la hipótesis planteada, por lo que los basis Libor 6M vs Libor 3M no es la razón de la disminución de los basis de moneda y tasas de descuento ya que aumenta su volatilidad.

5.4.2.3. Basis Cámara vs Libor 6M

Se prueba la hipótesis “*Los basis Cámara vs Libor 6M son menos volátiles tras el cambio de colateral*”. En el siguiente gráfico se observan las variaciones de los basis Cámara vs Libor

6M de 5 años y las desviaciones estándar de las series de 2 a 5 años.

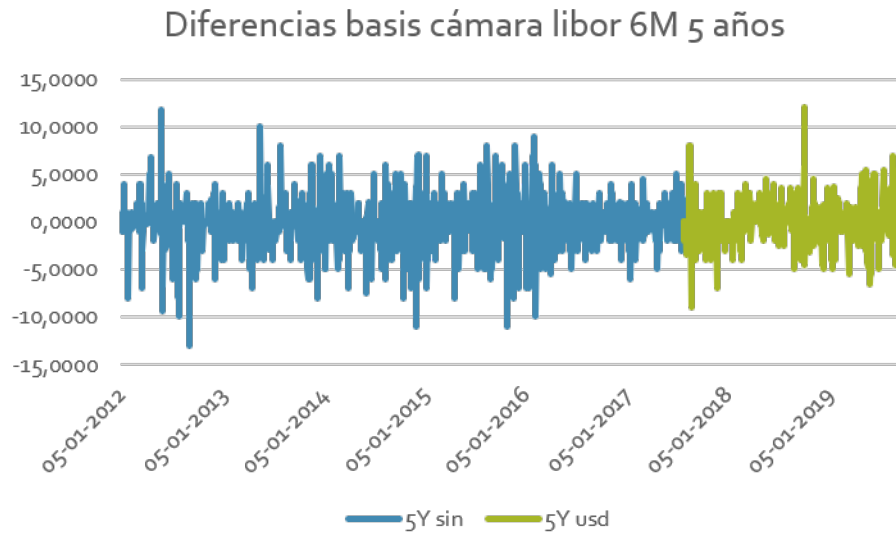


Figura 5.25: Diferencias basis Cámara vs Libor 6M de 5 años.

Tabla 5.47: Desviación estándar basis Cámara Libor.

Serie	2Y	5Y	10Y	15Y
Sin colateral	2.228	2.254	2.267	2.304
Con colateral	2.211	2.149	2.219	2.090

Los resultados anteriores muestran que las volatilidades son siempre mayores en las series sin colateral de acuerdo a lo esperado. Se realiza un test de varianzas y se obtiene que estas son estadísticamente iguales en ambas series en todos los tenores analizados (2 a 5 años). Lo anterior se comprueba debido a que los p-value son mayores a 0.05 en las 4 series. Por lo tanto, las varianzas son estadísticamente iguales con una confianza de 95 %

Tabla 5.48: Test homogeneidad de varianzas basis Cámara Libor.

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Estadístico de Levene	1.627	0.132	3.476	1.297
P-value	0.22	0.72	0.06	0.26

Se realizan los modelos de volatilidad calculados a partir de series EWMA en donde se obtienen los siguientes resultados:

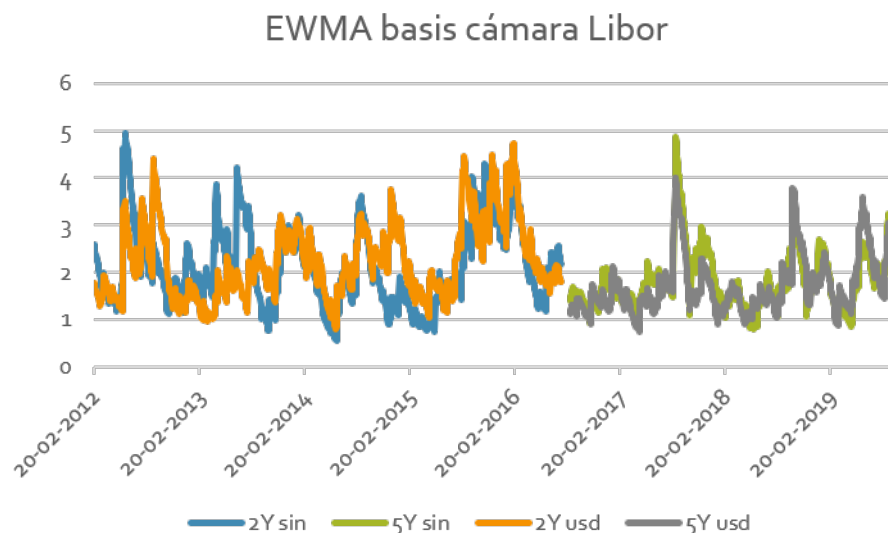


Figura 5.26: Modelo volatilidad EWMA basis cámara Libor 6m 2 y 5 años.

Tabla 5.49: Media modelos EWMA basis Cámara vs L6.

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	2.115	2.199	2.238	2.315
Con colateral	1.916	1.829	1.866	1.745

Al igual que en los gráficos de diferencias de los basis Cámara vs Libor, en los modelos EWMA se observa una menor volatilidad general en la serie con colateral.

Por último, se calcula la varianza a partir de las series ARMA que mejor se ajustan a los basis Cámara vs Libor 6m en los 5 tenores analizados. Se obtiene que las varianzas son estadísticamente iguales en 2 años y menores en las series con colateral en los demás.

Tabla 5.50: Volatilidad modelos ARMA basis cámara libor 6m

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	5.900	6.017	5.502	6.448
Con colateral	5.487	5.098	6.448	4.681

Se concluye que la volatilidad de el basis Cámara vs Libor 6M es ligeramente menor en los tenores desde mayores a 3 años tras la fecha de cambio de colateral. Por lo que se acepta la hipótesis testada, siendo ésta la componente que produce la disminución de volatilidad de los basis de moneda y por ende de las tasas de descuento.

Luego se procedió a realizar el mismo análisis con las componentes conocidas de este basis. Como se mencionó en la sección (4.3.1) el basis Cámara vs Libor se compone por la diferencia entre las tasas ICP y Libor 6M, además de una componente que incluye el riesgo país y el costo del dolar en Chile entre otros. Las variables conocidas en este caso son la

ICP¹⁴ y la Libor 6M. Por lo que se calcularán los basis entre estas tasas conocidas y se le restará el basis del producto Cámara vs Libor 6M para estimar cuál es la componente no conocida del basis. A continuación, se realizará el mismo análisis de volatilidad para la tasa Libor 6M y la diferencia mencionada anteriormente.

5.4.2.3.1. Libor 6 meses

En la siguiente figura se muestra el gráfico de diferencias de Libor 6M a un plazo de 5 años en donde pareciera ser que la volatilidad es mayor en la serie sin colateral.

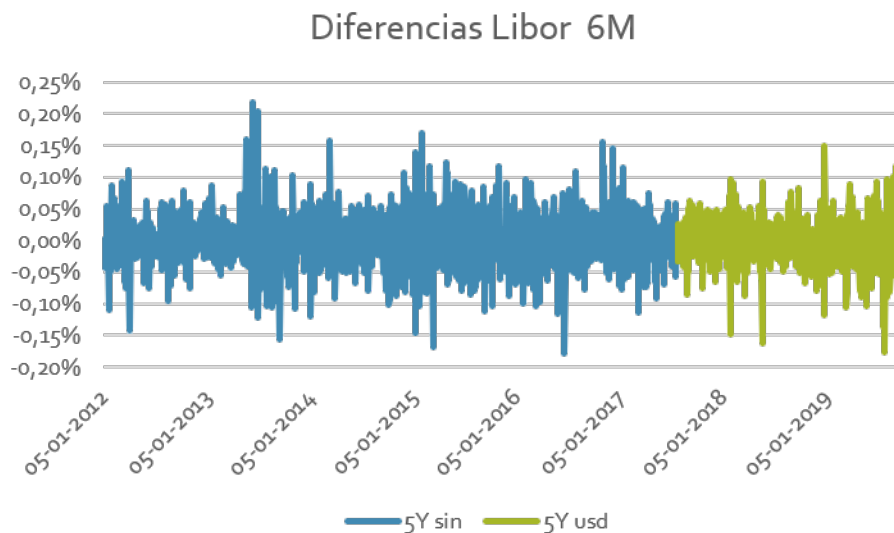


Figura 5.27: Diferencias diarias Libor 6M de 5 años.

