Stein, Ernesto H., and Jorge M. Streb (1998). Political stabilization cycles in high inflation economies. *Journal of Development Economics* 56, 159-80.

Stein, Ernesto H., and Jorge M. Streb (2004). Elections and the timing of devaluations. *Journal of International Economics* 63: 119-145.

Stein, Ernesto H., Jorge M. Streb, and Piero Ghezzi (2005). Real exchange rate cycles around elections. *Economics and Politics* 17: 297–330.

Streb, Jorge M., Daniel Lema, and Gustavo Torrens (2009). Checks and balances on political budget cycles: Cross-country evidence. *Kyklos* 62: 426-447.

Streb, Jorge M., Daniel Lema, and Pablo Garofalo (2012). Temporal aggregation in political budget cycles. *Economía, Journal of the Latin American and Caribbean Economic Association* 13: 39-78.

REVISTA DE ECONOMÍA, Vol. 20, Nº 2, Noviembre 2013. ISSN: 0797-5546

CARACTERIZACIÓN Y ESTIMACIÓN DEL RIESGO CAMBIARIO CREDITICIO EN ECONOMÍAS PARCIALMENTE DOLARIZADAS[1]

ERNESTO MORDECKI
mordecki@cmat.edu.uy
Centro de Matemáticas., Fing

ALEJANDRO PENA
apena@bcu.gub.uy
Banco Central del Uruguay

ANDRÉS SOSA
asosa@cmat.edu.uy
Centro de Matemáticas., Fing

Fecha recepción: agosto 2013 Fecha aceptación: octubre 2013

RESUMEN

Algunas economías emergentes presentan un alto grado de dolarización en el sistema bancario tanto del lado de los créditos como de los depósitos. Esto genera un riesgo específico en el sistema bancario. El riesgo cambiario crediticio se estima como la pérdida esperada derivada del hecho de prestar en moneda extranjera a agentes que tienen sus ingresos en moneda local. El propósito de este trabajo es cuantificar ese riesgo como el precio de una opción por un nocional equivalente al monto del préstamo y discutir las implicaciones para la estabilidad financiera que se derivan del hecho que los bancos se encuentren emitiendo implícitamente estas opciones. En términos generales, se argumenta que el riesgo agregado resultante en la economía se puede disminuir con el desarrollo de un mercado de opciones de monedas. A los efectos de la valuación de la opción, se asume que el tipo de cambio sigue un proceso de Lévy. La profundidad en los mercados considerados en la valuación depende de las monedas involucradas. La mejor alternativa es la existencia del precio de opciones que se coticen en un mercado a los efectos de calibrar el modelo y poder entonces obtener precios para los precios de ejercicio y los plazos necesarios. Este es el caso del mercado EUR/USD. Si el mercado no es líquido, y ese es el caso del mercado USD/UYU, la falta de precios de mercado de las opciones implica tener que utilizar otras alternativas metodológicas. La metodología elegida consiste en estimar la probabilidad histórica, obteniendo de este modo una medida de riesgo neutral a partir de la Transformada de Esscher.

Palabras Clave: Riesgo cambiario crediticio, estabilidad financiera, valuación de opciones.

Clasificación JEL: G21, G13

1 Los autores agradecen los comentarios y sugerencias de un evaluador anónimo de la Revista de Economía.

ABSTRACT

Some energing economies present high financial dollarization both in loans and deposits. This generates a specific risk in the banking activity. The exchange credit risk is estimated_as the expected loss resulting of a loan in foreign currency taken by an agent who receives its income in local currency. The purpose of this paper is to quantify this risk as the price of an option in a portfolio equivalent to this loan, and also to discuss the implications on the financial stability due to the (implicit) issuance of these options by the banks. In general terms, we argue that the aggregate risk resulting from this risk diminishes with the development of a market currency options. In order to price options the exchange rate is modeled through a Lévy process. The depth of the market considered in the pricing process depends on the type of the currencies involved. The best situation is to depart from option prices, then to calibrate a model, and afterwards to obtain option prices for the strikes and exercise times needed. This is the case of the EUR/USD market. But if the market is not liquid, as it's the USD/UYU market, the lack of option prices raises the need of providing alternative pricing methodologies. The chosen methodology consists in estimating the historical probability, obtaining a risk neutral measure using the Esscher Transform.

Keywords: Exchange credit risk, financial stability, option valuation.

JEL Classification Codes: G21;G13

SECCIÓN 1: INTRODUCCIÓN

Algunas economías emergentes presentan una alta dolarización financiera lo cual implica la aparición del riesgo cambiario crediticio. La dolarización de la economía presenta las siguientes consecuencias en la actividad bancaria: los bancos al recibir una alta proporción de sus depósitos en moneda extranjera adoptan la estrategia de otorgar préstamos también en dicha moneda. Pero buena parte de los agentes locales que reciben estos créditos tienen sus ingresos principalmente en moneda local. Esta estrategia traslada el potencial descalce del banco a los agentes locales generando un tipo de riesgo que se denomina en este trabajo riesgo cambiario crediticio, conocido también como el riesgo de tipo de cabio implícito. El riesgo cambiario crediticio se define como la pérdida esperada derivada del hecho de prestar en moneda extranjera a agentes que tienen sus ingresos principalmente en moneda local.

Si se produce un fuerte incremento en el tipo de cambio se genera un efecto ingreso negativo producto del incremento en el valor real de las obligaciones de los deudores respecto al valor de sus activos. Entonces el descalce de moneda por parte del deudor es el origen del riesgo de crédito al afectar de manera negativa la calidad de los balances de los bancos, en particular la calidad de la cartera de créditos. La importancia de analizar y obtener adecuadas estimaciones de este tipo de riesgo es la de mejorar la comprensión de la vulnerabilidad de las economías altamente dolarizadas en el caso de una devaluación.

En Pena (2009), se propone un procedimiento de estimar el riesgo cambiario crediticio mediante el teorema de Merton a través de un instrumento financiero concreto. Con el fin de valuar este instrumento, las características del mercado financiero de ese país deben tenerse en cuenta. El Modelo de Merton, Merton (1974), se basa en la no existencia de descalce de monedas, pero puede ser fácilmente generalizado al caso en que el deudor recibe un préstamo en moneda extranjera. Se asume que el riesgo crediticio viene dado exclusivamente por la evolución del tipo de cambio.

Se supone que el valor del activo del prestatario, A, se mantiene constante durante todo el período y que no existen pagos intermedios por parte del deudor. El valor de mercado del patrimonio del prestatario

es $C_T = max(A\text{-}S_T K^*,0)$, donde S_t es el valor de tipo de cambio y K^* es el valor de la deuda en moneda extranjera. El valor de mercado de la deuda en moneda doméstica al final del contrato se puede expresar como:

$$B_T = A_T - C_T = A_T - máx\left[A_T - S_T K^*;0\right] = mín\left[A_T; S_T K^*\right] =$$
$$... = S_T K^* - máx\left[S_T K^* - A_T;0\right] = S_T K^* - K^* Máx\left[S_T - \frac{A_T}{K^*};0\right] \quad (1)$$

Por lo cual, se deduce que un préstamo expuesto al descalce de monedas se puede expresar como una posición larga en un préstamo libre de riesgo y una posición corta en una opción de compra de moneda, donde el precio de ejercicio está dado por la relación que exista entre el valor del activo y el valor de la deuda pactada en dólares. Si el tipo de cambio supera ese valor, la opción se ejecuta y el prestamista obtiene únicamente el valor de los activos del deudor.

En algunas economías latinoamericanas que presentan alta dolarización financiera, los Bancos Centrales han promovido el estudio de este tipo de riesgo de crédito. La motivación se basa en evaluar las consecuencias que se derivan del riesgo cambiario crediticio en la solvencia de los bancos y en la estabilidad del sistema financiero. Este tema es analizado en Azabache (2005) y Pena (2009).

