Universidad de San Andrés

Escuela de Administración y Negocios

Magister en Finanzas

Trabajo Final de Graduación

Cobertura del riesgo cambiario en un mercado con restricciones

Autor: Diego Eduardo Zuliani

DNI 28.495.535

Director

Alejandro E Loizaga

Codirectora

Elsa Cortina

Jujuy, Abril 2023

"para Alberto Zuliani mi padre,

mi faro, mi estrella"

Resumen

En países donde existe una necesidad apremiante de frenar el deterioro de la balanza de pagos, suelen aparecer desdoblamientos cambiarios formales o informales. La relativa escasez de divisas genera restricciones a su compra y derivan en el nacimiento de mercados paralelos. En dicho contexto, los instrumentos financieros tradicionales de cobertura pueden tornarse inadecuados e insuficientes frente a un nuevo valor de la divisa, a un nuevo tipo de cambio, el cambio libre o paralelos. Entre las paridades cambiarias alternativas, se encuentra el denominado contado con liquidación (CCL), que resulta del tipo de cambio implícito en las cotizaciones de títulos bimonetarios listados en mercados locales e internacionales.

El objetivo de este trabajo es desarrollar y probar una opción sintética de cobertura que pueda cubrir el riesgo cambiario en torno al tipo de cambio contado con liquidación, así como el de determinar su eficacia, y construir un modelo de equilibrio de dicha cobertura.

INDICE

I. Introducción

En un mundo globalizado, las empresas están expuestas a diversos riesgos, uno de los cuales es el riesgo cambiario. Las fluctuaciones en los tipos de cambio pueden tener un gran impacto en los flujos de caja actuales y futuros generados por las actividades financieras y operativas de las diversas firmas. De hecho, en una encuesta realizada por la consultora Pricewaterhouse y el Wall Street Journal en 2004, las fluctuaciones en los tipos de cambio se consideraron la tercera mayor amenaza para el desarrollo empresarial internacional, según 1.400 directivos. (Búa, 2010)

De acuerdo con (LEVI, 1997), el riesgo cambiario se refiere a la variabilidad de los valores de los activos, pasivos o ingresos en términos reales, y de la moneda nacional o de referencia para la empresa debido a las variaciones no anticipadas del tipo de cambio. El riesgo cambiario depende de la intensidad de las fluctuaciones del tipo de cambio, que a su vez depende de la volatilidad asociada con las divisas, así como del grado de exposición de la empresa a estas fluctuaciones.

Para paliar este riesgo las empresas tienen diversas estrategias de cobertura disponibles (foward, futuros, opciones, swap, cambios en la estructura de financiamiento, cambios en las políticas de cobranza o pago, etc), sin embargo, utilizan principalmente productos derivados financieros para ello. De acuerdo a una encuesta de Fortune Global 500, el 94% de las empresas utilizaba productos derivados para la gestión del riesgo en 2008, principalmente los de divisas y los de tipo de interés.

¿Pero qué ocurre con los instrumentos financieros de cobertura en un desdoblamiento cambiario?

Durante las últimas cuatro décadas, cerca de 50 países en todo el mundo han experimentado la existencia de un mercado cambiario desdoblado en el que coexisten dos tipos de cambio: uno oficial y otro paralelo, ya sea formalizado por el gobierno o no. El surgimiento de este sistema se debe principalmente a la falta de divisas para cumplir con los compromisos comerciales y financieros internacionales, como resultado de políticas económicas internas que generaron desequilibrios fiscales y monetarios, lo que se manifestó en forma de inflación y revaluación del tipo de cambio en términos reales. La mayoría de estos países respondieron a la escasez de divisas imponiendo restricciones a su compra en el mercado formal, lo que a su vez resultó en la creación de un mercado paralelo o negro (Cerruti, 2012).

El estudio realizado por Kiguel y OConnell (Kiguel, 1995) señala que existen dos causas principales por las cuales surge y se desarrolla un mercado cambiario paralelo. La primera se debe a la necesidad de los gobiernos de frenar el deterioro del balance de pagos, es decir, la falta de divisas, y recurren a una devaluación encubierta. La segunda causa surge como respuesta del mercado a los esfuerzos del gobierno por mantener artificialmente sobrevaluado el tipo de cambio oficial.

Argentina no es ajena a esta situación y desde su independencia hasta la actualidad ha atravesado numerosa cantidad de crisis, inclusive, ostenta el récord de ser el país qué más fenómenos de este tipo vivió en los últimos 70 años en toda América Latina (Vadosa, 2015).