Tabla 5.51: Desviación estándar Libor 6M (%)

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	0.0232	0.0317	0.0378	0.0422
Con colateral	0.0320	0.0364	0.0381	0.0390

Los resultados anteriores muestran que las volatilidades son mayores en las series con colateral en los tenores de 2 a 4 años y menores en el tenor de 5 años. Se realiza un test de varianzas y se obtiene que estas son estadísticamente mayores en las series con colateral de 2 y 3 años e iguales en ambas series en los tenores de 3 y 4 años.

Luego se realizan los modelos de volatilidad de desviación móvil con ventana de 30 días en donde se obtienen los siguientes resultados:

¹⁴ Este análisis ya se realizó en la sección (5.4.1).

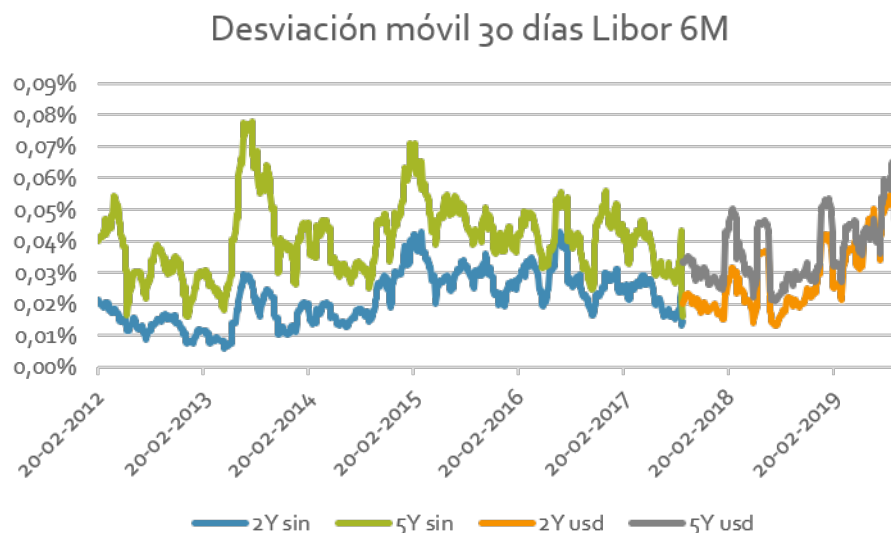


Figura 5.28: Modelo volatilidad móvil Libor 6M 2 y 5 años.

Tabla 5.52: Media modelos volatilidad Libor 6M (%)

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	0.022	0.030	0.036	0.041
Con colateral	0.029	0.034	0.036	0.037

En el gráfico anterior se observa un mayor nivel de volatilidad en las series de 2 años, en cuyo caso la volatilidad es menor en la serie sin colateral. La serie de 5 años pareciera ser mayor con colateral, sin embargo, al calcular la media del modelo se obtiene que la volatilidad disminuye tras el cambio de colateral.

Por último, se calcula la varianza a partir de las series ARMA que mejor se ajustan a las tasas Libor 6 meses. Se obtiene que las varianzas son estadísticamente diferentes en todos los tenores salvo en 4 años donde son iguales. En los primeros 2 tenores son volatilidades mayores tras el cambio y en 5 años son menores.

Tabla 5.53: Volatilidad modelos ARMA libor 6m (%)

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	0.005	0.099	0.142	0.177
Con colateral	0.101	0.132	0.145	0.152

Respecto a las tasas Libor 6M se concluye que éstas tienen volatilidades diferentes en las series sin colateral y con colateral, siendo menor la volatilidad solo en el tenor de 5 años. Por lo cual, la volatilidad de las tasas Libor de 6 meses no son la razón de la disminución de las tasas de descuento de SPC CLP:

5.4.2.3.2. Basis ICP-L6 calculados

En esta sección se calcula el basis entre las tasas ICP menos Libor 6M sin considerar el riesgo país y el riesgo del dólar en Chile, este basis es muy superior al basis publicado Cámara vs Libor. Después se resta este último al basis ICP menos Libor 6M de los brokers y se realiza el análisis sobre la diferencia entre ambos la cual explicaría las variables del riesgo país y costo del dólar entre otras las cuales no pueden ser explicadas por separado ya que no se cuenta con los datos necesarios.

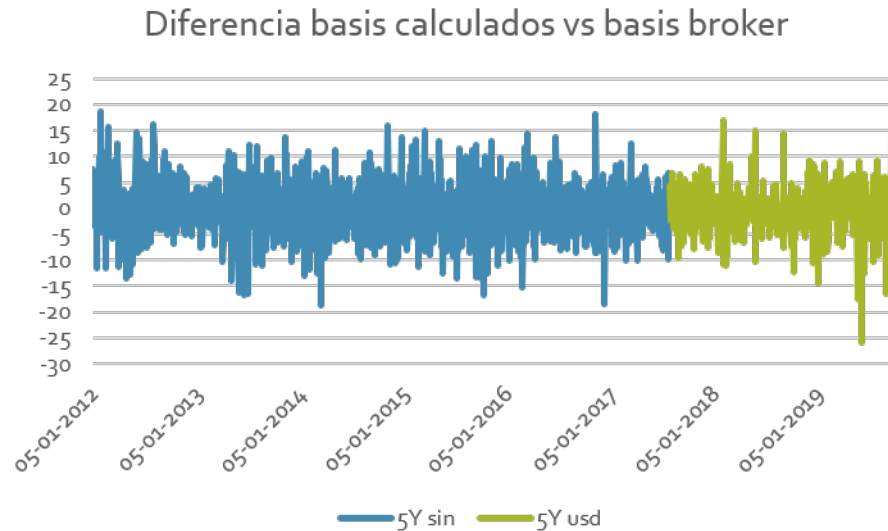


Figura 5.29: Diferencias basis calculados vs basis broker cámara Libor 5 años.

Tabla 5.54: Desviación estándar basis ICP - L6 calculados vs basis broker.

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	4.539	4.733	4.795	5.097
Con colateral	4.196	4.409	4.525	4.436

Los resultados anteriores muestran que las volatilidades son menores en las series con colateral en los cuatro tenores analizados. Lo anterior se rectifica al realizar el test de varianzas en donde se obtiene que son estadísticamente diferentes, siendo mayores en las series sin colateral.

Se realizan los modelos de volatilidad de desviación móvil con ventana de 30 días en donde se obtienen los siguientes resultados:

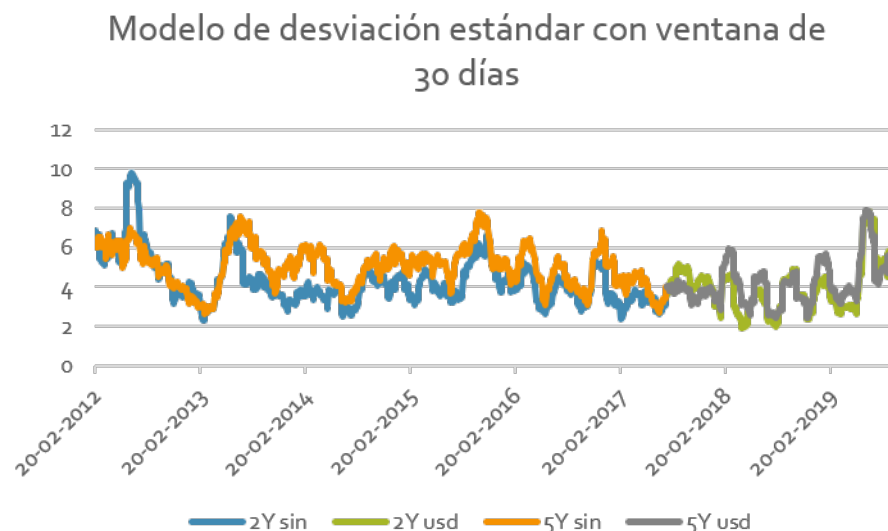


Figura 5.30: Modelo volatilidad móvil basis ICP-L6 calculados vs basis broker 2 y 5 años.

Tabla 5.55: Media modelos volatilidad Libor 6M.

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	4.288	4.567	4.701	5.013
Con colateral	4.005	4.205	4.318	4.242

En el gráfico anterior se observa una volatilidad menor en las series sin colateral, siendo la diferencia mayor en las series de 5 años.

