



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**ANÁLISIS DE RIESGOS DE CONTRAPARTE Y AJUSTES DE CRÉDITO
(CVA) PARA DERIVADOS: METODOLOGÍAS E IMPLEMENTACIÓN**

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

IGNACIO FRANCISCO PÉREZ PIÑA

**PROFESOR GUÍA:
JOSÉ MIGUEL CRUZ GONZALEZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LUIS SIGISFREDO MORALES VERA
KEITH WATT ARNAUD**

**SANTIAGO DE CHILE
MARZO 2014**

“ANÁLISIS DE RIESGOS DE CONTRAPARTE Y AJUSTES DE CRÉDITO (CVA) PARA DERIVADOS: METODOLOGÍAS E IMPLMETACIÓN”

Este trabajo de titulación busca ser una herramienta de apoyo en la difusión y aprendizaje de un concepto que ha tomado relevancia en los últimos 5 años, al haber sido uno de los principales amplificadores de las graves consecuencias de la crisis hipotecaria del 2008: el ajuste por riesgo de crédito, o CVA, es ahora un tema prioritario para las áreas de riesgo de instituciones financieras que negocian instrumentos en el mercado no regulado (*over the counter*).

EL CVA se entiende como la diferencia entre una cartera valorizada como libre de riesgo, respecto a otra la misma que tome en cuenta los riesgos de potenciales pérdidas que se deban a incumplimientos. En términos simples, el CVA es el valor de mercado de esas pérdidas potenciales producidas por eventos de default. Este riesgo de incumplimiento para derivados se denomina como riesgo de contraparte, y su cálculo se sustenta en los mismos parámetros que el riesgo de crédito tradicional: exposición al momento del default, probabilidad de incumplimiento y tasa de recuperación. Sin embargo, tiene algunas particularidades, como la aleatoriedad de la exposición en el futuro. Además, ambas contrapartes pueden caer en default, siendo un riesgo bilateral.

Existen dos metodologías ampliamente usadas para calcular el riesgo de contraparte. La metodología sugerida por el BIS propone que la exposición potencial sea un porcentaje fijo del notional, y dicho porcentaje depende del activo subyacente y del plazo remanente del derivado. La otra metodología, mucho más sofisticada, está basada en simulaciones de monte carlo para generar distribuciones en el valor futuro de la cartera. En primera instancia, se implementa el cálculo de exposiciones mediante monte carlo para algunos instrumentos derivados (forwards y swap de tasas). Los resultados de exposición obtenidos son comparados con los resultantes de la metodología del BIS. En el total de los casos, la exposición individual de un instrumento es mayor mediante simulaciones. Esto se explica porque la tabla del BIS tiene ponderadores que fueron calculados por volatilidades de hace más de 15 años y, por tanto, no reflejan las volatilidades actuales que aun presentan efectos de la crisis.

La metodología por simulaciones requiere mucha capacidad computacional y tiempo, por lo que no resulta viable para portafolios de bancos con miles de instrumentos, pero tiene un valor importante para la administración y gestión de este riesgo. Lo recomendable es utilizar una mixtura de ambos métodos, actualizando los ponderadores del BIS mediante un ejercicio de simulaciones.

El cálculo de este riesgo en un mercado pequeño, donde existen instituciones capaces de mover precios, debe ser realizado con cautela. Por ejemplo, los problemas de liquidez de bonos corporativos no permiten reflejar la calidad crediticia de muchas empresas, y no existe mucha información de precios de mercado históricos. Esto puede llevar a cálculos erróneos del CVA. De todos modos, es necesario emplear los esfuerzos en la valorización y en la administración de este riesgo, en un mercado en el que este tema está en pleno desarrollo.

Agradecimientos

Voy a partir por Rubén Pérez y Erika Piña, mis padres, que a través de estos 24 años me han dado todas las herramientas para poder crecer y desarrollarme como persona, como estudiante y pronto como profesional. Por sus años entregados, valores, aprendizajes, paciencia, amor y fe incondicional en mí, les estaré eternamente agradecido, y sepan que los amo.

A mis hermanos, Claudio y Cristián, gracias por cada momento de risas y alegría. Los años han sabido unirnos. El primero de ellos tiene aún mucho por recorrer y por aprender, y estaré ahí cuando me necesites. El segundo es el ejemplo de sacrificio y perseverancia. Sé que junto con Paula y Vicente formarán una hermosa familia.

Palabras para mis familiares cercanos. Partiré por Carmen, mi segunda madre, mi fuente inagotable de cariño y apoyo. Me has entregado mucho, me sigues entregando y espero responderte ahora y siempre. Mi mami Norma, siempre preocupada por su nieto. Mi abueli Lola que, fiel a su estilo, siempre quiso lo mejor para nosotros. Para mis tías Claudia, Paty, Ingrid y mi tío Ricardo, quienes siempre han confiado en mí.

Para mis primos, mis casi hermanos. Cayito y Caro, espero que nos llevemos tan bien como siempre. Catita, siempre querré lo mejor para ti. Israel, que me saca risas cada vez que nos vemos. También para mi gente del norte, que siempre me han tenido más arriba de lo que me corresponde. Mis abuelos, tía Alicia, tío Choche y todos quienes me reciben cálidamente en cada instancia que los puedo visitar.

A mis profesores, por las enseñanzas en todos estos años. En particular a Don José Miguel Cruz, mi profesor guía, por su enorme sabiduría y conocimientos transmitidos, y a Don Luis Morales por otorgarme la oportunidad de aprender e interiorizarme más en finanzas.

Para mis compadres Francis, Cristian y Gufy, de compañeros del nacional a grandes amigos de la vida. Amigos de la U también considero, Seba, Sacha, siempre dispuestos a escuchar. Por supuesto, mis buenas amigas Mimí, Angelín, Dani, Xime, Coni, Vale A, Vale B, Barby, Dani C., todas ellas con las que he compartido grandes momentos y que en más de una ocasión me han retado, siempre queriendo lo mejor para mí.

Para aquellas personas que de una u otra forma me han dejado lecciones valiosas, me han apoyado en algún momento de mi vida universitaria y que gracias a ellas soy quien soy. Para Camila F, por enseñarme a luchar por los sueños. Cote, por la madurez y amistad. Camila Z, por la sinceridad que siempre has transmitido. Lissette, por enseñarme a ver el valor de las cosas simples. Fernanda, que sin proponerlo me mostró una forma distinta de ver la vida. Y Paula, que me ha enseñado a saber entregar y recibir nuevas oportunidades.

Por último, a mi soporte espiritual en estos años. A mi tío Enri. Tal como mi mamá te prometió, he sabido de ti como si estuvieras acá conmigo. Hace 7 años prometí que iba a ser Ingeniero como tú lo fuiste, y estoy a un paso de cumplirlo. Pero es sólo el primer peldaño de la historia que me gustaría construir. Espero que estés en algún lugar, acompañado de Chonguito, viendo como este cabro intenta hacer las cosas cada día mejor.

Mucha gente y momentos han pasado por mi mente en estos minutos. Seguro que se los haré saber en persona. A todos, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES	5
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	10
OBJETIVOS	11
Objetivo general.....	11
Objetivos específicos	11
MARCO CONCEPTUAL	12
Derivados financieros	12
Procesos estocásticos de precios y tasas de interés	14
Movimientos Brownianos Aritméticos y Geométricos (MBA, MBG).....	15
Modelos dinámicos de tasas de interés	16
Riesgo de crédito de contraparte	20
DESARROLLO DEL TRABAJO	27
Metodología del BIS.....	27
Método basado en simulaciones de monte carlo	30
Cálculo de exposiciones	32
Probabilidades de Default.....	48
Tasa de Recuperación.....	55
Credit Value Adjustment (CVA)	55
Debt Value Adjustment (DVA).....	58
CVA bilateral.....	58
TEMAS RELACIONADOS AL CVA.....	60
Mitigaciones de exposición: Netting y Colaterales.....	61
Evolución hacia las Contrapartes Centrales	62
Basilea III y CVA.....	65
Right/Wrong Way Risk	66
COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN SOBRE METODOLOGÍAS	67
CALIBRACIÓN Y CASO APLICADO AL MERCADO CHILENO	74
CONCLUSIONES.....	80
BIBLIOGRAFIA.....	84
ANEXOS	85

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES

Es indudable la importancia de las finanzas en la sociedad, no sólo en nuestros tiempos sino a lo largo de la historia: el prestar y pedir prestado dinero es una acción que pareciera estar internalizada en la esencia del humano, como una habilidad innata que siempre ha estado en el genoma, y que ha ido evolucionando en el tiempo. Pero como la analogía debe ser completa, las finanzas han sabido de distintas enfermedades. La última, denominada como la crisis de las hipotecas *subprime* del 2008, fue un duro golpe no sólo para Estados Unidos sino también para la economía mundial.

Aparte de empresas y bancos en quiebra, mucha literatura dejó esta crisis. Temas como la desregulación y los incentivos perversos en el mercado financiero fueron abordados en profundidad y hasta el día de hoy son tema de debates y seminarios. Por cierto, Chile no queda -ni debe quedar- apartado del análisis. Más allá de ser constantemente denominados como un país “económicamente sólido” en la región, lo cierto es que es una economía pequeña y totalmente expuesta a los shocks que ocurren en mercados mayores. Hay una dependencia casi natural a lo que ocurra con otras monedas fuertes (como el dólar o el euro), con las tasas de interés asociadas y, más aun, con los precios de otras materias primas (como el caso del cobre).

Entrando en un terreno más puntual, las grandes economías han desarrollado instrumentos financieros que permiten combatir la alta volatilidad (incertidumbre) de los mercados mediante la administración de los riesgos presentes y potenciales para el futuro. Estos instrumentos son denominados como **derivados financieros**. Un derivado busca eliminar los riesgos que a una entidad (persona, empresa, etc.) le preocupan, transfiriéndolos a otra entidad (la contraparte) que está dispuesta a correr dicho riesgo, a cambio de una ganancia o *prima*. Para entender bien este concepto y su función, es bueno hacer una analogía con el mercado de seguros, en el cual se pagan primas para resguardarse ante accidentes futuros.

En particular, este mercado de derivados existe en Chile pero su desarrollo está muy por debajo de las grandes economías. Si bien existe un mercado establecido, en el cual algunos bancos ofrecen derivados como swaps para cubrirse ante variaciones en el dólar, en las tasas de interés y ante la inflación, este mercado es netamente *over the counter* (OTC), en el cual existe mucha oscuridad a la hora de realizar transacciones, entendiendo por OTC un mercado en el cual se celebran contratos entre dos partes, sin ningún intermediario -entes reguladores o fiscalizadores- que asegure los cumplimientos y deberes de las partes. Es decir, hay riesgo de que cuando una parte deba pagar, simplemente no lo haga.

Para entender por qué son tan demandados estos instrumentos, se deben mencionar los potenciales beneficios con los que cuenta este mercado, no sólo para una institución financiera particular sino también para la economía de un país. Las ventajas de tener un Mercado de Derivados Bursátil, según la Bolsa de Comercio de Santiago, se puede resumir en cinco aspectos

1. **Liquidez:** por evidencia de los mercados de capitales más profundos, el desarrollo del mercado de derivados genera un aumento en la liquidez de los mercados de los activos subyacentes.
2. **Flujo de Inversión:** representa un fuerte impulso para el mercado local, acercando a nuestro mercado de capitales no sólo a los inversionistas locales, sino también a un gran número de inversionistas extranjeros
3. **Regulación:** la Ley 20.544 de Tributación de Derivados, promulgada en octubre del año 2011, define el marco tributario de la operatoria de mercados de derivados estructurados, definiendo que las rentas generadas por inversionistas extranjeros no estarán afectas a impuestos a la ganancia de capital.
4. **Oportunidades:** los instrumentos del mercado de derivados ofrecen ampliar la gama de productos y oportunidades de negocio a las distintas instituciones del mercado, tanto para inversión como para cobertura.
5. **Confianza:** la participación de la CCLV Contraparte Central -Cámara de Compensación y Liquidación de Valores- asegurará el cumplimiento de las operaciones realizadas en el mercado, liberando los costos financieros asociados al uso de líneas entre los participantes y eliminando el riesgo de crédito de las contrapartes.

Sin embargo, y dada la contingencia mundial provocada en gran medida por el uso inadecuado de algunos de estos instrumentos, en los últimos años se han realizado los esfuerzos para que los mercados financieros se vuelquen a las condiciones sugeridas en Basilea II y, más recientemente, Basilea III. Por ejemplo, dentro de los últimos meses del 2014, la Bolsa de Derivados estará disponible en Chile para poder transar futuros en primera instancia, y otros instrumentos en el mediano-largo plazo. Aquí, la cámara de compensaciones ComDer¹, que también está pronto de salir a la luz, tendrá un rol de suma importancia en la vigilancia y compensación diaria de la parte perdedora en un derivado, evitando así que no exista default al momento de pagar. En otras palabras, todo banco que transe en bolsa tendrá de contraparte a la cámara y no a otra entidad. Esta es la gran diferencia, entre otras, de las transacciones realizadas en bolsa con respecto a transacciones en el mercado OTC.

Como se mencionó, el mercado en Chile es sólo OTC, a la espera de la Bolsa de Derivados. Muy diferente a lo que ocurre en Estados Unidos y otros países desarrollados o en vías de desarrollo, cuyas bolsas llevan años de operación y transando millones de dólares diarios. Un ejemplo sudamericano a considerar es Brasil: la Bolsa de Valores, Mercadorías & Futuros tranza una cantidad creciente de estos instrumentos desde la construcción del mercado de derivados en 1986²

¹ <http://www.bnamericas.com/news/banca/comder-apunta-a-80-de-mercado-de-derivados-otc-en-chile>

² <http://www.bolsadesantiago.com/Biblioteca%20BCS/Presentaci%C3%B3n%20Edemir%20Pinto.pdf>

► Contratos de tipo de cambio y de tasas de interés son el mayor referente brasileño.

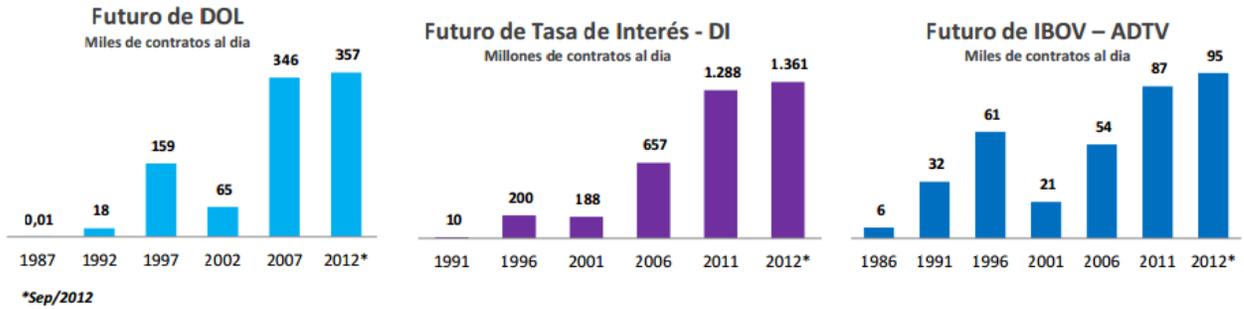


Ilustración 1: evolución del mercado brasileño de derivados. Fuente: Bolsa de Santiago (2012)

Y para dimensionar realmente las cifras de este mercado financiero, tomando en cuenta que para el año 2008 el PIB mundial rondaba los USD\$ 50 billones, sólo en el mercado estadounidense el valor notional del conjunto de los derivados soportados por bancos de EE.UU. alcanzaba una imponente cifra superior a USD\$ 150 billones, mientras que el monto total estimado en el mundo superaba ampliamente los USD\$600 billones. A continuación se indexa un gráfico³, esta vez con la evolución de los derivados en el mercado mundial, que tuvo un crecimiento intenso y sostenido hasta la crisis, pero que a la fecha continúa con magnitudes astronómicas

Global OTC Derivatives Market: Notional Amounts Outstanding

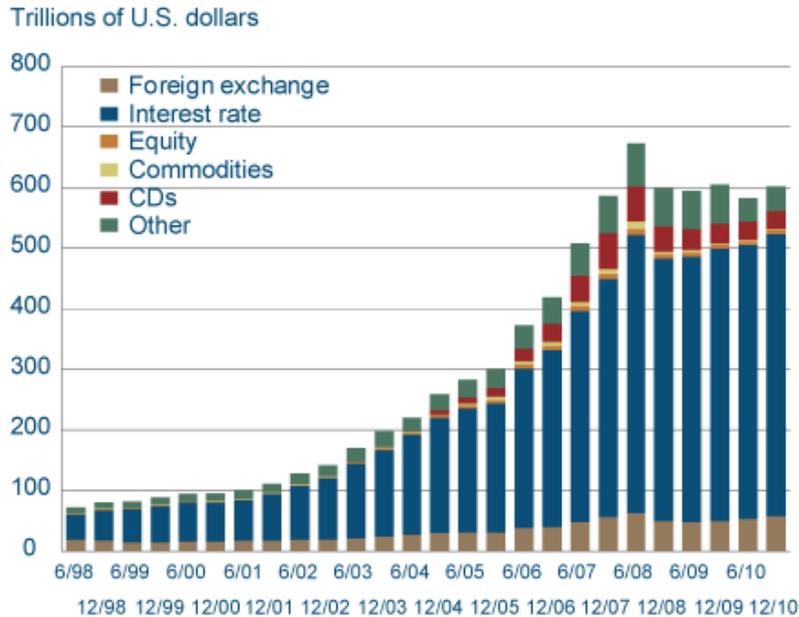


Ilustración 2: evolución del mercado mundial de derivados, en términos de la cantidad de notional involucrado en operaciones OTC. Fuente: Bank for International Settlements (BIS 2010)

³ <http://www.rankia.com/blog/iruzubietta/361448-mas-iniciativas-usa-meollo-problema>

En el caso de Chile [1], la evolución ha sido progresiva, como se muestra en la siguiente imagen, donde se distingue que el aumento en gran parte se explica por los instrumentos negociados por AFPs

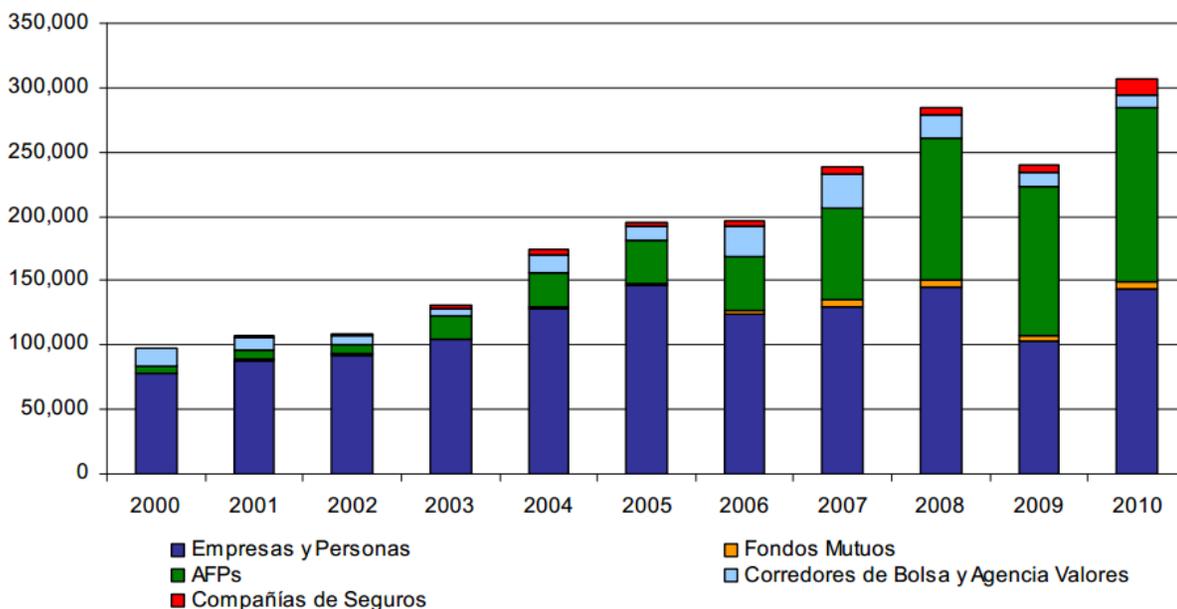


Ilustración 3: volúmenes de operaciones de derivados, según agente financiero, en el mercado local y externo (en millones de dólares). Fuente: Acharán y Villena (2011)

Hasta acá, lo mencionado es un incentivo para la expansión de estos instrumentos financieros en Chile. Pero esto trae consigo un requerimiento importante, que es el eje central del tema a tratar en este trabajo, y responde a una tendencia post-crisis relacionada con los riesgos de crédito de una contraparte del derivado y las medidas que puedan valorizar y mitigar dicho riesgo. Para comprender esto, en el escenario pre-crisis, el precio de un derivado no incluía el posible riesgo de no-pago de las entidades que celebraban el contrato, ni menos contaba con las garantías necesarias para mitigar aquellos eventos de default. Justamente, la falta de esas mediciones le dieron mayor intensidad a la crisis: muchas contrapartes no pudieron pagar al caer en quiebra. Por tanto, la exigencia de contar con modelos de valorización que identifiquen de mejor manera el riesgo de default que tienen las contrapartes no se hizo esperar y, hoy por hoy, es un tema obligado de las grandes economías financieras. Cabe destacar que en Chile aún no existe total conocimiento sobre varios temas que se pretenden abordar en este trabajo, y de ahí nace uno de los primeros fundamentos para abordar el tema de riesgos de contraparte

Respecto a la valorización de los derivados, la intuición apunta a que el valor de un derivado tranzado con una contraparte muy riesgosa debe ser distinto al valor del mismo derivado pero negociado con una contraparte de mayor solvencia monetaria. Sin embargo, en el contexto nacional, todos los derivados eran tranzados a precios "interbancarios", que en la práctica eran una buena aproximación para una transacción entre dos bancos, pues los precios interbancarios no son precios "libre de riesgo" y representaban la calidad crediticia de estos (que vista a nivel país es muy buena). Es

decir, los swaps entre bancos utilizaban cotizaciones que de cierta forma tenían ajustes implícitos. Esto también era válido para carteras con clientes de calidades crediticias similares. Pero para carteras con pequeñas o medianas empresas, que son de calidades crediticias menores, existía una brecha entre los precios interbancarios y el real precio que se debería haber cobrado. Este gap también existía en operaciones entre entidades bancarias nacionales y extranjeras, en donde son estas últimas las que tienen mejor calidad de crédito.

Para realizar esta valorización entre el precio libre de riesgo y el precio ajustado por riesgo, existen varias metodologías, una de ellas la recomendada por *el Bank for International Settlements* (BIS) para estimar reservas de capital o exposiciones, entre otras. Esta metodología se puede considerar estática y bastante estándar, por cuanto recomienda el uso de algunos valores fijos que dependen simplemente de variables como la volatilidad o el tiempo residual, lo cual sin duda simplifica los cálculos. Sin embargo, existen metodologías más sofisticadas como las valorizaciones mediante la simulación de miles de escenarios posibles de mercado, que proveen una información más rica a la hora de administrar el riesgo crediticio, e incluso con resultados más certeros que el método propuesto por el BIS, pero que tienen un alto costo de implementación y requerimientos tecnológicos.

Así, la idea es dar a entender estos métodos, desde la base teórica en la cual se cimentan los procedimientos y se definen las variables, hasta la comprensión de los diferentes resultados obtenidos por las metodologías presentadas, poniendo énfasis no sólo en la obtención numérica, sino también en los múltiples supuestos que se utilizan y que pueden afectar considerablemente los resultados. Además, resulta lógico realizar la pregunta de qué tan aplicable son estos métodos para un mercado pequeño y financieramente concentrado como el chileno, lo cual formará parte del análisis posterior.

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

A grandes rasgos, el trabajo busca dar a conocer las componentes relevantes en el cálculo del riesgo crediticio de la o las contrapartes en una cartera de derivados, con conceptos que están empezando a ser más relevantes como la exposición potencial, la probabilidad de default de la contraparte, los ajustes al valor crediticio (CVA), entre otros. En particular, se partirá de la base teórica para ir explicando, paso a paso, la implementación del cálculo de pérdidas crediticias. Dicha base reúne muchos temas inmersos en finanzas, como lo son los modelos estocásticos de precio y tasas de interés, la valorización de derivados, riesgo crediticio, etc.

El trabajo realizado se presenta a continuación en el siguiente orden. Primero, se describe el proyecto en el cual se abordarán los temas de valorización de derivados y riesgo de contrapartes. Luego, se plantean los objetivos del trabajo, para así dar paso al marco conceptual en el que se darán a entender los múltiples elementos relacionados a la valorización. En el punto 5, se destinarán los esfuerzos para detallar el cálculo de la valorización del riesgo de contraparte (*credit value adjustment*, CVA), en donde se utilizarán los conceptos y herramientas del marco conceptual para ejemplificar, paso por paso y para algunos instrumentos, la implementación de la metodología de simulaciones de Monte Carlo para el cálculo del riesgo de contraparte en derivados, desde aquellos instrumentos simples como forwards de tipo de cambio, hasta derivados más complejos, como los swap de tasas. Además, se verán las diferencias en la valorización de CVA mediante la metodología propuesta por el BIS y el método basado en simulaciones de Monte-Carlo, junto con un análisis cualitativo de costo-beneficio.

A modo de cierre, se presenta la discusión del tema y sus conclusiones, con énfasis en la comparación de los modelos, las características distintivas del riesgo de contraparte, y la urgente necesidad de reconocer y valorizar estos riesgos. Además, se realiza una discusión sobre la aplicabilidad en el mercado nacional, que a diferencia de los mercados desarrollados, se puede considerar pequeño, con poca liquidez para muchos de los papeles emitidos por empresas, y con grandes entidades que pueden influir en los precios.

OBJETIVOS

Objetivo general

El objetivo general del trabajo es ayudar en la difusión del tema de valorización de riesgos de contraparte en portafolios de instrumentos derivados, en particular sobre las dos metodologías más aplicadas de cálculo del CVA y de límites internos para operaciones en el mercado OTC: la propuesta por el BIS y la metodología basada en simulaciones de Monte-Carlo, para comprender los modelos y supuestos utilizados, y así concluir sobre su aplicabilidad al mercado nacional.

Objetivos específicos

- Comprender los conceptos de riesgo de contraparte y cómo interactúan con otros temas financieros, como modelos de tasas y simulaciones de Monte-Carlo, y el porqué de su importancia en los últimos años.
- Revisar el modelamiento para el cálculo del CVA propuesto por el BIS -utilizado ampliamente por los bancos-, sus supuestos, ventajas y falencias
- Implementar el modelo basado en simulaciones de Monte-Carlo para calcular exposiciones potenciales de instrumentos *forward* y *swap de tasas*, mediante la generación de perfiles de exposición
- Reconocer los problemas que se presentan en el mercado chileno para el cálculo de probabilidades de default y tasas de recuperación, y explorar algunas soluciones que mitigan el impacto en el resultado final
- Revisar los conceptos claves del CVA para comprender, de un modo simple y aplicado, su construcción
- Comprender los nuevos desafíos planteados en el tema de ajustes al valor crediticio
- Contrastar las metodologías presentadas en el cálculo de exposiciones, reconociendo las ventajas y desventajas de cada una
- Concluir sobre las dificultades en la aplicación del CVA para el mercado financiero chileno.

MARCO CONCEPTUAL

Derivados financieros

En términos formales, un **derivado** es un instrumento financiero cuyo valor depende del precio de una tasa de interés, de un activo (un bono, una acción, un producto o mercancía), de un tipo de cambio, de un índice (de acciones, de precios, u otro), o de cualquier otra variable cuantificable, a la que se llamará variable subyacente⁴. Gracias a los derivados es posible hacer diversos negocios, como coberturas ante riesgos de mercado, o bien utilizándolos como medios para la especulación financiera y arbitraje de precios, en donde se espera generar altos retornos en plazos de tiempo cortos. [1]

Por ejemplo, una empresa recibirá 1 millón de dólares en un año más. El precio de hoy es de \$500 por dólar, precio que es del agrado de la firma, pero se teme que el dólar caiga en un año más, disminuyendo el valor del dinero a recibir. La firma puede utilizar un contrato que fije el precio del dólar, en un año más, en \$510. En este caso, cuando llegue el período de cobro, la firma estará protegida si el dólar está bajo los \$510, pero también podría perder si es que el dólar superara los \$510. Sin embargo, lo importante era protegerse del riesgo de las variaciones en el tipo de cambio. Notar que el valor del contrato depende del tipo de cambio, que es el activo subyacente en este caso, haciendo que el contrato tenga valor -positivo o negativo- según el precio del dólar que exista en el mercado.

Existen 4 tipos básicos de derivados: forwards, futuros, swaps y opciones, de los cuales el más relevante en el mercado chileno actualmente es el swap, y luego los forward. Se revisarán estos dos instrumentos, que serán usados durante el trabajo.

Forward

Un forward es un contrato entre dos partes, en el que se define una obligación en el futuro, para intercambiar una cierta cantidad de un activo, en la fecha de madurez del contrato y al precio pactado en el momento en que se estructuró el derivado. Los forward son contratos “hechos a la medida”, ya que las contrapartes establecen el precio del activo subyacente determinado. Estas operaciones son realizadas fuera de bolsa, en el mercado OTC, y los más recurrentes son los de tipo de cambio y de tasas de interés.

El valor de un contrato forward en el tiempo t y con vencimiento en T se puede representar por

$$f(t) = N(F_t - K)e^{-r(T-t)}$$

⁴ <http://www.bancafacil.cl/>

Donde F_t es el valor del activo subyacente en el tiempo t , K el precio establecido para el intercambio, N el valor del notional negociado y r la tasa libre de riesgo desde t a T . Por ejemplo, un contrato forward que acuerda el intercambio de dinero de dos monedas, CLP y USD, en un plazo de un año, se puede visualizar como un único flujo futuro en el cual se compensan los valores del ingreso y egreso



Ilustración 4: forward de monedas, en el que se recibe un flujo en pesos, a cambio del pago de un monto en dólares.
Elaboración propia.