Debido al desdoblamiento cambiario, las empresas que puedan acceder a mercados a términos sólo pueden protegerse con instrumentos financieros del tipo de cambio oficial (como con contrato a futuro), lo que las expone al riesgo de cambio libre. Esto significa que las coberturas de derivados solo protegen a las empresas contra fluctuaciones de valor en el cambio oficial, pero no garantizan la adquisición de la divisa, la cual solo se puede obtener a través del mercado libre o paralelo. El desdoblamiento cambiario, también desdobla la naturaleza de las deudas que puede contraer una empresa, y como consecuencia surgen deuda en dólares de dos tipos: a) Deuda en pesos ajustada por devaluación (denominadas dólar *Linked* en Argentina), que alcanza a las empresas habilitadas, obligadas y endeudas en documentos que permiten su cancelación en pesos al tipo de cambio oficial y b) Deuda en dólares billetes, la empresas que no teniendo accesos al mercado oficial de cambio, deban adquirir la divisa a través del mercado paralelo, lo que tiene a su vez un tipo de cambio diferente al oficial (denominadas dólar *hard* en Argentina).

II. Punto de partida

Consideramos una empresa o un fondo, cuya actividad se desarrolla en la Argentina e invierte en pesos, pero se ha endeudado en dólares y en un tiempo futuro ***t*** deberá cubrir dicha obligación que crece discretamente a una tasa ***Kd***. No es difícil darse cuenta, de que su estructura de financiamiento esta embebida del riesgo cambiario, máximo si en un contexto de desdoblamiento cambiario su obligación es la de entregar la divisa.

Las cantidades de cobertura óptima y de equilibrio se darán en la medida del ritmo de crecimiento del pasivo en dólares, los retornos de los activos en pesos y el resultado de la cobertura.

Se trata de una estructura ALM (*asset and liability management*), es decir, un porfolio compuesto de dos activos, un activo en pesos A1 y su cobertura A2 que enfrente una obligación futura que crece a una tasa conocida, es decir:

$$Porfolio\ en\ pesos = w_1 A_{1+} w_2 A_2$$

$$Deuda\ en\ dolares = D\,(1 + k_d)^t$$

Dado que existe una cantidad de deuda D, que devenga una tasa de interés ***Kd***, el rendimiento del porfolio en dólares deberá ser al menos igual a esa tasa, es decir, en equilibrio:

$$r_p = w_1 r_{a1+} w_2 r_{a2} = k_d$$

Para poder analizar la suficiencia del porfolio deberemos valuar el rendimiento en dólares, por ello luego de obtener el resultado en pesos debemos convertir a dólares equivalentes. De esta manera el rendimiento del activo en pesos A1 experimentará una reducción cuando exista una devaluación y por el contrario la cobertura dada por el activo dos (A2) deberá experimentar un beneficio o incremento frente al mismo escenario.

Podemos expresar esto de la siguiente manera, el rendimiento efectivo en dólares del activo 1, será igual a:

$$r_{a1t} = \left(\frac{V_f}{V_i} \cdot \frac{f_0}{f_t}\right) - 1 \qquad (1)$$

Donde

r_{a1t}: es la rentabilidad diaria en pesos del activo A1 en el tiempo t

Vf: es el valor final en pesos del activo 1 en el tiempo t

Vi: es el valor inicial o monto invertido en el momento inicial

f_0 :Tipo de cambio en el momento inicial

f_t :Tipo de cambio en el momento t

La ecuación (1) muestra el resultado en dólares de una inversión en pesos, ya que se encuentra ajustada por devaluación.

Por su parte, el resultado efectivo de la cobertura sujeto a cambios por devaluación se expresa de la siguiente manera:

$$r_{a2t} = \left(\frac{f_t - f_0}{f_t}\right) * D\ (1 + kd) * \frac{1}{w_2 * D} - 1$$

Luego

$$r_{a2t} = \left(\frac{f_t - f_0}{f_t}\right) * \frac{(1+kd)}{w_2} - 1 \tag{2}$$

Donde

w2: Es porcentaje del porfolio aplicado a la cobertura

kd: Es el costo de la deuda proporcional al periodo analizado

Como puede observarse si tipo de cambio *f* aumenta en t, rA1 disminuirá y rA2 aumentará.