En referencia a los trabajos sobre economías dolarizadas, en De Nicolo et al. (2005) se discuten diferentes aspectos sobre la dolarización de la economía, en particular el análisis sobre los depósitos bancarios y sus consecuencias; Holland et al. (2012) establecen que "la dolarización es una respuesta racional al nivel de inflación futuro asociado con las expectativas de default percibidas en economías altamente endeudadas, lo cual se sustenta en un análisis empírico realizado con técnicas de panel de datos". En Carranza y Gómez (2009) se supone un punto de vista similar, proporcionando mayor evidencia empírica; Honig (2009) analiza si el régimen de tipo de cambio tiene un impacto importante en la dolarización concluyendo que la buena calidad en las políticas públicas hace caer la dolarización, mientras que el régimen de tipo de cambio no juega un papel directo importante. Como otros trabajos relacionados se puede mencionar a Bartrman y Bodnar (2012), Mihaljek y Packer (2010) y Winkelried y Castillo (2010).

Los Procesos de Lévy y otros procesos estocásticos con saltos se han convertido en una herramienta popular para modelar las fluctuaciones de los mercados debido a que reproducen de buena manera las propiedades empíricas de los rendimientos de los activos, proporcionando mejores aproximaciones que el clásico Modelo de Black-Scholes Black and Scholes, (1973). Una gran cantidad de trabajos de investigación relacionados con los procesos de Lévy se han publicado hasta la fecha en diversas revistas, proporcionando una amplia literatura en estas cuestiones. Los prerrequisitos matemáticos de este trabajo se pueden encontrar principalmente en Cont y Tankov (2003), Kyprianou (2006) y Mikosh (1998).

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera. En la Sección 2 se analiza cómo el riesgo cambiario crediticio impacta en una economía altamente dolarizada sobre el valor de los activos, sobre la solvencia de los bancos y sobre la estabilidad del sistema financiero. En la Sección 3 se considera el modelo matemático del mercado financiero sobre la base de los procesos de Lévy. En la sub-sección 3.1 se presentan los dos modelos considerados en el documento: el modelo de Merton y el modelo Variance Gamma, en la sub-sección 3.2 se discuten dos métodos con el fin de obtener la medida neutral al riesgo: Esscher Transform y calibración y en la subsección 3.3 se introduce los problema de valuación de opciones en estos procesos. Los resultados empíricos correspondientes a los mercados Euro/Dólar y Dólar/Peso Uruguayo se presentan en la Sección 4 y en la Sección 5 se presentan las conclusiones.

A lo largo del trabajo se adopta la norma ISO 4217 para las denominaciones de las monedas: USD para dólares de los Estados Unidos, EUR para euros y UYU en pesos uruguayos.

SECCIÓN 2: ESTABILIDAD EN EL SISTEMA FINANCIERO.

La estabilidad de un sistema financiero dolarizado puede ser influenciado mediante las fluctuaciones en el tipo de cambio vía dos canales básicos: la exposición en moneda extranjera que presente cada banco y en las posibles variaciones en el valor de los diferentes activos denominados en dólares.

En la siguiente subsección se explica cómo un activo denominado en dólares experimenta variaciones debido a las fluctuaciones del tipo de cambio.

2.1 El valor de un activo denominado en dólares dependiendo del tipo de cambio

Como se estableció anteriormente, un crédito en dólares otorgado a un agente económico que tiene sus ingresos en la moneda local se puede replicar a través de una posición larga en un préstamo libre de riesgo y una posición corta en una opción call, donde el precio de ejercicio de la opción es el cociente entre el valor de los activos y el valor nominal de la deuda en dólares. Este resultado es el que se muestra en la ecuación (1). Esta relación determina el valor del préstamo en moneda local en su madurez, en términos de precios de mercado. Si se considera un tiempo arbitrario $t<T$, con $\tau = T\text{-}t$, el valor de mercado del crédito en dólares expresado en moneda local se puede escribir como:

$$B_t = S_t K^* e^{-q\tau} - K^* \left[S_t e^{-q\tau}\phi(d_1) - \frac{A}{K^*} e^{-r\tau}\phi(d_2) \right] = S_t K^* e^{-q\tau}\left[1-\phi(d_1)\right] + A_t e^{-r\tau}\left[\phi(d_2)\right]$$

En la ecuación anterior, se ha utilizado el modelo de Black-Scholes para valuar opciones, con las expresiones habituales para d_1 y d_2. La idea intuitiva que se desea trasmitir es que con un aumento en el tipo de cambio, es más probable que se ejerza la opción call por parte del deudor, por lo cual el valor de mercado de la deuda en dólares es una función decreciente del tipo de cambio. En términos analíticos, el valor de mercado de un préstamo en dólares se puede expresar como

$$B_t^* = \frac{B_t}{S_t} = K^* e^{-q\tau} - \frac{K^*}{S_t}\left(S_t e^{-q\tau}\phi(d_1) - \frac{A}{K^*} e^{-r\tau}\phi(d_2) \right)$$

Diferenciando la expresión anteriormente con respecto a S_t, se obtiene

$$\frac{dB_t^*}{dS} = -\frac{A}{S_t^2} e^{-r\tau}\phi(d_2) \quad < 0 \qquad (2)$$

Por tanto, un incremento del tipo de cambio hace caer automáticamente el valor de mercado de la deuda suscrita por deudores que están sujetos al riesgo cambiario crediticio. Este es el segundo canal por el cual las variaciones del tipo de cambio terminan afectando la solvencia de un banco y puede, en determinadas circunstancias, afectar la estabilidad del sistema. Como el trabajo se refiere a un marco más general que el modelo de valuación de Black-Scholes se observa que el resultado anterior es válido para los mercados Lévy (véase la Proposición 3.1).

Finalmente, se puede argumentar que aún cuando los bancos otorguen créditos en dólares a agentes económicos que reciben la mayor parte de sus ingresos en dicha moneda (principalmente exportadores), existe un potencial descalce de monedas por parte del deudor cuando la mayor parte de sus costos evolucionan de acuerdo a la moneda local. En este caso, el deudor eventualmente caería en insolvencia si la moneda local se apreciara significativamente respecto al dólar, lo cual ocasionaría también problemas al banco. En estos casos, se puede demostrar de manera análoga que ese tipo de préstamos se puede representar como una posición larga en un crédito libre de riesgo y una posición corta en una opción put o de venta. En vista que del análisis anterior surge que los bancos en economías dolarizadas toman posiciones cortas en opciones call y put sobre el tipo de cambio; es una posible explicación del porqué algunos países han eliminado la posibilidad de tomar créditos en dólares, aún para el caso de los exportadores. Tal es el caso de Brasil.

2.2 La solvencia de los bancos y su dependencia al tipo de cambio

En esta subsección se estudia cómo las variaciones en el tipo de cambio pueden afectar la solvencia de un banco. Para ello, consideramos el caso de un banco con las siguientes características:

A*: activos en moneda extranjera; A: activos en moneda local;
L*: pasivos en moneda extranjera; L: pasivos en moneda local.

De esta manera se puede expresar el total de activos, el patrimonio del banco y la relación entre el patrimonio y los activos totales de la siguiente manera

$$T_A = A^* S + A\ ,\ P = \left[A^* - L^*\right] S + \left[A - L\right]\ ,\ k = \frac{\left[A^* - L^*\right] S + \left[A - L\right]}{\left[A^* S + A\right]} \qquad (3)$$

donde T_A es el total de activos, P es el patrimonio y k denota la relación entre el patrimonio y los activos totales.

Primer caso: Los activos denominados en dólares no dependen de la variación del tipo de cambio.