Por último, se calcula la varianza a partir de las series ARMA que mejor se ajustan a las tasas Libor 6M en los 5 tenores analizados. Se obtiene que las varianzas son estadísticamente diferentes en todos los tenores, siendo mayores en las series sin colateral en la línea con los resultados anteriores.

Tabla 5.56: Volatilidad modelos ARMA basis cámara Libor calculados.

Serie	2Y	3Y	4Y	5Y
Sin colateral	28.90	22.23	23.02	26.06
Con colateral	17.76	19.32	20.25	19.43

Respecto a los análisis anteriores, se concluye que hay un cambio significativo de volatilidad entre las series sin colateral y con colateral, siendo menor la volatilidad en el segundo caso de acuerdo a lo esperado. Por lo cual pareciera que esta componente del basis Cámara vs Libor 6M es la causante de la disminución de la volatilidad de este basis y por ende del basis de moneda y las tasas de descuento de 5 años.

5.4.3. Análisis volatilidad tasas mercado

A continuación, se analiza la volatilidad de las variables del mercado financiero chileno: BCU, BCP, IPSA y tasas fondeo para estimar si el cambio de volatilidad se puede deber al mercado en su totalidad. Los gráficos de las variaciones diarias de estas tasas se encuentran en los gráficos (C.3), (C.4), (C.5) y (C.6) del anexo C.

Se realizó el test de diferencia de varianzas en donde se obtuvo como resultado que las volatilidades de las tasas BCU Y BCP son estadísticamente mayores tras la fecha de cambio de colateral y aquellas del IPSA y tasas de fondeo son iguales. Luego se realizaron los modelos de volatilidad mencionados anteriormente. A continuación, se muestran los gráficos del BCP e IPSA. Los gráficos del BCU y tasas de fondeo se encuentran en los gráficos (C.8) y (5.32) del anexo.

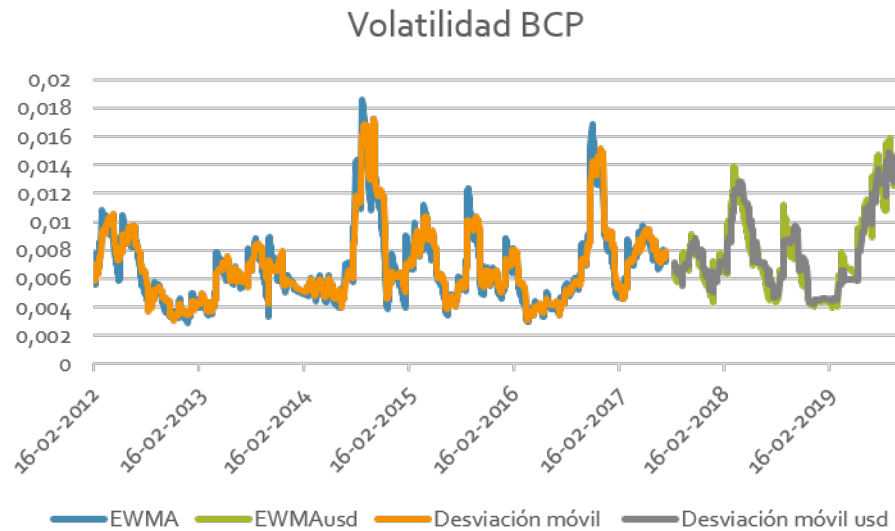


Figura 5.31: Modelos volatilidad BCP.

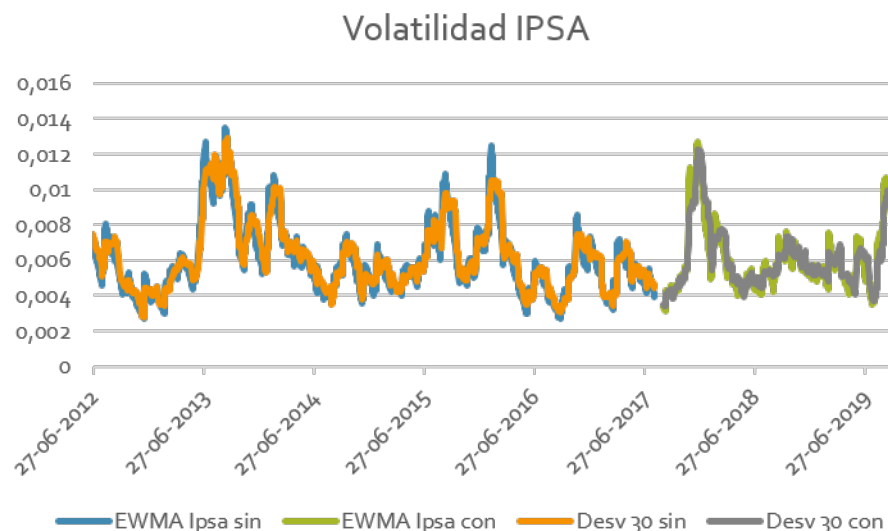


Figura 5.32: Modelos volatilidad IPSA.

Tabla 5.57: Media modelos EWMA volatilidad tasas mercado (%)

Serie	BCU	BCP	IPSA	Tasa fondeo
Sin colateral	1.918	0.678	0.607	0.511
Con colateral	4.416	0.834	0.603	0.578

Los resultados anteriores son similares a los entregados por el test de hipótesis, en donde se evidencia una varianza mayor en las series con colateral en dólares en las tasas BCU y BCP. En el caso del IPSA y tasas de fondeo la diferencia de las medias de estos modelos es mínima, siendo mayor la volatilidad de la serie sin colateral en el caso del IPSA y el resultado contrario para las tasas de fondeo.

Por último se realizaron los modelos ARIMA, en donde se obtuvieron diferentes modelos para todas las series.

Tabla 5.58: Volatilidad modelos ARIMA tasas mercado.

Serie	BCU	BCP	IPSA	Tasa fondeo
Sin colateral	4.91 E-4	8.14 E-5	4.04 E-5	3.32 E-5
Con colateral	4.67 E-3	4.67 E-3	3.99 E-5	4.86 E-5

Las series ARIMA para las diferencias de las tasas son diferentes para las series sin colateral y con colateral, obteniendo varianzas estadísticamente diferentes en donde la varianza es mayor para el caso con colateral, salvo para el IPSA donde las varianzas son estadísticamente iguales.

En la figura (5.33) a continuación, se muestra un resumen de las hipótesis planteadas. Donde en rojo se muestran las hipótesis que se comprobó que aumentan la volatilidad de las

tasas de descuento contrario a lo esperado. En verde, se muestran las hipótesis que disminuyen la volatilidad. Por último, en café están las variables cuyo resultado no es concluyente.