La forma tradicional de cobertura, podría consistir en adquirir una cantidad suficiente de contratos de futuros u opciones, como para cubrir la obligación o deuda en un tiempo ***t***, pagando una prima en el caso de la opción Call.

El Call, funciona de la siguiente manera: determinado un precio futuro, llamado ***strike*** (ke), el emisor del título otorga el derecho, pero no la obligación, de comprar una cantidad del activo subyacente, a ese precio (***ke***), a cambio de una prima. De esta manera, si debo pagar una deuda de ***Dt*** dólares en un futuro determinado, resulta necesario comprar opciones que me cubran exactamente ***Dt*** cantidades de dólares.

El Call se adquiere a un precio conocido y cierto del subyacente, dicho precio es el precio ***spot*** al momento t0(inicial). Cuando se paga la prima de la opción, esta prima no es otra cosa que el precio del Call, considerando una volatilidad implícita determinada, y para un tiempo futuro también conocido. Así, el mercado le otorga un valor a la opción, que busca la cobertura del movimiento del activo subyacente.

Como consecuencia, la compra de una opción Call, sobre una cantidad ***D*** de dólares a una fecha futura que se iguale al del vencimiento que enfrenta el administrador, permite cubrir las alteraciones en el tipo de cambio OFICIAL. Es decir, el mercado opera en tipos de cambios definidos por la autoridad monetaria, el BCRA en el caso de la Argentina. El Banco Central, define un tipo de cambio mayorista, que se utiliza en las bolsas para las coberturas Call y en los contratos de futuros de monedas.

Pero en un contexto de desdoblamiento cambiario, los mercados a términos, para cubrir obligación en divisa, donde se debe adquirir la moneda, no son adecuados, y no asegura nada al portfolio manager respecto de su deuda en dólares, ya que debe ajustarse al tipo de cambio paralelo.

La pregunta forzada es ¿cuál es el instrumento de cobertura del tipo de cambio libre?, es decir, ¿Que es A2?

III. Problemas y premisas

El punto de partida es la de una empresa que enfrenta una obligación futura en dólares, y que NO tiene acceso a un mercado a término, que tenga como subyacente al dólar libre. Debemos determinar si hay una manera de construir una cobertura, para luego calcular la cantidad suficiente de aquella, es decir, el tamaño de A2.

Los dólares libres en una economía con desdoblamiento cambiario pueden ser variados, en Argentina se habla de dólar blue, dólar MEP, dólar CCL, dólar soja, dólar Qatar, dólar celeste y otros tantos que fueron surgiendo frente a situaciones especiales o sectores y eventos particulares.

La tesis se enfocará en el tipo de cambio Contado con Liquidación (CCL), un tipo de cambio implícito. Existen varias modalidades para realizar estas operaciones en el mercado financiero, como la compra y venta de Títulos Públicos en pesos y en dólares, la conversión de acciones locales en ***American Depositary Receipts*** (ADR) y la compra de Certificados de Depósito de Argentina (Cedears) que se convierten en acciones extranjeras para su venta en moneda extranjera. Estas operaciones pueden realizarse en distintos mercados y tener diferentes formas de liquidación. (UBA, 2012)

Desde la teoría financiera, la solución a la cobertura del tipo de cambio contado con liquidación debiera ser un Call del CCL. Debido a que no existe dicho instrumento, la cuestión se encuentra en poder armar un porfolio sintético que replique el Call del CCL. En la figura 1, se esquematiza el problema y la pregunta de la tesis

Figura 1. Esquema del problema

Previamente a la construcción del sintético deberemos hacer algunos supuestos o premisas importantes respecto al CCL, lo que conformarán los constituyentes del andamiaje del modelo.

Premisa 1: existe una relación estructural de precios

Por construcción y en ciertos casos por condiciones formales de emisión, el tipo de cambio CCL es en todos los casos igual a[1] :

$$CCL = \frac{Precio\ en\ pesos}{Precio\ en\ USD} \tag{3}$$

En consecuencia, podemos decir que:

$$Precio\ en\ Pesos\ (S) = Precios\ en\ USD\ (S') \ .\ CCL \tag{4}$$

Esta premisa describe cómo se forma el tipo de cambio implícito.

Premisa 2: convergencia por agotamiento de arbitraje

Debido a que existe un CCL por cada instrumento, supondremos que todos ellos tienden a converger entre sí. Ello es cierto, toda vez que exista arbitraje permanente de los agentes de bolsa, que frente a diferencias significativas de tipo de cambio arbitrarán realizando operaciones en corto entre los mercados en los que se listen los títulos respectivos.