En este caso, el objetivo de cada banco o del regulador es limitar el riesgo cambiario crediticio minimizando la dependencia de k de las fluc-

tuaciones del tipo de cambio. El objetivo es hacer que *k*, que en principio depende de *S*, sea independiente de *S*. Partiendo de (3), se obtiene que

Si se asume que *k* no depende de *S*, se obtiene

$$\left[(A^* - L^*) - k\,A^*\right] S + \left[(A - L) - kA\right] = 0$$

Alternativamente, se pueden presentar las igualdades previas como

$$A^* = \frac{L^*}{1-k} \;\; ; \;\; A = \frac{L}{1-k} \qquad (4)$$

Esto implica que el ratio capital activos sea el mismo para todas las monedas en que trabaja el banco. Otra forma de verlo, es que un banco que opera con dos monedas puede separarse en dos bancos "puros", ambos con el mismo ratio capital activos. Una consecuencia es que la posición en cada una de las monedas debe ser positiva (y no cero o cerrada) para que el riesgo tipo de cambio evaluado bajo esta forma sea nulo. Un incremento en la volatilidad del tipo de cambio no debería ocasionar ningún cambio en la conducta de los bancos, en la medida que su objetivo sea mantener *k* independiente de las oscilaciones del tipo de cambio.

Segundo Caso: Los activos nominados en dólares pueden depender de las variaciones del tipo de cambio. No se considerará en forma expresa a los préstamos realizados en dólares a agentes que reciban sus ingresos en dólares. No obstante, se realizarán los comentarios correspondientes, en caso de ser necesario.

Este trabajo se enfoca principalmente en la problemática de los préstamos otorgados en dólares a clientes que tienen sus ingresos en moneda local, lo cual induce el riesgo cambiario crediticio. Este tipo de préstamos implica que los bancos presentan una posición larga libre de riesgo en un activo denominado en dólares y una posición corta en una opción de compra donde el nocional es la cantidad del préstamo. En este caso, los activos en moneda extranjera, teniendo en cuenta el descuento debido a la posición corta de las opciones, se pueden expresar como

$$A^* - \alpha\, A^* \frac{C}{S} \qquad (5)$$

donde el parámetro α representa el porcentaje de activos que han sido otorgados en préstamos que presentan riesgo cambiario crediticio, *C* es el valor de la opción en moneda local y *S* es el tipo de cambio. Desde esta perspectiva, la condición (4) tiene ahora el siguiente formato

$$A^*\left[1 - \alpha \frac{C}{S}\right] = \frac{L^*}{1-k} \qquad (6)$$

Si se aproxima el valor de la opción de compra en el entorno de su valor actual se obtiene

$$C \approx C_0 + \Delta\, dS + \frac{1}{2}\Gamma (dS)^2 + V d\sigma + \rho\, dr + \theta\, dt$$

Por lo cual, sustituyendo esta expresión en (6), se obtiene

$$A^*\left[1 - \alpha \frac{1}{S}(C_0 + \Delta\, dS + \frac{1}{2}\Gamma (dS)^2 + V d\sigma + \rho\, dr + \theta\, dt)\right] = \frac{L^*}{1-k} \qquad (7)$$

Se supone que las variables de control del banco son la composición de los activos por moneda en el corto plazo y la proporción de préstamos descalzados que otorga, pero esta es una variable que sólo puede controlar en el mediano plazo. El pasivo, tanto en su nivel como en su composición por monedas, es un dato sobre el que poco puede influir el banco en el mediano plazo. Por otro lado, el banco tiene un objetivo en relación a *k,* que puede ser el mínimo regulatorio o algún valor superior, pero en todos los casos es una constante. A partir de la ecuación (7), se evalúa el impacto del tipo de cambio en la estabilidad del banco.

– Un salto en el tipo de cambio produciría una fuerte caída en el valor de mercado de los créditos con descalce, produciéndose un incumplimiento en el objetivo de obtener un ratio capital activos constante. En términos de la ecuación (5), un aumento de S hace aumentar el valor de la opción *C* y el ratio *C/S* aumenta.

– La medida en la cual un salto en el tipo de cambio puede afectar la estabilidad del sistema viene dada por el parámetro α. Este impacto puede ser mitigado, en parte, en la medida que el banco tenga posiciones cortas en opciones put originadas en préstamos en dólares a exportado-

res que tengan una estructura de costos que evolucione con la moneda local. El delta de las opciones call y put vendidas tiene signo contrario, lo cual favorece al banco.

– Un aumento en la volatilidad del tipo de cambio reduce el valor de los créditos con descalce de monedas, debido al aumento del valor de las opciones call y put vendidas. Para lograr el objetivo de k constante, el banco debería pasar activos de moneda local a moneda extranjera, con lo que puede inducir un nuevo aumento en la volatilidad y en el el nivel del tipo de cambio, produciéndose un círculo perverso; en la medida que muchos bancos se vean afectados, puede verse en riesgo la estabilidad del sistema.

– Un aumento en la tasa de interés en moneda local produce un aumento en el valor de la opción call, provocando una caída en el valor de mercado de los créditos con descalce originados por agentes que tienen sus ingresos en moneda local. Este efecto se puede compensar por las opciones put emitidas.

– El efecto gamma se hace relevante cuando la opción se encuentra cerca de la madurez. Un aumento de gamma hace aumentar el valor de la opción call, por lo cual se obtiene una caída del valor de los créditos en dólares. Algo similar se puede establecer respecto a las opciones put. En este caso no hay compensación debido a que el efecto gamma es negativo en ambos casos provocando una caída en el valor de mercado de los dos tipos de créditos.

– Con respecto al parámetro Θ en (7), lo usual es que este efecto decaiga a medida que el vencimiento del crédito se acerca. Esto significa que este efecto se torna importante para créditos de mayor plazo.

2.3 La estabilidad del sistema financiero y su dependencia en el tipo de cambio

En términos del análisis anterior, dos canales de transmisión pueden afectar a la estabilidad del sistema.

Primer canal de transmisión: Desde 2004 existe una tendencia sistemática a depreciar al dólar frente a otras monedas, derivando que muchos bancos opten por mantener la mayor parte de su posición en moneda local.

Cuando el sistema es altamente dolarizado, con un importante porcentaje de los créditos y los depósitos en dólares, un salto en el tipo de cambio puede causar serios problemas para la estabilidad del sistema.

Segundo canal de transmisión: Un porcentaje importante de los activos del sistema están constituidos por créditos con descalce de monedas. Esto implica que el parámetro α sea no despreciable. A su vez, este efecto sería mayor cuando:

– la volatilidad del tipo de cambio sea mayor, por cuanto se observó que la volatilidad hace caer el valor de los dos tipos de créditos en dólares. Se trata de un tipo de riesgo sistémico;
– el plazo de los créditos con descalce de monedas sea mayor;
– el tipo de cambio presenta fluctuaciones abruptas;
– el bajo grado de desarrollo de los mercados de cobertura del riesgo tipo de cambio.

Sobre este último punto, existe un debate sobre si el desarrollo de un mercado de derivados disminuye el riesgo de tipo de cambio a nivel agregado. Esta discusión se centra en el efecto que produce el mercado de derivados sobre la volatilidad del tipo de cambio y la exposición agregada de los agentes económicos al riesgo cambiario. La evidencia empírica concluye, en general, en que el desarrollo de un mercado de coberturas activo disminuye el riesgo tipo de cambio a nivel agregado. Jadresic y Selaive (2005) muestran que la actividad en el mercado a futuro en Chile no se ha asociado con una mayor volatilidad en el tipo de cambio. También encontraron evidencia que apoya la idea de que el desarrollo del mercado de derivados de divisas es importante para reducir el riesgo cambiario a nivel global. Otro trabajo relacionados a Chile es Chan (2005).