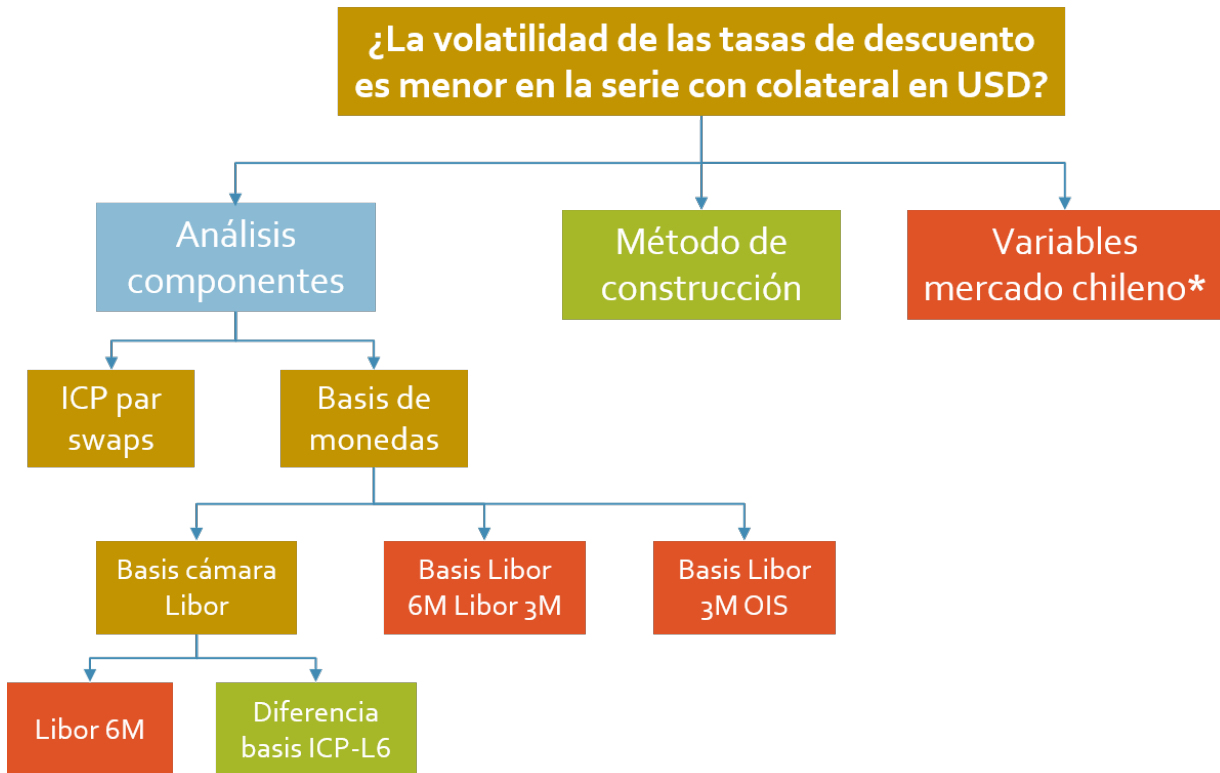


Figura 5.33: Resumen hipótesis de volatilidad.

En base a los análisis anteriores se concluye que la leve disminución de la volatilidad de las tasas de descuento se debe a los basis de moneda, específicamente a los basis Cámara Libor y las tasas PAR swaps. Las demás componentes del basis de moneda aumentan su volatilidad tras la fecha de cambio de colateral, al igual que las tasas del mercado financiero.

5.4.4. Análisis volatilidad métodos de construcción

Al igual que para el nivel de las tasas de descuento se realiza el análisis de volatilidad de los métodos de construcción, en donde se calculan las tasas de descuento para toda la ventana de datos entre el 2012 y 2019 con los métodos que consideran un swap original sin colateral y con colateral en dólares.

En el gráfico (5.13) se observan las diferencias de las tasas con los dos métodos de cálculo en donde parecieran ser iguales. Se calcula las desviaciones estándar de las tasas de descuento calculadas con ambas metodologías.

Respecto a la volatilidad de las series, en los resultados de la tabla anterior se observa que son relativamente iguales lo cual se ratifica con el test de varianzas en donde se obtiene que son estadísticamente iguales. Se estimaron modelos de desviación móvil en donde se obtienen los siguientes resultados que rectifican la hipótesis de que las varianzas calculadas con ambos

Tabla 5.59: Desviación estándar diferencias tasas descuento dos métodos de construcción.

Serie	Tasas descuento 5Y
Sin colateral	0.0442 %
Con colateral	0.0442 %

métodos de construcción son iguales.

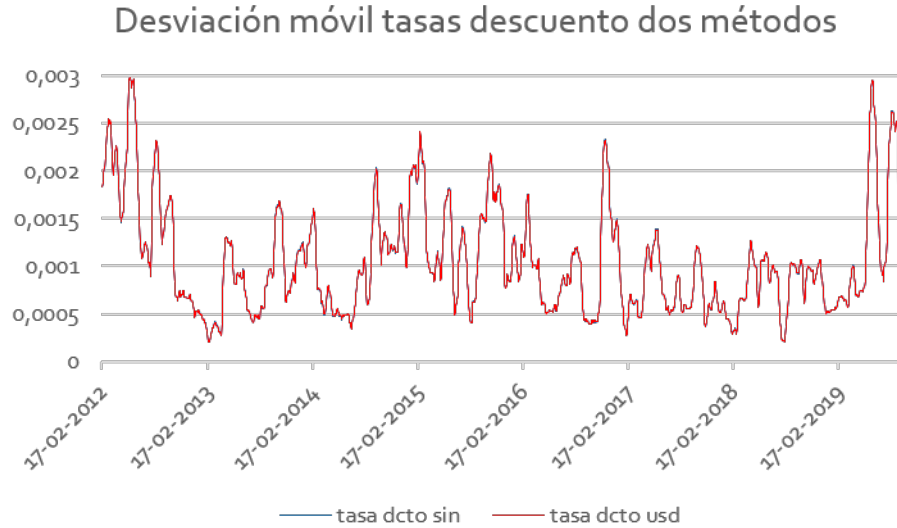


Figura 5.34: Desviación móvil tasas de descuento con dos métodos de cálculo.

Tabla 5.60: Media desviación móvil diferencias tasas descuento dos métodos de construcción

Serie	Tasas descuento 5Y
Sin colateral	0.0417(%)
Con colateral	0.0417(%)

Para terminar, se ajustaron series ARMA y modelos de desviación móvil para estimar diferencias entre ambos métodos de cálculo. En los dos casos se obtienen que series AR(1) son las que mejor se ajustan a las tasas de descuento del swap sin colateral y con colateral en dólares. A continuación, en la tabla (5.61) se encuentran los resultados de las volatilidades calculadas por las series en donde se obtienen ligeras diferencias, las cuales no alcanzan a ser significativas ya que mediante intervalos de confianza se obtiene que las varianzas de las dos series son iguales.

A partir de los resultados anteriores, se concluye que las dos metodologías de cálculo no presentan diferencias significativas de volatilidad. Por lo cual sería correcto recrear el mercado con colateral en dólares antes de julio del 2017 con la misma metodología que se

Tabla 5.61: Volatilidad series ARMA dos métodos de construcción.

Serie	Tasas descuento 5Y
Sin colateral	1.896E-7
Con colateral	1.900E-7

sugiere utilizar desde esa fecha en adelante, con esta se logra simular de manera correcta el mercado inexistente con colateral en dólares en el pasado.

5.4.5. Descomposición de Taylor

Para finalizar el análisis de volatilidad de las tasas de descuento del SPC CLP se realizó un análisis mediante una descomposición de Taylor para definir cuáles son los factores que mayor volatilidad aportan.

$$tasas\ dcto_{5Y} = f(basisCamL6, basisL6L3, basisL3OIS, ICP_{5Y}) \quad (5.1)$$

En donde las diferencias diarias de las tasas de descuento se calculan de la siguiente forma:

$$tasas\ dcto_{5Y} = \frac{\partial f}{\partial CamL6_{5Y}} \Delta(CamL6_{5Y}) + \frac{\partial f}{\partial L6L3_{5Y}} \Delta(L6L3_{5Y}) + \frac{\partial f}{\partial L3OIS_{5Y}} \Delta(L3OIS_{5Y}) + \frac{\partial f}{\partial ICP_{5Y}} \Delta(ICP_{5Y}) \quad (5.2)$$

Se calculan las derivadas parciales de las variables ya mencionadas:

Sin colateral

$$\frac{\partial f}{\partial CamL6_{5Y}} = \frac{\partial f}{\partial L6L3_{5Y}} = \frac{\partial f}{\partial L3OIS_{5Y}} \approx -1.009$$

$$\frac{\partial f}{\partial ICP_{5Y}} \approx 1.008$$

Colateral USD

$$\frac{\partial f}{\partial CamL6_{5Y}} = \frac{\partial f}{\partial L6L3_{5Y}} = \frac{\partial f}{\partial L3OIS_{5Y}} \approx -1.015$$

$$\frac{\partial f}{\partial ICP_{5Y}} \approx 1.005$$

A continuación, se encuentra el gráfico de los resultados de la aproximación de Taylor en donde se obtiene que estos logran ajustar bastante bien las variaciones reales de las tasas de descuento calculadas ya que las variaciones son mínimas.