En particular, cuando se hable de un forward de tasas se utilizará el nemotécnico de FRA (por sus siglas en inglés, *forward rate agreement*)

Swap

Un swap es un contrato financiero entre dos partes que acuerdan intercambiar flujos de caja futuros de acuerdo a una fórmula preestablecida. Se trata de contratos que también son hechos a medida, con el objetivo de satisfacer necesidades específicas de quienes firman dicho contrato. Respecto de su configuración, los contratos de swap contienen especificaciones sobre las monedas en que se harán los intercambios de flujos y las tasas de interés aplicables, además de la definición de las fechas en las que se hará cada intercambio y la fórmula que se utilizará para ese efecto⁵. Entre los tipos de swap comunes en el mercado chileno se encuentran el swap de monedas peso/dólar, el swap de tasas promedio cámara (fijo-flotante) y el swap de seguro de inflación UF/peso⁶. El siguiente esquema representa un swap con pagos semestrales, en el que se intercambian flujos dependientes de una tasa fija y de otra tasa variable en el tiempo.

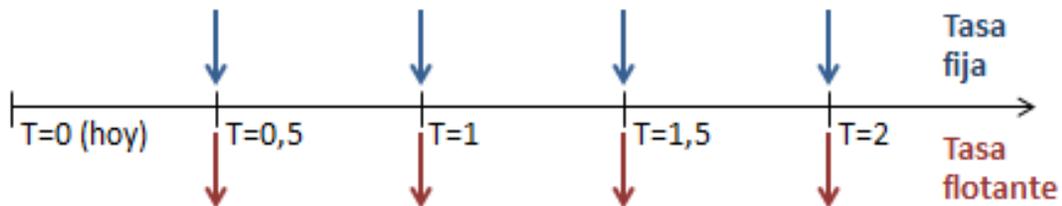


Ilustración 5: swap de tasas a 2 años, en el que semestralmente se recibe un flujo definido por una tasa fija, contra un egreso que depende de una tasa flotante

⁵ <http://www.bancafacil.cl/>

⁶ <http://www.bcentral.cl/>

Arbitraje en derivados

Otra definición de importancia es el **arbitraje**. El arbitraje es una estrategia que no requiere dinero como input, pero que tiene una probabilidad no nula de producir ganancias, sin riesgo de pérdida de dinero. El principio de no arbitraje establece que no hay oportunidades de arbitraje en los mercados financieros, y si es que existen, no pueden permanecer por mucho tiempo en aquellos mercados financieros que son eficientes.

En términos prácticos, el principio de no arbitraje obliga a que dos activos que generen el mismo flujo de ingresos -en valor presente- deben tener el mismo precio, y que si las reglas de arbitraje son violadas, entonces sería posible tener ganancias libres de riesgo de manera ilimitada [3]. Este principio de no arbitraje se usará en su momento para la estructuración y valorización de derivados.

Procesos estocásticos de precios y tasas de interés

Un proceso estocástico es aquel que describe la evolución temporal de una variable aleatoria, como lo puede ser el precio de una acción o un *commodity*, o bien alguna tasa de interés. Existen varios tipos de procesos estocásticos: de tiempo discreto o continuo, y de variable discreta o continua. Para describir el comportamiento de variables económicas y financieras se suele utilizar procesos de variables continuas y en tiempo continuo, pero es posible discretizarlo sin mayor dificultad.

El comportamiento de una variable aleatoria se describe mediante una distribución de probabilidad que la represente de manera adecuada. Esto porque una variable aleatoria va cambiando de valor en el tiempo, pero el cambio debe seguir algún patrón que es definido, entre otras cosas, por la distribución. Más aun, esa distribución puede ser variable en el tiempo.

Procesos de Markov y de Wiener

Un proceso de Markov es un tipo particular de proceso estocástico, en el que únicamente el estado actual es el relevante para predecir el estado futuro. Es decir, la historia pasada del proceso y la forma en que el presente se ha construido pasan a ser irrelevantes. Formalmente, el valor esperado en el tiempo t de la variable aleatoria x sólo depende del valor previo en $t-1$. La relevancia de esto es que se supone que las variables financieras, como las acciones, siguen procesos Markovianos. Esta propiedad tiene nombre y corresponde a la "eficiencia débil del mercado", la cual establece que el precio actual encierra toda la información contenida en el registro de los precios del pasado. En efecto, si no fuese cierto, un analista hábil podría obtener beneficios sobre la media si interpretase de manera correcta la información pasada de las acciones, anticipándose a las subidas o bajadas de precio, pero existe muy poca evidencia de que esto sea posible.

Ahora, un proceso de Wiener es un tipo especial de proceso estocástico de Markov. Se dice que una variable X_t sigue un proceso de Wiener si es que cumple la ecuación en tiempo continuo

$$dX_t = \varepsilon_t \sqrt{dt}$$

O bien, su símil en tiempo discreto

$$X_t = X_{t-1} + \varepsilon_t \sqrt{\Delta t}$$

Y además se verifican los siguientes supuestos

- X_0 es un dato conocido
- $t = t - 1 + \Delta t$
- ε_t sigue una distribución de probabilidad normal estándar, $\varepsilon_t \sim N(0, 1)$
- ε_t es independiente de $\varepsilon_{t'}$ para todo $t \neq t'$

Este proceso de Wiener tiene algunas propiedades interesantes respecto a su media y varianza. Por ejemplo, para un intervalo temporal Δt dado, la evolución de la variable ΔX se distribuye según una normal de media 0 y de varianza Δt .

Movimientos Brownianos Aritméticos y Geométricos (MBA, MBG)

Un movimiento browniano aritmético es un proceso estocástico definido en términos de un proceso de Wiener del siguiente modo [2]

$$X_t - X_{t-1} = \Delta X = \mu \Delta t + \sigma \Delta z$$

Donde μ y σ son constantes, mientras que Δz en un proceso de Wiener, $\Delta z = \varepsilon_t \sqrt{\Delta t}$. La constante μ representa la tasa esperada de cambios de la variable X por unidad de tiempo. En efecto, si se elimina el segundo término, se tendría que un proceso determinístico $\Delta X = \mu \Delta t$. Por otra parte, la constante σ se entiende como una perturbación de la tendencia reflejada en μ . Ese ruido en la componente aleatoria que subyace del proceso de Wiener. Para un intervalo temporal Δt dado, la evolución de la variable aleatoria ΔX se distribuye según una normal de media $\mu \Delta t$ y de varianza $\sigma^2 \Delta t$, esto es

$$\Delta X \sim N(\mu \Delta t, \sigma^2 \Delta t)$$

La gran ventaja de esto es que permite calcular intervalos de confianza de manera sencilla, pues teniendo en cuenta la distribución normal y sus propiedades, se pueden deducir los intervalos para cualquier nivel de confianza y tiempo T . En particular, sea k el índice de confianza para un percentil dado, entonces

$$X_T \sim N(X_0 + \mu T - k\sigma\sqrt{T}, X_0 + \mu T + k\sigma\sqrt{T})$$

Por ejemplo, para el percentil 95 se tiene que $k=1,95$, y para el percentil 99, el valor es de $k=2,33$.

Por otra parte, un movimiento browniano geométrico es un proceso estocástico dado por

$$X_t - X_{t-1} = \Delta X = X_{t-1}\mu\Delta t + X_{t-1}\sigma\Delta z$$

Que en su estructura es similar a un MBA, pero busca representar los cambios porcentuales. En efecto, factorizando el X_{t-1} en el lado derecho de la ecuación y pasándolo hacia el lado izquierdo, se recupera el mismo proceso, pero esta vez para cambios porcentuales $\frac{\Delta X}{X}$ y no para cambios simples ΔX como en un MBA

$$\frac{X_t - X_{t-1}}{X_{t-1}} = \frac{\Delta X}{X} = \mu\Delta t + \sigma\Delta z$$

Este proceso es ampliamente utilizado para modelar rentabilidades de acciones o de precios, por ejemplo.

Modelos dinámicos de tasas de interés

Siguiendo la misma lógica de los movimientos brownianos, existen modelos más específicos para describir las trayectorias de la tasa de interés en el tiempo. La particularidad de estos modelos de tasa es que en sus componentes se incluyen algunos parámetros o cualidades que ayudan a describir de mejor manera tanto el comportamiento de la volatilidad que afecta a las tasas de interés, como la estructura que estas poseen, caracterizando de gran forma el proceso que siguen dentro del ambiente estocástico. [2]

Para caracterizar el comportamiento de las tasas de interés, los modelos se centran principalmente en el modelamiento de la tasa corta r . Esta tasa, denominada como “tasa corta instantánea” o “tasa spot”, se entiende como aquella que representa un retorno obtenido en un tiempo infinitesimalmente corto de tiempo, y su proceso es irrelevante en el mundo real. El principal supuesto de los modelos es que la tasa se encuentra en un mundo neutro al riesgo, esto es, un mercado donde los inversionistas son indiferentes al riesgo y todos los activos tienen la misma rentabilidad. Es decir, no existen activos que renten más al asumir más riesgo. En consecuencia, durante un período Δt , un inversionista cualquiera generará una rentabilidad promedio de $r(t)\Delta t$.

Otra gracia de estos modelos es que permiten derivar la curva de tasas de descuento. Sea $P(t, T)$ el precio en el tiempo t de un bono cero cupón que paga \$1 en el maturity T . Considerando que el valor de un derivado de tasa de interés en el tiempo t , que genera un flujo F_t en T , esta dado por

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

Donde \bar{r} es el valor promedio de la tasa corta r en el intervalo de tiempo entre t y T , y $\hat{E}[\dots]$ representa el valor esperado en un mundo neutro al riesgo, entonces bajo el supuesto de que el pago de ese derivado es $F_t = \$1$, se puede usar la notación del precio

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

Ahora, considerando la tasa $R(t, T)$ como la tasa compuesta continuamente al tiempo t , para el plazo entre t y T , se tiene que

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

Notar que $R(t, T)$ es una tasa fija para el plazo entre t y T , mientras que $\bar{r}(T - t)$ representa a la tasa promedio esperada para dicho plazo, de ahí que $\hat{E}[\dots]$ no aparezca al pasar a la tasa $R(t, T)$. Dicho esto, se puede despejar $R(t, T)$, llegando a

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

Reemplazando el precio, se llega a que

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

Lo que se ha mostrado recién es que, a partir de la tasa corta, es posible deducir el precio teórico de un bono cero cupón y, por tanto, establecer la relación entre el precio en t de un bono cero cupón cuya madurez está en T , $P(t, T)$, y la tasa de descuento para el mismo plazo entre t y T , $R(t, T)$. En consecuencia, una vez que se haya definido completamente el proceso que sigue la tasa corta, también se habrá definido completamente la estructura de tasas de interés para descontar flujos futuros, y su evolución en el tiempo.

Volviendo al tema del modelamiento, la evolución de la tasa corta puede ser descrita mediante un movimiento browniano aritmético

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

Donde $\mu(r, t)$ y $\sigma(r, t)$ representan la tendencia (*drift*) y la volatilidad de la tasa, en función de la tasa corta y del plazo. Ambos términos son calibrados de acuerdo a información histórica de la tasa de interés a utilizar como tasa corta. Este modelo sirve de base para la derivación de otros más complejos que, mediante diversos supuestos u otras variables extras, corrigen algunos problemas del MBA (por ejemplo, evitar tasas de interés negativas) y permiten una mejor descripción de la evolución de las tasas en el tiempo (como la reversión a la media)

En este marco conceptual no se mostrarán todos los modelos, ya que no es el foco de la memoria, pero sí se presentarán dos de los modelos de equilibrio más importantes, que son los modelos de Vasicek y de Cox, Ingersoll y Ross (CIR).

Modelo de Vasicek

El modelo de Vasicek (1977) presenta un proceso estocástico para la tasa corta del estilo [2]

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

Donde los parámetros a , b y σ son constantes. El principal atractivo de este modelo es la incorporación de reversión a la media. Este supuesto es totalmente consecuente con la evidencia histórica, pues las tasas de interés suelen ser empujadas hacia un “nivel de equilibrio” (de largo plazo), reflejado en el parámetro b . En otras palabras, cuando la tasa corta sea alta ($r > b$), la reversión a la media hará que el drift del proceso sea negativo, y mientras mayor sea la diferencia hará que el *drift* sea más negativo, provocando que la tendencia de la tasa para los próximos plazos sea la de bajar a niveles similares a la tasa de largo plazo. Análogamente, cuando la tasa corta sea baja, el efecto del *drift* positivo hará que la tasa tienda a subir en el tiempo. El parámetro a representa la velocidad con que ocurre esa reversión a la media: a mayor valor, más rápido se volverá a las proximidades de la tasa de equilibrio.

El argumento económico que avala dicho comportamiento en las tasas es que, cuando las tasas son elevadas, la economía tiene a ralentizarse debido al alto costo de endeudamiento, y por tanto existe una menor demanda de dinero, lo cual implica que las tasas probablemente tiendan a bajar. Del mismo modo, si las tasas de interés son bajas, existe una mayor demanda de dinero, producto del bajo costo de endeudamiento, lo cual hace que las tasas tiendan al alza.

A partir de Vasicek, es posible encontrar una expresión conocida para el precio de un bono cero cupón en el tiempo t , que paga \$1 en el *maturity* T .

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

Donde $r(t)$ es el valor de la tasa corta en t , y los parámetros $A(t, T)$ y $B(t, T)$, característicos de este modelo, son

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

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

Así, la estructura de tasas de interés queda completamente determinada por la tasa corta, una vez que los parámetros a , b y σ fueron escogidos.

Este modelo es de los más utilizados, principalmente por su simplicidad analítica y capacidad para producir distintas formas de la estructura de tasas de interés, las cuales pueden tener sus formas con pendientes crecientes, decrecientes o jorobadas. Su principal desventaja es que puede llegar a entregar tasas de interés negativas, lo cual es económicamente inviable si se están simulando tasas nominales, y matemáticamente no factible cuando las tasas son usadas para calcular retornos logarítmicos (pues el logaritmo de un número negativo se indefine)

Modelo de Cox, Ingersoll y Ross

El modelo CIR (1985) es una alternativa al modelo de Vasicek, modelando la evolución de la tasa corta de acuerdo a un proceso estocástico de raíz cuadrada [2]

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

Al igual que Vasicek, el modelo CIR presenta reversión a la media. La diferencia está en la parte estocástica, en donde aparece el término \sqrt{r} que amplifica el efecto del ruido aleatorio cuando las tasas son mayores y, por el contrario, disminuye la volatilidad cuando la tasa corta es baja. Esto último hace que el modelo evite la presencia de tasas negativas, ya que para una tasa cercana a cero, el efecto determinístico (*drift* positivo) es mucho mayor al efecto estocástico, provocando una subida en la totalidad de los casos, si es que los parámetros a , b y σ están razonablemente calibrados.

Al igual que con Vasicek es posible encontrar expresiones analíticas cerradas para los precios de bonos cero cupón

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

Donde $r(t)$ es la tasa corta en t , y los parámetros $A(t, T)$ y $B(t, T)$ que caracterizan al modelo son

$$A(t, T) = \left(\frac{2\gamma e^{(a+\gamma)(T-t)0,5} - 1}{(\gamma + a)(e^{\gamma(T-t)} - 1) + 2\gamma} \right)^{\frac{2ab}{\sigma^2}}$$

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

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

Las estructuras de tasas de interés generadas a partir de este modelo son similares a las obtenidas a través de Vasicek, pero la matemática se complejiza un poco más. En general, en los modelos de tasas existe el *trade-off* entre simplicidad matemática y mejores resultados. Incluso para otros modelos más complejos, no existen expresiones cerradas para $A(t, T)$ y $B(t, T)$.

Los dos modelos presentados son lo suficientemente buenos, sencillos y de gran aceptación en los mercados mundiales. Para efectos prácticos del trabajo a desarrollar, no es necesario profundizar en otros modelos de mayor complejidad.

Riesgo de crédito de contraparte

Por riesgo de crédito se entiende aquella pérdida que puede pasar si una contraparte realiza default. El evento de default ocurre cuando la contraparte no cumple con una obligación que haya sido fijada anteriormente en un contrato financiero, por ejemplo, si no puede cumplir con un pago acordado. [3]

En particular, para el presente trabajo es de interés el riesgo de crédito de contraparte, o simplemente riesgo de contraparte, definido como aquel riesgo de que una de las contrapartes de un contrato financiero haga default antes de la expiración del instrumento, con la consecuencia de que no se realicen todos los pagos acordados por el contrato. Este riesgo de contraparte se presenta exclusivamente en contratos negociados de manera privada entre contrapartes, mercado conocido como *over the counter* (OTC), en donde no intermedia ningún agente que fiscalice los precios tranzados ni el cumplimiento de las obligaciones. Más aun, en este mercado los precios de un instrumento similar pueden diferir, ya que son acordados entre las partes vinculantes y no siguen ningún estándar de mercado.

Por otra parte, en los mercados bursátiles no hay preocupación por el riesgo de contraparte, ya que existen organismos intermediarios como las cámaras de compensaciones, que garantizan los flujos de caja acordados en un derivado entre contrapartes mediante un sistema de compensación diaria. Por ejemplo, si una contraparte se vuelve más riesgosa de un día a otro, debe poner dinero extra para mantener su posición, de lo contrario esta es cerrada. Por tanto, el riesgo de contraparte en este mercado organizado se aproxima a cero. La bolsa de derivados en Chile recién comenzará sus operaciones en el año 2014, entendiéndose con esto que el mercado de derivados financieros chileno es netamente OTC y de allí la importancia del riesgo de contraparte.

En términos generales, para cuantificar la pérdida crediticia esperada (*expected loss*, EL), se cuenta con un modelo estándar que contiene tres parámetros: la exposición al momento del default (*exposure at default*, EAD), la probabilidad de que ocurra el default (*probability of default*, PD), y la cantidad porcentual que puede ser recuperada después de ocurrido el default (*recovery rate*, RR). Este último término se reconoce muchas veces como la pérdida por default (*loss given default*, LGD). Matemáticamente, estas variables se relacionan mediante la ecuación de pérdida esperada [4]

$$EL = EAD * PD * (1 - RR) = EAD * PD * LGD$$

Esta ecuación es la base del cálculo genérico de pérdidas potenciales en caso de default, y se utiliza para distintos tipos de riesgos de crédito, como por ejemplo los riesgos crediticios de préstamos de bancos a personas o pequeñas empresas. Si bien

es cierto que el riesgo de contraparte resulta muy similar a cualquier otro riesgo crediticio, hay dos características de importancia que lo distinguen. Primero, la incertidumbre de la exposición futura de los instrumentos financieros y, segundo, la naturaleza “bilateral” de los instrumentos, donde no es una sino ambas contrapartes las que tienen obligaciones, a diferencia de un préstamo bancario.

A continuación, se detallan los parámetros presentados en la ecuación anterior, ajustados al marco teórico de riesgo de contraparte.

Exposición crediticia

La exposición crediticia es la cantidad que puede ser pérdida en un escenario de default de la contraparte, asumiendo que no hay posibilidad de recuperar -ni parcial ni totalmente- el monto en cuestión. Se puede entender como el costo de “reemplazo” o de “cobertura” del contrato al momento del default [5]. Para comprender esto último, supóngase un contrato derivado entre un banco y una empresa A. Si la empresa A realiza default, el banco debe cerrar su posición con esa contraparte. Para determinar la pérdida que surge del default, supóngase que el banco, al cerrar el contrato, entra en un contrato derivado similar, pero con otra empresa B, de modo tal que el banco mantiene su posición. La pérdida que dejó el default de la empresa A se puede definir como el costo en que se incurrió para reemplazar el contrato en el momento del default (suponiendo que la posición de mercado del banco no cambia después de negociar con la empresa B). Así, se tienen dos escenarios al momento del default:

- 1) Si el valor del contrato para el banco era negativo: el banco cierra la posición pagándole a la contraparte A el valor de mercado del contrato. En seguida, entra en un contrato similar con la empresa B, la cual le debe pagar al banco el valor de mercado del derivado, que se asume no ha cambiado. Así, el costo de reemplazo neto es cero
- 2) Si el valor del contrato para el banco es positivo: el banco cierra la posición, pero no recibe ningún pago de la empresa A. Luego, entra en un contrato similar con la empresa B, a la cual el banco le debe pagar el valor de mercado del derivado. Así, el costo de reemplazo es igual al valor de mercado del derivado al momento del default.

Del ejemplo se desprende que la exposición crediticia de un banco que tiene un derivado con una contraparte es igual al máximo entre cero y el valor de mercado del derivado al momento del default. Sin embargo, como el default es un evento aleatorio que podría ocurrir en algún momento durante la vida de un contrato, se debe considerar no sólo la exposición actual -como se vio en el ejemplo-, sino también los cambios potenciales en la exposición durante la vida del contrato. Esto es particularmente importante para aquellos contratos derivados cuyos valores pueden cambiar bruscamente en el tiempo, al estar sujetos a los inciertos estados futuros del mercado. Por esta razón, se introducen 3 medidas de exposición de crédito: la exposición actual, la exposición potencial y la exposición total.

La exposición actual (*actual exposure*, AE) de un derivado D al tiempo t es el máximo entre cero y el valor del contrato al tiempo t

$$AE(D, t) = \text{máx}[0, V(D, t)]$$

Donde V es el valor del contrato D en el tiempo t. Como ya se mencionó, AE es el máximo monto que será perdido si es que ocurre el default y el contrato es reemplazado en el mismo tiempo t. En particular, si t=0 (hoy), la exposición actual depende del valor de mercado actual o *mark to market* (MTM) de la transacción. En cambio, si t>0 (algún tiempo futuro), entonces AE se define bajo el supuesto de un estado de mercado en el tiempo t (que hoy se desconoce).

Por su parte, la exposición potencial (*potential exposure*, PE) de un derivado D en el tiempo t es el máximo valor adicional (esto es, aparte de la exposición actual) que será perdido si, estando en t, el default ocurre en t', que es un período entre t y el *maturity* T (fecha de término del contrato). Por tanto,

$$PE(D, t) = \text{máx}[0, \text{max}_{t < t' < T} [PV_t(V(D, t') - V(D, t))]]$$

Donde PV es una función que simplemente transforma los valores futuros a valores presentes (pues es necesario traer los flujos a su valor monetario en el tiempo t). La exposición potencial debe ser definida respecto a un escenario de mercado futuro supuesto, esto porque el valor del contrato en cualquier punto del tiempo depende del valor que subyace en uno o más factores de riesgo del mercado.

Se entenderá por un escenario de mercado a un camino posible que el mercado puede seguir en el intervalo de tiempo entre t y el *maturity* T. A su vez, por factor de riesgo se referirá a cualquier componente que pueda afectar el valor de los contratos, como las tasas de interés, tipos de cambios o *commodities*, entre otros. Así, se puede decir que la exposición futura toma en cuenta el “envejecimiento” del portafolio, junto con los posibles movimientos adversos de los factores de riesgo subyacentes en un escenario del mercado.

La tercera definición corresponde a la exposición total (*total exposure*, TE) del contrato D al tiempo t, que es sencillamente la suma de la exposición actual y de la potencial,

$$TE(D, t) = AE(D, t) + PE(D, t)$$

Por tanto, TE es el valor máximo que se perderá en el contrato si la contraparte hace default, desde el tiempo t hasta el fin del contrato en su madurez T, bajo los escenarios de mercado que han sido supuestos. Para aterrizar este concepto, considérese un swap entre dos bancos, del tipo fijo/ flotante, donde el banco A paga tasa fija y recibe flotante, y cuyo actual *mark to market* es negativo. En este caso, lo primero que se debe notar es que la exposición actual es 0, pero cabe preguntarse si es realmente esa la exposición que tiene el swap para el banco A, y la respuesta es no, pues existen pagos futuros de intereses, y si estos flujos crecen en el futuro, el MTM podría ser eventualmente positivo. En otras palabras, aunque el contrato no tenga actualmente exposición crediticia, sí lleva implícito un riesgo potencial adicional que

enfrenta el banco A en caso de que el banco B haga default en el futuro. Dicho de otra forma, la exposición total se encarga de capturar ese posible valor positivo en un escenario futuro.

Hasta este punto, se ha visto la exposición para un solo instrumento derivado, pero en general un banco tiene múltiples contratos negociados con varias contrapartes, las cuales pueden comerciar uno o más derivados a la vez. En estos casos, bastante más cercanos al mundo real, se deben considerar algunas características especiales. En particular, el marco regulatorio en Chile para operaciones de derivados indica que el tratamiento y resolución de los contratos y de operaciones de derivados en caso de default, insolvencia o quiebra de una de las contrapartes, tiene dos componentes a considerar: el cierre anticipado de los contratos vigentes (*close-out*), y más importante aún y que le agrega complejidad al cálculo de la exposición, es la compensación o neteo (*netting*) de los resultados a la fecha de cierre de los contratos. A continuación se presenta un breve paréntesis sobre el tema de netting⁷, que resulta necesario para continuar con el tópico de la exposición crediticia.

Los eventos que pueden detonar un cierre anticipado de operaciones de derivados están usualmente definidos en los correspondientes contratos *master*. Al presentarse esos eventos, se produce el término anticipado de todas las operaciones vigentes, y las posiciones resultantes pueden ser “neteadas”. Para una serie de contratos con una contraparte, la exposición de crédito dependerá de los acuerdos de neteo (*netting arrangement*), y de otras provisiones o garantías que ayuden a mitigar los efectos del default. Por ahora, se considera sólo el netting como método relevante de mitigación.

Un acuerdo de neteo es un contrato de unión legal entre dos contrapartes que, en evento de default, permite la asociación de las transacciones entre ambas contrapartes, como si fuera un solo contrato, cuyo valor de mercado resulta de la suma del valor de los contratos que se encuentran bajo el acuerdo. Para fijar ideas, si se permite neteo total (*full netting*), al momento del cierre de los contratos, aquellos con valor positivo pueden ser compensados con los otros contratos de valor negativo, y así reducir la exposición neta. Matemáticamente, la exposición actual para el tiempo *t* del portafolio de instrumentos de la contraparte, definido como *P*, resulta ser el máximo entre 0 y la sumatoria de valores de todos los contratos con dicha contraparte

$$AE(P, t) = \text{máx}[0, \sum_{D \in P} V(D, t)] = \text{máx}[0, V(P, t)]$$

Donde *V(P,t)* es el valor del portafolio de la contraparte *P*, que contiene todos los derivados *D* negociados. Por su parte, la exposición potencial de la contraparte, bajo escenarios de mercado supuestos, es la máxima exposición adicional en algún futuro, la cuál puede ser obtenida sustituyendo el valor del portafolio *V(P,t)*, por el contrato *V(D,t)* en la ecuación de *AE(D,t)*. De este modo, la exposición total es la suma de las exposiciones actuales de la contraparte y sus exposiciones potenciales, recalcando que la suma simple en las exposiciones actuales y potenciales implica compensación o neteo entre valores positivos y negativos.

⁷ Banco central

Ahora bien, si no se permite neteo, la exposición actual de la contraparte es la suma pero sólo de los valores positivos. En fórmula,

$$AE(P, t) = \sum_{D \in P} \text{máx}[0, V(D, t)] = \sum_{D \in P} AE(D, t)$$

Mientras que la exposición potencial es definida sencillamente como la suma de cada exposición potencial de los contratos en ese tiempo

$$PE(P, t) = \sum_{D \in P} PE(D, t)$$

Notar de la ecuación anterior que la exposición potencial de contratos depende del máximo valor que cada contrato tomará durante su vida. Es de fácil intuición que, por la diversidad de los contratos, estos pueden tomar sus máximos valores en diferentes horizontes de tiempo. Por tanto, definir la exposición potencial de la contraparte de esta manera permite la posibilidad de que, en caso de ausencia de neteo, la contraparte pueda escoger los mejores plazos de tiempo para el default de cada contrato⁸

Finalmente, la exposición total de la contraparte, en ausencia de acuerdos de netting, es la suma de cada exposición total de los contratos

$$TE(P, t) = \sum_{D \in P} AE(D, t) + \sum_{D \in P} PE(D, t) = \sum_{D \in P} [AE(D, t) + PE(D, t)]$$

Y de la ecuación de TE(D,t), reemplazando dentro de la sumatoria, se tiene que

$$TE(P, t) = \sum_{D \in P} TE(D, t)$$

Comparando los casos donde existe o no netting, es claro que la exposición total se reduce enormemente cuando existen estos acuerdos de neteo. El neteo es la técnica de mitigación más popular, pero no es la única en mercados más sofisticados. Se pueden mencionar

- *Posting of collateral* (garantías o colaterales),
- *Marked to market caps*,
- *Re-couping an early termination clauses*

Entre otras, las cuales no serán tratadas en el trabajo, aunque sí se abordará teóricamente el tema de colaterales. Lo que sí es relevante mencionar es que pueden existir, para una misma contraparte, varios acuerdos de netting, e incluso pueden haber derivados que no estén dentro de los acuerdos de neteo, lo cual complejiza aún más el

⁸ Esto es una analogía de lo que se conoce como “cherry-pick”: al tener un montón de cerezas, se pueden elegir las mejores, con lo cual se hace creer que todas las cerezas del montón son buenas.

cálculo de la exposición. Por esta razón, para realizar una correcta estimación de las exposiciones de contrapartes, se requiere que los modelamientos de los acuerdos de netting sean no solo certeros sino también altamente flexibles.

Para visualizar esta complejidad, considere un conjunto AN, que contiene k acuerdos de neteo con una contraparte, todos distintos y los cuales se denotan por AN_k . Entonces, la exposición total de la contraparte está dada por

$$TE(P, t) = \sum_k \sum_{D \in NA_k} TE(D, t) + \sum_{D \in NA} TE(D, t)$$

De esta ecuación, el segundo término agrupa a los contratos que no están bajo ningún acuerdo de neteo, mientras que en el primer término, la sumatoria interna calcula el valor del neteo de los contratos que se encuentran bajo el acuerdo k -ésimo, y luego la suma externa recorre cada uno de los k acuerdos posibles, entregando así el valor de la exposición por netting.