Adicionalmente, un aspecto que se plantea es que, aunque el desarrollo de un mercado de instrumentos de cobertura pueda disminuir el riesgo a nivel agregado, la forma en que produce este resultado puede no ser satisfactorio. Esto sucede si existieran participantes del mercado que tienen sistemáticamente más información acerca de los movimientos del tipo de cambio o si existen agentes que tienen suficiente poder de mercado para hacer cambios significativos en el tipo de cambio. En el caso del mercado de cambios muy pequeños o muy intervenidos, es aconsejable mejorar la eficiencia del sistema utilizando instrumentos de cobertura con base en los

promedios, como por ejemplo las opciones asiáticas. Finalmente, si existen mercados de derivados, se puede argumentar que los especuladores podrían tomar posiciones ilimitadas y reducir la eficacia de la intervención del Banco Central en el mercado cambiario. Sin embargo, este aspecto podría ser mitigado en la regulación de estos mercados. A este respecto ver Saxena y Villar (2008).

2.4 Consideraciones de estabilidad en ambientes dolarizados

La siguiente lista enumera algunos los aspectos más relevantes que deben ser tenidos en cuenta para evaluar la estabilidad en un entorno altamente dolarizado:

1 – La diferencia entre la posición libre de riesgo cambiario, derivada en la ecuación (4), y la posición que mantienen los bancos.

2 – El porcentaje de activos que los bancos han otorgado a agentes con descalce de monedas, con la posible compensación derivada de la emisión de opciones call y put .

3 – La existencia a nivel regulatorio de requerimientos de capital o un sistema de previsiones especial para los préstamos con descalce de monedas.

4 – El plazo de los préstamos con opciones implícitas incluidas.

5 – La volatilidad del tipo de cambio y en qué medida la política monetaria tiende o no a suavizar la volatilidad del tipo de cambio.

6 – La política fiscal y la forma en que la misma opera como ancla real para el tipo de cambio en el largo plazo.

7 – El desarrollo del mercado de instrumentos de cobertura, los instrumentos de cobertura disponibles en el mercado y su costo relativo.

En relación al numeral 2, muchos países dolarizados consideran que este tipo de riesgo no es tolerable y directamente prohíben que se preste en dólares a personas que generan sus ingresos en la moneda local. Tal es el caso de Argentina. En otros países, como Brasil, no es permitido el crédito en dólares a ningún agente económico, aunque sean exportadores. En el caso de Uruguay, se permiten los créditos con descalce de monedas, pero se tiene una regulación más restrictiva para los mismos en la constitución

de previsiones (pérdida esperada) como en el requerimiento de capital (pérdidas inesperadas). Por último, en Perú se tiene un régimen especial de previsiones para créditos con riesgo cambiario crediticio. En el marco de los numerales 3, 5 y 6 se debe evaluar el grado de desarrollo de las políticas macroprudenciales y sus efectos sobre el riesgo tipo de cambio a nivel agregado o sistémico. Finalmente, en el marco de este trabajo, se hace especial énfasis en el desarrollo de los mercados de cobertura, y en particular, en el posible uso opciones para cubrir el riesgo tipo de cambio en sistemas altamente dolarizados.

2.5 Instrumentos de cobertura

Un forward es un instrumento financiero por lo general disponible en el mercado y que, en caso contrario, se puede sintetizar en el mercado de dinero.

Los forwards son los instrumentos más utilizados en las economías de América del Sur, de hecho muchos bancos ofrecen contratos como parte de sus servicios a los clientes. Los futuros son otro tipo de instrumento financiero usualmente disponible en el mercado. En términos teóricos, generalmente se supone que los precios de un forward y de un futuro son iguales. En la práctica, hay una serie de factores, que no se reflejan en los modelos teóricos, que pueden causar que los precios sean diferentes; sin embargo, para los contratos de monedas a corto plazo, estas diferencias son insignificantes. Por lo tanto, nuestro objetivo será comparar dos estrategias de cobertura de riesgo de tipo de cambio diferentes: el uso de opciones en relación al uso de forwards o futuros.

En la literatura, no hay consenso sobre que estrategia es universalmente preferible para cubrir este tipo de riesgo. En Han y Yin (2011), se investiga el beneficio potencial de la cobertura del riesgo de la exposición cambiaria de forwards y opciones mediante la programación estocástica. Los autores concluyen que ambos son importantes en una economía competitiva y que en especial las carteras de opciones son una herramienta apropiada para el análisis de riesgo cambiario.

En la actual coyuntura, desde la crisis financiera de 2007-2008 hasta la fecha, la tasa de interés de las monedas fuertes alcanzaron valores mínimos, en tanto que las tasas de interés en los países emergentes se en-

contraban generalmente en niveles altos, con el fin de hacer frente a las consecuencias inflacionarias derivadas del movimiento de capitales hacía estos países. En este marco, el diferencial de tasas de interés se encuentra muy alto, lo cual lleva a que el precio de un forward resulte más alto. La consecuencia de lo antes establecido, junto con otras razones que no hacen a este trabajo, han tenido como consecuencia que estos instrumentos no se han utilizado tanto como lo hubieran deseado las autoridades económicas.

Considérese por ejemplo el caso de un deudor que necesita protección frente a un aumento en el tipo de cambio. La tasa de interés local libre de riesgo anual a un año es 10% y la tasa de interés libre de riesgo en dólares a 1 año es de 1%, la volatilidad anual de la tasa de cambio es de 10% y el plazo a ser considerando es de 1 año.

Con el fin de comparar el costo de cubrirse vía los forwards en relación con el costo de cubrirse mediante opciones, se supone que el deudor recibe un préstamo en moneda extranjera y puede cubrir el riesgo de tipo de cambio mediante un contrato forward o una opción. Por lo tanto, se debe considerar la tasa interés implícita del préstamo en moneda local, dado que es la moneda de referencia del deudor.

También se asume a los efectos de esta comparación, que el precio de ejercicio de la opción es igual al precio del forwards. La tasa de interés puede ser representada por estas dos expresiones

$$r_F = \frac{F_t^T}{S_t}(1+q) - 1, \quad r_{OP} = \frac{\min\left[S_T, F_t^T\right]}{S_t}\frac{1+q}{1-P} - 1$$

donde

- r_F es la tasa de interés en moneda local a través del forward;
- r_{OP} es la tasa de interés en moneda local a través de la opción;
- S_T es el valor del tipo de cambio en la madurez del contrato;
- S_t es el valor del tipo de cambio cuando el deudor realiza la cobertura;
- q es la tasa de interés del préstamo en moneda extranjera;
- P es el costo de la opción, medido en moneda extranjera;;
- F_t^T es el valor de forward y el precio de ejercicio de la opción.

Si se asume que $S_t = 21$, $y\ q = 3\%$, la Figura 1 representa el costo alternativo relacionado a los dos contratos de cobertura. Se observa que existe una amplia zona donde los contratos de opción tienen una tasa de interés implícita más baja; la tasa implícita en un contrato de opción depende principalmente de dos factores: el tipo de cambio al vencimiento S_T y el precio de la opción P.

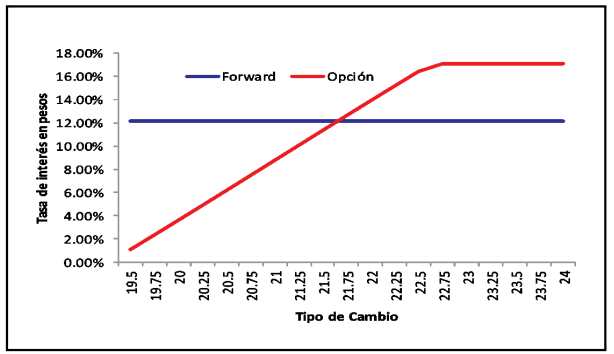


FIGURA 1: *Curva creciente: Tasa de interés en moneda local al cubrirse vía opciones. Curva constante: Tasa de interés en moneda local al cubrirse vía forwards.*

A su vez, el costo de cubrirse con una opción podría ser menor que el costo de cubrirse con un forward dependiendo del valor final de la tasa de cambio. Se puede observar que si el tipo de cambio excede el lumbral, el costo de la cobertura con una opción es igual al costo de la cobertura con un forward más el costo inicial de la opción.