Para ilustrar este punto de agotamiento, tomemos un ejemplo. Supongamos que en un momento el CCL generalizado en el mercado se encuentra en el orden de 400:1, es decir, que por cada dólar en el mercado financiero se obtiene cuatrocientos pesos, y un CEDEAR, por ejemplo, Coca-Cola, cuyo precio en pesos S = 16.000, su ratio de conversión a =1 y su precio en dólares cotiza a S´: 40 USD, es decir, a un tipo de cambio implícito CCL de 1600/40 =400, es decir, está a mercado. Ahora supongamos que, por alguna razón en el mercado local, el precio en pesos cae, es decir, lo que se reduce únicamente es el CCL de coca cola y no el resto de instrumento, supongamos que ahora cotiza en pesos a $ 12.000, en ese momento, el CCL será igual a 12.000/40 =300. Frente a esta situación un agente, adquiere el CEDEAR, gira y desarma el certificado en el mercado internacional de NY y vende una acción de KO, a 40, haciéndose de dólares a un tipo de cambio 300. Esta operación podría hacerla en corto y en simultáneo, es decir, vender en corto en el mercado de NY, al mismo tiempo que adquiere el CEDEAR en argentina, para luego remitir y cubrir su posición, sin riesgo de precios. Este mecanismo impulsará a los actores a comprar KO en pesos, hasta hacerlo subir nuevamente al CCL de equilibrio. Como consecuencia el CCL tendera a converger.

Para probar esta premisa, se hicieron test de media entre el tipo de cambio de ADR Galicia y los bonos soberanos AL30, la prueba con una muestra de 533 datos arrojó la aceptación de la hipótesis nula con un nivel de significación del 5% y un desvió objetivo de un peso, lo que nos

[1] Algunos instrumentos poseen ratios de conversión, estos son factores fijos previamente conocidos y definidos por la autoridad de aplicación. Supondremos que esta ratio es siempre igual a uno.

indica que no existe una diferencia significativa y son poblaciones estadísticamente similares. En el ANEXO se detalle los cálculos.

La figura 2, muestra gráficamente cómo los CCL de la acción de la empresa Galicia y el del título de deuda soberano AL30 se comportan de manera similar.

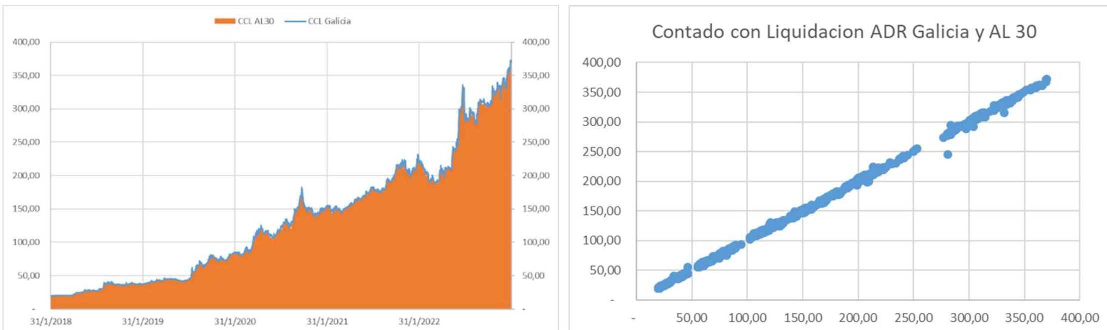


Figura 2. Comparación CCL Galicia y AL30

La convergencia de los CCL es una hipótesis fundamental, pues trae implícito que los movimientos en dólares de los activos tienen un comportamiento que puede aislarse y separarse del impacto del tipo de cambio, el cual es ahora un parámetro independiente y de mercado, debido a la convergencia y al agotamiento por arbitraje. Podemos decir, pues, que:

$$S(t) = S'(t)\ .\ fx\ (t) \tag{5}$$

donde

S(t), es el precio en pesos del subyacente en ***t*** en el mercado local

S´(t), es el valor en dólares del activo en ***t*** en el mercado extranjero

***fx* (t)** es el tipo de cambio contado con liquidación en t

Premisa 3: condiciones generales de mercado

Finalmente, deberemos considerar en la hipótesis que los mercados donde opera el CCL son líquidos y profundos, y el mercado opera libremente, es decir:

1. Mercado eficiente: La tesis asume que los precios de los activos financieros reflejan toda la información disponible en el mercado.
2. Los rendimientos del activo subyacente son log normales: La tesis supone que los rendimientos del activo subyacente siguen una distribución lognormal.
3. No hay costos de transacción: Se asume que no hay costos asociados con la compra o venta de opciones o del activo subyacente.
4. No hay oportunidades de arbitraje: El modelo supone que no hay oportunidades de arbitraje, lo que significa que no se pueden obtener beneficios sin riesgo.