Pérdidas crediticias

Se ha definido la exposición como la cantidad máxima que será perdida en caso de default, bajo el supuesto de que no existe recuperación del monto perdido. Las pérdidas crediticias toman en cuenta que hay una cantidad que puede ser recuperada después de que ocurra default. Así, la pérdida crediticia de un contrato D, si el default ocurre en t y bajo un escenario de mercado supuesto es

$$L(D, t) = AE(D, t) * (1 - RR(D, t))$$

Donde RR es la tasa de recuperación, correspondiente al porcentaje del valor que será recuperado si es que se cae en default en el tiempo t. Usualmente, la tasa de recuperación depende de la antigüedad del contrato. También puede depender del estado del mercado en que ocurra el default.

Al igual que para la exposición, las pérdida crediticia se diferenciarán en los casos con o sin acuerdos de neteo. Si se permite netting, la pérdida de crédito de una contraparte está en función de la exposición actual, que a su vez depende de las provisiones de netting que son detalladas en el acuerdo maestro. La pérdida de crédito del portafolio de la contraparte, si ocurre el default en t, es

$$L(P, t) = AE(P, t) * (1 - RR(P, t))$$

Si se permite el neteo, una tasa de recuperación simple se aplica a todas las transacciones. Esto supuesto se hace porque resulta razonable asumir que los contratos que tienen netting tienen en común la *seniority class*⁹

⁹ En finanzas, *seniority* se refiere a la prioridad en los pagos de recuperación que se deben realizar cuando hay un evento de quiebra.

Por otra parte, si no se permite netting, la pérdida de crédito del portafolio de la contraparte, si el default ocurre en t , es definida como una función de la exposición total del portafolio.

$$L(P, t) = \sum_{D \in P} L(D, t) = \sum_{D \in P} TE(D, t) * (1 - RR(D, t))$$

En este caso se utiliza la exposición total porque, en ausencia de netting, la contraparte no puede compensar la exposición inmediatamente después de que ocurre el primer default de algún contrato. Esta ecuación permite la posibilidad de que la contraparte pueda elegir el tiempo de default en los contratos, cuando cada uno de ellos alcance su máxima exposición. Además, en ausencia de netting es posible tener contratos con diferentes tasas de recuperación.

DESARROLLO DEL TRABAJO

Las actuales metodologías de cálculo de riesgos de crédito difieren básicamente en los supuestos realizados al calcular los tres parámetros requeridos: la exposición de crédito, las probabilidades de default y las tasas de recuperación. En particular se profundizará en el cálculo de la exposición, pues para las probabilidades de default y las tasas de recuperación existen muy pocos datos históricos en el mercado chileno que permitan hacer estimaciones.

Una metodología simple puede asumir que la exposición crediticia de un contrato es igual a su nominal, y a su vez que la pérdida potencial es calculada como un porcentaje del nominal, donde presumiblemente dicho porcentaje se calcula en función de la probabilidad de default y de la tasa de recuperación. Una metodología más sofisticada puede crear distribuciones de exposiciones futuras, tasas de default y/o tasas de recuperación antes de calcular las pérdidas mediante simulación.

Para efectos del trabajo, se introducirán dos metodologías ampliamente usadas. La primera es el método sugerido por el BIS, actualmente el único método que se les permite usar a las instituciones financieras para calcular sus reservas de capital. El segundo es un método basado en simulaciones, en las cuales se usan simulaciones de monte carlo para crear diferentes perfiles de exposición y de pérdidas crediticias.

Metodología del BIS

Respecto al riesgo de crédito, el BIS ha sugerido la introducción de requerimientos adecuados de capital para instituciones financieras que negocian securities de derivados [5]. Este requerimiento, en sus inicios llamado como acuerdo de Basilea (BIS 1988), especifica el método que los bancos deben utilizar para el cálculo de exposiciones crediticias, y a la vez intenta establecer un mínimo nivel de reservas de capital. Aunque la metodología sugerida del BIS es definida como “simple”, es necesario destacar algunas características.

Primero, la exposición actual, potencial y total se definen únicamente para el tiempo actual ($t = 0$). A nivel de contrato, la exposición total de una posición de derivado, conocida como la cantidad equivalente de crédito (*credit equivalent amount*, CEA) consiste en dos partes: la exposición actual y la exposición potencial. La exposición actual se define como indica la ecuación de $AE(D, t)$, mientras que la potencial (PE) se calcula multiplicando el nominal de la transacción, N , por un factor de conversión de crédito, CF . Entonces,

$$PE = N * CF$$

Este factor, que es un porcentaje, depende tanto de la clasificación general de los tipos de securities subyacentes a los contratos de derivados como del tiempo de madurez de los contratos. En la tabla a continuación se resume el factor, según el plazo

residual y el tipo de subyacente. Dicho factor intenta considerar la posibilidad de que la exposición futura pueda sobrepasar la exposición actual.

Residual Maturity	Interest Rate	Exchange Rate & Gold	Equity	Precious Metal	Commodities
< 1 year	0%	1%	6%	7%	10%
1 - 5 years	0.5%	5%	8%	7%	12%
> 5 years	1.5%	7.5%	10%	8%	15%

Tabla 1: factores de conversión de crédito, definidos por BIS. Fuente: Bank of International Settlements (BIS, 1997)

En Chile, la Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras (SBIF) propone factores de conversión para el mercado chileno que se derivan de lo entregado por la BIS. Para instrumentos derivados sobre tasas de interés se mantienen los ponderadores, pero se hace una diferencia en los contratos sobre tipo de cambio, según la calidad crediticia del país en cuestión.

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

Tabla 2: factores de conversión de crédito para el mercado nacional, aplicados según la calidad crediticia. Fuente: Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras (SBIF, 2006)

La canasta 1 reúne las monedas emitidas por países con deuda externa de largo plazo calificada al menos de AAA (o cualquier equivalente), además de incluir el Euro y el oro, mientras que en la canasta B se consideran todas las otras monedas no incluidas en el primer grupo.

La exposición potencial, calculada mediante el factor de conversión, es conocida como el “*static add-on for potential (future) exposure*”, porque es una cantidad fija (estática) del nocional, independiente del paso del tiempo, que es añadida a la exposición actual. Por lo tanto, la cantidad equivalente de crédito de un contrato D se puede definir como [5]

$$CEA = AE(D, 0) + PE(D, 0)$$

Que, como se mencionó, es definida únicamente para el tiempo actual. Si existen acuerdos de netting en un portafolio P , el CEA es igual a la suma de exposiciones actuales neteadas, más la suma de cada exposición potencial de las transacciones ajustada por el factor de netting, FN

$$CEA = AE(P, 0) + FN * PE(P, 0)$$

Donde este factor de netting se define simplemente como

$$FN = 0,4 + 0,6 * NGR$$

Y el ratio *Net-to-Gross (NGR)* es el cuociente entre la exposición actual neteada y la exposición actual sin netting. Notar que, si no se permite netting, *NGR* es 1, *FN* es 1 y *CEA* para el portafolio *P* es la suma de todos los *CEA* de cada transacción.

Adicionalmente, las reservas de capital (*capital reserves, CR*), son calculadas multiplicando *CEA* por el factor de ponderación de riesgo (*risk-weight factor, RF*) -que depende del tipo de contraparte del contrato-, y luego multiplicado por el 8% correspondiente al ratio de capital para exposición (*capital-to-exposure*). Esto es,

$$CR = RF * CEA * 0,08$$

También hay una tabla del BIS para los factores ponderadores de riesgo, que se resumen a continuación

Type of Counterparty	Risk Weight
Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) governments	0%
OECD banks and public-sector entities	20%
Corporate and other counterparties	50%

Tabla 3: ponderadores de riesgo. Fuente: Bank of International Settlements (BIS, 1997)

La principal conclusión de la evaluación de la Asociación Internacional de Swaps y Derivados (ISDA¹⁰) sobre riesgo de crédito y la regulación de requerimientos de capital (1998), fue que la necesidad de una reforma era urgente. Dicho reporte sugería adoptar un enfoque basado “en modelos” como una alternativa a las reglas estáticas y estandarizadas de la metodología propuesta. Al referirse a un enfoque basado “en modelos” -como el de monte carlo, que será descrito a continuación- es más consistente con la práctica de administración de riesgo interna, y además conduce a una gestión más prudente de dicho riesgo de crédito. La ISDA enumera algunos de los defectos presentes en la metodología del BIS, en los que se destacan

- 1) Limitaciones en la diferenciación de riesgo de crédito entre amplias categorías de crédito
- 2) Medidas estáticas de riesgo de default basadas en el 8% de requerimiento, ajustada según las categorías de riesgo

¹⁰ International Swaps and Derivatives Association

- 3) No se reconoce la estructura temporal del riesgo de crédito y, por tanto, no reconoce ni la evolución de los factores de riesgo ni la mayor posibilidad de default asociada a exposiciones de mayores plazos
- 4) Simplificación del cálculo de exposiciones potenciales de riesgo, llevando a un limitado y poco exacto reconocimiento de netting y *moneyness*¹¹ de la posición
- 5) Falta de reconocimiento en el efecto de diversificación del portafolio

Mientras la metodología del BIS asume un factor de *add-on* estático para las exposiciones potenciales, los métodos de simulación van calculando el valor del contrato a través del tiempo en cada escenario. Más aun, la probabilidad de default y la tasa de recuperación son implícitamente tomadas en cuenta por la BIS a través de los factores de ponderación de riesgo y del ratio de exposición de capital, mientras que aquellos términos están explícitos en las simulaciones. A continuación se considera el enfoque basado en simulaciones.

Método basado en simulaciones de monte carlo

El método que utiliza simulaciones de monte carlo es un método exhaustivo para estimar exposiciones y pérdidas para portafolios de derivados. Aunque las simulaciones son por lo general difíciles de implementar y computacionalmente intensivas, pueden incorporar realísticamente el impacto de todos los factores de riesgo, contrastando las correlaciones entre varias posiciones y contrapartes, así como también considerando acuerdos de neteo y otras provisiones que mitiguen la exposición.

En su forma más general, durante la simulación de monte carlo se busca generar una gran cantidad de conjuntos de escenarios. Estos escenarios se representan mediante

- 1) Factores de riesgo del mercado que puedan afectar el valor del portafolio,
- 2) Eventos de crédito, como los default y las mitigaciones de crédito, y
- 3) Tasas de recuperación de cada contrato sobre el default.

Cada escenario es un camino sobre el tiempo de decenas, centenas o miles de factores de riesgo que representan al mercado y a eventos de crédito. Típicamente, la simulación es realizada sobre la vida entera de transacciones del portafolio (esto es, hasta el instrumento con mayor madurez). Bajo cada escenario y paso de tiempo, el portafolio se re-evalúa y, en caso de haber recuperaciones, se aplican cuando hay default. Finalmente, los resultados de la simulación son agregados, pudiendo extraer estadísticas sobre las distribuciones de la exposición en el tiempo y la distribución de las pérdidas de crédito.

¹¹ **Concepto que se refiere a la posición relativa del valor actual o futuro de un precio, con respecto a su precio de ejercicio establecido en un contrato. Si la posición es tal que el valor del derivado es positivo, se dice que está “in the money”, de lo contrario, está “out the money. Si el precio es igual al de ejercicio, se está “at the money”.**

Se debe señalar que hacer una simulación “sencilla” no es computacionalmente práctico. Es necesario suministrar una gran cantidad de escenarios, esto ya que los eventos de crédito -especialmente los defaults de empresas- ocurren con muy baja probabilidad. Esta limitación puede ser superada aprovechando algunas propiedades del problema a resolver y mediante supuestos que simplifiquen la implementación. Por ejemplo, se puede aumentar drásticamente la velocidad del cálculo aplicando una simple y muy utilizada descomposición del problema: se ha definido la exposición como el costo de reemplazo o de cobertura de un contrato cuando ocurre default, por lo tanto, la exposición depende únicamente del estado del mercado en cada tiempo y no del estado de crédito de la contraparte (es decir, que hay independencia entre la exposición y el default). Este es solo uno de los múltiples supuestos comúnmente usados, sin embargo, hay que comprender cómo afectan en el cálculo final, lo cual será parte del análisis realizado en el trabajo.

Una metodología genérica se inicia corriendo una serie de simulaciones, en donde el portafolio se procesa para obtener la exposición total de cada contraparte, bajo cada escenario de mercado e instante de tiempo. Esto es, habitualmente, el paso computacional más costoso en la simulación, ya que requiere la valoración de todos los instrumentos del portafolio en cada escenario.

Luego, en una nueva simulación se procesan las tasas de recuperación y los eventos de default, de modo que estén correlacionadas, para obtener las pérdidas de crédito. Esta segunda simulación de eventos de crédito puede ser omitida al calcular la pérdida de crédito de la contraparte, aplicando los siguientes supuestos [3]

- 1) Las probabilidades de default y tasas de recuperación son determinísticos, y
- 2) Eventos de mercado y de crédito son independientes.

El primer supuesto es bastante común en muchos modelos iniciales de *pricing* (Jarrow and Turnbull 1995, Hull&White 1995, Jarrow et all 1997). Luego, el modelo de Das y Tuffano relaja el supuesto de tasas de recuperación determinísticas de Jarrow et all y las correlaciona con las tasas de interés. Modelos de crédito como Wilson (1997) y creditmetrics (JPMorgan 1997) tienen también supuestos tradicionales de probabilidades de default determinísticas y tasas de recuperación, aunque dicho supuesto puede ser relajado. El creditRisk+ model (Credit Suisse, 1997) incorpora explícitamente probabilidades estocásticas de default.

Por su parte, el supuesto de independencia entre crédito y mercado, que si bien no es realístico (lo cual será abordado en la discusión final), simplifica mucho el cálculo y por esta razón ha sido ampliamente usado. Por ejemplo, Hull&White y Jarrow&Turnbull lo usan para poner precio a derivados de securities, mientras que Jamshidian&Shu (1997) lo usan en sus cálculos de riesgo de crédito. Hull&White discuten que el supuesto es bastante razonable cuando las contrapartes son muy numerosas, con instituciones financieras bien diversificadas, ya que en esos casos la contabilidad resulta ser menos sensible ante movimientos en un sólo factor de mercado. Sin embargo, el supuesto es mucho menos realístico cuando las contrapartes son empresas de producción que contratan derivados para cubrir sus posiciones o para especular en áreas en las cuales ellos tienen especial conocimiento (entendiéndose con esto que hay poca diversificación). Duffee (1996) demuestra que en esos casos de poca

diversidad en los portafolios, el supuesto de independencia tiene impactos significativos en los resultados.

Mencionado esto, si uno hace los supuestos 1 (determinístico) y 2 (independencia), la distribución de pérdida puede ser obtenida explícitamente, y sin utilizar más simulaciones, del cálculo de exposiciones, integrando estos resultados con las recuperaciones y las probabilidades acumuladas de default de la contraparte. Para efectos del trabajo, estos importantes supuestos serán utilizados en todo momento.

En las siguientes secciones se explicará en mayor detalle el cálculo que se debe realizar en las simulaciones de monte carlo, con foco en la obtención de las exposiciones, para luego llegar al cálculo del CVA.

Cálculo de exposiciones

A continuación se implementará la modelación de exposiciones crediticias para algunos instrumentos derivados. Primero será para instrumentos sencillos con un solo flujo de caja futuro, como lo son los forwards de tipo de cambio y los FRA. Luego, se implementará para instrumentos con más de un flujo de caja futuro, en particular para un swap de tasas fijo/flotante, que son los más usados en el mercado chileno. El resultado de la modelación se conoce como perfiles de exposición, donde cada instrumento tiene un perfil que lo representa, y que muestra exposiciones esperadas o potenciales, según el período de tiempo (desde un t particular hasta el vencimiento).

Lo importante y que se debe rescatar del ejercicio de calcular exposiciones es, primero, ver los costos y dificultades modelísticas que tiene este cálculo bajo el enfoque de simulaciones de monte carlo. Segundo, que mediante las simulaciones es posible calcular varios tipos de exposiciones, como la esperada, la potencial o la máxima, entre otras, y que tienen distintos usos y aplicaciones. Tercero, que el cálculo de exposiciones potenciales se debe realizar no sólo al inicio del instrumento, sino que para cada tiempo t en el que se desee calcular la exposición total, es decir, que es necesario repetir el ejercicio de las simulaciones cada vez que se desee calcular la nueva exposición para algún t en particular. Finalmente, comprender las diferencias en las exposiciones para cada instrumento, lo cual puede ser bastante intuitivo para instrumentos de un solo pago, pero tiene particularidades para otros contratos con más de un flujo en el futuro.

Forward de moneda

Sea un forward de monedas peso/dólar entre dos bancos, donde en un año más se debe pagar un flujo en moneda local (tomando como hábitat¹² el peso), a cambio de recibir un ingreso en la divisa extranjera. El precio de intercambio del flujo ($TC_{1 \text{ año}}$) es fijado hoy, conociendo las condiciones del mercado, y asegurando que no exista arbitraje. Este instrumento tiene tres factores de riesgo: tipo de cambio peso/dólar, la tasa de interés en pesos (la swap cámara) a un año, y tasa de interés en dólares a un

¹² El hábitat se refiere a la moneda en la cual se expresarán los flujos relevantes

año (tasa Libor). Esto no es menor, ya que la simulación correspondiente debería crear escenarios de mercado con los tres factores de manera correlacionada. Para efectos prácticos, y dado que el valor de un forward es afectado mayormente por los movimientos en el tipo de cambio (ya que las tasas presentan un proceso de reversión a la media que impide que se “disparen”, teniéndose una volatilidad precio mucho mayor en el dólar que en las tasas), se asumirá que las tasas de interés son determinísticas y, más aun, constantes en el tiempo. Es decir, se aislará el efecto del tipo de cambio sobre la exposición del instrumento.

El primer paso es simular la divisa en el tiempo, mediante un proceso de precios con saltos mensuales, para un *drift* y volatilidad fijas en el tiempo. Cuando se hable de simulaciones, serán 10.000 instancias, en este caso para el tipo de cambio a un año. A continuación se muestran 30 trayectorias aleatorias de la simulación, realizadas para un proceso con un set de parámetros fijos, elegidos solamente para obtener datos consistentes. Más adelante se realizará el procedimiento con datos calibrados al mundo real.

μ (anual)	0,028
σ (anual)	0,1
Δ tiempo	0,08
Dólar hoy	500

Tabla 4: set de parámetros para las 10.000 simulaciones del precio del dólar. Elaboración propia.

Simulaciones de dólar en el tiempo

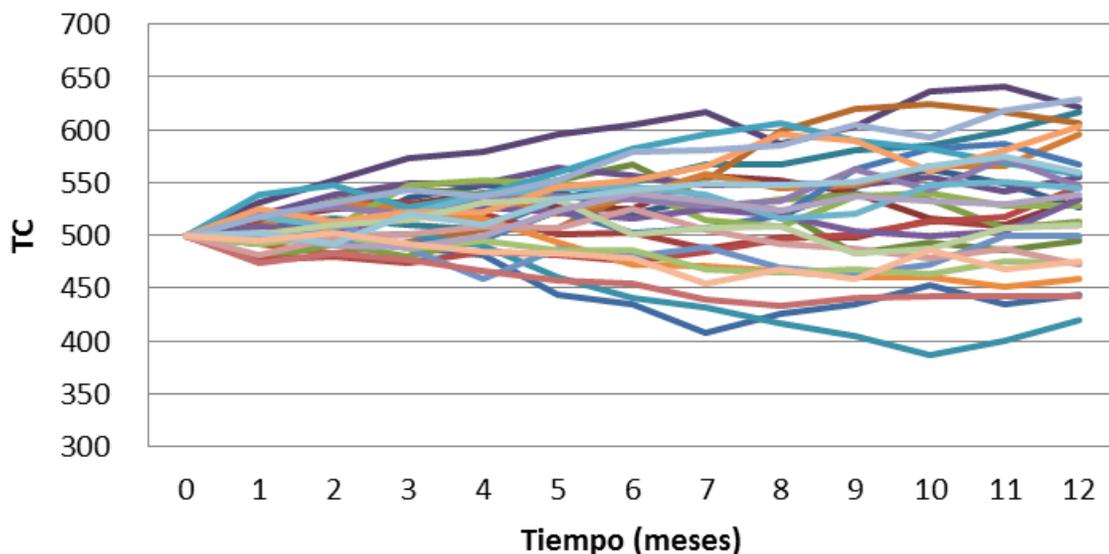


Ilustración 6: 30 simulaciones aleatorias del tipo de cambio durante un año, con saltos mensuales. Elaboración propia.

Luego de simular las 10.000 trayectorias posibles, es necesario calcular, para cada una de las simulaciones y en cada salto del tiempo, el valor del derivado, que en

este caso es la diferencia entre el pago realizado en moneda nacional y el monto recibido en divisa extranjera. El tipo de cambio pactado en el futuro es condicional a las tasas de interés relevantes, que en este caso se toman como $r_{CLP} = 5\%$ y $r_{USD} = 2\%$. Así, el principio de no arbitraje indica que el tipo de cambio a un año pactado debe cumplir con que los valores presentes (actualizados de manera continúa) de ambos flujos sean iguales

$$VP_{USD} - VP_{CLP} = 0$$

Sea un notional de USD\$100 millones, entonces

$$100MM * TC_{hoy} * e^{-r_{USD}*T} - 100MM * TC_{1 \text{ año}} * e^{-r_{CLP}*T} = 0$$

Reemplazando los valores conocidos y despejando la incógnita

$$100MM * 500 * e^{-2\%*1} - 100MM * TC_{1 \text{ año}} * e^{-5\%*1} = 0$$

$$TC_{1 \text{ año}} = \frac{100MM * 500 * e^{-2\%*1}}{100MM * e^{-5\%*1}}$$

$$TC_{1 \text{ año}} = 515,23$$

De este modo, el valor inicial del instrumento en cada simulación es de 0. A partir de ahí, se calcula el valor en cada punto, con el tipo de cambio simulado anteriormente. Como en la exposición sólo se debe tomar en cuenta cuando el derivado tiene un valor positivo, aquellos puntos donde las trayectorias son negativas se omiten. Así, resta por tomar, para cada mes, el percentil 95 de los valores positivos, lo cual se muestra a continuación

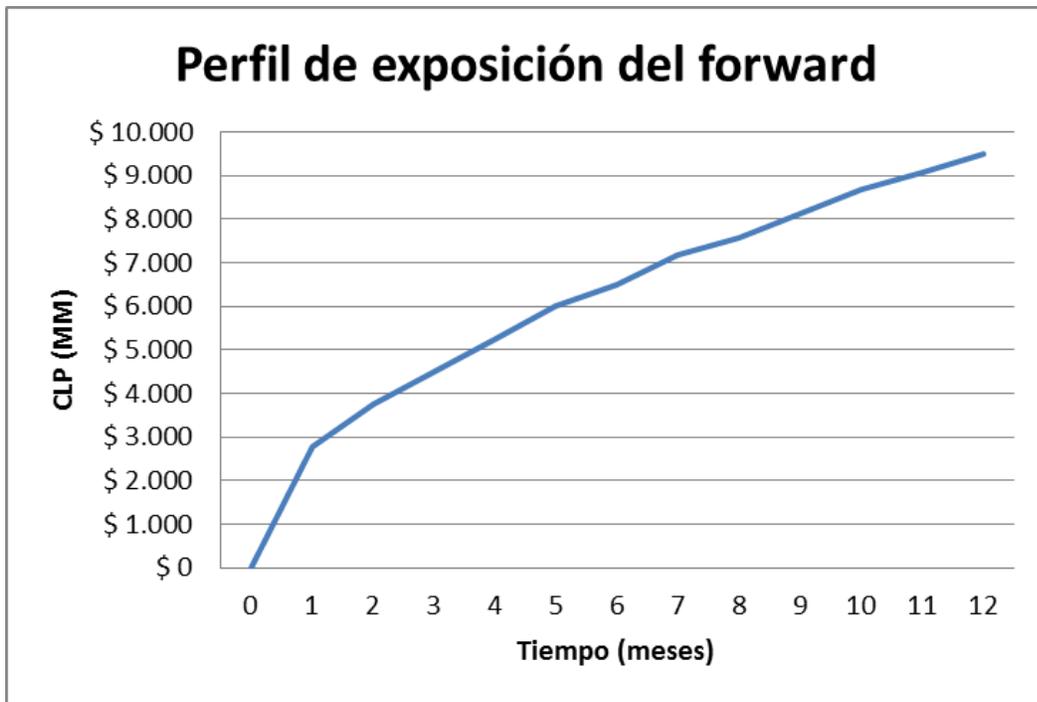


Ilustración 7: perfil de exposición potencial de un forward a un año, para la fecha de inicio. Elaboración propia.

Lo que indica el perfil es que la máxima exposición futura del forward se encuentra justo en el momento en que vence el instrumento y se deba realizar la compensación, lo cual es intuitivo pues el único efecto que existe sobre el instrumento es la incertidumbre del dólar, que aumenta en el tiempo. Notar que este perfil es de exposición potencial futura para un cierto grado de confianza elegido; dependiendo de los límites que se deseen, es posible comparar distintos grados de confianza, y también es deseable conocer la exposición esperada (la media de la distribución), que se ocupa muchas veces como la exposición futura que se adiciona a la exposición actual

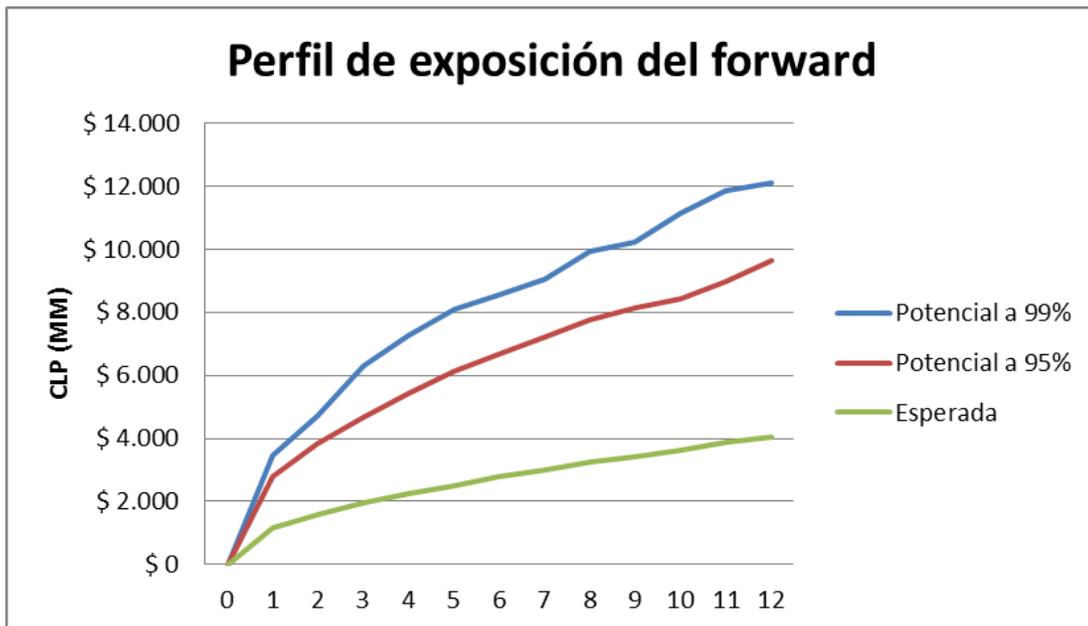


Ilustración 8: perfiles de exposición del forward, para los percentiles 99 y 95, además de la exposición esperada futura, que se esperan al inicio de su negociación. Elaboración propia.

Este último perfil demuestra que puede haber varios tipos de exposiciones, y el uso de una u otra curva depende de los objetivos que se deseen lograr. La exposición esperada se acerca a una definición de pérdida esperada (aquellas que se deben cubrir mediante provisiones), mientras que los percentiles reflejan escenarios más pesimistas que pueden ocurrir pero con baja probabilidad, y se asocian más a pérdidas inesperadas (que son cubiertas con capital propio).

Lo mostrado hasta acá corresponde al cálculo de la exposición que existe al inicio del instrumento. Sin embargo, para conocer la exposición en algún instante de tiempo antes del vencimiento, es necesario recalculer las exposiciones actuales y potenciales, con los datos de mercado de ese momento, y ciertamente el perfil no será el mismo en distintos períodos de tiempo. Para comprender esto, en la siguiente imagen se muestra el perfil de exposición potencial del instrumento en dos períodos de tiempo: el actual y 3 meses después de iniciado el contrato

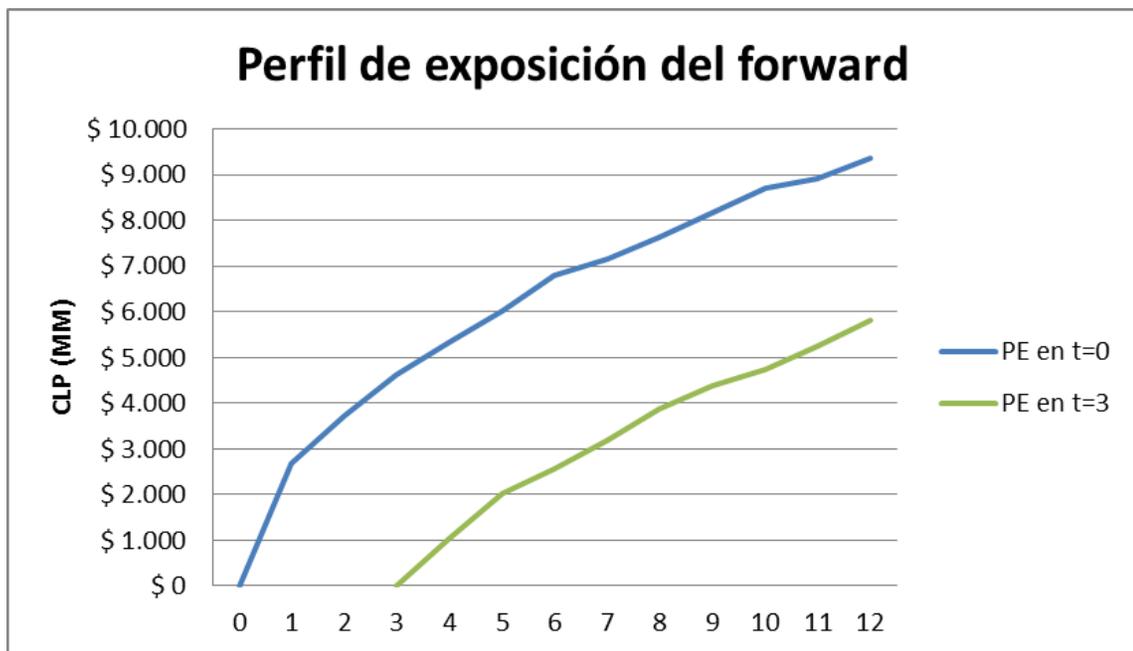


Ilustración 9: perfil de exposición potencial del forward, calculados al inicio de este y 3 meses después de su negociación. Elaboración propia.