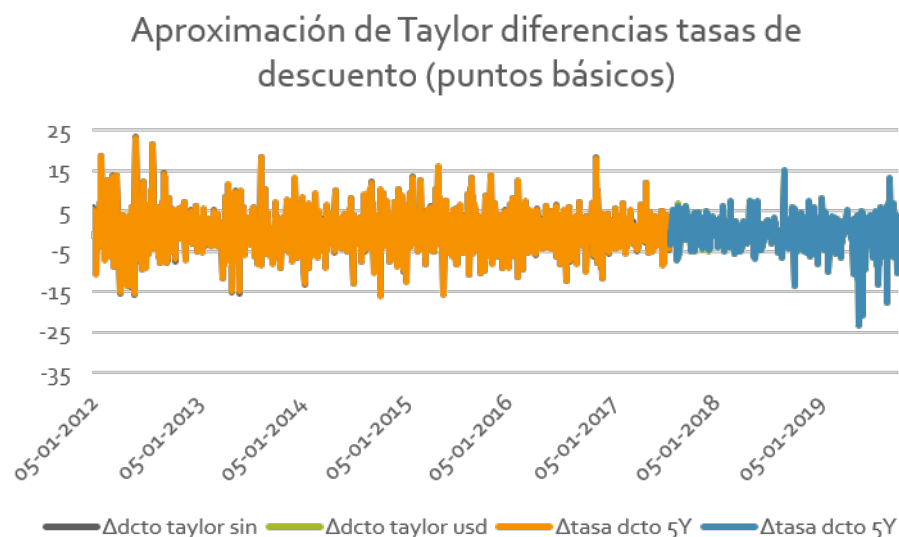


Figura 5.35: Aproximación de Taylor diferencias tasas de descuento.

Se calcula la varianza de las diferencias de las tasas de descuento con la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned}
 Var(\Delta \text{tasas dcto}) = & \left[\frac{\partial f}{\partial CamL6_{5Y}} \quad \frac{\partial f}{\partial L6L3_{5Y}} \quad \frac{\partial f}{\partial L3OIS_{5Y}} \quad \frac{\partial f}{\partial ICP_{5Y}} \right] (Matriz\ covarianza) \\
 & \left[\frac{\partial f}{\partial CamL6_{5Y}} \quad \frac{\partial f}{\partial L6L3_{5Y}} \quad \frac{\partial f}{\partial L3OIS_{5Y}} \quad \frac{\partial f}{\partial ICP_{5Y}} \right]^T
 \end{aligned} \tag{5.3}$$

Se obtienen las siguientes varianzas para las series sin colateral y con colateral. En donde, de acuerdo a los resultados anteriores se obtiene una menor varianza en la serie originalmente con colateral en dólares.

Tabla 5.62: Volatilidad descomposición de Taylor

Serie	Varianza dif basis
Sin colateral	0.211 %
Con colateral	0.143 %

A partir de las matrices de covarianza¹⁵ se obtiene que las variables que más efecto tienen en la volatilidad final de las tasas de descuento son las tasas ICP y los basis Cámara vs Libor 6M. Siendo la volatilidad de la primera variable siempre mayor debido a que estas tasas son mayores que los basis de Cámara vs Libor 6M. Por esto, se calcularon las volatilidades de las series estandarizadas en donde se obtiene un mayor aporte a la volatilidad de las tasas de descuento por parte de los basis Cámara Libor.

En base a todos los resultados anteriores se puede concluir que las tasas de descuento tienen una ligera disminución de volatilidad, la cual se debe a las variables utilizadas para

¹⁵ Se encuentra en la tabla (C.1) y (C.2) del anexo.

su cálculo y no al método de construcción, ya que se probó que este no agrega volatilidad a ninguna de las series. La variable causante de la disminución de la volatilidad son los basis de moneda más específicamente los basis Cámara vs Libor 6M y las tasas ICP. Por otra parte, las demás componentes de los basis de moneda y las tasas del mercado financiero chileno aumentan su volatilidad después del 2017, por lo que no son la causa de la disminución de la varianza.

Capítulo 6

Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta tesis muestran que el método de recreación de tasas del Swap Promedio Cámara es un ajuste correcto al cambio que se produjo en el mercado a partir de mediados del año 2017 con la incorporación de colaterales en dólares.

Lo anterior se concluye debido a que las diferencias, tanto de nivel como de volatilidad entre la serie originalmente sin colateral y la serie de tasas actuales con colateral en dólares se deben a cambios en las variables que se utilizan en el cálculo y de mercado y no al método de construcción, el cual logra construir las tasas en el pasado y presente sin sesgo. Debido a esto se puede concluir que el método propuesto es un buen ajuste de construcción de curvas con las condiciones actuales.

Se obtiene una disminución de las tasas de descuento en la serie con colateral, lo cual se debe en parte al aumento de los basis de moneda entre la tasa cámara y OIS y a la disminución de las tasas par swaps.

El aumento de los basis de moneda se produce principalmente debido a los basis cámara vs Libor 6 meses, los cuales representan el riesgo país de Chile en comparación a Estados Unidos. Éste se puede ver parte en la correlación existente entre los basis cámara Libor y la deuda pública como función del PIB, la cual efectivamente aumentó desde el 2017¹. La correlación es leve (0.64) pudiendo servir para explicar en parte el comportamiento de los basis Cámara vs Libor después del año 2017.

¹ https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principa11/enlaces/Informes/SE/InformesAnteriores_BDP.html

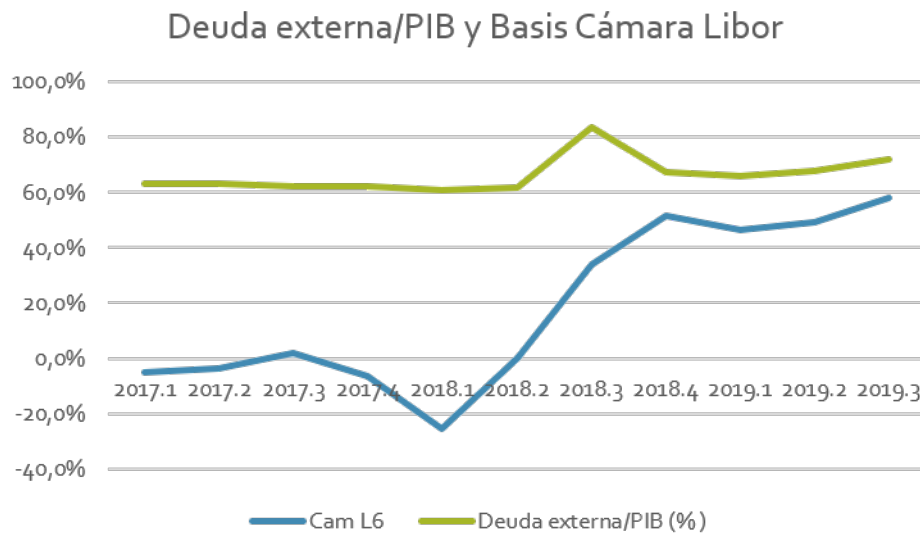


Figura 6.1: Deuda/PIB y basis Cámara Libor 6M.

Respecto a las tasas ICP su caída se ve directamente relacionada con las tasas del mercado chileno como son las tasas de fondeo entre los bancos, BCU y BCP las cuales muestran una disminución significativa.

A su vez, se observan leves cambios en la volatilidad de las tasas de descuento, los cuales se deben a la disminución de la volatilidad de los basis de moneda y específicamente a los basis Cámara Libor 6 meses. El cambio de volatilidad en estos basis posiblemente se debe a un problema endógeno, en donde la incorporación de colateral en dólares facilitó la liquidez de esta moneda en el mercado chileno, en donde se aumentan las transacciones en dólares en Chile y por ende debiera disminuir su volatilidad².

Además se observó una pequeña disminución en la volatilidad de las ICP par swaps, la que al igual que los basis de moneda van en la línea de la disminución de la volatilidad de las tasas de descuento analizadas. Esta disminución se puede explicar debido a que el instrumento SPC comenzó a ser en promedio más transado desde el cambio de colateral.

Es importante definir un método de construcción de curvas adecuado para la valorización de swaps con CSA en dólares, en donde las tasas de descuento puedan reflejar correctamente el costo de oportunidad que enfrenta la institución en un Swap Promedio Cámara. Si se calculan las tasas con basis de moneda incorrectos, por ejemplo utilizando únicamente los basis cámara vs Libor 6M, se podría tener un valor subestimado en aproximadamente un 2% en tasas de 5 años, respecto al valor correcto, lo cual en grandes cantidades de dinero, puede generar una oportunidad de arbitraje importante produciéndose grandes pérdidas para la institución cuyas metodologías de valorización no sean las correctas.

Por último queda pendiente entender si la volatilidad de los basis cámara Libor 6 cayó efectivamente producto de una mayor liquidez del mercado al comenzar a operar con colaterales en dólares. Esto podría ser una interesante línea de trabajo para explorar.