IV. Hipótesis

En la construcción de nuestro sintético de un Call, es importante que no se excluya la condición de transversalidad que nos permitan valuar al derivado y al mismo tiempo buscar excluir otros cambios no imputables a las variaciones del subyacente “CCL”

Para ello se planteó la siguiente hipótesis:

Hipótesis:

La compra de una opción Call sobre una ACCION local en pesos más un Put del ADR de esa misma acción en dólares, nos arroja una cobertura que se aproxima a un Call del CONTADO CON LIQUIDACION.

La idea es construir un portafolio sintético que esté cubierto por el *shock* de la acción. Dado la ecuación (5), podemos pensar que un Call en pesos enfrenta en el próximo instante un *shock* en el precio de la acción en dólares y un *shock* en el tipo de cambio, en caso de que el *shock* sea positivo (up) el Call devolverá ese resultado en el precio del derivado, por otra parte, si el precio en USD experimenta un descenso, el Put corrige ese *shock*.

La combinación de ambos permite un *hedge* del tipo de cambio, ya que el Put vacuna al subyacente en volatilidad de la acción en dólares hacia la baja y el Call recoge los incrementos del CCL.

Para probar la hipótesis se han desarrollado dos metodologías. En la siguiente sección se evaluará de manera analítica el comportamiento del sintético. En la sección posterior se realiza un análisis algebraico.

V. Método analítico

Este método consiste en la desagregación y descomposición en partes más pequeñas y elementales del problema.

En nuestro caso, vamos a estudiar todos los estados de naturaleza que pudiera enfrentar el sintético, ver su comportamiento y compararlos con los cambios en relación al CCL y a un Call Teórico.

Para saber cuántos escenarios debemos considerar usaremos análisis combinatorio de siete situaciones entre las variables de la ecuación (5).

Podemos expresar esta relación de la siguiente manera: las variables CCL y S', pueden adoptar los siguientes valores: que no cambie, que baje más que la otra variable, que baje igual que la otra variable, que baje menos que la otra variable, que suba menos que la otra variable, que suba igual que la otra variable, que suba más que la otra variable. Luego n = 7, tomados de a dos. Es decir, los valores de precio pueden no cambiar, subir poco, medianamente o significativamente o bajar en el mismo sentido.

La combinatoria de estos grupos es igual a

$$(n\,r\,) = \frac{n!}{r!\,(n-r)!}$$

Lo que arroja 21 combinaciones posibles. En la figura siguiente se esquematizan las combinaciones entre los cambios del CCL y el Px en USD