Hay varias cosas para desprender de esto. Como se observa, la exposición potencial calculada a los 3 meses de iniciado el forward es menor, y esto ocurre porque el perfil considera solamente la exposición potencial futura: la exposición actual, que corresponde al *mark to market* positivo, no se grafica en el perfil (ya que la exposición potencial es el resultado que se añadirá a la exposición actual para obtener la total). De forma resumida, que la curva de exposiciones futuras comience en 0 no implica que la exposición actual sea de 0.

También es importante recalcar que las curvas de exposiciones potenciales calculadas para otros períodos –entre el inicio y el vencimiento- dependen fuertemente de las condiciones del mercado en ese punto, que pueden no ser las mismas que existían al momento de estructurar el instrumento. Por ejemplo, un aumento o

disminución en la volatilidad del tipo de cambio implicaría una expansión o reducción de la curva, respectivamente. Lo que debe quedar claro, es que para cada punto en que se desee calcular las exposiciones potenciales, es necesario realizar una nueva simulación, que considere el tiempo desde dicho período hasta el vencimiento y con los datos del mercado actualizados.

Forward de tasa

Sea un FRA que intercambia, dentro de un año, un pago en una tasa fija, recibiendo a cambio un flujo definido por una tasa flotante. Como ambos flujos están en moneda local, existe un solo factor de riesgo, que es la tasa a un año, y que será justamente la que se simulará 10.000 veces, con saltos mensuales. Para esto, se utilizará el modelo de tasas de Vasicek, con el siguiente set de parámetros fijos (los cuales nuevamente son tomados sólo para obtener curvas consistentes, los parámetros ajustados a los datos de mercado se tomarán en el caso aplicado más adelante

r hoy	0,05
σ (anual)	0,03
Δ tiempo	0,08
b (tasa largo plazo)	0,055
a (vel. reversion)	3

Tabla 5: set de parámetros para las 10.000 simulaciones de la tasa de interés. Elaboración propia.

El gráfico a continuación representa 30 caminos aleatorios mediante la simulación de Vasicek a un año.

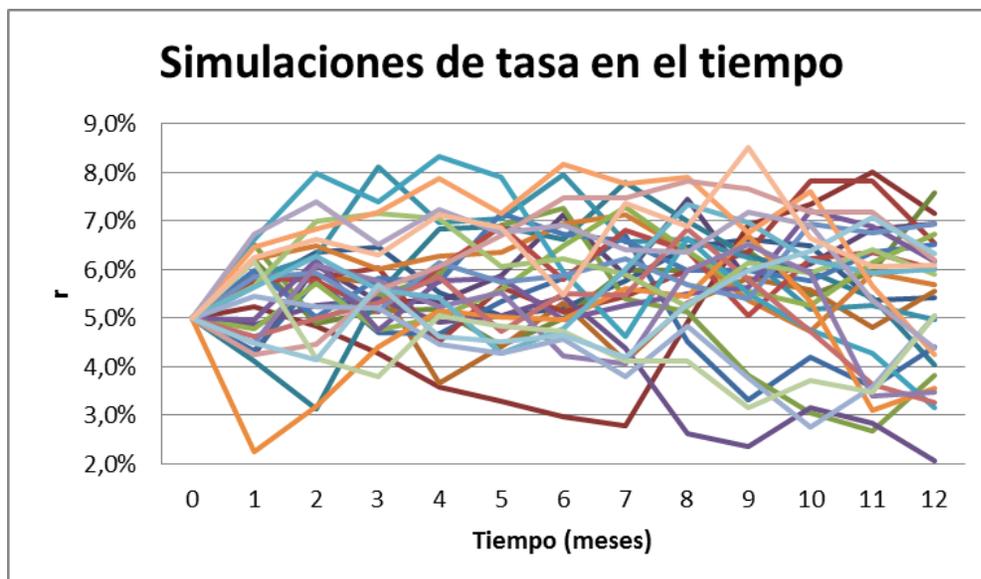


Ilustración 10: 30 simulaciones aleatorias de la tasa de interés durante un año, con saltos mensuales. Elaboración propia.

Una vez generados los escenarios se debe calcular, para cada una de las simulaciones y en cada salto del tiempo, el valor del derivado, que para este caso es la

diferencia entre el pago realizado en tasa fija y el flujo que ingresa según la tasa flotante. Considerando un nocional de \$100 millones, y verificando que la tasa fija cumpla con el principio de no arbitraje (que en este caso es trivial), se calcula el valor presente para cada tiempo, valor que depende exclusivamente de la tasa simulada

$$VP(t, T) = 100MM * r_t * e^{-r_t*(t-T)} - 100MM * r_{fija} * e^{-r_t*(t-T)}$$

Análogamente, se consideran sólo aquellos valores positivos, omitiendo los casos en que la tasa variable es menor que la fija. Finalmente, para cada mes se toma el percentil 95 de los valores positivos, obteniendo el perfil de exposición siguiente

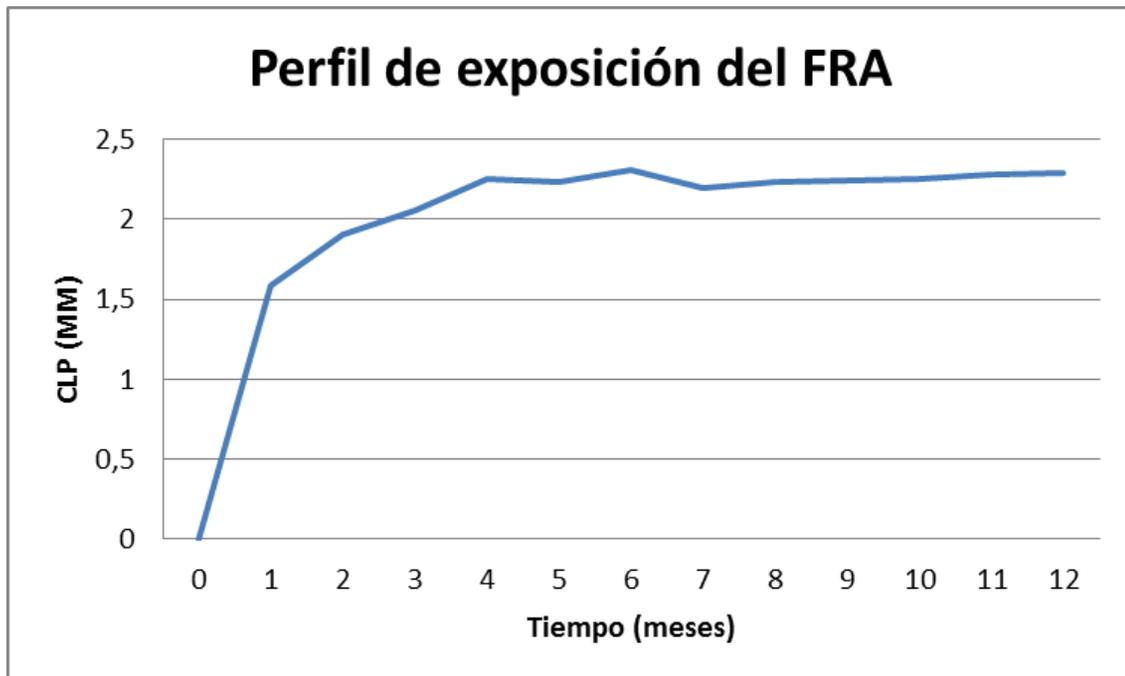


Ilustración 11: perfil de exposición potencial de un FRA a un año, para la fecha de inicio. Elaboración propia.

En este caso, el perfil del FRA es similar al del forward de tasas, en el sentido que la exposición potencial pareciera crecer en el tiempo, sin embargo no es claro que la máxima se alcance exclusivamente en el vencimiento. Esto se explica porque el efecto de incertidumbre en las tasas tiene una componente de reversión a la media, lo cual impide que la tasa se “escape” de las bandas razonables para una tasa de interés. En consecuencia, mientras que el forward de tasa tiene una exposición estrictamente creciente en el tiempo, la del FRA está acotada por el efecto de reversión.

El análisis de los distintos perfiles de exposición para este instrumento es análogo al forward de monedas, y se omitirá porque no agrega un real valor. Hasta ahora, en ambos casos el modelamiento no tiene complicaciones por cuanto sólo requiere generar escenarios (de monedas o de tasas) y luego calcular el valor presente de un único flujo. Esto se complica cuando existen dos o más flujos futuros, por el hecho de necesitar, para cada punto del tiempo, dos o más tasas de descuento (esto es, una estructura temporal de tasas), lo cual se explicará en el siguiente apartado.

Swap de tasas

Sea un swap de tasas fijo/flotante, con vencimiento a 5 años y con pagos semestrales, en el que se intercambian 10 flujos a tasa fija, a cambio de 10 egresos dependientes de una tasa flotante. Al igual que en el FRA, el primer paso es modelar la tasa corta mediante Vasicek, pero esta vez se simulará para un plazo de 5 años con saltos semestrales, utilizando los siguientes parámetros

r hoy	0,05
σ (anual)	0,01
Δ tiempo	0,5
b (tasa largo plazo)	0,052
a (vel. reversion)	0,5

Tabla 6: set de parámetros para las 10.000 simulaciones de la tasa de interés, con saltos semestrales. Elaboración propia

Los parámetros son diferentes de la modelación de Vasicek para el FRA ya que se da el problema de tasas negativas, por lo cual se buscó otra calibración. Con el nuevo set, se simulan las 10.000 instancias con saltos semestrales. A continuación se muestran 30 de las posibles trayectorias aleatorias

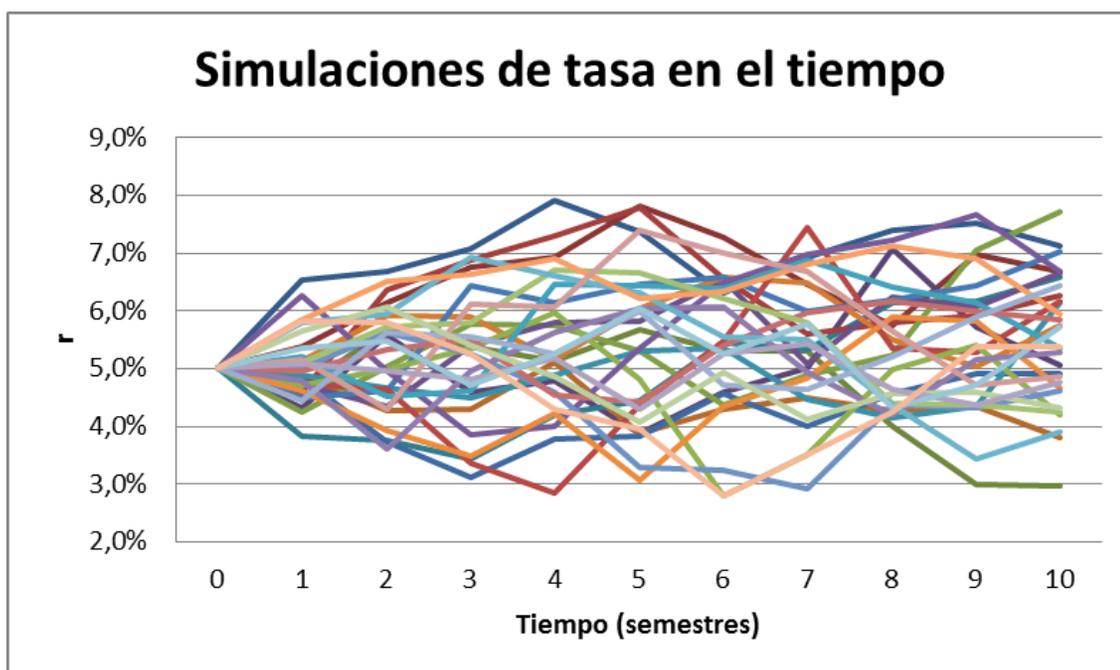


Ilustración 12: 30 simulaciones aleatorias de la tasa de interés durante un año, con saltos semestrales. Elaboración propia.

Luego de generar las tasas, se procede con el cálculo del valor del swap en cada punto de tiempo y para cada una de las simulaciones, pero antes se verifica que no se viole el principio de no arbitraje

$$VP_{Fija} - VP_{Flot} = 0$$

Donde VP_{Fija} es la sumatoria de todos los cupones semestrales a tasa fija, más el notional en el año 5, todo traído a valor presente según el factor de descuento que corresponda

$$VP_{Fija} = N * \frac{c}{2} \left(\sum_{t=1}^{10} FD_{año \frac{t}{2}} \right) + N * FD_{año 5}$$

Mientras que VP_{Flot} corresponde al valor presente de los flujos determinados por la tasa flotante. Ocupando la propiedad de actualización de flujos a tasa flotante, se pueden valorizar todos los flujos que están después del primer corte de cupón como notional a esa fecha, y luego traer a valor presente ese monto más el cupón correspondiente al primer pago

$$VP_{Flot} = (N + N * \frac{r_{año 0,5}}{2}) * FD_{año 0,5}$$

Notar que se requieren todos los factores de descuento vistos desde $t = 0$. Para esto, se ocupa la estructura de tasas derivada de los precios del modelo de Vasicek

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

Donde A y B dependen de los parámetros de Vasicek, a y b (que son fijos en el tiempo), y también del tiempo entre t y T . Así, y definiendo a $r(t)$ como la tasa de interés que existe hoy a 6 meses, se deduce que la tasa fija que vela por el no arbitraje es de 5,17%.

Luego, se calcula el valor del swap para cada punto del tiempo. Acá se debe considerar que el valor del swap implica una suma de flujos futuros que se deben traer a su valor presente mediante una serie de factores de descuentos que se desprenden, como se mostró, de la estructura de precios cero cupón que arroja Vasicek, y que en cada punto de tiempo la sumatoria es distinta porque a medida que se avanza en el tiempo hay cupones que ya se han cobrado.

Esta dificultad modelística puede ser entendida como una matriz de 3 dimensiones, donde una dimensión corresponde a las simulaciones (10.000), otra dimensión corresponde al período de tiempo (10 semestres), y la tercera dimensión corresponde a que, en cada tiempo y para cada simulación, se requieren los factores de descuento asociados a todos los flujos que se deban pagar y recibir en el futuro. Por ejemplo, en una simulación para el valor del swap en el año 2, se deben considerar los flujos que existen entre los semestres 5 y 10, necesitando así un total de 6 factores de descuento, que dependen de la tasa simulada en el año 2.

Una vez que se tienen las valorizaciones del swap para cada simulación, se calcula el percentil 95 de los valores estrictamente positivos, que en este caso son aquellos donde la tasa flotante supera a la fija al momento de cobrar. El perfil de exposición del swap es el que se presenta a continuación

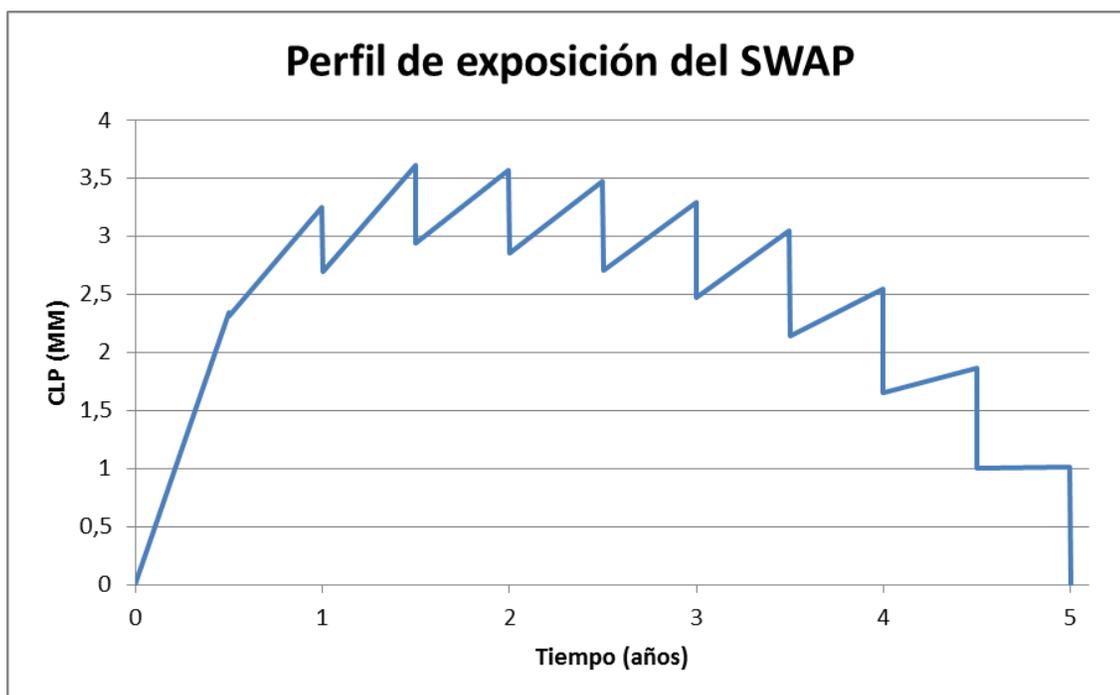


Ilustración 13: perfil de exposición potencial de un swap a cinco años, para la fecha de inicio. Elaboración propia

De acá se pueden hacer algunas observaciones de interés. Lo primero, muy contrario a los instrumentos de un solo pago, es que la exposición potencial máxima pareciera alcanzarse antes de la mitad del vencimiento (casi en un tercio del plazo), y no al final. Esto se explica porque, aparte de la incertidumbre generada por la volatilidad, hay un efecto de amortización de los pagos, que hace que la exposición vaya disminuyendo a medida que los cobros se van realizando.

Lo segundo, es que el efecto escalonado indica que hay *peaks* locales de exposición, justo al momento en que se debe cobrar, y en un delta de tiempo muy pequeño (que puede ser de un día), esta exposición cae visiblemente, porque ya se da por cobrado el valor compensado y, por tanto, no existe riesgo de default para ese monto.

En este punto, es relevante mencionar que la exposición de ambas contrapartes de un contrato swap no necesariamente es la misma. Más aun, la exposición puede ser mayor según se reciba tasa fija o tasa flotante, dependiendo de cómo sea la estructura de la curva yield. Se tienen 3 casos: una curva ascendente, una curva descendente, o una curva jorobada. Para demostrar esto, se calibrará el swap fijo/flotante y el proceso de Vasicek asociado, de modo tal que la curva yield tenga pendiente positiva o negativa

Caso 1: Curva yield ascendente

En este caso, a mayor plazo la tasa spot va aumentando, lo que hace que la yield también aumente en el tiempo. Para lograr este efecto, se calibra Vasicek con los siguientes parámetros

r hoy	0,03
sigma	0,01
T-t	0,5
b (tasa largo plazo)	0,05
a (vel. reversion)	0,8

Tabla 7: set de parámetros para las 10.000 simulaciones de la tasa de interés, con saltos semestrales, para obtener una curva de tasas ascendente. Elaboración propia

La idea es que la tasa actual (3%) se encuentra por debajo de la tasa esperada en el largo plazo (5%), y debido a la reversión a la media, se espera que en el tiempo la tasa tienda a subir. En efecto, al derivar la estructura inicial de precios cero cupón (es decir, factores de descuento semestrales) de Vasicek, es posible derivar la curva spot (en composición semi anual), y posteriormente la curva Yield, que se resumen en la siguiente tabla

Plazo	FD	Spot	Yield
0,5	0,983	3,38%	3,38%
1	0,964	3,66%	3,65%
1,5	0,944	3,87%	3,86%
2	0,923	4,04%	4,03%
2,5	0,902	4,18%	4,16%
3	0,881	4,28%	4,27%
3,5	0,860	4,37%	4,35%
4	0,839	4,44%	4,42%
4,5	0,818	4,50%	4,48%
5	0,798	4,56%	4,53%

Tabla 8: factores de descuento derivados de Vasicek, junto con las tasas spot y yield, según el plazo relevante. Elaboración propia.

Esta calibración permite tener una curva spot/ yield ascendente (*upward sloping*)

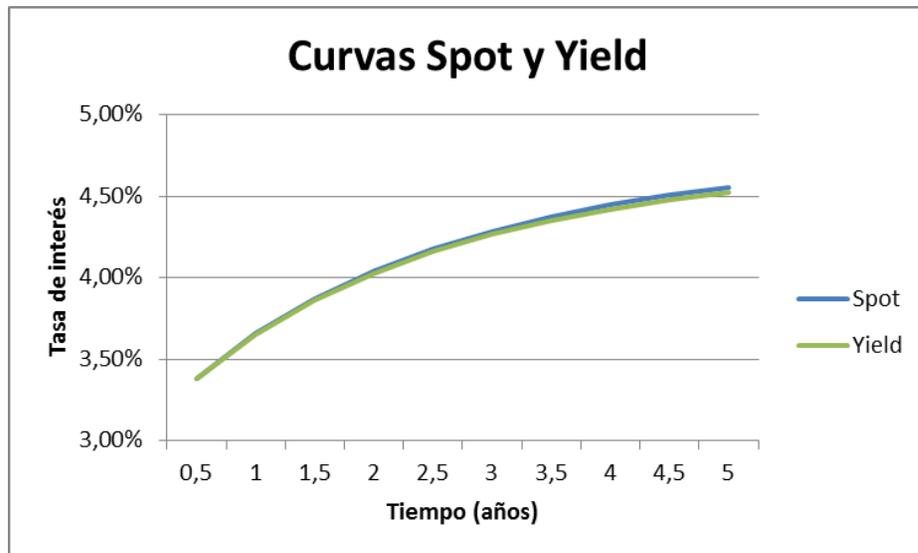


Ilustración 14: curvas spot y yield ascendentes, derivadas de un proceso de Vasicek. Elaboración propia.

Y aplicando el principio de no arbitraje (que es asegurado con una tasa fija de 4,48%), es posible simular las exposiciones potenciales de ambas contrapartes en el tiempo, lo cual se presenta en el siguiente perfil

Exposición potencial del Swap según tasa recibida

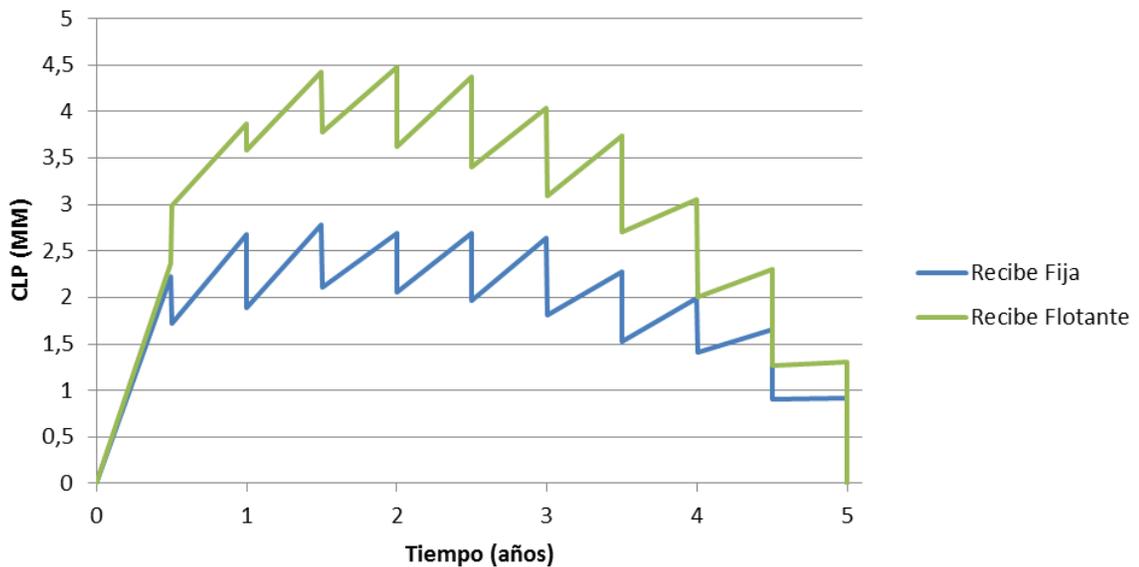


Ilustración 15: Exposición potencial de un swap, según se reciba tasa fija o flotante, dada una curva de tasas yield ascendente. Elaboración propia.

En este caso, se observa que la contraparte que paga tasa fija y recibe tasa flotante tiene una exposición más alta que la otra contraparte, lo cual se explica justamente por la forma de la curva yield: Al inicio del contrato, las tasas flotante (usadas para los cupones y para descontar) están por debajo de la tasa fija, y a medida que avanza el tiempo se espera que crezcan. El efecto de esta alza es de reducir el valor presente de los pagos fijos, con respecto a los pagos flotantes que se mantienen

“a la par” (ya que aumentan los factores de descuento pero también aumentan los cupones flotantes). En otras palabras, una curva yield ascendente implica que el valor del swap –y por tanto, la exposición- será mayor para aquel que recibe los cupones flotantes.

Caso 2: Curva yield descendente

El escenario de mercado en este caso es tal que la tasa spot disminuya en el tiempo, haciendo que la curva yield tenga una pendiente negativa. La calibración del modelo de Vasicek es la misma, pero con una tasa inicial mayor que la tasa esperada de largo plazo

r hoy	0,07
sigma	0,01
T-t	0,5
b (tasa largo plazo)	0,05
a (vel. reversion)	0,8

Tabla 9: set de parámetros para las 10.000 simulaciones de la tasa de interés, con saltos semestrales, para obtener una curva de tasas descendente. Elaboración propia

Plazo	FD	Spot	Yield
0,5	0,967	6,76%	6,76%
1	0,938	6,48%	6,48%
1,5	0,912	6,26%	6,27%
2	0,887	6,09%	6,10%
2,5	0,864	5,95%	5,97%
3	0,841	5,84%	5,86%
3,5	0,820	5,75%	5,78%
4	0,799	5,67%	5,71%
4,5	0,779	5,61%	5,65%
5	0,760	5,56%	5,60%

Tabla 10: factores de descuento derivados de Vasicek, junto con las tasas spot y yield¹³, según el plazo relevante. Elaboración propia.

Bajo este set escogido, la curvas spot y yield son descendientes (*downward sloping*), como se muestra a continuación

¹³ Recordar que la curva Spot y Yield están estrechamente relacionadas, pero no son lo mismo: mientras la curva yield refleja el rendimiento de bonos, como los del banco central, la curva spot es la que se usa para traer flujos futuros a valor presente. En el caso particular en que se derive la curva yield a partir de bonos cero cupón, se obtendrá que la yield es igual a la spot.

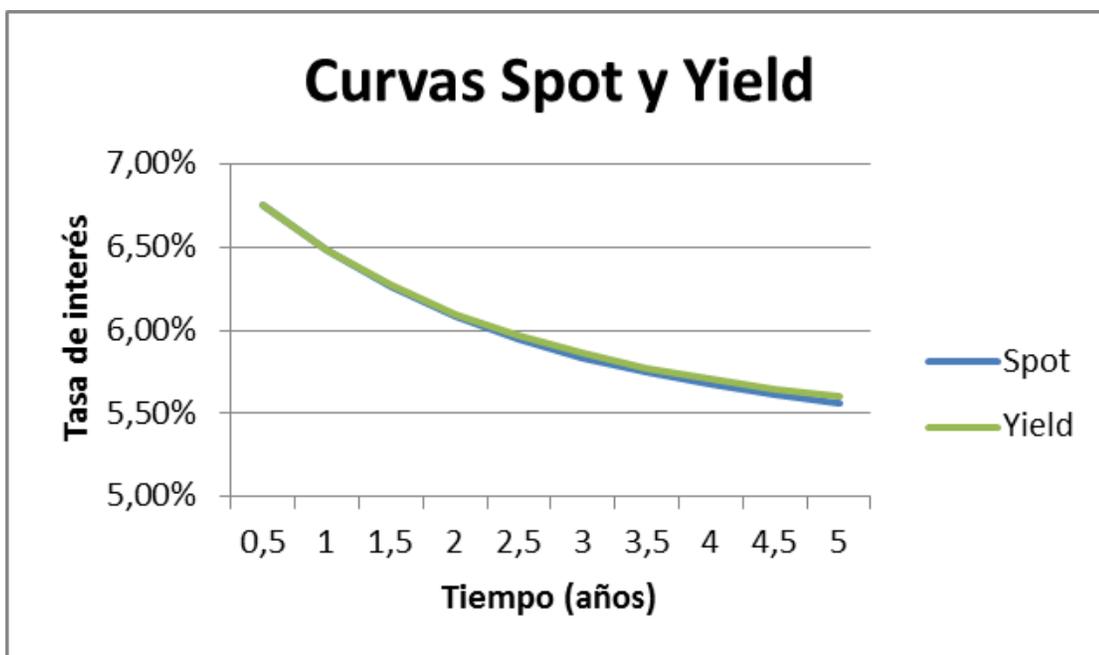


Ilustración 16: curvas spot y yield descendentes, derivadas de un proceso de Vasicek. Elaboración propia

Con estas condiciones se estructura el swap, en donde el principio de no arbitraje se cumple para una tasa fija de 5,63%. Así, mediante las simulaciones del valor del contrato en el tiempo, se obtiene el siguiente perfil de exposición

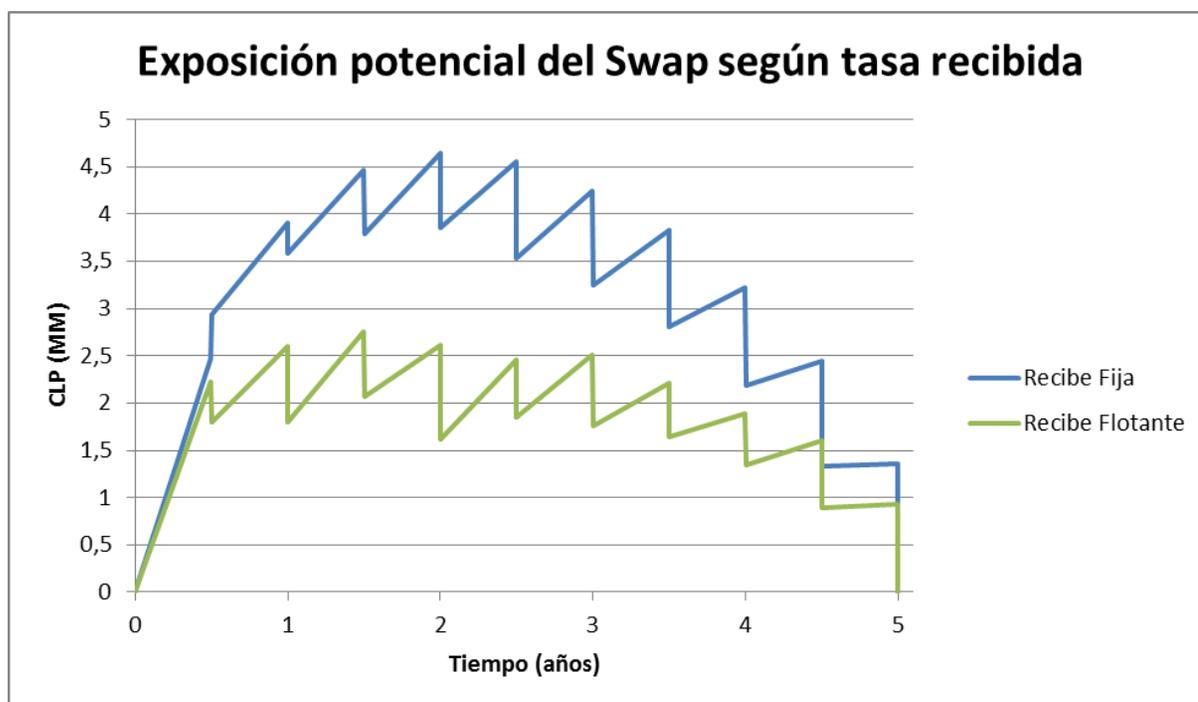


Ilustración 17: Exposición potencial de un swap, según se reciba tasa fija o flotante, dada una curva de tasas yield descendente. Elaboración propia.