Existen además otras razones para fomentar el desarrollo de un mercado de opciones en divisas, a saber: (i) las opciones son instrumentos más flexibles que los forwards, (ii) se transfiere el riesgo de pérdida, pero no las posibilidades de ganancias, (iii) el uso de posiciones largas en opciones call y posiciones cortas en opciones put le permite al deudor definir sus propios rangos de variación del tipo de cambio reduciendo el costo de cobertura, (iv) son más accesibles que los forwards, ya que no se necesita tener una línea de crédito aprobada por el banco o un depósito en garantía.

Por último, cuando existe información privilegiada o los mercados de muy pequeños y existen agentes que pueden alterar el nivel del tipo de

cambio, se sugiere una forma de mejorar la eficacia del mercado y la aceptación de los instrumentos de cobertura mediante la utilización de opciones asiáticas sobre el tipo de cambio. Estas son más baratas que las opciones tradicionales debido a que la volatilidad del promedio de una variable es menor que la volatilidad de la variable. El lado negativo de las opciones asiáticas es que el deudor no está cubierto por la diferencia entre el tipo de cambio final y el tipo de cambio promedio.

En conclusión, se propone evaluar la posibilidad de cubrir el riesgo cambiario crediticio mediante el desarrollo de un mercado de opciones, en la medida que este instrumento financiero tiene algunas características que lo hacen preferible con respecto a los forwards. Un prerrequisito para el desarrollo de este mercado es tener un modelo para valuar estas opciones, aspecto que se trata en la próxima Sección.

SECCIÓN 3: UN MODELO DE MERCADO

Dada la presencia de eventos de devaluación, lo cual es una característica de las economías emergentes, es preferible modela el tipo de cambio mediante los procesos de Lévy. Estos procesos incluyen saltos en la evolución temporal de los activos, que puede ser interpretados como eventos de devaluación.

3.1 Modelo Matemático

Se considera un modelo de mercado con dos posibilidades de inversión, una cuenta de ahorro determinista dado a través de un proceso determinista $(B_t)_{0\le t\le T}$ que satisface

$$B_t = B_0\, e^{rt}$$

donde $r\ge 0$ es la tasa de interés continuo compuesto, y un activo sujeto a incertidumbre $(S_t)_{0\le t\le T}$, que satisface

$$S_t = S_0\, e^{X_t}$$

siendo $(Xt)_{0\le t\le T}$ un proceso de Lévy definido en un espacio de probabilidad (Ω,F,P).

Los procesos de Lévy cumplen que se pueden caracterizar mediante su exponente de Lévy

$$\psi(z) = \gamma z + \frac{1}{2}\sigma^2 z^2 + \int (e^{zx} - 1 - zx1_{|x|<1})\nu(dx), \quad (8)$$

o de manera equivalente, mediante su tripleta característica (γ,σ,ν) que satisface la fórmula de Lévy-Khinchine

$$E(e^{zX_t}) = e^{t\psi(z)}$$

Referencia general sobre este tipo de procesos se sugiere los libros Cont y Tankov (2003), Kyprianou (2006), Sato (1999) y Shiryaev (1999). A continuación se presenta un resultado auxiliar.

Proposición 3.1 Considerar el valor de un préstamo expuesto al riesgo cambiario crediticio definido por

$$B_t^* = \frac{B_t}{S_t} = K^* e^{-q\tau} - \frac{K^*}{S_t}[Call] \quad (9)$$

donde la opción call es valuada en un mercado de Lévy. Entonces se cumple la misma conclusión que en (2), i.e.

$$\frac{dB_t^*}{dS_t} < 0$$

La demostración de la proposición se encuentra en Mordecki et al. (2013).

En el trabajo se seleccionaron dos modelos en particular: *Merton Jump Diffusion,* Merton (1976), que se ha convertido en un referente en el modelado de salto en activos financieros y *Variance Gamma,* Madan et al. (1998), que es una referencia indeludible en el tema debido a su buen ajuste a datos financieros en una serie de trabajos, entre otros Carr et al. (2002). A continuación se introducen ambos modelos.

En el modelo Merton Jump Diffusion la evolución de un activo bajo la probabilidad histórica medida *P* se modela como

$$S_t = S_0 \exp\left[\mu t + \sigma W_t + \sum \xi_t\right]$$

donde $(W_t)_{0\le t\le T}$ es un movimiento browniano, $(N_t)_{0\le t\le T}$ es un proceso de Poisson de parámetro $\lambda>0$ y $(\xi_i)_{1\le i\le N}$ es una secuencia de variables aleatorias normales de media m and varianza δ^2.

En el modelo Variance Gamma se modela la evolución de un activo bajo la probabilidad histórica medida P mediante

$$S_t = S_0 \exp\left[ct + m\gamma_t(1,k) + \sigma W\gamma_t(1,k)\right]$$

donde $\gamma t(1,k)$ es un proceso de Gamma con tasa media 1 y tasa de variación k.

3.2 La medida de probabilidad histórica y de riesgo neutral

Una característica de los modelos anteriores descriptos es el carácter incompleto del mercado, lo que lleva al problema de la selección de la medida de probabilidad de riesgo neutral Q para la valuación de opciones. En este trabajo se presentan dos formas de elegir la medida de riesgo neutral.

3.2.1 Método de Máxima Verosimilitud y Transformada de Esscher

Una técnica muy utilizada en la selección de la medida de riesgo neutral en la literatura es la Transformada de Esscher, propuesto por Gerber y Shiu (1994). La medida de probabilidad histórica P se estima mediante máxima verosimilitud utilizando una serie de precios del activos. Con el fin de encontrar una medida de probabilidad Q de manera que el precio de los activos descontados es un Q-martingala, el método de la Transformada de Esscher define

$$\frac{dQ_{ET}}{dP} = e^{\theta X_T - \psi(\theta)T}$$

Como se cumple $E(e^{\theta XT-\psi(\theta)t}) = 1$ y $P(e^{\theta XT-\psi(\theta)T}>0) = 1$ la medida de probabilidad Q_{ET} es correctamente definida y es equivalente a P. Con el fin de lograr que el proceso $(e^{-rt}S_t)_{0\le t\le T}$ sea una Q martingala, la condición

$$\psi[\theta+1] - \psi[\theta] = r, \qquad (10)$$

debe de satisfacerse. Esta condición, junto a la convexidad de la función real $\psi(\theta)$, determina un valor único del parámetro θ y en consecuencia, una única medida Q_{ET} de riesgo neutral. Una vez establecida la existencia y unicidad de la medida de riesgo neutral, se observa que la tripleta característica de la medida de riesgo neutral Q_{ET} se obtiene en términos de la tripleta correspondiente a la medida histórica P.

3.2.2 Calibración

En caso de disponer precios de las opciones emitidas en el mercado, es natural obtener Q directamente de estos precios, aprovechando la información implícita que contienen. El método de elección de la medida de probabilidad de riesgo neutral $Q\theta$ * que reproduce los precios de las opciones negociadas que se conoce como *calibración.*

Dado un modelo exponencial de Lévy definido por su tripleta característica $(\gamma(\theta),\sigma(\theta),\nu(\theta))$, donde θ representan el conjunto de los parámetros del modelo, C_i los precios de opciones para los plazos T_i y strikes K_i, la calibración consiste en la búsqueda de

$$\theta^* = \arg\min_{Q_\theta \in Q} \sum \omega_i \left(\left|C^\theta(K_i,T_i) - C_i\right|\right)^2 \qquad (11)$$

donde C^θ denota los precios de opciones calculados mediante el modelo de Lévy con tripleta característica $(\gamma(\theta),\sigma(\theta),\nu(\theta))$, los parámetros ω_i son ponderaciones y Q es el conjunto de medidas de martingalas.