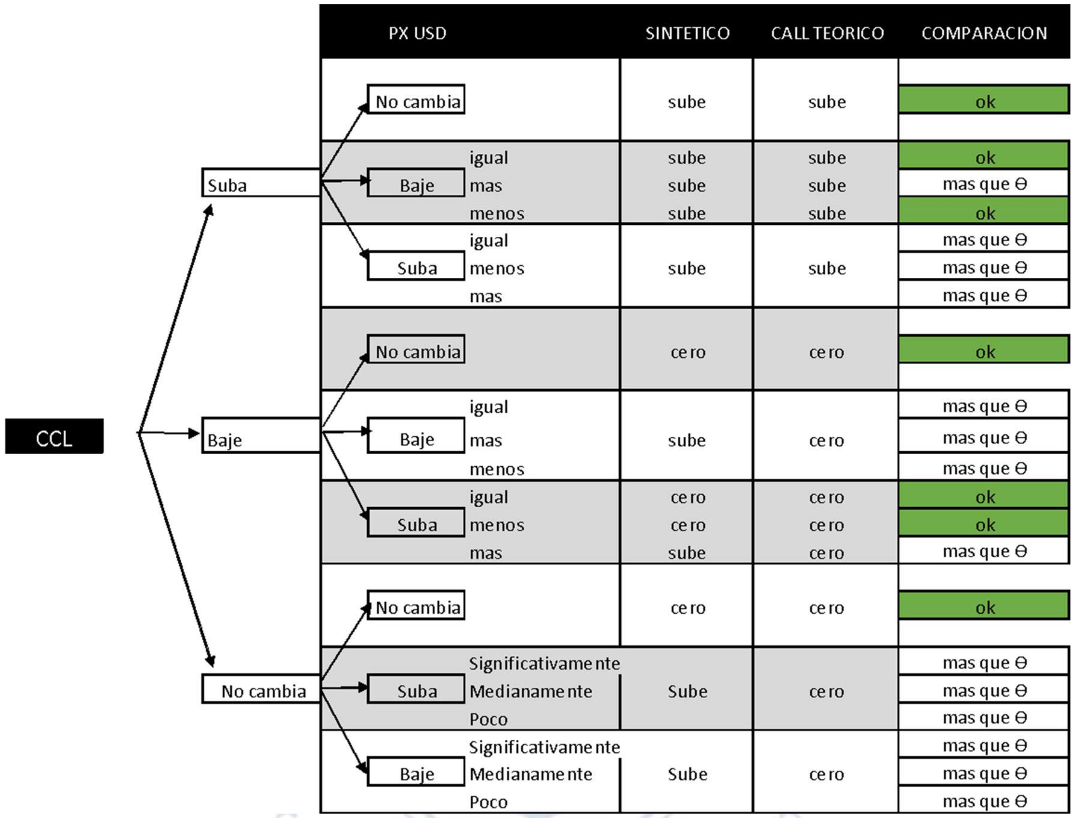


Figura 3. Estado de naturaleza

Podemos resumir los cambios en los estados de la siguiente manera:

Estados	Timpo de cambio	Precio en USD	Precio Pesos	Call	Put	Efecto Total	Cambios Cob Vs CCL	Diferencias
1	sube	cero	sube	sube	cero	sube	igual	0
2	sube	baja	cero	cero	sube	sube	igual	0
3	sube	baja	baja	cero	sube	sube	igual	mas que ϴ
4	sube	baja	sube	sube	sube	sube	igual	0
5,6, 7	sube	sube	sube	sube	cero	sube	igual	mas que ϴ
8	baja	cero	baja	cero	cero	cero	distinto	ϴ baja mas
9,10,11	baja	baja	baja	cero	sube	sube	distinto	ϴ baja mas
12	baja	sube	cero	cero	cero	cero	distinto	ϴ baja mas
13	baja	sube	baja	cero	cero	cero	distinto	ϴ baja mas
14	baja	sube	sube	sube	cero	sube	distinto	mas que ϴ
15	cero	cero	cero	cero	cero	cero	igual	0
16,17,18	cero	baja	baja	cero	sube	sube	distinto	mas que ϴ
19,20,21	cero	sube	sube	sube	cero	sube	distinto	mas que ϴ

Figura 4. Cuadro simplificado

Veamos uno por uno los escenarios planteados.

Escenario 1: sube el tipo de cambio

En el primer estado el tipo de cambio subirá y el precio en dólares de la acción se mantendrá invariable. En ese supuesto el Call vía precio en pesos aumentará y recogerá el aumento del tipo de cambio. Esto será en igual cantidad y en este caso habrá una cobertura perfecta.

En el segundo, tercer y cuarto estado el tipo de cambio sube y al mismo tiempo el precio de la acción baja. Cuando los cambios se compensan exactamente, el Put recogerá el incremento del tipo de cambio y el sintético reproducirá una cobertura perfecta, ya que ambos cambios son iguales.

En el tercer estado de naturaleza, cuando la caída del precio en dólares supera el incremento del CCL, el Put recoge los cambios y el sintético reproducirá por esa diferencia un rendimiento mayor que la variación del CCL.

En el cuarto estado de naturaleza, cuando la caída del precio en dólares sea menor que el aumento del CCL, por construcción el precio en pesos también se incrementara. Como consecuencia una parte se recogerá con el Put (la parte de caída del precio en dólares) y otra parte, el diferencial entre los cambios, se acumulará con el Call en pesos. El efecto combinado, produce una cobertura exacta del sintético respecto de la variación del CCL.

En los estados 5, 6 y 7, ambas variables se incrementan, el Call recoge ambos aumentos y el sintético se comporta en el mismo sentido, pero con un rendimiento superior originado en el incremento del precio en dólares.