En este caso, y como era esperable, la exposición es más alta para la contraparte que recibe tasa fija y realiza los pagos en tasa flotante, cuya explicación es análoga al caso 1: las tasas variables iniciales son mayores que la tasa fija del swap, pero dada la pendiente negativa de la curva yield, estas tasas flotantes irán decayendo. Así, los flujos fijos irán teniendo menores factores de descuento en el tiempo, lo que hace que su valor presente sea relativamente mayor al valor presente de los pagos flotantes, que se mantendrán “a la par”. Dicho de otra forma, bajo una curva yield descendiente, el valor del swap -y su exposición- será mayor para la contraparte que reciba los pagos fijos.

Caso 3: curva yield jorobada

En este caso, la curva yield es tal que primero tiene un tramo ascendente y luego uno descendente. De los casos anteriores, se puede desprender que hay un efecto combinado: primero, hay un tiempo en el que la mayor exposición la tiene quien recibe la tasa flotante (cuando la yield es ascendente), y luego hay un punto de inflexión donde la exposición pasa a ser mayor para la contraparte que recibe tasa fija (cuando la yield descende). En este caso, es incierta la conclusión de qué contraparte enfrenta mayor riesgo, ya que el efecto agregado hace compensar la mayor exposición inicial de quien recibe tasa flotante, con la menor exposición que enfrentará en el tramo final, y viceversa. Por supuesto que esto depende fuertemente de la forma jorobada que tenga la curva yield, pero es razonable pensar que en estos casos las contrapartes están “igualadas” en el riesgo tomado.

Otros instrumentos como opciones o swaps de tasas extranjeras también tienen sus perfiles característicos y sus dificultades modelísticas (con temas como correlaciones entre tipos de cambio y tasas de interés), sin embargo el patrón para modelarlos mediante simulaciones de monte carlo es similar a lo presentado. Pero el cálculo se complejiza enormemente cuando se habla de portafolios de varios instrumentos y con varias contrapartes, sobre todo cuando existen diferentes acuerdos de netting para mitigar exposiciones. En estos casos es cuando el requerimiento computacional de realizar simulaciones se vuelve costoso.

En el ejercicio del swap sólo se han comparado las exposiciones potenciales de ambas contrapartes al inicio de un swap y para un grado de confianza fijo de un 95%. Al igual que en los casos anteriores, y según su uso, las simulaciones de monte carlo pueden ser aprovechadas para obtener distintos grados de confiabilidad, o también para saber cuál es la exposición que, en promedio, se espera que el instrumento pueda tener, entre otras métricas de interés. El siguiente perfil de exposición muestra algunas exposiciones que pueden ser relevantes para un análisis de riesgo

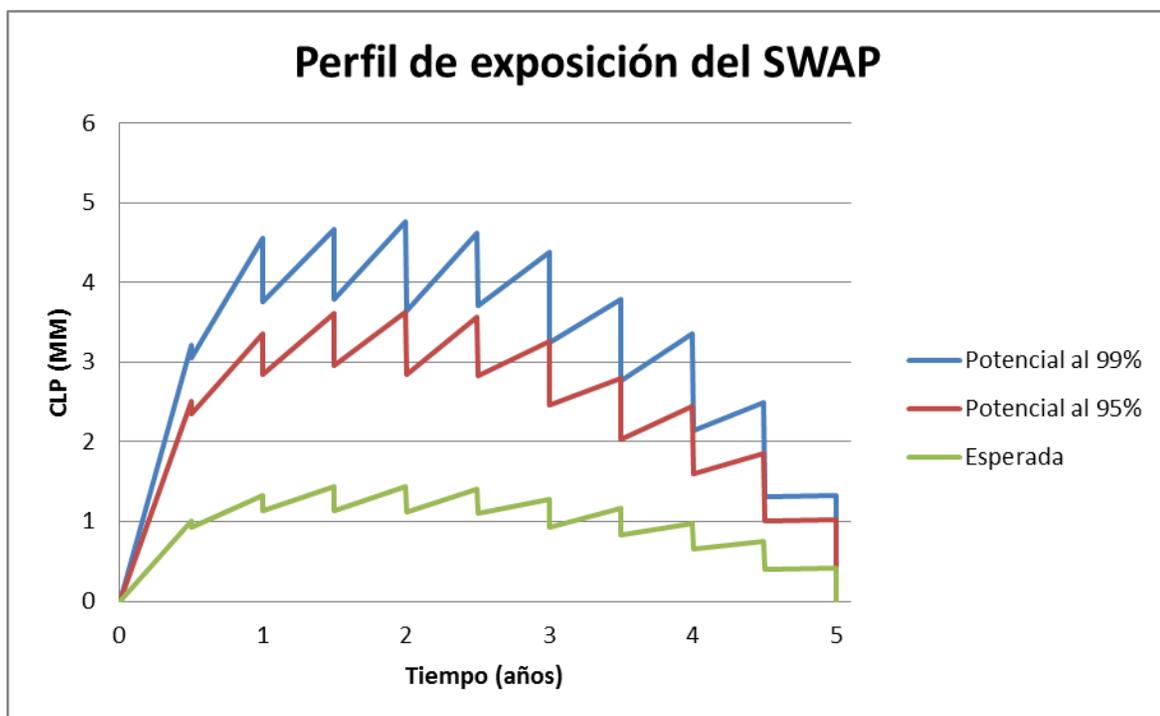


Ilustración 18: perfiles de exposición del swap, para los percentiles 99 y 95, además de la exposición esperada futura, que se esperan al inicio de su negociación. Elaboración propia.

Es relevante ver la diferencia relativa que tienen las exposiciones presentadas: mientras que la máxima esperada no alcanza los \$1,5MM, el monto máximo del percentil 95 la supera por más del doble (sobre los \$3,5MM), y el percentil 99 casi alcanza los \$5MM (más de 3 veces lo esperado). Estas grandes diferencias demuestran que las pérdidas que se pueden esperar para el futuro no son realmente las que perjudican a una empresa, sino que son aquellas pérdidas que pueden ocurrir cuando el mercado ha evolucionado de forma totalmente desfavorable, y que si bien ocurre con una baja probabilidad (como una crisis), las empresas deben conocer las eventuales consecuencias y saber resguardarse con capital propio si es que se enfrentan a un escenario adverso.

En general, el uso de percentiles depende de las políticas de la empresa, pero los grados 95 y 99, e incluso el 99,9, son los mayormente usados para temas de capital. De todos modos, es necesario entender que a mayor percentil, mayor cobertura se tendrá ante escenarios adversos, pero puede existir una sobre-cobertura que impida muchas veces entrar en nuevos negocios o aprovechar oportunidades del mercado. Por su parte, una baja cobertura dejaría vulnerable a una empresa en casos desfavorables, pudiendo derivar en la quiebra de esta (como el caso de *Lehman Brothers*). Por esta razón, el conocimiento de la exposición que un banco está afrontando es un tema crucial de los últimos años, y la metodología de simulaciones aporta en la riqueza de información que se puede obtener sobre la exposición.

Antes de pasar al tema de probabilidades de default, es necesario realizar una última observación del ejercicio realizado hasta ahora. Los perfiles de exposición presentados están sujetos al modelamiento de los factores de riesgo. Por ejemplo, se ha utilizado un modelo de Vasicek para modelar las tasas de interés. Nada se ha dicho

sobre la correcta o incorrecta utilización de este modelo, ni mucho menos de la calibración adecuada, ya que cada perfil está asociado a un conjunto de parámetros fijos elegidos (como la volatilidad, la velocidad de reversión, etc.).

Por tanto, con otra calibración de Vasicek, o más aun con otros modelos de tasas como el CIR, los perfiles presentados podrían variar en la magnitud de la exposición, pero tenderían a mantener su forma característica. El uso de Vasicek es sólo por que entrega la solución cerrada más simple para obtener los factores de descuentos, sin embargo otros modelos podrían ajustarse de forma más certera al comportamiento de las tasas, con el costo de tener soluciones algebraicamente más complejas.

Probabilidades de Default

Tan importante como la exposición al momento del default, es estimar la probabilidad de que, en un futuro incierto, ocurra el evento de default. Esta probabilidad no es trivial, mucho menos en mercados pequeños, poco sofisticados y sin mucha información histórica, como el chileno. Sin embargo, este tema ha sido ampliamente tratado en países financieramente desarrollados, como EEUU, donde existen varios caminos para dar con aproximaciones a estas probabilidades.

Por ejemplo, existen agencias calificadoras de riesgo, las cuales se encargan de analizar y valorizar la solvencia de un emisor de bonos corporativos, solvencia que puede mejorar o deteriorarse en el tiempo. Mediante la data histórica, las agencias pueden estimar estas probabilidades de incumplimiento en el tiempo. La imagen siguiente muestra la probabilidad de default (histórica) acumulada, según la calidad crediticia del bono corporativo y el plazo residual del mismo.

<i>Term (years):</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>7</i>	<i>10</i>	<i>15</i>	<i>20</i>
Aaa	0.000	0.012	0.012	0.037	0.105	0.245	0.497	0.927	1.102
Aa	0.022	0.059	0.091	0.159	0.234	0.384	0.542	1.150	2.465
A	0.051	0.165	0.341	0.520	0.717	1.179	2.046	3.572	5.934
Baa	0.176	0.494	0.912	1.404	1.926	2.996	4.851	8.751	12.327
Ba	1.166	3.186	5.583	8.123	10.397	14.318	19.964	29.703	37.173
B	4.546	10.426	16.188	21.256	25.895	34.473	44.377	56.098	62.478
Caa–C	17.723	29.384	38.682	46.094	52.286	59.771	71.376	77.545	80.211

Tabla 11: probabilidad de default histórica acumulada, según la calidad crediticia del bono corporativo y el plazo residual del mismo, con datos entre los años 1970 y 2009. Fuente: Moody's

A primera vista, es evidente que un bono de mejor calidad crediticia tendrá una menor probabilidad de default, tanto en el corto como en el largo plazo. Y al ser una función de probabilidades acumulada (por tanto creciente), la tabla no entrega mayor información respecto a la evolución de la probabilidad de default futura. Pero la primera pregunta que se desearía responder es, justamente, cuál es el comportamiento de las probabilidades de default en el tiempo. Esto porque un supuesto ampliamente utilizado en el cálculo de riesgos crediticios es que la probabilidad de default, generalmente

tomada a un año, es constante en el tiempo. Un supuesto que facilita enormemente el cálculo pero cabe preguntarse qué tan correcto es esto.

Intuitivamente, un bono de calidad crediticia inicial buena (por ejemplo, Aa), tiene una probabilidad baja de default en el corto plazo, pero es razonable pensar que en el largo plazo existe mayor posibilidad de que la calidad crediticia empeore (o bien, que sea baja la posibilidad de que su calidad mejore aún más) y, por tanto, que la probabilidad de default en el tiempo sea cada vez mayor. En efecto, en la siguiente tabla se muestran las probabilidades de default según el plazo, extraídas de la tabla acumulada

Período	Prob. de default incondicionales		
	Aaa	Aa	A
1-5 años	0,105	0,212	0,666
5-10 años	0,392	0,308	1,329
10-15 años	0,43	0,608	1,526
15-20 años	0,175	1,315	2,362

Tabla 12: probabilidades de default incondicionales, según el plazo relevante, para papeles con calidad alta calidad crediticia. Elaboración propia.

Es claro que, para plazos mayores, existe una tendencia al alza. Por su parte, y bajo la intuición equivalente, aquellos papeles con una calidad crediticia baja (por ejemplo, B) tienen una alta probabilidad de default en el corto plazo, pero no sería raro pensar que si no ha habido default en los primeros años -que serían los críticos-, entonces existe mayor posibilidad de que la calidad de crédito aumente en lugar de que disminuya aún más. Bajo esta reflexión, las probabilidades de default tenderían a disminuir en el tiempo. A continuación se muestra la tabla que contiene las probabilidades de default según el plazo, esta vez para papeles de baja calidad de crédito.

Período	Prob. de default incondicionales	
	B	Caa-C
1-5 años	21,349	34,563
5-10 años	18,482	19,09
10-15 años	11,721	6,169
15-20 años	6,38	2,666

Tabla 13: probabilidades de default incondicionales, según el plazo relevante, para papeles con baja alta calidad crediticia. Elaboración propia.

Tal como se argumentó, la probabilidad de default tiende a caer para mayores plazos. Una observación importante en este punto es que las probabilidades de ambas tablas anteriores son las probabilidades incondicionales. Esto es, la probabilidad de que

haya default en cierto tiempo (por ejemplo, default entre los años 10 y 15), visto desde hoy, sin importar qué suceda en la ventana de tiempo que transcurre (de 10 años, siguiendo con el ejemplo). Sin embargo, lo que debiera importar es la probabilidad de default en cierto plazo, **condicional** a que anteriormente no ha habido default, y resulta lógico pues lo que interesa es el momento en el que ocurriría el primer default, y no el número de veces que puede ocurrir. Por tanto, la probabilidad de interés es la probabilidad condicional, y cuyo cálculo no es complejo¹⁴.

Para fijar ideas, la probabilidad incondicional de que haya default para un papel de calificación B en el cuarto año es de 5,068% (esto es la diferencia entre 21,256% y 16,188%). Considerando que la probabilidad de que no ocurra default desde hoy hasta finales del año 3 es de 83,812% (diferencia entre 1 y 16,188%), entonces la probabilidad de default al cuarto año, condicional a que no ha habido default anteriormente, es igual a

$$P_4^{cond} = \frac{P_4^{incond}}{1 - P_{0-3}^{acum}} = \frac{0,05068}{1 - 0,16188} = 6,047\%$$

Como se puede observar, la probabilidad condicional es distinta y esto es porque considera el efecto de supervivencia durante los años previos. Del ejercicio anterior, el 6,047% representa a la probabilidad que existe en el transcurso de un año (en particular, del cuarto). Considérese ahora intervalos de tiempo pequeños, Δt . Se define la *hazard rate*, $\lambda(t)$, tal que $\lambda(t)\Delta t$ sea la probabilidad condicional de que ocurra evento de default entre $[t, t + \Delta t]$, dado que no ha ocurrido hasta t .

Denominando $V(t)$ a la función de probabilidad acumulada de supervivencia (es decir, uno menos la probabilidad acumulada de default), entonces la probabilidad condicional de default en $[t, t + \Delta t]$ es

$$\frac{(1 - V(t + \Delta t)) - (1 - V(t))}{V(t)} = \frac{V(t) - V(t + \Delta t)}{V(t)}$$

Esta ecuación se puede igualar a la *hazard rate* que existe en t , en el intervalo de tiempo Δt ,

$$\frac{V(t) - V(t + \Delta t)}{V(t)} = \lambda(t)\Delta t$$

Reordenando esta expresión

$$V(t + \Delta t) - V(t) = -\lambda(t)V(t)\Delta t$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = -\lambda(t)V(t)$$

¹⁴ Sea la probabilidad condicional del evento A, dado el evento B, entonces $P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$. Esta probabilidad tiene una ventaja al tratar a los eventos de default como eventos con **pérdida de memoria** (conocidos como cadena de Markov, donde la probabilidad de default en $t=T$ no depende de lo que haya ocurrido en $t=0, \dots, T-1$). Así, la probabilidad condicional de default es $P(A|B) = \frac{P(A)}{P(B)}$

Ahora, tomando los límites ($\Delta t \rightarrow 0$)

$$\frac{dV}{dt} = -\lambda(t)V(t)$$

De lo cual se desprende que

$$V(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Recordando que $V(t)$ es la función de supervivencia, se puede definir $Q(t) = 1 - V(t)$ como la función de probabilidad de default acumulada

$$Q(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Notar que λ está en función del tiempo, y la integral se puede interpretar como un promedio de λ en el intervalo de integración, por lo tanto, se puede decir que

$$Q(t) = 1 - e^{-\bar{\lambda}(t)t}$$

Donde $\bar{\lambda}(t)$ es, precisamente, la *hazard rate* promedio (conocida como la intensidad de default, o bien como la tasa forward instantánea de default) entre 0 y t. Por simplicidad, las probabilidades a calcular son en intervalos de tiempo discretos (generalmente de un año o más). Para entender cómo se usa esta tasa, supongamos que una entidad X tiene una probabilidad de default calculada de un 3% anual. Si se considera que mantendrá su calidad en el tiempo, la *hazard rate* promedio de un año es constante e igual a 3%. A continuación, la siguiente tabla resume las probabilidades resultantes de la *hazard rate* definida.

Hazard Rate	3%
-------------	----

Probabilidades	Plazo				
	1	2	3	4	5
acumulada	2,96%	5,82%	8,61%	11,31%	13,93%
supervivencia	97,04%	94,18%	91,39%	88,69%	86,07%
incondicional	2,96%	2,87%	2,78%	2,70%	2,62%
condicional	2,96%	2,96%	2,96%	2,96%	2,96%

Tabla 14: distintas métricas de probabilidades de default, derivadas de una hazard rate constante definida.
Elaboración propia.

El primer paso es calcular la curva de probabilidades acumulada $Q(t)$, de la cual se desprenden tanto la de supervivencia como la de probabilidades incondicionales, y

luego es posible derivar las probabilidades condicionales. Notar que se ha definido la *hazard rate* como la probabilidad condicional en un período de tiempo, pero numéricamente son un poco distintas, esto es porque la *hazard rate* es una tasa instantánea, y la condicional está discretizada. De este modo, mediante la *hazard rate* se podrían calibrar curvas de default acumuladas (conociendo una probabilidad de corto plazo y estimando una de largo plazo).

Como se mencionó, existen otras formas de poder estimar las probabilidades de default. Algo sumamente utilizado es derivar la probabilidad de incumplimiento de una empresa desde la valorización de su bono corporativo. Esto, bajo el supuesto de que existe una relación clave entre el precio y la posibilidad de default: la única razón para que un bono corporativo se venda a **menor** precio que un bono similar pero “libre de riesgo”, es que haya implícita una probabilidad de default que le reste valor¹⁵.

Para visualizar este cálculo, primero se debe aterrizar el concepto de *hazard rate* implícito¹⁶. Supóngase dos bonos en el mercado, un bono corporativo y uno similar pero libre de riesgo, ambos con plazo residual de un año. Las características de ambos se detallan en la siguiente tabla

Bonos	Nominal	Rendimiento	Factor de desc.	Precio
Libre de riesgo	100	5%	0,952	95,238
Corporativo	100	7%	0,935	93,458

Tabla 15: información de dos bonos, uno libre de riesgo y otro corporativo, con similares condiciones. Elaboración propia.

Existe una diferencia de precios entre ambos bonos de \$1,78 (con un spread de 2%), y se supondrá que dicha diferencia corresponde a una prima por riesgo, que se explica exclusivamente por la posibilidad de default del bono corporativo, en cuyo caso el emisor del bono no cumpliría con el pago del nominal en el vencimiento.

Antes de seguir con el cálculo, es necesario introducir ligeramente el concepto de tasa de recuperación (R), que básicamente corresponde a que, en el caso de que haya default, es posible recuperar parte del monto expuesto y, por tanto, sólo se perdería $(1 - R)$ sobre el monto expuesto. Por ejemplo, un R de 30% implica que, al haber \$100 expuestos, se perderían finalmente \$70. Dicho esto, se modelará la situación de default de manera sencilla, con dos escenarios posibles. Considérese como p la probabilidad de default del bono corporativo, y supóngase que la recuperación en caso de default es de un 30%.

- Si hay default, el valor a recibir será un R por ciento del nominal 100, con probabilidad p
- Si no hay default del bono corporativo, se recibirían 100, con probabilidad $(1 - p)$

¹⁵ Aunque el precio del bono también se puede ver afectado negativamente por su poca liquidez

¹⁶ <http://riesgometria.blogspot.com/2009/09/calculando-probabilidades-de-default.html>

Así, el flujo esperado FE en el vencimiento es de

$$FE = \frac{100 * R * p + 100 * (1 - p)}{1 + r}$$

Notar que el término de la derecha es la esperanza del flujo futuro en ambos escenarios, con la actualización correspondiente según la tasa libre de riesgo del mercado (que corresponde a la rentabilidad del bono libre de riesgo). Para cumplir con el principio de no arbitraje, ese valor debe ser igual al precio del bono corporativo

$$93,458 = \frac{100 * 40\% * p + 100 * (1 - p)}{1 + 5\%}$$

De esta última ecuación, es posible reconocer el precio del bono libre de riesgo factorizando el nominal 100 y dividirlo por uno más la tasa libre de riesgo

$$93,458 = (40\% * p + (1 - p)) * \frac{100}{1 + 5\%}$$

$$93,458 = (40\% * p + (1 - p)) * 95,238$$

Como es posible observar, la ecuación contiene una sola incógnita, que es la probabilidad de default. Realizando la matemática correspondiente para despejar la probabilidad

$$-\frac{93,458}{95,238} = p(1 - 40\%) - 1$$

$$p = \frac{1 - \frac{93,458}{95,238}}{1 - 40\%}$$

Que, escrito en términos generales, es

$$p = \frac{1 - \frac{\text{Precio}_{\text{bono con riesgo}}}{\text{Precio}_{\text{bono sin riesgo}}}}{1 - R}$$

El término del numerador, $1 - \frac{\text{Precio}_{\text{bono con riesgo}}}{\text{Precio}_{\text{bono sin riesgo}}}$ se aproxima al spread que existe entre los dos bonos, en efecto

$$1 - \frac{\text{Precio}_{\text{bono con riesgo}}}{\text{Precio}_{\text{bono sin riesgo}}} = 1 - \frac{93,458}{95,238} = 1,9\% \approx 2\%$$

Luego, es posible reducir esta ecuación a una sencilla relación entre probabilidad de default, spread y tasa de recuperación, dada por

$$p = \frac{\text{spread}}{1 - R}$$

Así, dado un bono corporativo, es posible inferir la probabilidad de incumplimiento implícita, sólo conociendo la diferencia de rendimiento entre dicho bono con uno similar libre de riesgo, junto con la tasa de recuperación asociada (que se explicará un poco más en detalle). Lo interesante de esto es que, si se consideran spreads de bonos corporativos en el tiempo (por ejemplo para los años 1, 3, 5, 7 y 10), es posible derivar y construir una curva de supervivencia en el tiempo mediante el uso de *bootstrapping*¹⁷

Antes de continuar, un breve análisis sobre la ecuación anterior. La probabilidad p calculada, se puede interpretar justamente como la hazard rate promedio para un año, por tanto es posible construir y calibrar curvas de probabilidades a partir de los spread y las tasas de recuperación. El gran problema en el cálculo de probabilidades, es que es necesario contar con un mercado amplio y líquido de bonos corporativos. Esto no ocurre en el mercado chileno, donde no existe información suficiente para el cálculo de probabilidades históricas, y más aún, presenta pocas transacciones de bonos corporativos líquidos.

Hasta ahora, se ha hablado de probabilidades de default históricas (como las entregadas por las agencias calificadoras de riesgo), y probabilidades de default calculadas mediante los precios de bonos, necesitando solamente el spread entre bonos corporativos y bonos similares libres de riesgo, además de la recuperación en caso de default. Sin embargo, estas probabilidades difieren, y por lo general las históricas son menores, lo cual se explica principalmente porque las históricas representan un promedio en el tiempo, mientras que las derivadas de precios de bonos son características del momento en que se calculan. En otras palabras, el spread puede cambiar en períodos de algidez, como lo fue durante la crisis *subprime*, ya que cuando se dan estos eventos, ocurre el “*flight to quality*”, en el que los inversores se refugian en activos más seguros como los papeles del tesoro (recordando que la tasa del tesoro se aproxima a la libre de riesgo), y esto hace que el spread aumente (ya que los bonos corporativos se vuelven de menor liquidez y tienen mayor riesgo de default).

Un último punto abordado en el tema de probabilidades de default es saber distinguir las probabilidades del mundo real con las probabilidades neutras al riesgo. Las probabilidades que son derivadas mediante precios del bono son probabilidades neutras al riesgo, por cuanto la valorización de los bonos se realiza mediante tasas libres de riesgo. Por otra parte, las probabilidades de default derivadas de datos históricos son, evidentemente, probabilidades del mundo real. La pregunta natural es cuál probabilidad usar, y la respuesta es que depende de cuál sea su uso. Para evaluar derivados de crédito o para estimar el impacto del riesgo de default en la valorización de instrumentos, se deberían usar las probabilidades neutras al riesgo, lo cual se explica básicamente porque en ambos casos se usa valorización mediante tasas neutras al riesgo para traer flujos futuros a valor presente. Si se lleva a cabo un análisis de

¹⁷ **Método para derivar curvas spot mediante la construcción de instrumentos para distintas cotizaciones de yield. Las curvas generalmente son de tasas, pero es expansible a las probabilidades**

escenarios para calcular pérdidas futuras producidas por defaults, se deberían usar las probabilidades del mundo real.

Tasa de Recuperación

El tercer término, que ya fue introducido en la sección anterior, corresponde a las tasas de recuperación que hay sobre los montos perdidos en el evento del default. Esta posibilidad de recuperar se explica ya que, cuando una compañía cae en banca rota, los deudores de la compañía exigen su derecho sobre activos de la firma, y en ocasiones existen reorganizaciones en las cuales, por ejemplo, se rematan los activos y parte del dinero recaudado es entregado a los demandantes.

La tasa de recuperación de un bono se define normalmente como el valor de mercado del bono unos días después del default, y que a su vez se puede expresar como un porcentaje del nocional. En Estados Unidos, por ejemplo, existen datos históricos suficientes para asignar tasas de recuperación promedio, según la clase de los bonos corporativos.

Una vez más, la poca información histórica en Chile dificulta el modelamiento de la tasa de recuperación $R(t)$. Un supuesto muy utilizado es mantener la tasa de recuperación constante en el tiempo, de modo tal que no sea necesario realizar simulaciones de escenarios. Sin embargo y acorde a la bibliografía, se debe tomar en cuenta la evidencia histórica de mercados ya desarrollados que muestran un efecto importante: las tasas de recuperación están negativamente correlacionadas, y de manera significativa, con las tasas de default¹⁸. Esto quiere decir que en un año “malo”, aparte de tener mayor probabilidad de default, la recuperación será aún menor, lo cual empeora el escenario. Para efectos prácticos del trabajo, se supondrán como constantes en el tiempo, pero se deberá considerar cuál podría ser el efecto de este supuesto en el resultado final.

Credit Value Adjustment (CVA)

La pregunta de interés es cómo debería una institución financiera ajustar el valor de un derivado por el riesgo de contraparte al cual se ve expuesto. El ajuste del valor crediticio o CVA se puede entender como una pérdida potencial que es consecuencia de un incumplimiento de las obligaciones de una de las contrapartes. Esto es,

$$CVA = \text{valor sin riesgo del portafolio} - \text{valor real con riesgo de contraparte}$$

En términos formales, el ajuste al valor crediticio se puede expresar de manera continua como el valor promedio de las pérdidas crediticias potenciales por defaults, esto es

¹⁸ The Link between Default and Recovery Rates: Theory, Empirical Evidence, and Implications,” *Journal of Business*, 78, 6 (2005)

$$CVA = \int_0^T (1 - RR_t) f_t^+ q_t dt$$

Donde T es el vencimiento del instrumento de mayor madurez, RR_t es la tasa de recuperación en el instante t , q_t es la probabilidad de default instantánea en t , y f_t^+ representa el valor instantáneo de mercado del derivado, en valor presente, cuando este toma valores positivos (es decir, la exposición esperada en cada instante t). Notar de la ecuación que las variables son solamente dependientes del tiempo, y no están correlacionadas. Es usual discretizar los intervalos de tiempo, lo que se aproxima a

$$CVA = \sum_{t=1}^T p_t * (1 - RR_t) * PE_t$$

Sólo se debe distinguir que p_t es la probabilidad condicional de que haya default en t , dado que no ha habido hasta $t-1$, y PE_t es la exposición que se espera para el plazo relevante, traído a valor presente.