² <https://www.bcentral.cl/areas/estadisticas/derivados-y-spot>

Bibliografía

- [1] *The xVA Challenge*. John Wiley Sons, Ltd, 2015. ISBN 9781119109440. doi: 10.1002/9781119109440.ch6. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119109440.ch6>.
- [2] White paper: Curvas de valorización asociadas a la implementación de la cuenta de liquidación en dólares en comder. White paper 25, ComDer, 05 2019.
- [3] Felipe Alarcon and Nicolas Malandre. Onshore spread and swap spread: Chilean money market liquidity indicators. In Bank for International Settlements, editor, *The IFC's contribution to the 57th ISI Session, Durban, August 2009*, volume 33 of *IFC Bulletins chapters*, pages 391–399. Bank for International Settlements, March 2010. URL <https://ideas.repec.org/h/bis/bisifc/33-45.html>.
- [4] Jaroslav Baran and Jiří Witzany. Analysing cross-currency basis spreads. Working Papers 25, European Stability Mechanism, 07 2017.
- [5] Peter Brockwell and Richard Davis. *Introduction to Time Series and Forecasting*. third edition edition, 2015.
- [6] Matt Cameron. Goldman and the ois gold rush. *Risk*, pages 15–19, 06 2013. URL <http://www.risk.net/risk-magazine/feature/2270178/goldman-and-the-ois-gold-rush-how-fortunes-were-made-from-a-discounting-change>.
- [7] Stéphane Crépey, Zorana Grbac, and Hai-Nam Nguyen. A multiple-curve hjm model of interbank risk. *Mathematics and Financial Economics*, 6, 06 2012. doi: 10.1007/s11579-012-0083-4.
- [8] Jin Cui, Francis In, and Elizabeth Ann Maharaj. What drives the libor–ois spread? evidence from five major currency libor–ois spreads. *International Review of Economics Finance*, 45(C):358–375, 2016. doi: 10.1016/j.iref.2016.04.002. URL https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2173944.
- [9] Bank for International Settlements. Triennial central bank survey of foreign exchange and over-the-counter (otc) derivatives markets in 2019, 2019. URL <https://www.bis.org/statistics/rpfx19.htm>.
- [10] Masaaki Fujii, Yasufumi Shimada, and Akihiko Takahashi. A market model of interest rates with dynamic basis spreads in the presence of collateral and multiple currencies. *Center for Advanced Research in Finance, Faculty of Economics, The University of Tokyo, CARF F-Series*, 2011, 11 2009. doi: 10.2139/ssrn.1520618.
- [11] Felipe Alarcón G., Daniel Calvo C., and Pamela Jervis O. Mercado de Cobertura Cambiaria y Tasa de Interés Local en Dólares. *Notas de Investigación Journal*

- Economía Chilena (The Chilean Economy)*, 11(2):79–88, August 2008. URL <https://ideas.repec.org/a/chb/bcchni/v11y2008i2p79-88.html>.
- [12] Simon Gunnarsson. Curve building and swap pricing in the presence of collateral and basis spreads. Master’s thesis, School of Engineering Science, Stockholm, 2013. URL <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:622287/FULLTEXT01.pdf>.
- [13] John C. Hull. *Options, Futures and other Derivatives*. Pearson, ninth edition edition, 2015.
- [14] Michael Johannes and Suresh Sundaresan. Pricing collateralized swaps. *Journal of Finance*, 62, 06 2003. doi: 10.2139/ssrn.412342.
- [15] Marcin Kalinowski. Over-the-counter derivatives market in view of the global financial crisis 2007-2009. *Economics and Management : Ekonomika ir Vadyba*, 16(3):1124–1129, 2011. ISSN 1822-6515.
- [16] Robert N. McCauley, Chang Shu, and Guonan Ma. Non-deliverable forwards: 2013 and beyond. *BIS Quarterly Review*, pages 75–88, 03 2014. URL <https://ssrn.com/abstract=2457109>.
- [17] David Nordstokke and Bruno Zumbo. A new nonparametric levene test for equal variances. *Psicológica*, 31:401–430, 01 2010.
- [18] Vladimir Pitterbarg. Funding beyond discounting: collateral agreements and derivatives pricing. *Risk*, 23(2):97–102, 02 2010.
- [19] Vladimir Pitterbarg. Cooking with collateral. *Risk*, pages 46–51, 08 2012.
- [20] White Richard. White paper: Multiple curve construction. *OpenGamma*, 03 2012. URL "<http://janroman.dhis.org/finance/OIS/Open%20Gamma/Multiple-Curve-Construction-OpenGamma.pdf>".
- [21] David Ruppert and David Matteson. *Statistics and Data Analysis for Financial Engineering*. second edition edition, 2015.
- [22] Amir Sadr. *Interest Rate Swaps and Their Derivatives: A Practitioner’s Guide*. John Wiley Sons, Inc, 12 2011. doi: 10.1002/9781118267967.
- [23] Felipe Sotz, Claudia y Alarcón. Mercado de swaps de tasas de interés y expectativas de tpm e inflación. *Economía Chilena*, 10(2):97–102, 08 2007.
- [24] Taylor Spears. Discounting collateral: quants, derivatives and the reconstruction of the ‘risk-free rate’ after the financial crisis. *Economy and Society*, 48(3):342–370, 2019. URL <https://doi.org/10.1080/03085147.2018.1525153>.
- [25] Daniel L. Thornton. What the Libor-OIS spread says. *Economic Synopses*, 24, 05 2009. doi: 10.20955/es.2009.24. URL <https://doi.org/10.20955/es.2009.24>.
- [26] Felipe Varela. Mercados de derivados: Swap de tasas promedio cámara y seguro de inflación”. *Estudios económicos estadísticos Banco Central*, 56, 04 2007.
- [27] Masaaki Fujii y Akihiko Takahashi. Choice of collateral currency. 12 2010. URL https://www.researchgate.net/publication/48548136_Choice_of_Collateral_Currency.

Anexo A

Tasas SPC CLP en el mercado chileno

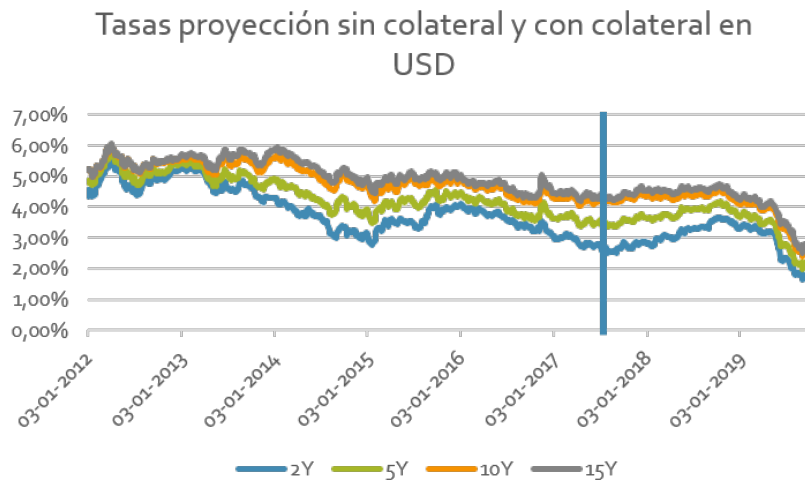


Figura A.1: Tasas descuento sin colateral y con colateral en dólares.

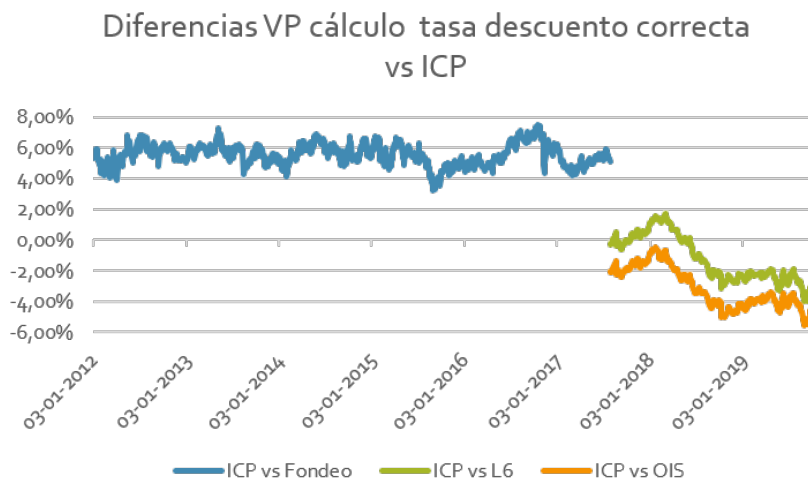


Figura A.2: Diferencias valor presente del swap.