3.3 Valuación de Opciones vía la Transformada de Fourier

En el modelo de Black-Scholes y los precios de las opciones se obtiene de manera explícita mediante su fórmula, pero en los modelos exponenciales de Lévy la densidad de probabilidad generalmente no se conocen en forma cerrada. Por lo tanto, no existe una fórmula explícita para valuar opciones. Sin embargo, la fórmula de Lévy-Khinchine permite utilizar técnicas de fijación de precios basado en la transformada de Fourier. En este trabajo, se utiliza el método de Carr y Madan, como se presenta en Cont y Tankov (2003).

Al aplicar el método de Carr y Madan surgen problemas de evaluación numérica de la Transformada de Fourier que son abordados explícitamente en Mordecki et al. (2013).

SECCIÓN 4: RESULTADOS EMPÍRICOS

Como se ha analizado en la introducción el riesgo cambiario crediticio se puede cuantificar a través de precios de las opciones. Como el mercado de opciones en USD / UYU no está lo suficientemente desarrollado, los agentes no se benefician de la información implícita en los precios de las opciones, información útil para la análisis de riesgo. Por esta razón, en la sub-sección 4.1, se considera el caso EUR / USD (donde el mercado de opciones en profundo) con el fin de calibrar la medida de probabilidad de riesgo neutral Q_θ^* correspondiente al mercado, con el fin de compararlo con la medida Q_{ET} obtenida mediante Esscher Transform. En la sub-sección 4.2, se presenta el caso de Uruguay mediante la estimación del riesgo cambiario crediticio utilizando la medida Q_{ET} correspondiente. Comparando ambos resultados se espera obtener una idea de la precisión de la metodología de la transformada de Esscher para la valuación de opciones.

4.1 Mercado EUR/USD

El Euro fue introducido el 1 de enero de 2002 y se ha convertido en una alternativa para el comercio y la inversión en el mundo. En el trabajo se utilizan precios de las opciones proporcionados por un banco. Las tasas de interés utilizadas corresponden a tipos de interés de Estados Unidos y el Euribor (Euro Interbank Offered Rate).

4.1.1 Máxima Verosimilitud y Transformada de Esscher

En este apartado se estiman los parámetros del modelo Variance Gamma para calcular los precios teóricos de las opciones y se comparan los resultados con los precios de las opciones del mercado. Los datos corresponden a las opciones con vencimiento el 14 de marzo de 2011.

Para el cálculo de los parámetros de la medida de probabilidad histórica P usamos estimación de máxima verosimilitud implementado en *The R Project for Statistical Computing.*

Los resultados obtenidos son

$c = 0.08186$	$m = -0.09699$	$\sigma = 0.12303$	$k = 0.11840.$

Con estos parámetros se calcula la medida de riesgo neutral Q_{ET} vía Esscher Transform. La solución de la ecuación (11) es $\theta^* = 0.446397,$ por lo tanto los parámetros de Q_θ^* son

$c\theta^* = 0.08186$	$m\theta^* = -0.10430$	$\sigma\theta^* = 0.12336$	$k\theta^* = 0.11840.$

Por último, se aplica el método de Carr y Madan para obtener los precios teóricos de las opciones. Con este fin, se evalúa numéricamente la transformada inversa de Fourier. Los resultados se muestran en la Figura 2.

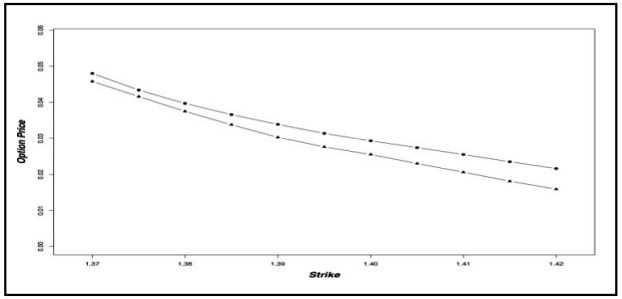


FIGURA 2: *Puntos: Precios de Opciones vía Esscher Transform. Triangles: Precio de Opciones de Mercado.*

En este caso, los precios calculados superan los precios de mercado en todos los strikes. La diferencia más notoria es en los valores más altos de los strikes.

4.1.2 Calibración en el Modelo Variance Gamma

En este apartado se calibra la medida de riesgo neutral Q_θ^* del modelo Variance Gamma dado mediante la ecuación (12).

Se utilizan precios de opciones de mercado con madurez el 14 de marzo de 2011. La equivalencia entre las medidas de probabilidad P y Q_θ^* implica que el parámetro correspondiente c coinciden Por esta razón hemos fijado $c = 0.08186.$

Los resultados son

$$c = 0.08186 \quad m = -0.6729 \quad \sigma = 1.0852 \quad k = 0.3363;$$

y se observan en la Figura 3.

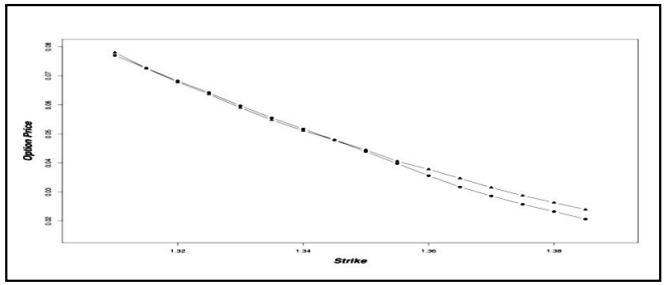


FIGURA 3: *Puntos: Precios de Opciones utilizando calibración en Variance Gamma. Triángulos: Precios de Mercado.*

4.1.3 Calibración en el Modelo Merton Jump Diffusion

En este apartado se calibra la medida de riesgo neutral Q_θ^* correspondiente al modelo Merton Jump Difusión modelo de Merton, siguiendo la ecuación (12). Para realizar esta calibración se utiliza precios de opciones de mercado de madurez 13 de diciembre 2010.

Los resultados son

$$\mu = 0.0599 \quad \sigma = 0.0316 \quad \lambda = 1.2786 \quad m = -0.0489 \quad \delta = 0.3175$$

y se comparan con los precios del mercado en la Figura 4. Se obtiene como conlusión que la calibración ofrece resultados razonables, especialmente teniendo en cuenta strikes centrales.

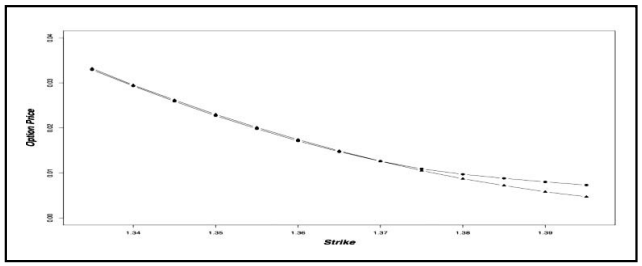


FIGURA 4: *Puntos: Precios de Opciones utilizando calibración en Merton Jump Diffusion. Triángulos: Precios de Mercado.*

4.2 Mercado USD/UYU

El sistema bancario uruguayo tiene ciertas peculiaridades, la participación de mercado de los cuatro bancos más grandes es muy alta y la participación del Estado supera el 50%.

La crisis económica de 2002 en Uruguay produjo una importante disminución en los depósitos bancarios, pertenecientes principalmente a los inversionistas no residentes. En los últimos años la relación entre los depósitos de residentes y no residentes de algún modo se ha estabilizado. Por otra parte, después de esta crisis, el comportamiento de los depositantes se ha modificado parcialmente, en particular, los depósitos a plazo se redujeron y los depósitos a la vista aumentaron.