Esta posible pérdida es exclusiva de derivados negociados en el mercado OTC. Lo interesante es que este riesgo ha existido desde siempre, sin embargo, ha tomado mayor relevancia en tiempos posteriores a la crisis *subprime*. En un extracto del “*Basel Committee on Banking Supervision*” del año 2009 se menciona que “las pérdidas por ajustes en valuación de crédito (CVA) no fueron adecuadamente capitalizadas. Dos tercios de las pérdidas por riesgo de contraparte durante la crisis crediticia del 2008 se debieron a los referidos ajustes de valuación (CVA), y sólo un tercio se debió a incumplimientos materializados”.

Los esfuerzos se han aplicado buscando el cálculo más certero de esta pérdida, ya que una subestimación del valor que tiene dicho riesgo puede causar una gran acumulación de riesgo en el tiempo, el cuál no será tangible sino hasta que se desencadene completamente en algún escenario futuro adverso. Es decir, es un riesgo silencioso, y por esto es que existen incentivos a su correcta valorización. Por ejemplo, hay bancos que cuentan con mesas para el control interno de este riesgo, que son áreas encargadas de la valorización y cobertura de cada posición expuesta en el mercado OTC.

El CVA puede ser calculado de manera unilateral o bilateral. Tomado unilateralmente, y de manera simple, se puede aproximar como una pérdida esperada similar al riesgo de crédito, pero se deben tomar en cuenta una serie de consideraciones que añaden complejidad a este cálculo

- Existe mayor dificultad por la naturaleza estocástica de la exposición en los derivados, pues su valor futuro depende de la volatilidad de los factores de riesgo (asociada a la distribución normal utilizada en las simulaciones)

- La severidad de la pérdida (o bien, la tasa de recuperación) y la probabilidad de incumplimiento no son directamente observables y, más aun, requieren datos históricos que en muchas ocasiones no existen.

Es interesante notar que el CVA unilateral toma en consideración exclusivamente el incumplimiento de la contraparte, lo cual puede equipararse como una reserva por riesgo crediticio. El CVA representa una valoración que existe en el mercado del riesgo de una contraparte, es decir, es un precio de mercado.

Recordando, existen varias metodologías que subyacen el cálculo de ajuste de crédito. La más básica es el método de exposición actual, o también llamado como equivalente de crédito, cuyas reglas son

- Si el $MTM < 0$, entonces

$$\text{Exposición} = \text{Nocional} * \text{Factor regulatorio}$$

- Si el $MTM > 0$, entonces

$$\text{Exposición} = \text{MTM} + \text{Nocional} * \text{Factor regulatorio}$$

Donde el factor regulatorio está entregado en Basilea (I y II), como se señaló en la tabla. Además, se deben considerar los acuerdos de neteo si fuera el caso.

La metodología más sofisticada es la que incluye simulaciones, donde se generan múltiples escenarios para los factores de riesgo, se valorizan los instrumentos en cada instante de tiempo, y luego se agrega la información, posibilitando además la extracción de ciertos indicadores estadísticos, en particular sobre la exposición de los instrumentos. Estos indicadores pueden ser de utilidad para la administración de riesgos. Aparte del perfil de exposición potencial para un cierto grado de significancia, que indica la exposición de los percentiles 5 o 95, se pueden mencionar

- El máximo peak de exposición durante toda la vida del instrumento, para cierto nivel de confianza, usualmente comparado contra los límites de crédito establecidos para las transacciones
- La exposición esperada en cada instante de tiempo, que genera el perfil de exposiciones esperadas (señalado en el apartado de las exposiciones), conocido también como curva de exposición de equivalente de crédito, usada para poner precios.
- La exposición promedio esperada, entre otros.

Sólo para empezar a aterrizar este concepto, un ejemplo fácil y rápido del cálculo de CVA. Considérese un contrato derivado, que tiene los siguientes parámetros de mercado asociados

MTM	\$50MM
Exposición esperada	\$100MM
Probabilidad de default	6%
Tasa de recuperación	55%

Tabla 16: parámetros de ejemplo para el cálculo de CVA. Elaboración propia.

El valor de mercado, que se considera libre de riesgo, es de \$50MM. Luego, se calcula el valor del ajuste por riesgo de contraparte, de manera tal que

$$CVA = -\$100MM * 6\% * (1 - 45\%) = \$2,7MM$$

Por lo tanto, el valor real del contrato sería su MTM menos el ajuste de USD\$2,7MM, esto es, \$47,3MM

Debt Value Adjustment (DVA)

Como se mencionó, una de las dificultades del cálculo de contraparte es que existe un riesgo bilateral, ya que ambas contrapartes pueden fallar en sus compromisos. Sin embargo, hasta ahora todo ha apuntado al cálculo de riesgo de la contraparte desde el punto de vista, por ejemplo, de un banco que en su cartera tiene derivados con algunas empresas que pueden fallar en los compromisos adquiridos. Pero nada se ha dicho sobre la posibilidad de que sea el banco quien falle en sus obligaciones. Por esta razón se añade un nuevo término, el *debt value adjustment*, el cual considera la posibilidad de que ocurra un incumplimiento propio.

Se puede visualizar como una ganancia potencial (o el precio) del riesgo de contraparte propio. Este término es bastante similar al CVA, ya que su cálculo es idéntico al ser aproximado a una pérdida esperada.

Sin embargo, este concepto está en discusión porque tiene un dilema no menor y bastante llamativo: a medida que una contraparte es más mala (más riesgosa), mayor valor tiene su DVA (entendiendo que es una ganancia por un default propio y, a mayor riesgo, mayor probabilidad de default). En otras palabras, a peor calidad crediticia de una contraparte, mayor valor del derivado para esa contraparte. Y más aún, esa utilidad ficticia se puede repartir.

CVA bilateral

Tal como lo dice la palabra, el CVA bilateral se encarga de considerar el incumplimiento potencial de ambas contrapartes, y se calcula a nivel de contraparte. Básicamente el CVA bilateral incentiva a que los bancos operan con contrapartes de alta calidad crediticia. Es lógico pensar que el CVA unilateral siempre será menor que el

bilateral, ya que ambos términos contienen el *credit charge*, que es un resultado negativo, pero el bilateral añade el DVA que es estrictamente positivo

Por tanto, el valor del CVA bilateral resulta de un juego de riesgos de contraparte. Para entender esto, considere un caso simple en que un banco A que mantiene un contrato con una entidad B, donde la exposición para ambos es la misma. Si el banco se está enfrentando a una entidad más riesgosa (de peor calidad crediticia) entonces tendrá un CVA negativo, lo cual reducirá el valor de aquellos derivados negociados con esa contraparte. Si por el contrario la contraparte resulta ser de mejor calidad que el banco, entonces el CVA para el banco será positivo, aumentando el valor del derivado para el banco. Obviamente, si tanto el banco como contraparte tienen similar riesgo, el derivado se evalúa a precio de mercado. Notar que esto último hace evaluar el derivado como si fuera libre de riesgo (pues el CVA es 0), pero aun así existe la posibilidad de que haya default, sólo que se está compensando el riesgo mutuo.

Es importante recalcar que en el ejemplo anterior la exposición es la misma, pero como se vio, puede ser distinta según la posición que exista en un contrato (como en un swap fijo/flotante). Por tanto, si un banco se enfrenta a una entidad más riesgosa, no necesariamente tendrá un ajuste negativo. Para internalizar todo esto, se considerará un ejemplo básico entre dos bancos, A y B, para analizar el valor del CVA sujeto a sensibilidades en la exposición y en el riesgo.

Caso 1

	Banco A	Banco B
Exposición esperada	100	100
PD*LGD	2%	3%

Tabla 17: parámetros de ejemplo para el cálculo de CVA bilateral. Elaboración propia.

En este caso, ambos bancos enfrentan la misma exposición, pero el banco A tiene menos riesgo que el B. Por tanto, el ajuste de crédito bilateral es

$$CVA_{bilateral} = -(100 * 2\%) + (100 * 3\%) = 1$$

Así, el CVA será positivo para el banco B, ya que enfrenta un menor riesgo de contraparte. Si el MTM del derivado es de 10 para B (-10 para A), entonces el valor de mercado ajustado será de 11 para B (-11 para A)

Caso 2

	Banco A	Banco B
Exposición esperada	100	50
PD*LGD	2%	3%

Tabla 18: parámetros de ejemplo para el cálculo de CVA bilateral. Elaboración propia

En este caso, el banco B enfrenta una exposición menor que el A, pero sigue siendo más riesgoso en términos de calidad crediticia. El ajuste de crédito bilateral es

$$CVA_{bilateral} = -(100 * 2\%) + (50 * 3\%) = -0,5$$

Lo que indica que el CVA será negativo para el banco B, aunque este tenga peor calidad crediticia. Luego, si el MTM del derivado es de 10 para B, el ajuste de crédito disminuirá el valor a 9,5 (y para el banco A habrá subido de -10 a -9,5).

TEMAS RELACIONADOS AL CVA

Mitigaciones de exposición: Netting y Colaterales

Netting

Para comprender los beneficios de los acuerdos de neteo, que ya han sido mencionados con anterioridad, supóngase una negociación entre dos contrapartes, A y B, en la cual se transaron 6 derivados, con un plazo residual de 5 años. La tabla a continuación resume la evolución de las exposiciones de cada derivado en el tiempo, desde el punto de vista de la contraparte A, además de la exposición total de la misma, en el caso de que haya o no netting

Contratos	Tiempo (años)					
	0	1	2	3	4	5
contrato 1	2,12	-0,28	1,39	0,60	-1,49	-1,37
contrato 2	-1,40	-1,07	0,11	1,38	0,34	0,32
contrato 3	1,84	-0,59	1,18	0,20	-0,79	0,49
contrato 4	-1,19	-0,10	-1,21	1,36	-1,06	0,13
contrato 5	-1,13	-0,18	1,52	0,16	0,38	-0,45
contrato 6	0,08	-0,70	0,70	0,13	0,09	-0,11
Exposición						
Sin Neteo	4,03	0,00	4,90	3,82	0,82	0,93
Full Neteo	0,32	0,00	3,69	3,82	0,00	0,00

Tabla 19: exposiciones totales para una cartera de 6 instrumentos, para casos con y sin acuerdos de netting. Elaboración propia.

Con los resultados se pueden desprender varias conclusiones. La más trivial es que un acuerdo de netting tendrán como consecuencia el afrontar una menor exposición la mayor parte del tiempo, salvo en casos puntuales como en los años 1 o 3, donde ocurren ciertas particularidades.

- El año 1 es un año “malo” para A, ya que todos los instrumentos están arrojando un MTM negativo, y por tanto no tiene ningún riesgo de default ya que B no debería pagarle nada si se tuvieran que cerrar las posiciones en ese momento. En este caso, el acuerdo de netting no tiene mayor importancia.
- Por otra parte, el año 3 es un año “bueno” para A ya que todos los instrumentos tienen un MTM positivo, sin embargo, se entiende que cada uno de ellos afronta un riesgo de incumplimiento, que en el agregado no se pueden compensar con algún derivado con valor negativo.

En todos los otros años, el acuerdo de neteo hace bajar la exposición, y su efecto depende de qué tanta exposición tengan los instrumentos. Así, en el año 0 el neteo reduce en un 92% la exposición, mientras que en el año 2 la reduce sólo en un 25%. Se puede afirmar que un portafolio bien diversificado es deseable, por cuanto permitirá una reducción importante de la exposición.

Colaterales

Otro método de mitigación son los colaterales. Estos acuerdos obligan a las contrapartes a valorizar sus posiciones periódicamente, y que estas deban proveer cierta cantidad de colateral (o garantía), toda vez que la exposición esté excediendo algún límite (umbral) preestablecido. Usualmente, este umbral está en función de los *rankings* crediticios de las contrapartes. Así, una contraparte con alta (o baja) calidad crediticia tiene que poner colateral si la cantidad que se debe -al momento de valorizar las posiciones- excede un umbral relativamente alto (o bajo) comparado a otros límites para calidades crediticias intermedias.

Es importante señalar que el uso de colaterales no implica necesariamente que se elimine por completo el riesgo de contraparte, pues pueden existir exposiciones que estén bajo los umbrales. Más aun, dependiendo de la ventana de tiempo entre las valorizaciones de mercado de los instrumentos, es posible que la exposición aumente importantemente entre la ventana de tiempo que existe después de la última colateralización entregada y antes de un probable default, que haga cerrar esas posiciones con potenciales pérdidas por incumplimiento.

Las cámaras de contraparte central, que se explicarán a continuación, usan este mecanismo para anular el riesgo de contraparte, con compensaciones diarias y límites estrictos.

Evolución hacia las Contrapartes Centrales

Los años previos a la crisis del 2008 eran de auge para el mercado de derivados negociados directamente entre las partes, que es el mercado OTC, y que registraba crecimientos anuales de gran magnitud, tanto a nivel internacional como también en Chile.

Una vez que se desencadenó la crisis, los efectos de esta fueron diferentes según la infraestructura financiera que tenía cada mercado. En particular, el factor clave que marcó dicha diferencia fue la existencia de cámaras de contraparte central (*central counterparty*, CCP). La función de una contraparte central es actuar como “la compradora de todo vendedor y, a la vez, como vendedora de todo comprador”, lo que implica una reducción en la interconexión bilateral entre las instituciones financieras que negocian derivados. Para ilustrar esto, considérese la imagen siguiente que representa el mercado OTC para 6 bancos

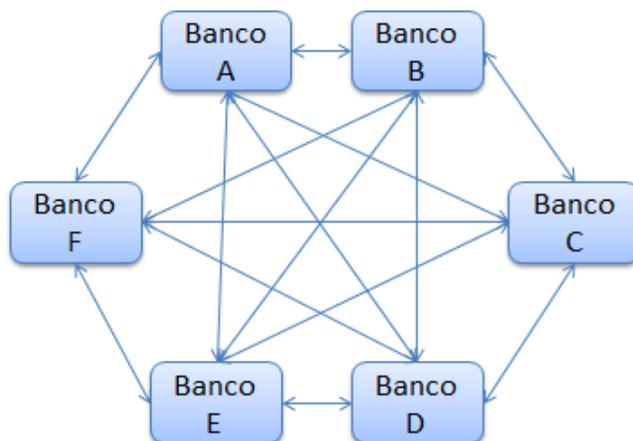


Ilustración 19: mercado no listado, “over the counter”, para 6 bancos. Elaboración propia

En este mercado no regulado, cada banco puede operar no sólo con una contraparte sino con varias, y por ende está asumiendo distintos riesgos de contraparte. Además, las negociaciones de precios de derivados dependen única y exclusivamente de los acuerdos que se logren entre contrapartes y, por tanto, no existen precios únicos para instrumentos similares. Por eso se dice que en el mercado OTC los instrumentos se estructuran “a la medida” de cada entidad. La siguiente imagen representa un mercado organizado en el que existe una cámara de contrapartes para las mismas 6 entidades

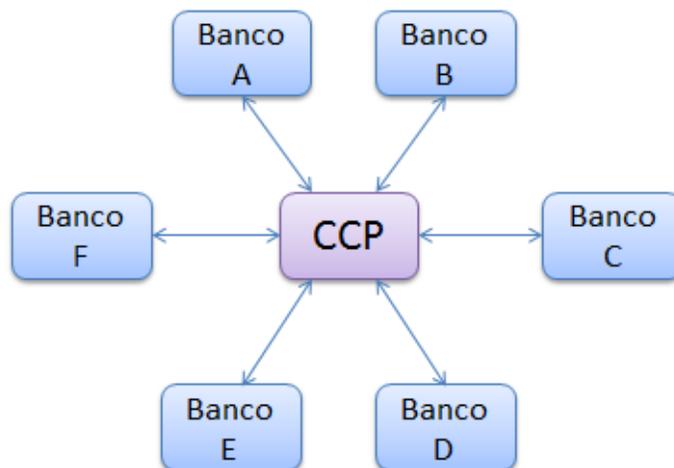


Ilustración 20: mercado estandarizado, con 6 bancos y una contraparte central. Elaboración propia.

En este caso, que es un mercado listado, la cámara es la contraparte de todos los bancos, y garantiza el cumplimiento de todas las obligaciones generadas por las operaciones de instrumentos derivados, contratos que para este mercado no son “a la medida” sino que son estandarizados. En primera instancia, la cámara tiene una posición calzada, ya que siempre cuenta con dos contratos idénticos, pero de distinto signo (entendiendo que con un banco será compradora y con otro banco será vendedora). Esto permite un neteo múltiple entre todos los contratos que disminuye abruptamente la exposición que enfrenta la cámara.

Sin embargo, lo que la cámara en realidad hace es concentrar todo el riesgo de crédito, y esa es justamente su labor: contar con modelos de control de riesgo, que se basan principalmente en esquemas de márgenes y la capacidad de exigir garantías. En otras palabras, cuando las empresas se vuelven más riesgosas deben ir poniendo montos de garantía para mantener sus posiciones, que son revisados y exigidos diariamente.

Después de la crisis, la respuesta regulatoria a nivel internacional, liderada por el G20 y por *Financial Stability Board* (FSB), contempla avanzar hacia el desarrollo de una mayor organización en transacciones de derivados, y entre las iniciativas están las inclusiones de cámaras de contraparte central, que se hicieron atractivas ya que proveen al mercado un nivel excepcional de protección. Por esto, los proyectos de implementación de estas se empezaron a reproducir en el mundo financiero, en un entorno global que aún se encuentra en medio de cambios regulatorios. La siguiente tabla resume algunos de los proyectos que hasta Julio del 2013 se estaban desarrollando.

País	Entidad	Producto	Status
Brasil	Bovespa	FX NDF	En desarrollo
Hong Kong	HKex	IRS + FX NDF	En desarrollo
Germany	Eurex Clearing	IRS	En desarrollo
Japan	JSCC	IRS	En desarrollo
Poland	KDPW_CCP	IRS, FRA	En desarrollo
UK	CME Clearing E.	IRS	En desarrollo
USA	NYPC	IRS	En desarrollo

Tabla 20: proyectos de contraparte central que se están realizando en mercados financieros en el mundo. Fuente: Bank of International Settlements (BIS, 2013)

En la misma línea que las tendencias de los grandes mercados globales OTC, Chile contará a partir del 2014 con una cámara de compensación bajo el modelo de contraparte central, llamada ComDer, que actualmente se encuentra en fase de implementación y que ya lleva más de dos años de análisis de factibilidad y diseño. El inicio de los servicios está planificado para el cuarto trimestre del 2014, y en primera instancia se ofrecerán forwards de monedas (con liquidación por compensación), y para el primer trimestre del 2015 se espera la extensión de los servicios para los swaps de tasas.

Basilea III y CVA

Según la definición oficial proporcionada por el BIS, Basilea III es un conjunto integral de reformas, que fue elaborado por el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea para fortalecer la regulación, supervisión y gestión de riesgos del sector bancario. Estas medidas apuntan a 3 objetivos

- Mejorar la capacidad del sector bancario para afrontar perturbaciones ocasionadas por tensiones -financieras o económicas- de cualquier tipo
- Mejorar la gestión de riesgos y el buen gobierno de los bancos
- Reforzar la transparencia y la difusión de la información de los bancos

Estas reformas se dirigen a

- La regulación de los bancos, de manera individual, para aumentar la capacidad de reacción de cada institución en periodos de algidez
- Los riesgos sistémicos que puedan acumularse en el sector bancario en su conjunto, así como la amplificación pro cíclica de dichos riesgos a lo largo del tiempo.

Ambas dimensiones, la primera “microprudencial” y la segunda “macroprudencial”, son complementarias por cuanto el aumento de la resistencia individual de cada banco reduce el riesgo de alteraciones en el sistema completo

Si bien es cierto que en Basilea II ya se cubría el riesgo de incumplimiento de la contraparte, no se vislumbraba el riesgo de valoración del CVA, que en la crisis financiera fue la causa de las mayores pérdidas. Por esta razón, en Basilea III se plantean requisitos especiales, en particular, fuertes requerimientos adicionales de capital asociados al concepto de ajuste de crédito de contraparte (CVA regulatorio).

El “CVA regulatorio” (*CVA charge*) es un requerimiento de capital destinado para cubrir el riesgo de pérdidas potenciales por valorización a precios de mercado, que están asociadas al riesgo de crédito esperado de derivados transados en el mercado no enlistado. Para esto, existen dos métodos: el CVA avanzado, para aquellos bancos autorizados por su supervisor, y el CVA estándar para el resto de los bancos¹⁹. En la medida que los bancos tengan aprobaciones regulatorias para usar metodologías de modelos internos (IMM, por sus siglas en inglés) para calcular el capital requerido para riesgos de contraparte, y además tengan modelos de VaR²⁰ para riesgos de tasas de interés, aprobados para bonos, deben usar la aproximación avanzada. Los demás

¹⁹ Basilea III: Marco regulador global para reforzar los bancos y sistemas bancarios, pag 34, disponible en http://www.bis.org/publ/bcbs189_es.pdf

²⁰ Por modelo de VaR se entiende el método del modelo interno utilizado para riesgo de mercado

bancos requieren el uso de la aproximación estandarizada, que está basada en ratings crediticios de contraparte externos.²¹

En ambos casos, el cálculo del CVA debe ser distinto para la contabilidad y para la solvencia, ya que son objetivos distintos: la contabilidad representa la fiel imagen, mientras la solvencia busca garantizar la capacidad de funcionamiento de una entidad. Para entender esto último, al realizar 10 mil simulaciones de monte carlo, se puede obtener un perfil de exposición potencial futura, en donde se busca la peor exposición a un 95% de confianza, y que sería utilizada para la solvencia, mientras que para la contabilidad es necesario el perfil de exposición esperada, que es simplemente la exposición promedio de las simulaciones.

Right/Wrong Way Risk

Generalmente, la exposición de una contraparte depende de su calidad crediticia. El *wrong way risk* constituye el riesgo de que la exposición aumente cuando la calidad crediticia de la contraparte empeora (es decir, a mayor probabilidad de default, mayor exposición) [6]. Este término se puede dissociar en general y específico. El general indica que la calidad crediticia se correlaciona con factores macro que también afectan a los contratos derivados, mientras que el específico indica que reside en estructuración de operaciones deficientes. El *right way risk* es simplemente el inverso, donde la exposición tiende a disminuir cuando hay empeoramiento de la calidad crediticia, lo cual es favorable para la contraparte.

Esto tiene algunas implicancias y hechos. Primero, este tipo de correlación entre exposiciones y calidad crediticia puede tener un impacto negativo considerable en el cálculo de CVA. Segundo, el cálculo del *wrong way risk* es complejo, tanto así que aún no se ha definido lo suficiente en Basilea III. Aún están en desarrollo algunas técnicas más sofisticadas para que se pueda añadir este cálculo al CVA. En efecto, esta medición es uno de los retos más importantes de cara a la implementación de Basilea III en los bancos.

Para visualizar este concepto, un ejemplo de *wrong way risk* puede ser un contrato swap entre un banco y un productor de petróleo, en el que el banco recibe pagos fijos y a cambio entrega el precio variable del crudo. En este caso, un **precio bajo** del petróleo hace que la calidad crediticia de la empresa productora empeore (ya que sus ingresos por ventas disminuyen) y, al mismo tiempo, al estar por debajo del pago fijo recibido, hace que el swap tenga un valor más positivo para el banco. Si el precio disminuye aún más, el efecto será de empeorar la calidad de la contraparte (empresa), y de aumentar más el valor del swap para el banco, teniendo mayor exposición. Entonces, hay una correlación que amplifica el efecto del riesgo de contraparte.

²¹ **Basel III Framework: The Credit Valuation Adjustment (CVA) Charge for OTC Derivative Trades, Shearman&Stearling, 11 nov 2013**

Notar del último ejemplo que si el swap se estructura de modo tal que sea la empresa petrolera la que reciba un monto fijo y pague el precio variable del crudo, se estaría en un caso de *right way risk*, en el cual se amortigua el riesgo de contraparte.

Una observación de interés es que el *right/wrong way risk* puede ser muy relevante en caso que hayan *commodities* (como el petróleo o el cobre), donde es más claro que las alzas/bajas de precio afectan directamente el rendimiento de una empresa que participe en el rubro, pero no tienen mayor importancia cuando se habla de contratos cuyos activos subyacentes son tasas de interés o tipo de cambio. Dado que la mayor parte del riesgo de contraparte al que se exponen los bancos es originado por instrumentos como swaps de tasas o de tipos de cambio, la mayoría de estas entidades realizan el supuesto de independencia entre exposición y calidad crediticia de la contraparte.

COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN SOBRE METODOLOGÍAS

Hasta este punto se han presentado los temas relevantes para la comprensión del riesgo de contraparte, en particular de su valorización y establecimiento de límites internos. Se han mostrado dos metodologías, la primera que es el equivalente de crédito, en la que el supuesto fuerte es que la exposición potencial, representada por un término denominado *add-on*, es estática en el tiempo y se calcula en función del plazo residual y del tipo de activo subyacente. La segunda realiza cálculos de exposiciones mediante miles de simulaciones del valor del portafolio en el tiempo, tomando esperanzas o percentiles para las exposiciones futuras.

Lo que corresponde a continuación es realizar una comparación de los resultados que se entregan al usar ambos métodos. En este punto, es importante remarcar que la gran diferencia entre ambas metodologías son los supuestos realizados en el cálculo de la exposición potencial. Como las pérdidas crediticias y, finalmente el CVA, están en función de la exposición, bastará con comparar la entregada por las dos metodologías.

Considérese un swap de tasas fijo/flotante a 5 años, de pagos semestrales y con un nocional de \$100MM. El swap se ha estructurado hoy, con un valor de mercado de 0, que cumple con el no arbitraje. Recordando que la exposición total es una suma entre las exposiciones actuales y potenciales, y como la actual es 0, lo relevante es comparar la exposición potencial. Según la metodología de equivalente de crédito, la exposición potencial futura (reconocida como el *add-on*) se calcula multiplicando el nocional por un factor estático, que en este caso corresponde a un 0,5% (para derivados de tasas de interés entre 1 a 5 años). Así, la exposición potencial es de \$500.000

Para la metodología de simulaciones, dado que no existe una única medida de cálculo para la exposición potencial, se tomarán los percentiles 95 y 99, además de la exposición esperada. A continuación, se grafican los perfiles de exposición

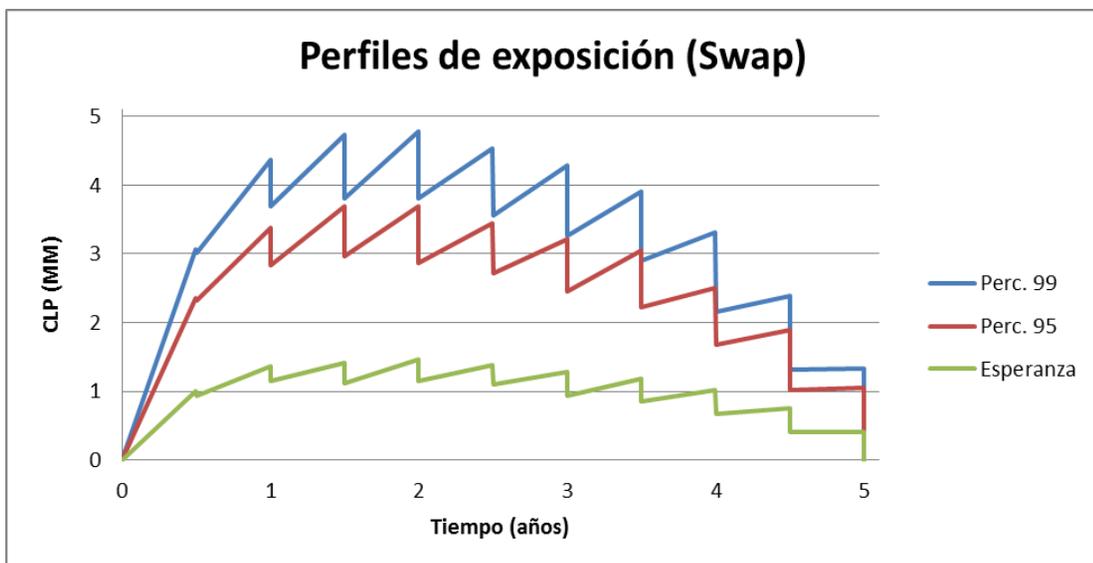


Ilustración 21: perfiles de exposición del swap, para los percentiles 99 y 95, además de la exposición esperada futura, que se registran al inicio de su negociación. Elaboración propia.

La calibración de Vasicek es la misma utilizada en la tabla 7. En la siguiente tabla se resumen los valores máximos de exposición potencial en el tiempo, según la medida estadística utilizada, además del monto entregado por el método del BIS

Pick de exposición	
Medida	CLP (MM)
Perc. 99	4,79
Perc. 95	3,69
Esperado	1,46
<i>BIS</i>	<i>0,5</i>

Tabla 21: distintas medidas de exposiciones potenciales del swap, registradas al inicio del contrato. Elaboración propia.