Anexo B

Modelos ARIMA

Este anexo se escribe tomando como referencia los libros *Statistics and Data Analysis for Financial Engineering* [21] y *Introduction to Time Series and Forecasting* [5].

Las series ARIMA son modelos que se utilizan para ajustar series de tiempo que pueden ser estacionarias o no estacionarias. Para comenzar, se definirán los modelos mas simples: autoregresivo y media móvil, las cuales si necesitan el supuesto de estacionalidad.

1. **Modelo auto-regresivo (AR):** estos modelos sirven para series de tiempo cuyas observaciones dependen de las anteriores. El modelo más simple es AR(1) en donde hay dependencia únicamente con la observación anterior.

Las series AR necesitan el supuesto de estacionalidad por lo que en finanzas se utilizan sobre las diferencias diarias de las series o retornos de estas.

$$AR(p) : r_t = \phi_0 + \phi_1 r_{t-1} + \phi_2 r_{t-2} + \dots + \phi_p r_{t-p} + \epsilon_t \quad (\text{B.1})$$

Los modelos auto-regresivos tienen memoria larga, ya que en base a los valores anteriores se predicen los retornos futuros.

2. **Modelo media-móvil (MA):** estas series calculan los retornos a partir de los errores (o shocks) pasados. El modelo más simple es MA(1) en donde el retorno actual se construye en base a el error de la observación anterior.

$$MA(q) : r_t = c_0 + \epsilon_t + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q} \quad (\text{B.2})$$

Los modelos de media móvil tienen memoria corta debido a que los retornos se construyen a partir de los errores pasados y no de las observaciones anteriores de la misma serie. Este modelo, a diferencia de los auto-regresivos se ven muy afectados por los shocks o nueva información.

A partir, de la suma de los dos modelos anteriores se construyen los modelos ARMA(p,q) en donde las observaciones presentes dependen de las anteriores y también de los errores

pasados. Este modelo al igual que los AR y MA necesitan el supuesto de estacionalidad.

Po último, se debe definir el orden de los parámetros p y q del modelo ARIMA. En primer lugar, se selecciona el orden de integración d con un test estadístico como puede ser “KPSS test”. En segundo lugar, se escogen los ordenes p y q se seleccionan escogiendo el menor AIC, BIC o AICc, los cuales se construyen a partir de la log verosimilitud del modelo.

$$ARMA(p, q) : r_t = \phi_0 + \sum_{i=1}^p \phi_i r_{t-i} + \epsilon_t + \sum_{i=1}^q \theta_i \epsilon_{t-i} \quad (\text{B.3})$$

Por último, se tienen los modelos ARIMA los cuales no necesitan el supuesto de estacionalidad, ya que dentro del modelo se diferencian las series para tener estacionalidad. Un modelo ARIMA(p, d, q) se componen a partir de un modelo ARMA(p, q) y una serie diferenciada d veces. Este tipo de modelo se utilizó para ajustar los niveles de las tasas en donde no son estacionarias. Los modelos ARMA se utilizaron en su mayoría para calcular la volatilidad de las diferencias de las series.

- $AIC = -2\log(\text{maxima verosimilitud}) + 2k$
- $AIC = -2\log(\text{maxima verosimilitud}) + k\log(T)$
- $AICc = AIC + \frac{2k^2+2k}{T-k-1}$

Donde k es el número de parámetros ($p + q + d$) y T representa el tamaño total de la muestra. La primera parte de los modelos AIC y BIC miden la bondad de ajuste del modelo y el segundo término la función de penalidad por la cantidad de parámetros utilizados.

Anexo C

Volatilidad

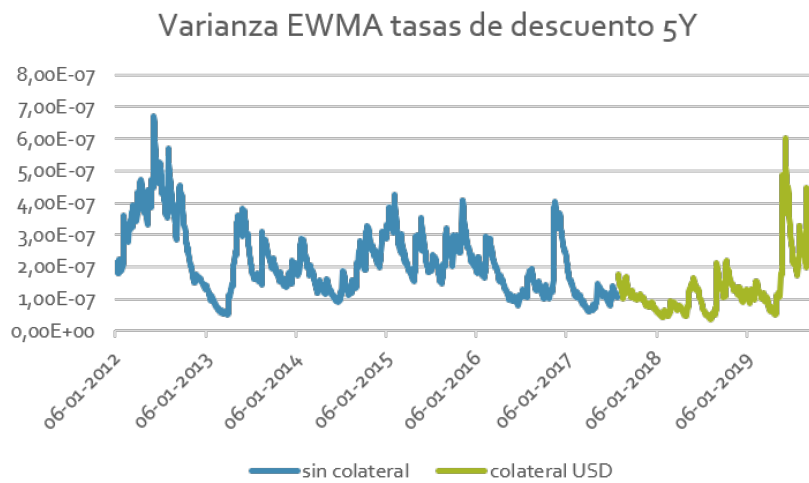


Figura C.1: EWMA tasas descuento 5Y.

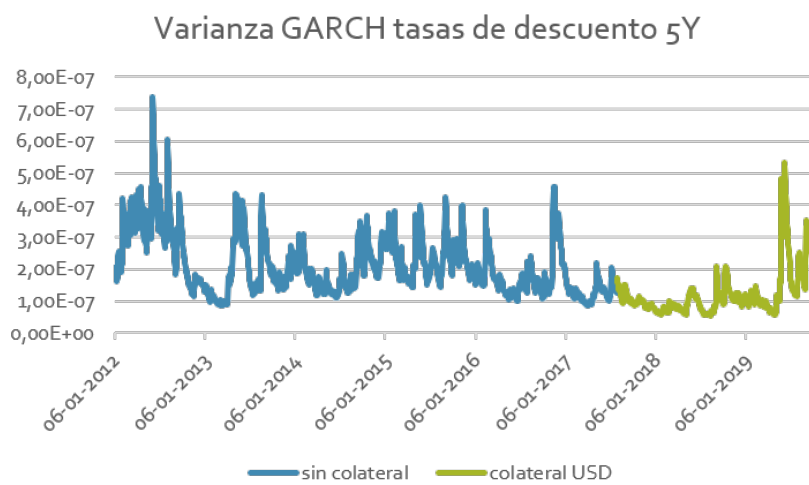


Figura C.2: GARCH tasas descuento 5Y.

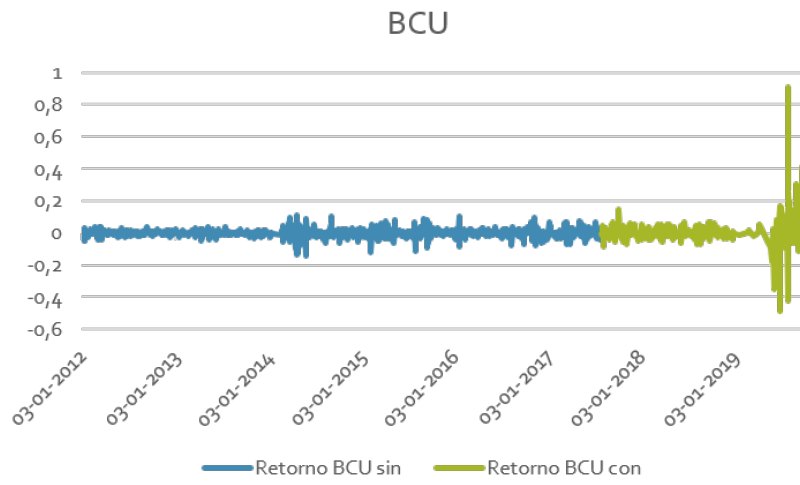


Figura C.3: Retorno BCU.