Una característica principal del sistema bancario uruguayo consiste en su alta dolarización financiera, tanto en los depósitos y en los préstamos. Aunque en los últimos años se ha logrado disminuir parcialmente esta situación con la ayuda de ciertas políticas, en la actualidad la dolarización sigue siendo alrededor del 65% en los activos y pasivos. Esta característica tiene algunas desventajas evidentes, ya que Uruguay es una economía pequeña y sin importancia en los mercados internacionales, pero sin embargo recibe los impactos externos.

Basado en la metodología propuesta en la introducción aplicado al caso uruguayo, se obtiene que un préstamo de USD otorgado a un agente cuyo ingreso es en UYU, se puede expresar como un préstamo libre de riesgo en UYU y una opción de compra de dólares, en el que el beneficiario sea deudor.

Como se ha mencionado, el hecho de que en Uruguay no exista un mercado profundo de opciones tiene como consecuencia la no existencia de precios disponibles por lo cual se torna necesario realizar métodos alternativos para la valuación teórica de precios de opciones. A continuación, se elige la metodología Esscher Transform (desarrollada en secciones previas), que consiste en la estimación de la medida de probabilidad histórica basado en los precios históricos de la divisa y en el cálculo de la medida $Q_{ET.}$

Debido al hecho de que el tipo de cambio en Uruguay ha sufrido grandes movimientos hacia arriba debido a las devaluaciones ocurridas durante los períodos de crisis económica, se utilizan los modelos de salto, ya que el Modelo Variance Gamma brinda un mejor performance en la valuación con respecto al modelo de Black-Scholes. El Variance Gamma agrega dos parámetros que corresponden a la asimetría y el exceso de curtosis, que normalmente se observan en la distribución de rendimientos de activos.

En primer lugar, se estiman los parámetros del modelo Variance Gamma utilizando la cotización del dólar interbancaria desde el 4 de enero de 2010 al 31 octubre de 2011. Los resultados son

$$c = -2.2713 \qquad m = 0.8745 \qquad \sigma = 0.1367 \qquad k = 0.1184.$$

Estos parámetros definen la mediada de probabilidad histórica P and y al utilizar la ecuación (11) se obtiene $\theta^* = -0.5292$. Se prosigue a calcular los parámetros de la medida de riesgo neutral Q_{θ}^{*}

$$c_{\theta}^{*} = -2.2713 \qquad m_{\theta}^{*} = 0.9359 \qquad \sigma_{\theta}^{*} = 0.1406 \qquad k_{\theta}^{*} = 0.1184.$$

Una vez que se obtiene la medida de riesgo neutral, se aplica el método de Carr y Madan para calcular precios teóricos de las opciones. Estos precios se observan en la Tabla 1. Para comparar los resultados obtenidos, también se calculan los precios de opciones vía la fórmula de Black-Scholes con una volatilidad σ igual a la desviación estándar del proceso de riesgo neutral.

Strike	3 Meses	6 Meses	9 Meses	12 Meses	15 Meses	18 Meses	21 Meses	24 Meses
17.000	3,1743	3,5904	3,9614	4,3212	4,6821	5,0383	5,3992	5,7712
17.250	2,9587	3,3785	3,754	4,1188	4,4848	4,8461	5,2121	5,5893
17.500	2,7401	3,1637	3,5439	3,9137	4,285	4,6514	5,0226	5,4049
17.750	2,5186	2,9461	3,331	3,706	4,0826	4,4542	4,8306	5,2183
18.000	2,2941	2,7256	3,1155	3,4957	3,8776	4,0522	4,6362	5,0392
18.250	2,0666	2,5023	2,897	3,2825	3,6699	3,8472	4,4392	4,8376
18.500	1,8361	2,2759	2,6758	3,0686	3,4595	3,6399	4,2396	4,6435
18.750	1,6025	2,0468	2,4517	2,848	3,2463	3,4293	4,0375	4,447
19.000	1,3657	1,8146	2,2246	2,6265	3,0305	3,2162	3,8327	4,2479
19.250	1,1259	1,5793	1,9946	2,4021	2,8118	3,0004	3,6253	4,0461
19.500	0,8828	1,341	1,7617	2,1748	2,5903	2,7818	3,4152	3,8419
19.750	0,6365	1,0995	1,5257	1,9445	2,3659	2,5604	3,2024	3,6349
20.000	0,3871	0,8551	1,2866	1,7112	2,1386	2,3361	2,9868	3,4243
20.250	0,1623	0,6072	1,0444	1,475	1,9084	2,0921	2,7685	3,2128
20.500	0,0143	0,3377	0,7996	1,2181	1,658	1,8787	2,5309	2,982
20.750		0,1101	0,5506	0,9933	1,439	1,6456	2,3232	2,7799
21.000		0,0001	0,2981	0,7477	1,1996	1,4095	2,0962	2,5592
21.250			0,0732	0,4989	0,9573	1,1702	1,8663	2,3357
21.500				0,2469	0,7117	0,9279	1,6334	2,1092
21.750				0,0743	0,4629	0,6825	1,3975	1,8798
22.000					0,211	0,4277	1,1586	1,6474
22.250					0,0298	0,1696	0,9106	1,4063
22.500						0,0271	0,6793	1,1619
22.750							0,4343	0,9142
23.000							0,2083	0,7234
23.250							0,0058	0,5128
23.500								0,2991
23.750								0,0834

TABLA 1: *Precio de Opciones UYU dado por el Modelo Variance Gamma.*

En la Figura 5 se observan los precios de las opciones de madurez T = 1 (one year). En este caso, se concluye que los precios de opciones utilizando el Modelo Variance Gamma son significativamente mayores que los brindados por la fórmula clásica de Black-Scholes.

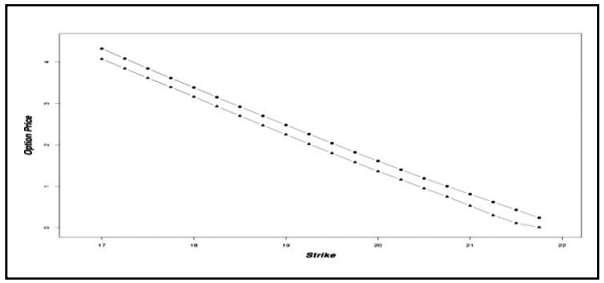


FIGURA 5: *Puntos: Precio de Opciones vía Esscher Transform in el Modelo Variance Gamma. Triángulos: Precio de Opciones vía la Fórmula de Black-Scholes.*

SECCIÓN 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se encontraron dos motivaciones primordiales para analizar la valuación de opciones en divisas.

La primera motivación es bien concreta. El valor de las opciones se puede utilizar para determinar el monto de las previsiones (pérdidas esperadas) para las distintas categorías de deudores bancarios. Otra posible aplicación del modelo es cuantificar las pérdidas inesperadas asociadas a los préstamos utilizando la metodología de Valor en Riesgo. Una tercera aplicación puede ser la aplicación de pruebas de tensión con el objetivo de estimar las pérdidas potenciales bajo condiciones extremas, como puede ser el caso de una devaluación.

La segunda motivación es analizar el impacto de las fluctuaciones del tipo de cambio sobre el valor de los activos, la solvencia de los bancos y la estabilidad del sistema financiero en una economía dolarizada. Este análisis sugiere, entre otras cosas, que la introducción de los derivados, como las opciones, puede ser un instrumento útil para mitigar el riesgo cambiario crediticio.