En este caso, la exposición potencial calculada al inicio del swap mediante simulaciones es bastante superior al *add-on* que se debería añadir según el BIS. Ahora, para un plazo remanente de 2 años para el vencimiento del mismo swap, se muestran los perfiles correspondientes de exposición

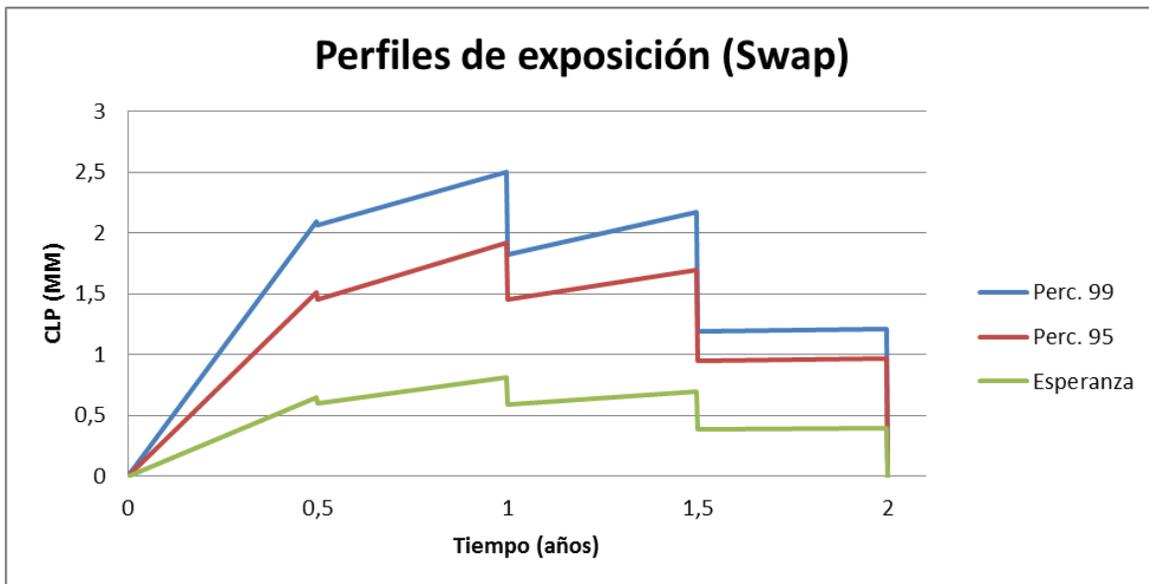


Ilustración 22: perfiles de exposición del swap, para los percentiles 99 y 95, además de la exposición esperada futura, que se registran al tercer año de su negociación. Elaboración propia.

Cuyos datos se resumen en la tabla siguiente

Pick de exposición	
Medida	CLP (MM)
Perc. 99	2,51
Perc. 95	1,92
Esperado	0,81
<i>BIS</i>	<i>0,5</i>

Tabla 22: distintas medidas de exposiciones potenciales del swap, registradas 3 años después de iniciado el contrato. Elaboración propia.

En este caso, el valor entregado por el BIS aún sigue muy por debajo de los percentiles de la simulación. Más aun, cuando al swap le reste menos de un año para su vencimiento, el *add-on* indicado por el BIS es de 0, mientras que las simulaciones claramente entregarán valores positivos de exposición.

Este simple ejercicio demuestra algo que es consecuente con la literatura más reciente: considerando derivados unitarios, los factores entregados por la tabla del BIS están por debajo de los factores que se podrían establecer internamente, mediante el proceso de simulaciones de Monte Carlo. La explicación de esto es que la tabla, que fue confeccionada hace más de 15 años, está completamente desactualizada por cuanto fue estimada con volatilidades de ese tiempo. Estas volatilidades del BIS nada tienen que ver con las volatilidades de tiempos recientes, que aún permanecen con resonancias de la crisis *subprime*. En Anexos I se incluyen perfiles calculados para distintas volatilidades, en particular de volatilidades menores que las utilizadas, pero en ningún caso el monto del BIS logra ser superior.

Este resultado no sólo ocurre para instrumentos con subyacentes de tasas de interés. En efecto, se puede expandir fácilmente a otros instrumentos ya que todas las volatilidades calculadas por el BIS fueron en períodos de poca turbulencia económica. Por ejemplo, al tomar el caso de un forward de peso/dólar a un año, con un notional de USD\$100MM y un tipo de cambio inicial de USD\$500 (esto es, notional de CLP\$50.000MM), los perfiles de exposición futura son

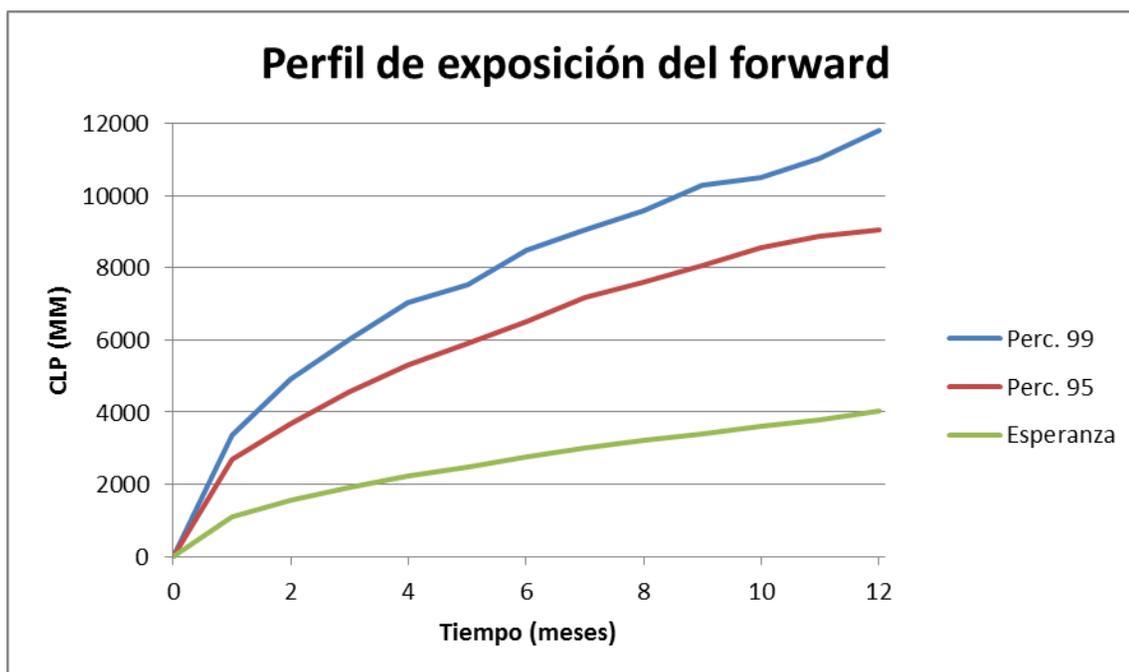


Ilustración 23: perfiles de exposición del forward, para los percentiles 99 y 95, además de la exposición esperada futura, registrada al inicio de su negociación. Elaboración propia.

Al igual que en el ejercicio anterior, se resumen los peaks de exposición en una tabla que también contiene los *add-on* calculados con los factores entregados por la

SBIF para instrumentos de moneda²² de menos de un año (1,5%) y de más de un año (7,5%)

Pick de exposición	
Medida	CLP (MM)
Perc. 99	11965
Perc. 95	9627
Esperado	4021
<i>Bis (> 1 año)</i>	<i>3750</i>
<i>Bis (< 1 año)</i>	<i>750</i>

Tabla 23: distintas medidas de exposiciones potenciales del forward, registradas al inicio del contrato. Elaboración propia.

En este caso, al tomar el porcentaje de 1,5%, el *add-on* es casi 12 veces menor que el percentil 95. Se ha tomado el factor a más de un año porque podría ser comparado con un forward de plazo más amplio pero que tiene de plazo residual de un poco más de un año²³. Aun así, el *add-on* sigue por debajo que las medidas de exposición potencial simuladas. Se debe recordar que en esta simulación se mantuvo neutralizado el efecto de las tasas de interés, pero en estos instrumentos la exposición depende mayormente de los movimientos del tipo de cambio, entre otros argumentos porque no tienen reversión a la media en el proceso subyacente, y por tanto los precios futuros se pueden alejar mucho de los valores iniciales (sobre todo al tomar percentiles de trayectorias límites)

Otro resultado fácilmente desprendible del ejemplo del swap, es que la metodología del BIS se puede considerar altamente estática, en donde los factores no reconocen la evolución de los subyacentes durante largos intervalos de tiempo. Del ejemplo, el cálculo del *add-on* para el swap (0,5% del nocional) se mantiene desde $t=0$ hasta cuatro años después de iniciado el contrato (en donde pasa a ser 0%). Por su parte, la simulación logra recoger el efecto de la volatilidad en el tiempo (que aumenta la exposición), y de las amortizaciones (que la disminuyen): mientras que para $t=0$ el percentil 95 tiene un peak de 3,69% del nocional, tres años después ese peak se reduce a 1,92%.

Una vez que ya se han reconocido las falencias en el cálculo individual, se debe ver el resultado al realizar el cálculo en un portafolio de múltiples derivados, en particular al calcular la exposición potencial total de la cartera. Para visualizar esta otra problemática, considérese dos derivados, un forward a un año y un swap a 5 años, que se negocian en $t=0$. A continuación, se visualizan las exposiciones potenciales para ambos instrumentos por separado.

²² De la canasta 1, a la cual pertenece el dólar

²³ Por ejemplo, para un forward a 5 años al cual le quede 1 año y un mes de madurez, el perfil de exposición potencial debería ser similar al de un año, pero su diferencia sería el MTM o exposición actual

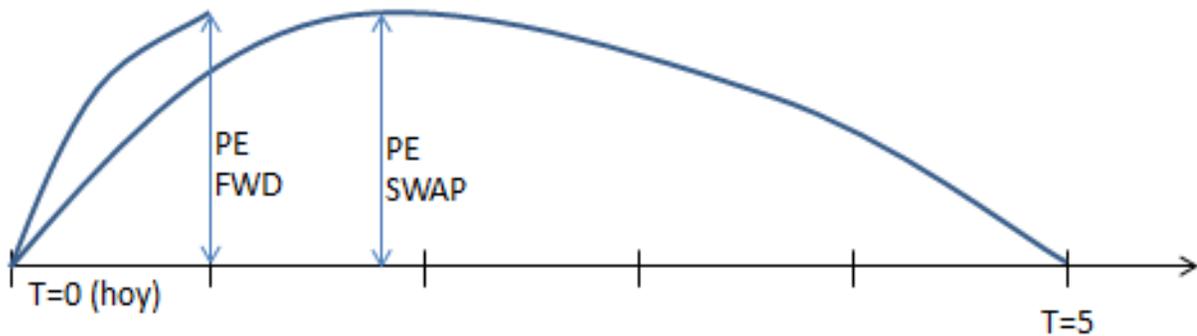


Ilustración 24: perfiles de exposiciones potenciales que se esperan para un forward y un swap de tasas. Elaboración propia.

Según la metodología del BIS, la exposición total del portafolio es igual a la suma de las exposiciones de cada instrumento. En este caso, la exposición total sería la suma simple de ambas exposiciones

$$PE_{total} = Nomenclatura_{fwd} * Factor_{fwd} + Nomenclatura_{swap} * Factor_{swap}$$

En otras palabras, la exposición potencial del portafolio es la suma de los *add-ons*. Sin embargo, es claro que los *peaks* de exposición no son alcanzados en el mismo período. Esto podría tener más sesgo si se consideraran distintos instrumentos cuyas máximas exposiciones potenciales se alcanzaran en distintos períodos. Por otra parte, al calcular de forma conjunta la exposición del portafolio mediante simulaciones, el perfil integraría las exposiciones de modo tal que se reconozcan los plazos de los *peaks* y, por cierto, los efectos en correlaciones. El perfil simulado tendría la forma que se muestra a continuación

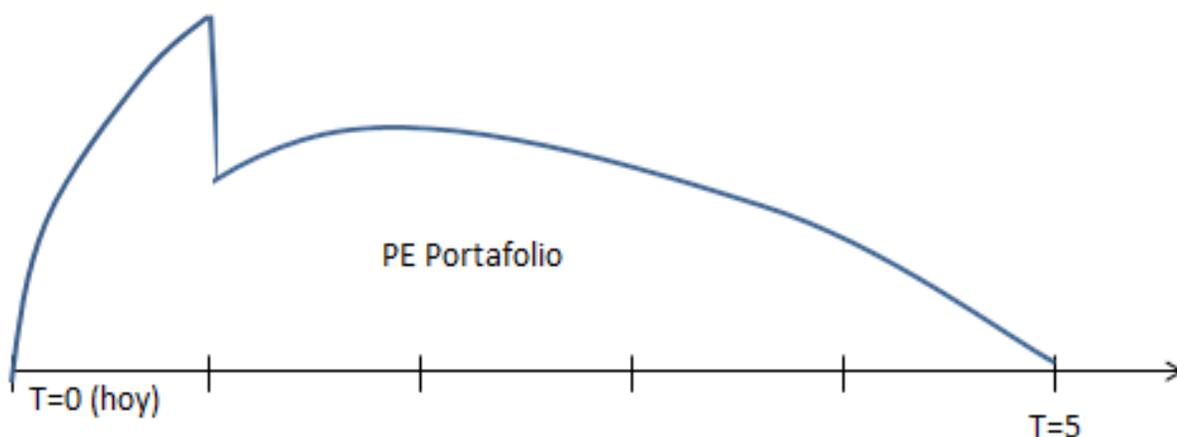


Ilustración 25: perfiles de exposiciones potenciales que se espera para una cartera de dos instrumentos. Elaboración propia.

Más aun, podrían darse casos en que un banco compra y vende instrumentos derivados con subyacentes similares. Es claro que, bajo el enfoque del BIS, solamente se sumarían todos los *add-on*, mientras que la simulación se encargaría de

“compensar” las exposiciones, además de reconocer su evolución temporal. En este caso, la metodología del BIS, que ha sido criticada por tener bajos factores, incluso podría arrojar una exposición potencial total mayor que la simulada, si es que se tuviera un portafolio de compras y ventas de múltiples instrumentos con distintos *peaks* de exposición futura.

Todos estos hechos demuestran que una metodología simple y estática para el cálculo de exposiciones, basados en factores que no representan las condiciones actuales del mercado, puede subestimar drásticamente el riesgo de los contratos. Peor que eso, es que la metodología estática no permite realizar una correcta gestión de riesgo de contraparte y administración de portafolios. Por ejemplo, mediante la metodología del BIS, un analista de riesgo no podría advertir en qué períodos el banco tendrá mayores exposiciones a posibles incumplimientos, y por tanto no podrá escoger las acciones indicadas (por ejemplo, botar algunas posiciones muy riesgosas), ni tampoco podrá establecer límites adecuados para las operaciones.

Un corolario importante de esta falla de la metodología del equivalente de crédito, respecto al no reconocimiento temporal del riesgo, es que al no dar cuenta de que hay transacciones con contrapartes más riesgosas que otras, no se pueden poner precios adecuados. En su momento se mencionó que una particularidad de la tabla del BIS es que su cálculo integra implícitamente el riesgo de contraparte, a diferencia de las simulaciones de monte carlo que integran explícitamente las probabilidades de default de la contraparte con la exposición correspondiente. Para poner un ejemplo real, las compañías de seguro suelen negociar contratos de largo plazo para cubrir sus bonos, mientras las AFPs trabajan con forwards de 30 o 90 días para cubrirse ante movimientos repentinos de fondos. Al considerar las carteras totales, el resultado de exposiciones puede ser similar, sin embargo, es claro que las operaciones de corto plazo son más seguras (o bien, tienen menos incertidumbre) que aquellas de largo plazo. Reconocer estos riesgos puede ayudar a colocar mejores precios para negocios que sean de corto plazo y con clientes de buena calidad crediticia, y por el contrario, cobrar altas primas cuando los contratos estén expuestos a largas ventanas de tiempo o que sean negociados con contrapartes más riesgosas.

Hasta ahora, todo apunta a que el uso de la metodología de simulaciones parece ser el camino correcto para el riesgo de contraparte, sin embargo, tiene un altísimo requerimiento computacional, sobre todo para las carteras masivas de grandes bancos, donde se necesitan softwares especialmente diseñados para la gestión del riesgo. En este punto, existe una gran ventaja de la metodología del BIS por su simplicidad en el cálculo, razón por la cual aún sigue siendo utilizada para cálculos de capital y de valorización del riesgo de contraparte. En el siguiente apartado, se presenta la aplicación de las metodologías presentadas a un portafolio simple, con datos del mercado nacional actualizados

CALIBRACIÓN Y CASO APLICADO AL MERCADO CHILENO

A continuación se realizará la calibración de los procesos, mediante datos del mercado chileno, y se realizará la simulación para un portafolio de dos instrumentos financieros: un swap de tasas con plazo remanente de dos años, y un forward de tipo de cambio USD/ con el mismo plazo de vencimiento. Primero, se calibrarán los procesos para instrumentos de manera individual.

Para el dólar, se toma la serie de tiempo desde el 2 de enero del 2013 hasta el 3 de marzo del 2014 (un total de 287 datos).

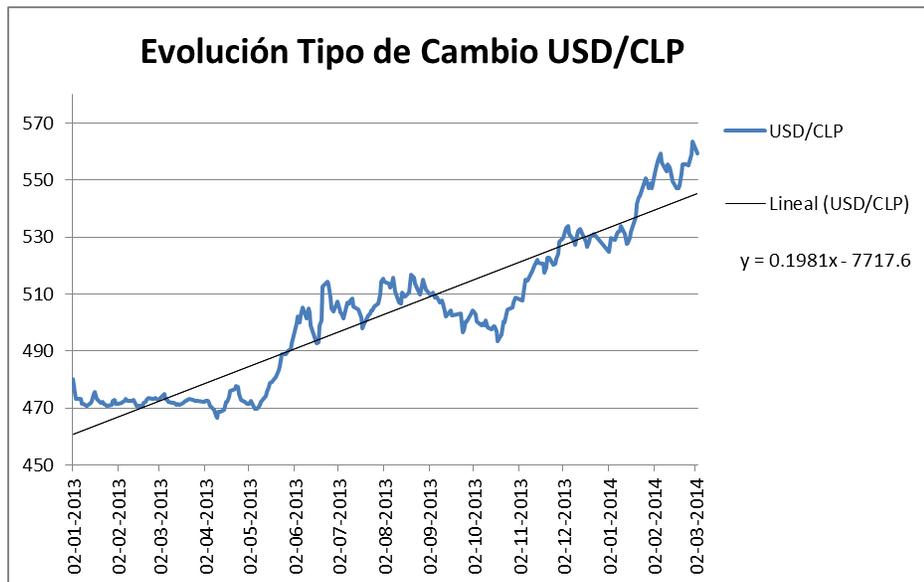


Ilustración 26: Datos históricos del precio del dólar, entre el 2 de Enero del 2013 y el 3 de Marzo del 2014.
Elaboración propia

Luego, de la serie del dólar diario, se calculan los retornos logarítmicos (obteniendo 286 retornos). La desviación estándar de estos retornos diarios es de 0,4495%, y por tanto la desviación estándar anual es de

$$0,4495\% * \sqrt{360} = 8,53\%$$

Para la parte determinística de la serie, se podría justificar que ha habido una notoria tendencia al alza del dólar, sin embargo, los acontecimientos recientes en países desarrollados mantienen con alta volatilidad a los mercados financieros. Se escoge un $\mu=3,54\%$ anual, para que la volatilidad sea la que defina principalmente el precio futuro del dólar, pero con una cierta tendencia al alza

Además, el dólar observado al 3 de marzo del 2014 es de 559.38. La tasa en pesos a un año, considerada como la tasa de un swap cámara, es de 3,91%, y por su parte la tasa Libor a 12 meses es de 0,5538%. El notional acordado entre ambos bancos es de USD\$1.000.000

Así, la calibración de datos a utilizar para el proceso del tipo de cambio es

Nocional (USD)	1,000,000
μ (anual)	3.54%
σ (anual)	8.53%
Δ tiempo	0.083
Dólar hoy	559.38
Tasa CLP (1 año)	3.910%
Tasa USD (1 año)	0.554%

Tabla 24: calibración del proceso del dólar con datos del mercado chileno. Elaboración propia.

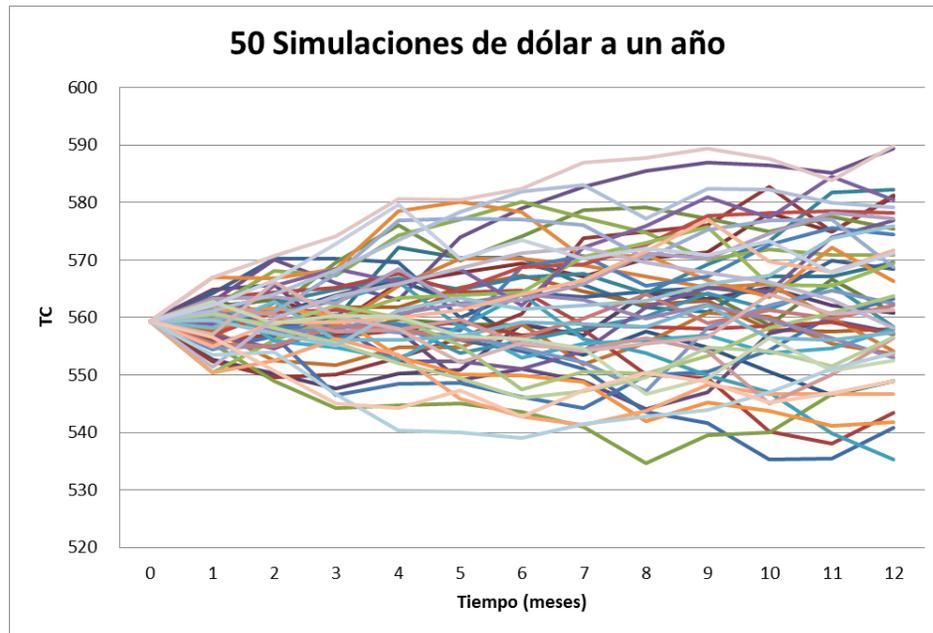


Ilustración 27: 50 simulaciones para el tipo de cambio USD/CLP. Elaboración propia.

Cumpliendo el no arbitraje en el periodo inicial, se obtiene un precio de contrato de 578.47. Así se obtiene el siguiente perfil

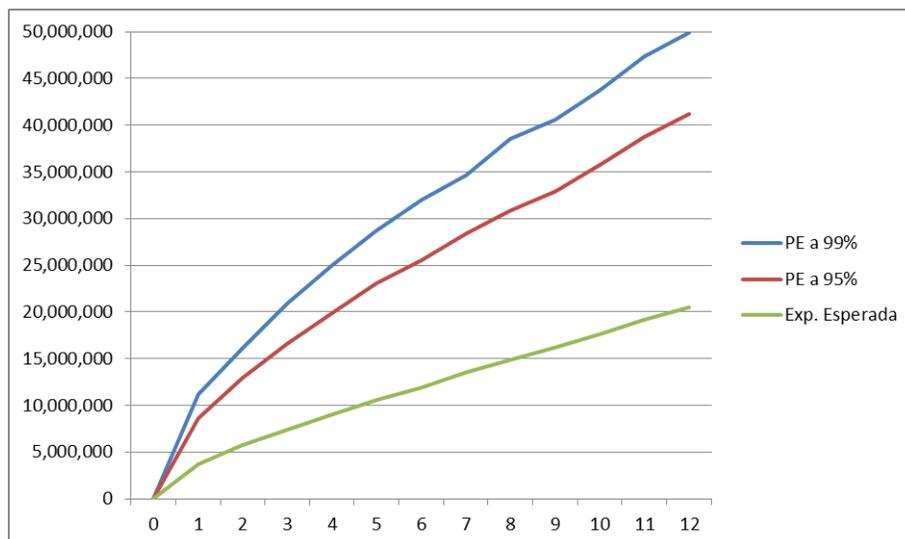


Ilustración 28: exposición potencial y esperada para un forward. Elaboración propia.

El resultado de exposiciones potenciales se resume en la siguiente tabla

Pick de exposición		
Medida	CLP (MM)	% del Nocional
Perc. 99	49,921,669	8.92%
Perc. 95	41,232,425	7.37%
Esperado	20,553,819	3.67%
Bis (< 1 año)	8,390,700	1.50%

Tabla 25: resultados obtenidos para exposiciones del forward. Elaboración propia.

Ahora, para el caso del swap, se tomaran datos desde el 2 de Enero del 2013 hasta el 27 de febrero de 2014 (288 datos)

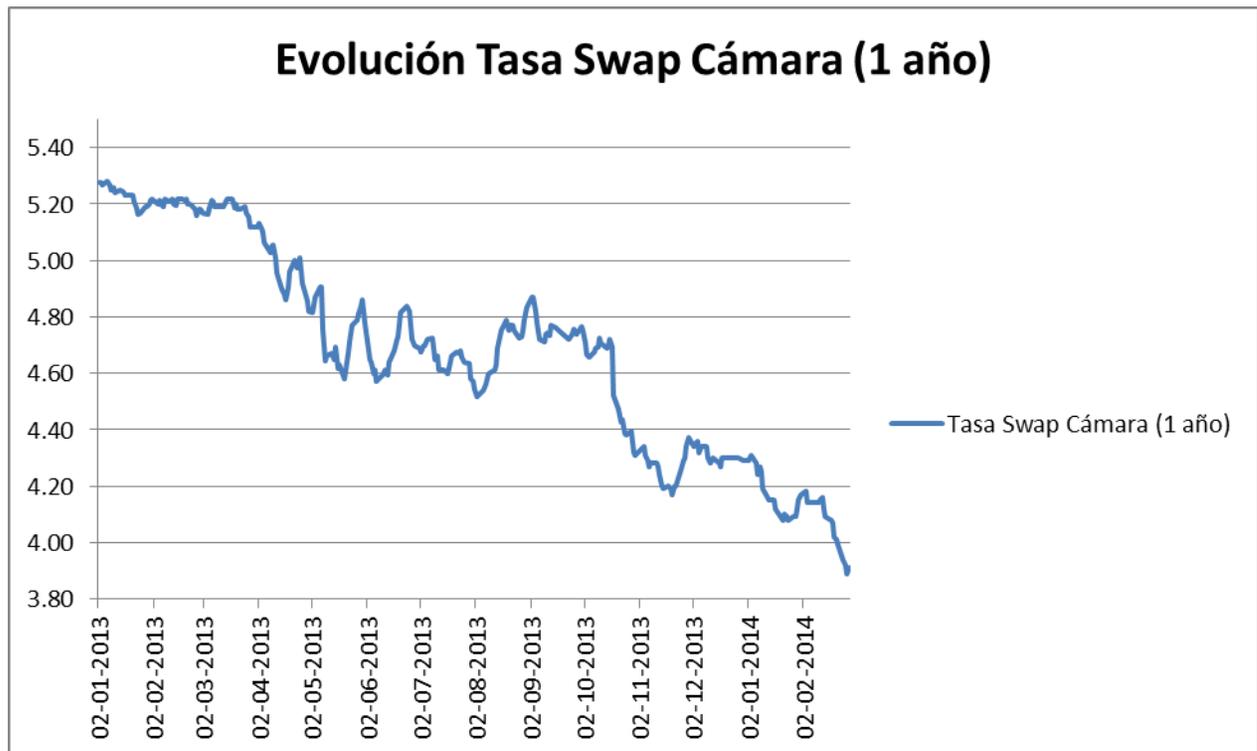


Ilustración 29: datos de la tasa cámara promedio de un año, desde el 2 de Enero del 2012 hasta el 27 de Febrero del 2014. Elaboración propia.

De la serie de la tasa cámara a 1 año, se calculan los retornos diarios como diferencias absolutas en las tasas. La desviación estándar de este retorno es de 3.24 *basis point* diarios, o bien, 0,4341% semestral.

Para definir la tasa de largo plazo, es necesario comprender que la tasa cámara “sigue” a la tasa de política monetaria (TPM) establecida por el banco central. Recientemente, el banco central ha cortado la tasa en 25 puntos, de 4,5% a 4,25% y, más aun, se ha dejado entrever una alta posibilidad de que se realice un nuevo corte en el corto plazo, bajándola a 4%, para mantenerla en el tiempo. De esto, se puede inferir

que la tasa de largo plazo debe ser menor que la actual. Por último, como existe una diferencia actual entre la TPM (4,25%) y la tasa cámara a un año (3,91%), se supondrá que dicho diferencial (0,34%) se mantendrá en el tiempo, cuando la TPM esté en 4%. Con esto, la tasa de largo plazo debería ser de un

$$4\% - 0,34\% = 3,66\%$$

Por su parte, la velocidad de reversión es bastante difícil definirla porque no es un dato visible de mercado, pero es razonable pensar que las tasas swap se ajustan rápidamente a las expectativas del mercado, definidas en gran parte por la política monetaria. Luego, la calibración del proceso de Vasicek es

Nocional (CLP)	100,000,000
σ (anual)	0.61%
Tasa hoy	3.91%
Δ tiempo	0.500
b (tasa largo plazo)	0.0375
a (vel. reversion)	50.000%

Tabla 26: calibración de parámetros de Vasicek al mercado chileno. Elaboración Propia.

Obteniéndose el siguiente proceso

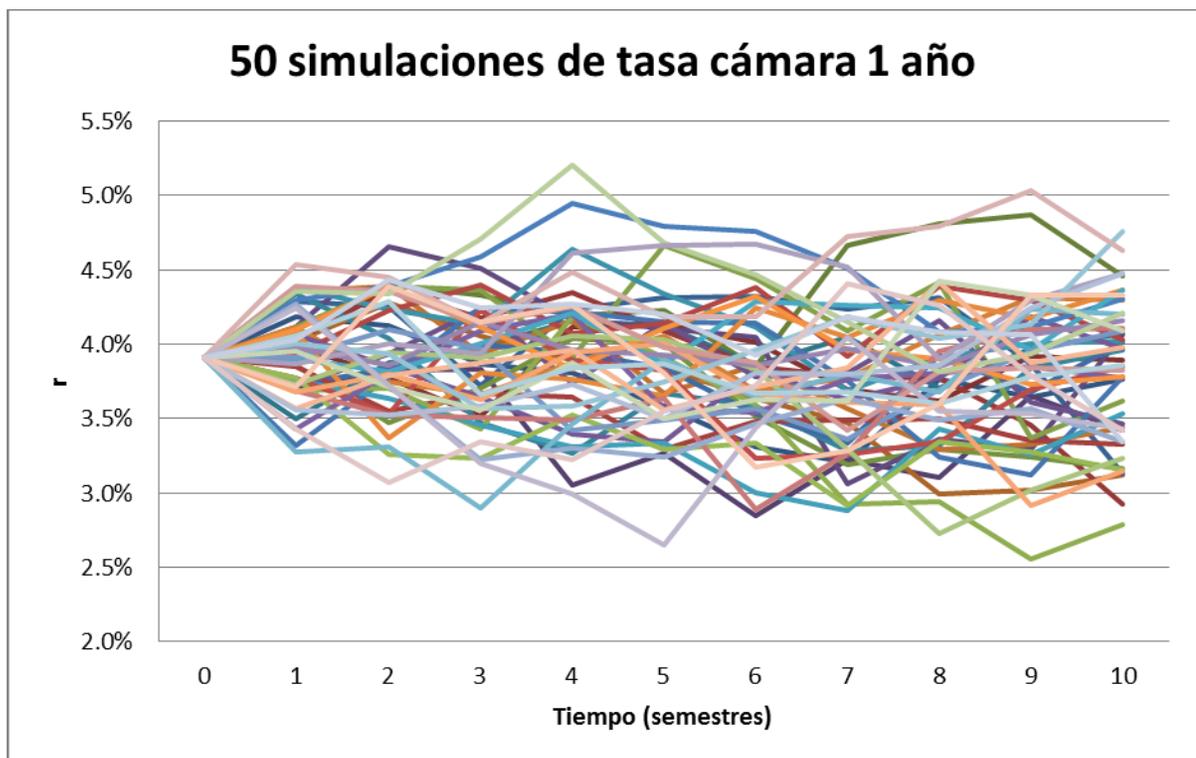


Ilustración 30: 50 instancias simuladas de la tasa cámara mediante Vasicek. Elaboración propia.