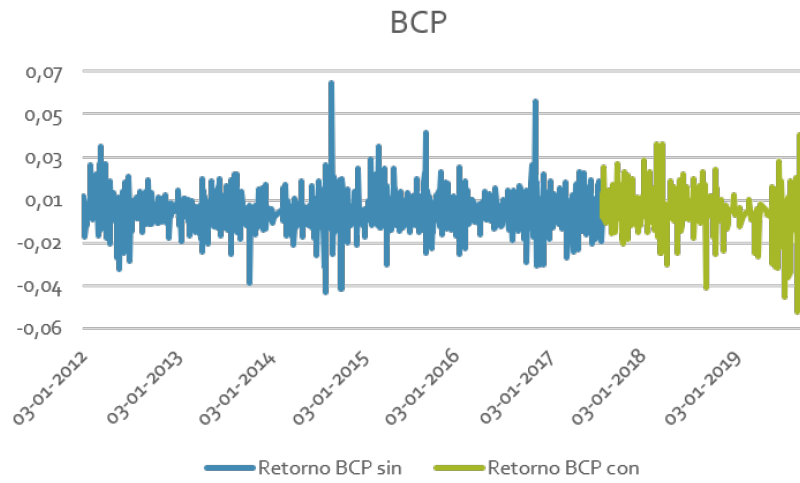


Figura C.4: Retorno BCP.

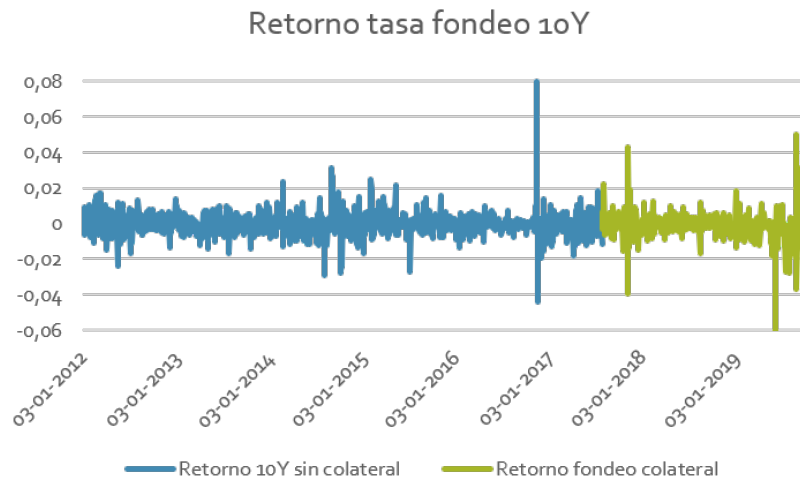


Figura C.5: Retorno tasas fondeo 10 años.

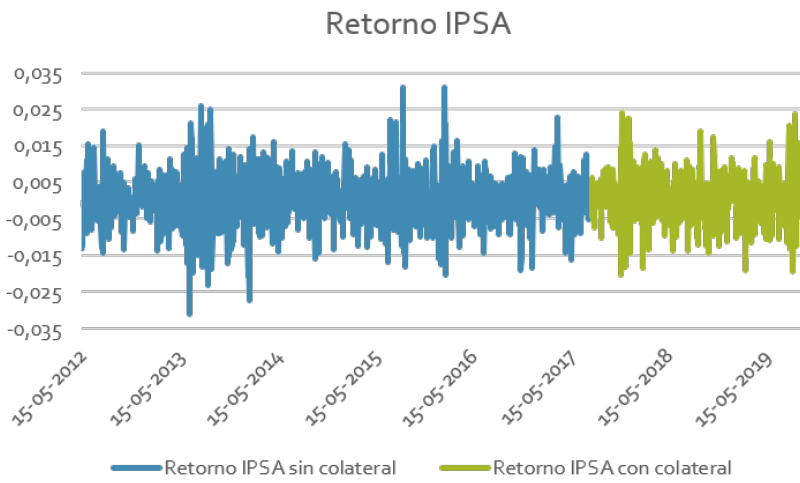


Figura C.6: Retorno IPSA.

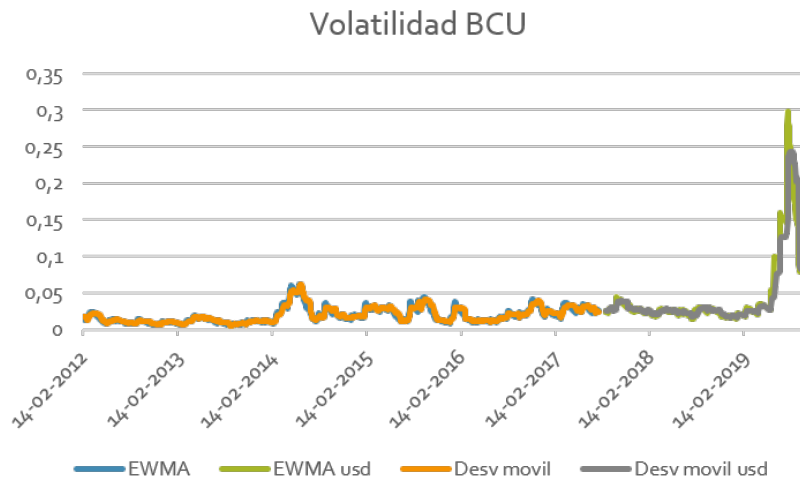


Figura C.7: Modelos volatilidad BCU.

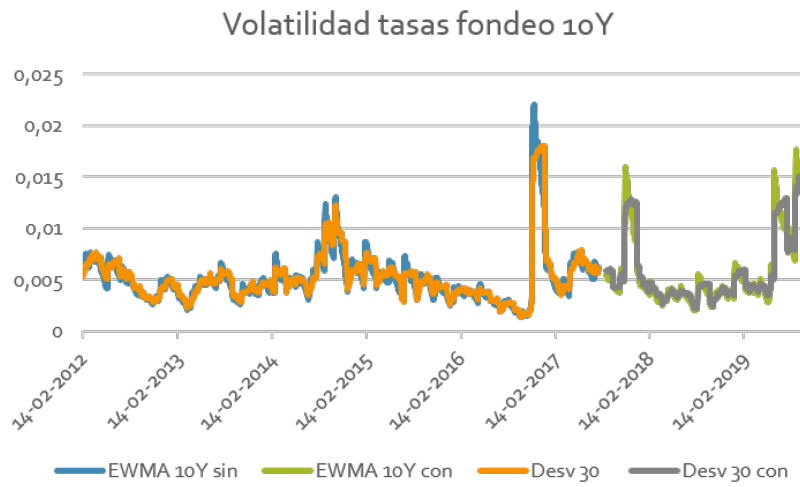


Figura C.8: Modelos volatilidad tasas fondeo 10Y.

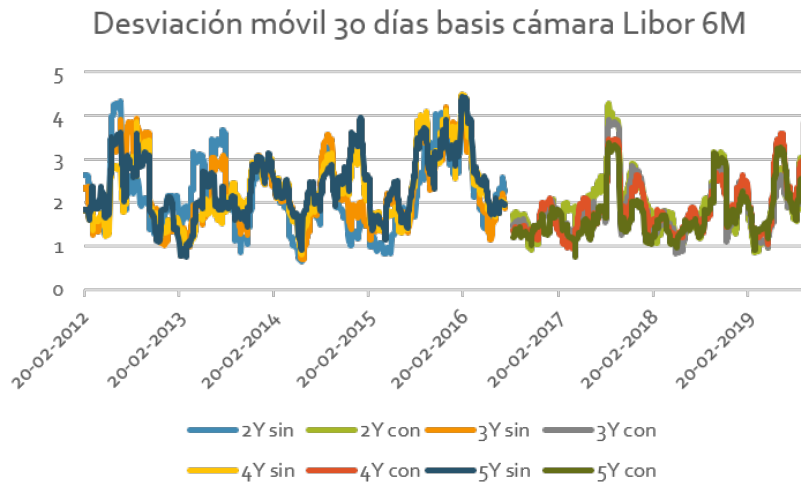


Figura C.9: Modelo desviación 30 días basis cámara Libor 6M.

Tabla C.1: Matriz covarianza aproximación de Taylor sin colateral (bp).

Sin colateral	Cámara vs L6	L6 vs L3	L3 vs OIS	ICP _{5Y}
Cámara vs L6	6.638	0.032	0.101	0.244
L6 vs L3	0.032	0.052	0.023	-0.033
L3 vs OIS	0.101	0.023	0.246	0.013
ICP_{5Y}	0.244	-0.033	0.013	13.980

Tabla C.2: Matriz covarianza aproximación de Taylor con colateral (bp).

Sin colateral	Cámara vs L6	L6 vs L3	L3 vs OIS	ICP _{5Y}
Cámara vs L6	4.982	-0.025	0.053	0.280
L6 vs L3	-0.025	0.057	-0.011	-0.036
L3 vs OIS	0.053	-0.011	0.321	0.009
ICP_{5Y}	0.280	-0.036	0.009	9.908