El modelo sugiere que algunos aspectos importantes que se deben tener en cuenta con el propósito de evaluar la estabilidad financiera en un entorno altamente dolarizado son: (a) la posición en cada moneda en relación con la posición libre de riesgo, (b) el porcentaje de activos que los bancos han concedido a prestatarios con descalce de monedas, (c) el sistema de previsiones y los requisitos de capital para los préstamos con descalce de monedas, (d) la forma en que la política monetaria tiende a suavizar la volatilidad del tipo de cambio, (e) cómo la política fiscal opera como ancla del tipo de cambio en el largo plazo, (f) el desarrollo de los mercados de derivados locales.

En relación a este último aspecto, se propone evaluar la posibilidad de desarrollar el mercado de opciones para cubrir el riesgo tipo de cambio. Lo anterior se fundamenta en que el costo de la cobertura con una opción, medida por la tasa de interés implícita en moneda local pagada por el deudor, podría ser menor en muchos casos que el coste de la cobertura vía forward. Además, se argumenta que las opciones son más flexibles, se transfiere el riesgo de pérdida pero no las posibilidades de ganancia y no requiere tener una línea de crédito o un depósito en garantía.

Para el desarrollo de un mercado de opciones es preciso tener un modelo adecuado de valuación de estas opciones. Debido a la asimetría y la curtosis que surgen de las series de los activos financieros, en particular, de los tipos e cambio, es conveniente considerar modelos más flexibles que el modelo clásico de Black-Scholes, como los modelos de saltos de Lévy. En el trabajo se utilizan modelos financieros para calcular los precios de opciones en el mercado de divisas. Los Procesos de Lévy proporcionan flexibilidad y admiten algoritmos computacionales eficientes. Estos modelos de mercados financieros tienen la característica de ser mercados incompletos (como los mercados reales) por lo cual presentan varias medidas para la probabilidades de riesgo neutral.

La liquidez de los mercados depende de las monedas involucradas. Por esta razón, en el trabajo se analiza la valuación de opciones en dos mercados diferentes: el mercado USD/UYU donde no se dispone de precios de opciones y el mercado EUR / USD que es un mercado normalmente líquido, donde se aplican diferentes metodologías de fijación de precios. El primero se basa en la metodología de la Transformada de Esscher y la esti-

mación dela probabilidad histórica (para los mercados no líquidos, requiere datos de tasa de cambio históricos) y la segunda se basa en la calibración (para mercados líquidos, se utiliza el precio de las opciones).

Los resultados empíricos en el caso de EUR/ USD muestran que la calibración brinda mejores resultados que la Transformada de Esscher. Esto es razonable debido a la información implícita proporcionada por los precios de las opciones. En el caso de USD/UYU, como el método de calibración no es aplicable, se aplica la metodología de la Transformada de Esscher y se comparan los resultados alcanzados con los que surgen del modelo Black-Scholes. Los precios calculados con el modelo de Lévy son mayores que los que se derivan de la fórmula de Black-Scholes. Lo anterior es una consecuencia de la presencia de grandes movimientos – saltos - en el tipo de cambio, por lo general hacia arriba, no hacia abajo. Los saltos hacia arriba y no hacia abajo se producen porque el Banco Central se siente más cómodo cuando compra de dólares, con el objetivo de amortiguar su caída, respecto a las situaciones en que tiene que vender divisas para evitar que el mismo suba.

Se espera que la metodología propuesta logre ser un instrumento útil para la discusión de la gestión del riesgo cambiario crediticio, proporcionando un punto de partida para el desarrollo de un mercado de opciones en divisas y se desarrolle como una herramienta que contribuya a la evaluación de la estabilidad de sistemas financieros altamente dolarizados.

REFERENCIAS

Azabache, Pablo (2005). Aproximando la importancia del riesgo cambiario crediticio en sistemas parcialmente dolarizados. Working Paper, Ministry of Economics and Finance of Peru.

Bartram, Sohnke and Gregory Bodnar (2012). Crossing the lines: The conditional relation between exchange rate exposure and stock returns in emerging and developed markets. *Journal of International Money and Finance, 31*, pp. 766-792.

Black, Fischer and Myron Scholes (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy, 81*, pp. 637-654.

Bussiére, Matthieu, Saxena Sweta and Camilo Tovar (2012). Chronicle of currency collapses: Re examining the effects on output. *Journal of International Money and Finance, 31*, pp. 680-708.

Carr, Peter, Hélyette German, Dilip Madan and Marc Yor (2002). The fine structure of asset returns: An empirical investigation. *Journal of Business, 75*, pp. 305-332.

Carranza, Luis, Enrique Galdon and José Gomez (2009). Exchange rate and inflation dynamics in dollarized economies}. *Journal of Development Economics 89*, pp. 98-108.

Chan Lau, Jorge (2005). Hedging foreign exchange risk in Chile: markets and instruments. Working Paper, WP/05/37.

Cont, Rama (2001). Empirical properties of asset returns: Stylized facts and statistical issues. *Quantitative Finance 1*, pp. 1-14.

Cont, Rama and Peter Tankov (2003). *Financial Modelling with Jump Processes*. Chapman & Hall: London, United Kingdom.

De Nicolo, Gianni, Patrick Honohan and Alain Ize (2005). Dollarization of bank deposits: Causes and consequences. *Journal of Banking & Finance 29,* pp. 1697-1727.

Gerber, Hans and Elíaz Shiu (1994). Option Pricing by Esscher *Transform. Transactions of Society of Actuaries 46,* pp. 99-140.

Han, Lee and Lui Yin (2011). Forwards or Options? Currency risk hedging for international portfolios via stochastic programming. *Journal of Finance and Economics 72*, pp. 84-99.

Holland, Marcio, Marco Resende, and Fabricio Vieira (2012). Financial dollarization and systemic risks: New empirical evidence. *Journal of International Money and Finance 31*, pp. 1695-1714.

Honig, Adam (2009). Dollarization, exchange rate regimes and government quality. *Journal of International Money and Finance 28,* pp. 198-214.

Jadresic, Esteban and Jorge Selaive (2005). Is the FX Derivatives market effective and efficient in reducing currency risk? Working Paper 325.

Kyprianou, Andreas (2006). *Introductory Lectures on Fluctuations of Lévy Processes with Applications.* Springer: Munich, Germany.

Madan, Dilip, Peter Carr, and Eric Chang (1998). The Variance Gamma process and option pricing. *European Finance Review 2,* pp. 79-105.

Merton, Robert (1974). On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates. *Journal of Financial 22,* pp.449-470.

Merton, Robert (1976). Option pricing when underlying stock returns are discontinuous. Journal of Financial Economics 3, pp.69-82.

Mihaljek, Dubravko and Frank Packer. (2010). Derivatives in emerging markets. Working Paper, Bank for International Settlements (2010).

Mikosh, Thomas (1998). Elementary Stochastic Calculus with Finance in View. World Scientific Publishing: Groningen, Netherlands.

Mishkin, Frederic. (2004). *The Economics of Money, Banking and Financial Markets.* Pearson: New York, United States.

Mordecki, Ernesto, Alejandro Pena y Andrés Sosa (2013) *Exchange Credit Risk: Measurement and Implications on the stability of parcially dollarized financial systems*. Risk Governance and Control: Financial Markets and Institutions. Vol. 3, Issue 2, pp. 58-71.

Pena, Alejandro. (2009). El riesgo cambiario crediticio medido a partir de opciones. Revista de economía 16, pp. 219-256.

Sato, Ken-iti. (1999). *Lévy Processes and Infinitely Divisible Distributions.* Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom.

Saxena, Sweta and Agustín Villar (2008). Hedging instruments in emerging market economies. Working Paper, Bank for International Settlements.

Shiryaev, Albert. (2003). *Essentials of Stochastic Finance.* World Scientific Publishing: Moscow, Russia.

Winkelried, Diego. and Paul Castillo (2010). Dollarization persistence and individual heterogeneity. *Journal of International Money and Finance 29*, pp. 1596-1618.