Para cumplir el no arbitraje del swap, la tasa fija a pagar en los cupones debe ser de un 3,8406%.

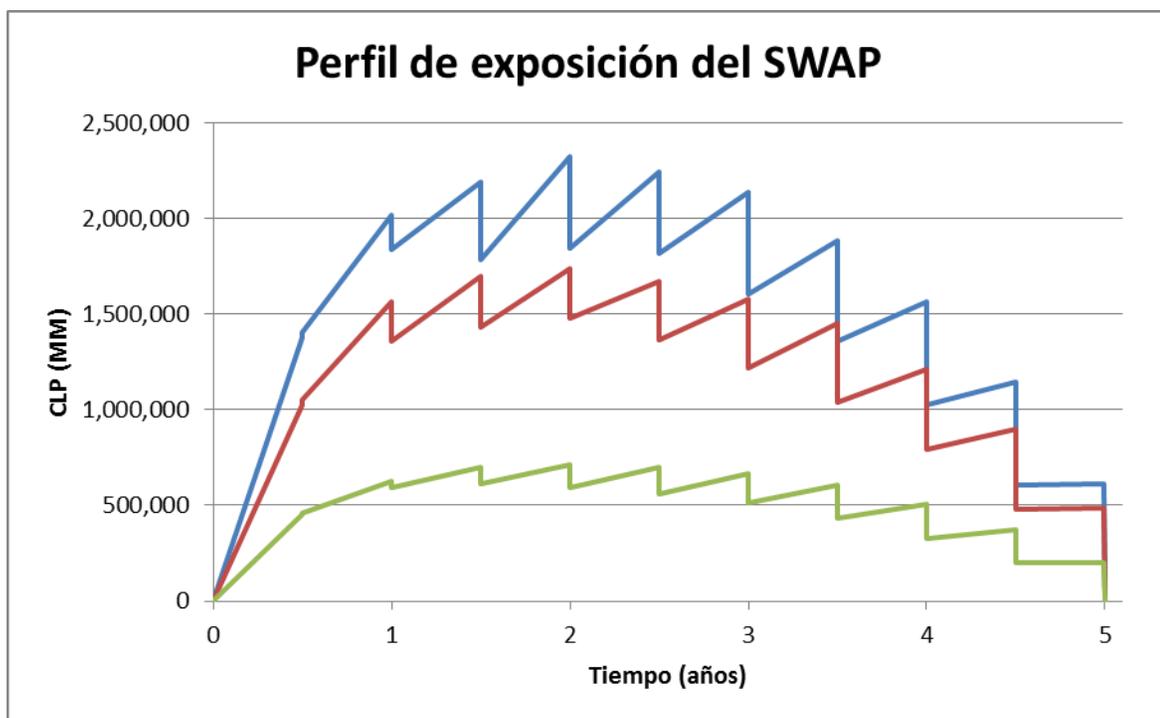


Ilustración 31: exposición potencial y esperada de un swap. Elaboración propia.

Los resultados de exposición se resumen en la siguiente tabla

Pick de exposición		
Medida	CLP (MM)	% del Nocial
Perc. 99	2,321,444	2.32%
Perc. 95	1,740,751	1.74%
Esperado	712,526	0.71%
<i>Bis (< 1 año)</i>	<i>500,000</i>	<i>0.50%</i>

Tabla 27: resultados de exposición potencial del swap. Elaboración propia.

Ahora, se simulará el portafolio de dos contratos entre dos bancos, un forward de dólar y un swap de tasas, similares a los recién presentados pero con una fecha de vencimiento de dos años para ambos.

Para esto, es necesario generar variables aleatorias del tipo de cambio y de la tasa en pesos, con la particularidad de que deben estar correlacionadas. Se utilizará el método de Factorización de Cholesky²⁴, con el cual se genera un set de 2000 variables aleatorias correlacionadas. Dicha correlación está determinada por los datos históricos tomados para las series del tipo de cambio y de la tasa cámara, obteniéndose una correlación de -0.91308 (notar que es visualmente evidente el alza del dólar correlacionada con la caída en la tasa).

²⁴ La descomposición de Cholesky es una descomposición matricial, que se usa comúnmente en el método de simulaciones de Monte Carlo para generar un sistema con variables aleatorias correlacionadas.

Para determinar el efecto que tiene la correlación en la exposición, se simula un forward de tipo de cambio a dos años de notional USD\$100.000, y un swap de tasas a dos años de notional de CLP\$100.000.000. Primero, evaluando los instrumentos de manera individual, y mediante el mismo procedimiento realizado anteriormente, la exposición a un 95% de confianza del swap de tasas es de \$1.756.760, mientras que la exposición del forward es de \$10.317.970.

Ahora, utilizando las variables correlacionadas y creando el portafolio de ambos instrumentos, se espera que exista un efecto de compensación, pues cuando el dólar suba mucho (haciendo que el banco comprador pierda), la tasa bajará mucho (haciendo que el swap le genere ganancias al banco comprador), y viceversa. Esto ocurre en la mayoría de los casos, pues la correlación es cercana a uno en valor absoluto.

Así, utilizando la suma de exposiciones individuales neteadas en cada período, la exposición potencial de la cartera es de \$9.434.642, que se alcanza al final del período. Notar que la exposición del portafolio es menor que el del forward, y esto ocurre porque cuando el escenario del dólar es pésimo para un banco, hay una compensación del swap que hace bajar la exposición de ese escenario.

Lo interesante es comparar este resultado con el BIS, ya que el método indica que la exposición total es igual a la suma de exposiciones separadas. En este caso, se suman las exposiciones del forward y del swap de tasas

$$100.000.000 * 0.5\% + 55.938.000 * 7\% = \$4.415.660$$

Este resultado se acerca bastante a la exposición total del portafolio, y es lógico pues no está considerando el efecto de correlación del dólar con la tasa cámara. Se han tomado dos instrumentos de manera tal que el efecto de correlaciones sea más claro. Este resultado es expansible para N instrumentos y, como se demuestra en la realidad, una cartera con una gran cantidad de instrumentos tendrá una exposición total más pequeña usando el método de simulaciones que usando el método de BIS. Esta es la razón que hace que las áreas de bancos prefieran tener modelos internos, que permiten bajar los requerimientos de capital.

Para finalizar, se entrega una tabla resumen de los métodos presentados, en donde se comparan distintas aristas analizadas y mencionadas durante el trabajo realizado.

	Montecarlo	BIS
Método	Simulación de miles de factores de riesgo del mercado, durante el ciclo de vida de un contrato o un portafolio, para generar distintos escenarios futuros posibles y así valorizar y calcular exposiciones	Expresa la exposición como la suma de valores de mercado actuales más un término que representa la exposición potencial futura, el "Add-On", que se calcula multiplicando la cantidad de nominal por un factor pre-establecido en una tabla (definida por el BIS)
Efecto del tiempo en exposiciones	Representa fielmente los distintos niveles de exposición en el tiempo generados durante el ciclo de vida de los contratos	No reconoce los peaks de exposiciones en el tiempo, y mantiene constante la exposición según intervalos definidos de tiempo (por ejemplo, de 1 a 5 años)
Comportamiento ante cambios en el mercado	Facilmente calibrable para adaptarse a cambios en el mercado, como volatilidades. Sin embargo, la calibración puede requerir gran cantidad de información de mercado.	No se adapta a cambios bruscos en el mercado (add-on estáticos)
Correlación de factores de riesgo	Puede considerar escenarios con factores correlacionados, pero se aumenta considerablemente la dificultad modelística	No reconoce correlaciones en factores de riesgo, lo que puede llevar a una sobreestimación de la exposición de una cartera.
Requerimientos computacionales	Muy altos, necesidad de software especiales para portafolios de varios instrumentos	Bajos, no necesita grandes requerimientos ni computacionales
Costos de infraestructura y otros	Inversión significativa en capital humano e infraestructura	Facil de implementar, resultados rápidos y escalables a más instrumentos dentro de un potafolio

Tabla 28: comparación entre ambas metodologías. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En los últimos años, el tema del riesgo de contraparte ha estado en el “ojo del huracán” a nivel mundial. Resulta primordial la comprensión del por qué es tan importante reconocer y valorizar este riesgo, que antes de la crisis estaba relegado a un segundo y tercer plano. El trabajo realizado busca ayudar en la difusión de términos asociados al riesgo de contraparte, como el CVA o las exposiciones potenciales, que resultan claves para el gran objetivo que los bancos y otras instituciones financieras están asumiendo: tener una mejor gestión y control de este riesgo inherente a derivados tranzados en el mercado *over the counter*, mediante el establecimiento de límites de operación de alta confianza, junto con el uso de metodologías cada vez más certeras para valorizar las pérdidas que se deben reconocer “hoy” por posibles incumplimientos “futuros” en un portafolio de derivados.

El tema de riesgo de contraparte es una categoría bastante especial del riesgo de crédito por las características de los 3 factores requeridos. En primer lugar, se vieron las metodologías del cálculo de exposiciones, en particular las potenciales futuras, las cuales son la base para establecer montos de capital necesarios para resguardarse de pérdidas, y también para ponerle precio al riesgo. Respecto a las metodologías, tanto la sugerida por el BIS como la de simulaciones de monte carlo tienen sus ventajas y desventajas.

La metodología del BIS se puede considerar como una metodología estática, al no reconocer los efectos del tiempo en la exposición, y que subestima los riesgos de un derivado de manera individual. Por otro lado, puede llegar a sobreestimar el riesgo cuando son portafolios de varios instrumentos, al no considerar la correlación de los factores de riesgo. Sin embargo, es de fácil operación, y no requiere grandes recursos computacionales ni humanos. Además, es fácilmente escalable para portafolios que van añadiendo más transacciones.

Por otra parte, la metodología de simulaciones de monte carlo requiere altos costos en implementación, operación y tiempo destinado a los cálculos. A cambio de esto, ofrece un recurso ideal no sólo para colocar precios adecuados, sino también para la gestión de este riesgo, donde contar con límites fundamentados y confiables para la negociación es prerequisite en un área de riesgo que desee evitar pérdidas.

Es claro que ninguna por si sola es una herramienta ideal. Existe un interesante trade-off entre los costos y beneficios de ambas metodologías, pero todo indica que la respuesta es apostar por la integración de ambos métodos. Por ejemplo, una gran crítica de la metodología del BIS es contar con ponderadores desactualizados. Una solución, que algunas entidades bancarias aplican, es calcular internamente nuevos factores -mediante las simulaciones de monte carlo- que representen fielmente las volatilidades del momento para un portafolio. Estos factores no pueden estar siendo calculados día a día mediante simulaciones (por los altos costos operacionales), y por esta razón la tabla interna debe ir acompañada de un backtesting apropiado que vaya verificando que los ponderadores sean los correctos. Este testeo es importante porque en momentos de algidez financiera es cuando los modelos pierden su utilidad.

En el tema de exposiciones hay que tener ciertos resguardos con los supuestos, porque pueden ocurrir eventos de mercado que tengan efectos no lineales en la exposición total, y muchas veces estos efectos pueden no tener explicación bajo el modelamiento. Por ejemplo, en estos modelos se asume que la exposición actual y exposición potencial son independientes, cuando en la realidad pueden tener cierta relación: si en un contrato forward el dólar se mantiene a 500, y en pocos días sube a 520, la exposición actual sube en 20 unidades, y la exposición potencial se mantiene relativamente constante. En otras palabras, la potencial no recoge ese efecto de subida, que implícitamente indica que ahora existe una menor probabilidad en el mundo real de que el dólar suba, y por tanto los niveles de exposición futuros deberían ser menores. En consecuencia, los valores de exposición pueden presentar ciertos saltos que se explican, entre otras cosas, por los múltiples supuestos tomados por los modelos, que pueden resultar no realísticos.

En el tema de probabilidades de default, lo más factible para el mercado nacional, por el momento, es que los bancos utilicen probabilidades históricas reflejadas en tablas internas (o bien las sugeridas por la SBIF). Las probabilidades de default derivadas de los spread de bonos corporativos deben ser utilizadas con mucha precaución, por cuanto la poca liquidez de estos bonos es una realidad del mercado chileno, y dicha liquidez afecta directamente en la valorización, al existir pocos precios de mercado. Más aun, hay precios de mercado que no se mueven por cambios en la calidad crediticia, sino por operaciones de mercado de grandes agentes que son "fijadores de precio". Por ejemplo, si una AFP realiza compras y ventas a gran escala, va a mover los precios de mercado por el efecto de la oferta y demanda, pero no por un cambio en las calidades crediticias. Entonces, si se calculan probabilidades de default mediante bonos corporativos, se estaría utilizando una medida sesgada. Esto no ocurriría en mercados grandes y de alta liquidez, en los que ningún agente puede mover precios.

Lo que si es cierto, es que estos bonos pueden ser utilizados como una especie de benchmark o de parámetro, para complementar la poca data histórica. Además, el mercado nacional aun no es tan sofisticado, pues no existen derivados de seguro como los *credit default swap*, de los cuales se desprende la probabilidad de incumplimiento de una entidad. Por esta razón, y como trabajo a futuro, el tema de las probabilidades de default aún tiene un amplio margen para ser estudiado, en particular porque las probabilidades no se mantienen constantes en el tiempo, y encontrar las formas de modelar ese comportamiento es un campo con harta investigación por delante.

Lo mismo ocurre con el tercer parámetro del modelo, las tasas de recuperación, que no se sustentan en data histórica y que por simplicidad se suelen dejar como determinísticas. Para este concepto también hay mucho por estudiar en el mercado nacional.

Respecto al ajuste de valor crediticio, CVA, lo primero a destacar es que es un tema contingente y en constante desarrollo. En el contexto nacional, antes de la crisis del 2008, no había conciencia en el cálculo del ajuste de riesgo crediticio, pero todo esto ha quedado atrás y los bancos ya le están asignando importancia a las áreas, para que lleven a cabo un correcto reconocimiento y valorización de esta pérdida potencial. Las conclusiones que se desprenden del cálculo de la exposición aplican directamente

al CVA, en donde una metodología mixta y complementaria pareciera ser la mejor opción para la administración.

Sin embargo, queda mucho por tratar en el tema del CVA. En efecto, se han mencionado distintos temas que aún tienen un potencial desarrollo en el tiempo, como la cobertura de CVA, o bien el cálculo de capital por CVA que está especificado en Basilea III. Además, los esfuerzos se aplican constantemente para mejorar los modelos actuales, que se basan en muchos supuestos que pueden afectar potencialmente a los resultados finales, pero que son necesarios para disminuir la complejidad matemática en el caso de las simulaciones. Lo importante es tener la intuición de la dirección en la que cada supuesto puede influir (sea aumentando o disminuyendo el valor del ajuste).

En la línea de tener un mayor control de mercado, la tendencia apunta a contar con cámaras de contraparte central, que puedan liquidar y compensar a las contrapartes que operan en un mercado regulado, a modo de reducir el riesgo de contraparte al mínimo. Chile no está al margen de esa tendencia (ComDer), sin embargo, los procesos de implementación y puesta en marcha de la cámara son lentos. Más aun, los instrumentos a negociar mediante la contraparte central serán bastante limitados en los primeros años (forwards de monedas y luego swaps de tasas de interés). Así, las transacciones en el mercado OTC seguirán siendo por algunos años las de mayor flujo de dinero, y ante eso es necesario tener altos estándares para el cálculo del CVA.

Lo importante no es sólo valorizar el riesgo, sino que también administrarlo y gestionarlo. Y para esto, primero debe entenderse conceptualmente qué es lo que se está calculando, y qué particularidades se pueden presentar. Los modelos de CVA deben ser capaces de explicar los movimientos bruscos en el mark to market de un portafolio, y acá entra el tema de la sensibilidad del CVA ante factores de riesgo. Para un portafolio es muy simple calcular el cambio de precio con respecto a algún movimiento de tasas, de precios o de calidades crediticias. Sin embargo, el análisis para una buena gestión se debe llevar a cabo a nivel de contraparte, pero esto es inviable para bancos con cientos o miles de clientes. Por eso, se debe tener prudencia entre los costos y beneficios que puede generar una correcta administración.

Si bien es cierto que para el mercado local el ajuste al valor crediticio es un tema contingente, se debe dar un mensaje de alerta sobre la aplicabilidad de las metodologías en mercados -como el chileno- que son pequeños, con grandes instituciones capaces de mover precios en el mercado (quitando aleatoriedad), y con poca data histórica que permita justificar algunos valores como probabilidades o tasas de recuperación.

BIBLIOGRAFIA

- [1] B. Central, *Marco regulatorio de Chile sobre la compensación de operaciones de derivados*, 2009.
- [2] V. Fernandez, *Valorización de derivados*, 1999.
- [3] F. Figueroa, «Medición de riesgos en swaps y procesos de tasa de interés en Chile,» 2011.
- [4] D. Canabarro, *Measuring and making counterparty risk*, 2003.
- [5] R. Schöftner, «On the estimation of credit exposure using regression-based Monte Carlo simulation,» *The journal of credit risk*, 2008.
- [6] C. Aziz, «Calculating credit exposure and credit loss: a case study,» 1998.
- [7] Singleton y Duffie, *Credit Risk: Pricing, Measurement, and Management*, 2003.
- [8] G. Manzano, «Requerimientos prudenciales y ajustes valorativos por riesgo de contrapartida en derivados OTC: situación actual y perspectivas,» 2012.
- [9] Hull y White, *LIBOR v/s OIS: The Derivatives Discounting Dilemma*, 2013.
- [10] A. Castagna, *Pricing of Derivatives Contracts under Collateral Agreements: Liquidity and Funding Value Adjustments*, 2013.
- [11] Bentjerodt y Ochoa, *El mercado de derivados financieros en Chile; regulaciones vigentes, evolución reciente y perspectivas*, 1996.
- [12] A. Izquierdo, *Retos, oportunidades y tendencias en la administración del riesgo*, 2012.
- [13] P. Zhu, *A guide to modelling counterparty credit risk*, 2008.
- [14] Asobancaria, *Administración de colaterales como mitigantes de crédito en derivados*, 2009.
- [15] F. Varela, *Mercados de derivados: swaps de tasas promedio cámara y seguros de inflación*, 2007.
- [16] SBIF, *Compendio de normas contables*, 2008.
- [17] B. Central, «Infraestructura de derivados OTC en Chile,» 2012.
- [18] Altman, Brady, Resti y Sironi, *The Link between Default and Recovery Rates: Implications for Credit Risk Models and Procyclicality*, 2002.

ANEXOS

I: Análisis de sensibilidad en los perfiles de exposición, para distintas volatilidades de la tasa corta

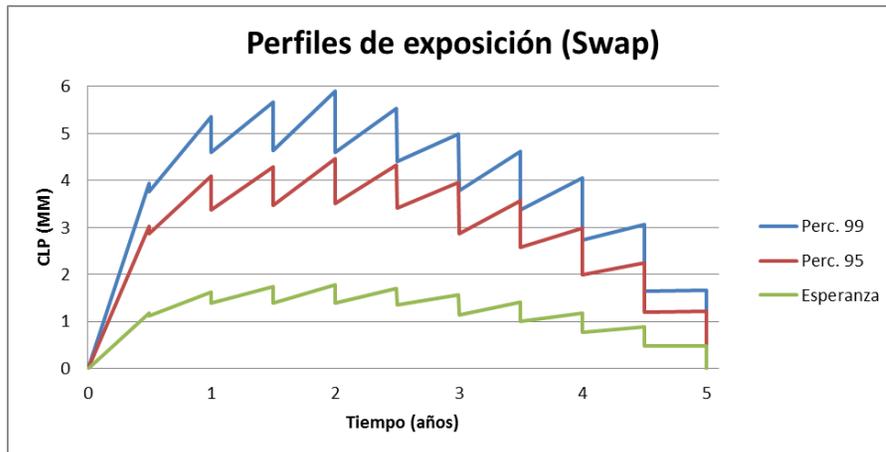


Ilustración 32: perfiles de exposición del swap al inicio de este, para una volatilidad de 1,2%. Elaboración propia.

Pick de exposición	
Medida	CLP (MM)
Perc. 99	5,90
Perc. 95	4,47
Esperado	1,78
<i>BIS</i>	<i>0,5</i>

Tabla 29: peaks de exposición potencial, según la medida indicada, para volatilidad de 1,2%. Elaboración propia.

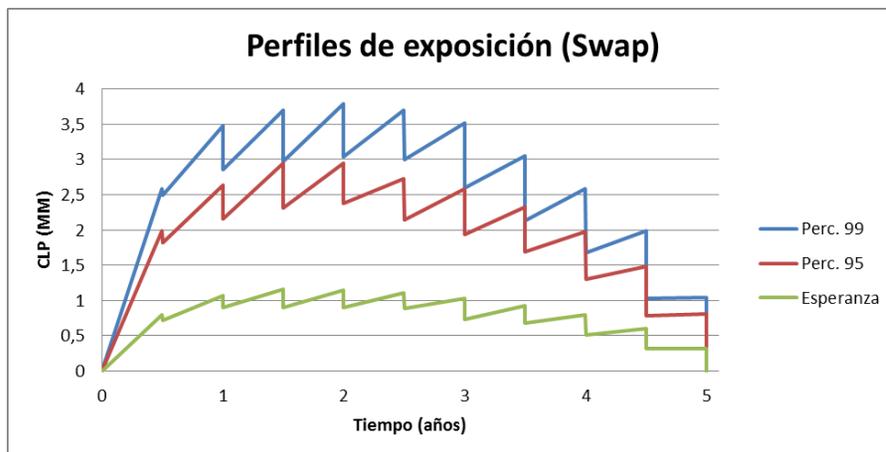


Ilustración 33: perfiles de exposición del swap al inicio de este, para una volatilidad de 0,8%. Elaboración propia.

Pick de exposición	
Medida	CLP (MM)
Perc. 99	3,79
Perc. 95	2,95
Esperado	1,16
<i>BIS</i>	<i>0,5</i>

Tabla 30: peaks de exposición potencial, según la medida indicada, para volatilidad de 0,8%. Elaboración propia.

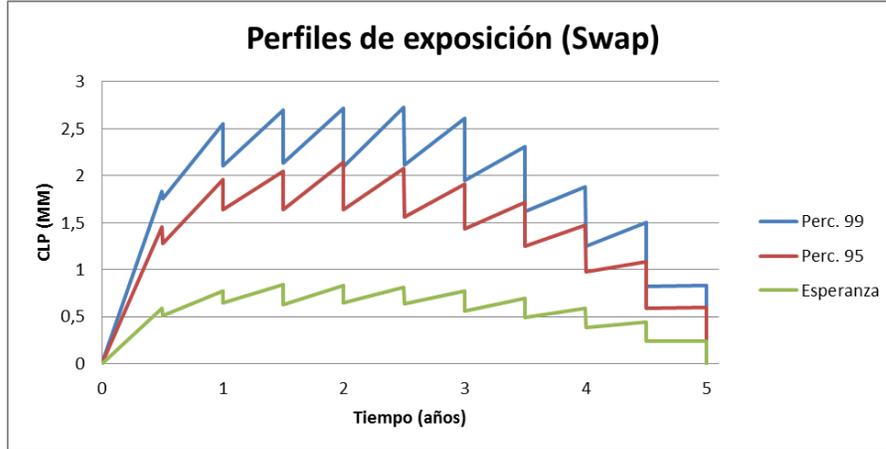


Ilustración 34: perfiles de exposición del swap al inicio de este, para una volatilidad de 0,6%. Elaboración propia.

Pick de exposición	
Medida	CLP (MM)
Perc. 99	2,73
Perc. 95	2,14
Esperado	0,85
<i>BIS</i>	<i>0,5</i>

Tabla 31: peaks de exposición potencial, según la medida indicada, para volatilidad de 0,6%. Elaboración propia.

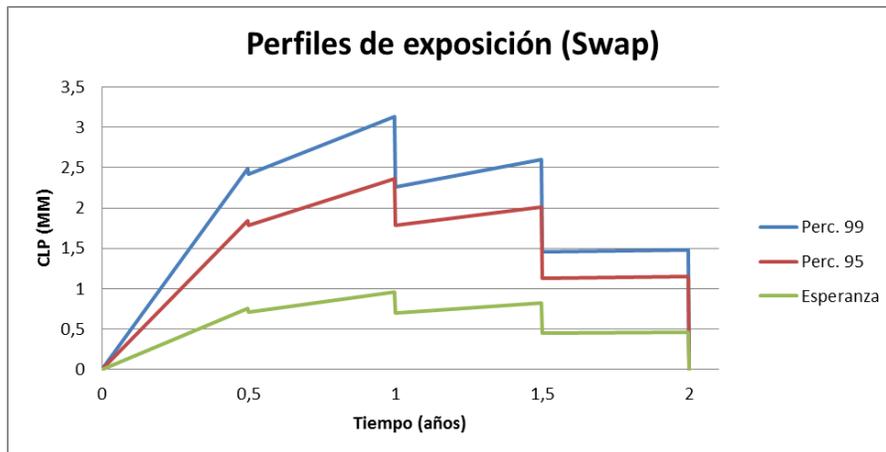


Ilustración 35: perfiles de exposición del swap a tres años de iniciado, para una volatilidad de 1,2%. Elaboración propia.

Pick de exposición	
Medida	CLP (MM)
Perc. 99	3,13
Perc. 95	2,36
Esperado	0,96
<i>BIS</i>	<i>0,5</i>

Tabla 32: peaks de exposición potencial, según la medida indicada, para volatilidad de 1,2%. Elaboración propia.

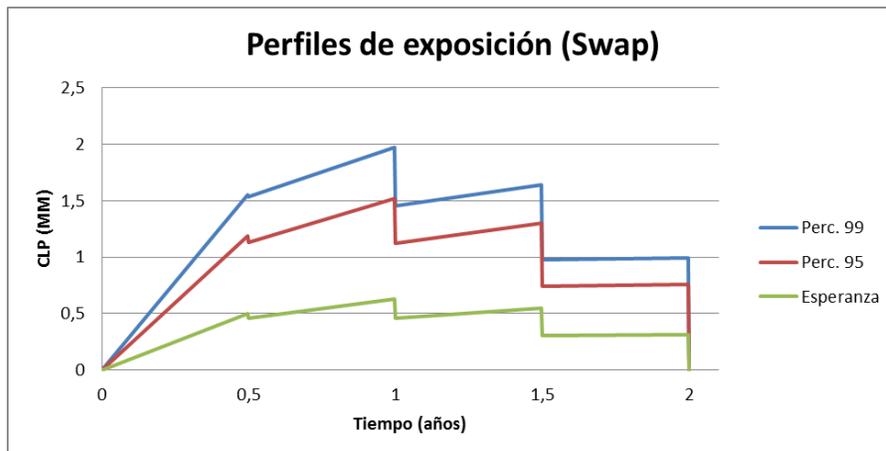


Ilustración 36: perfiles de exposición del swap a tres años de iniciado, para una volatilidad de 0,8%. Elaboración propia.

Pick de exposición	
Medida	CLP (MM)
Perc. 99	2,02
Perc. 95	1,52
Esperado	0,63
<i>BIS</i>	<i>0,5</i>

Tabla 33: peaks de exposición potencial, según la medida indicada, para volatilidad de 0,8%. Elaboración propia.

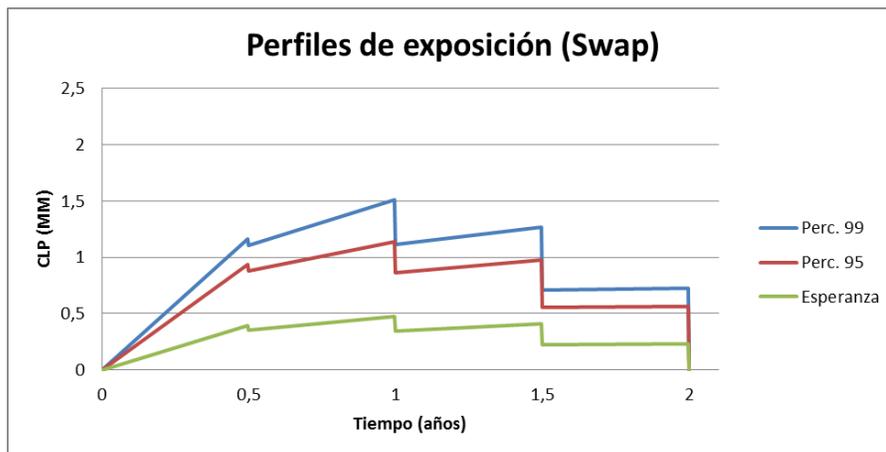


Ilustración 37: perfiles de exposición del swap a tres años de iniciado, para una volatilidad de 0,6%. Elaboración propia.

Pick de exposición	
Medida	CLP (MM)
Perc. 99	1,51
Perc. 95	1,14
Esperado	0,47
<i>BIS</i>	<i>0,5</i>

Tabla 34: peaks de exposición potencial, según la medida indicada, para volatilidad de 0,6%. Elaboración propia.