Escenario 2: baja el tipo de cambio

En este escenario el análisis se inició en el estado 8, donde el precio en dólares es invariante. En este caso el Put no reaccionará, pues no hubo cambios en el precio. De igual manera el Call no se modificará, ya que la reducción del CCL producirá que el precio en pesos se reduzca y que el Call no reaccione. Como consecuencia el sintético se moverá como debiera hacerlo un Call, el cual es asimétrico.

Los estados 9, 10 y 11, ocurren cuando el tipo de cambio baja y el precio de la acción en dólares baja, de igual, menor o con mayor fuerza que el subyacente teórico. En todos estos casos el efecto será el mismo, el sintético arrojará un resultado positivo. Recordemos que por definición el Call protege a la suba de precios y en estos escenarios debiera ser cero, por lo tanto, el resultado será superior al impacto cambiario.

En el estado 12, la caída del tipo de cambio es igual que el incremento en el precio en dólares y en consecuencia el precio en pesos no experimenta cambios. El Put no arrojara resultado, al igual que el Call en pesos. Del mismo modo el sintético al igual que el Call teórico no cambiaran, esto es lógico, ya que como se indicó, el Call teórico al ser asimétrico tampoco debiera cambiar por una caída en el subyacente.

En el estado 13, el incremento del precio en dólares fue mayor que la reducción del CCL y como consecuencia el precio en pesos aumentara. El resultado arrojará un rendimiento adicional, ya que el Call recogerá ese diferencial, ergo, el sintético rendirá más que el Call teórico.

En el estado 14, el precio en dólares sube menos que la caída del CCL, en consecuencia, el precio en pesos se reduce. En estos casos tanto el Call como el Put no reacción y el sintético se comporta asimétricamente e igual que el Call teórico.

Escenario 3: el tipo de cambio es invariante

El estado 15, es una situación de estabilidad en todas las variables y el comportamiento del sintético y el Call teórico será idéntico.

En los estados 16,17,18,19,20 y 21, los derivados experimentaran un retorno, y el sintético supero al Call teórico, quien al igual que el subyacente debió mantenerse invariante.

Es importante pensar que el sintético trata de replicar el Call del tipo de cambio y no al subyacente. En consecuencia, los resultados deben analizarse en comparación con él. Esto es así pues si el objetivo de la construcción del sintético es definir un Call del CCL, este derivado tendrá dos estados de naturaleza, positivo o cero en la medida que el tipo de cambio aumente, pero en todos aquellos casos en que se reduzca, como cualquier Call, su resultado asimétrico será cero.

Para ver los efectos cuantitativos, supongamos que construimos el sintético de la siguiente manera:

Compramos un Call en pesos de una acción, el precio spot es de 3500 pesos igual a 10 usd (precio en dólares), por el tipo de cambio CCL 350 en el momento 0. Al mismo tiempo compramos un Put. Tanto el Call como el Put, son at *the money.*

Veamos en la figura cómo se comporta la cartera frente a cambios ascendentes y descendentes del tipo de cambio, en el supuesto de que ocurra una devaluación que lleva al dólar de 350 a 385 o una revalorización que lleva al dólar de 350 a 300:

Escenario	Estado	Poder adquisitivo	Timpo de cambio	Precio en USD	Precio Pesos	Call	Put	Efecto Total	Cobertura	Efecto USD	Call Teorico	Comparacion
1	1	- 0,91	385,0	10,0	3.850,0	350,0	-	350,0	igual	0,91	sube	ok
	2	- 0,91	385,0	9,1	3.500,0	-	0,9	350,0	igual	0,91	sube	ok
	3	- 0,91	385,0	7,0	2.695,0	-	3,0	1.155,0	igual	3,00	sube	de mas
	4	- 0,91	385,0	9,5	3.657,5	157,5	0,5	350,0	igual	0,91	sube	ok
	5,6,7	- 0,91	385,0	12,0	4.620,0	1.120,0	-	1.120,0	igual	2,91	sube	de mas
2	8	1,67	300,0	10,0	3.000,0	-	-	-	igual	-	cero	ok
	9,10,11	1,67	300,0	8,3	2.499,0	-	1,7	501,0	distinto	1,67	cero	de mas
	12	1,67	300,0	11,7	3.500,0	-	-	-	igual	-	cero	ok
	13	1,67	300,0	12,0	3.600,0	100,0	-	100,0	distinto	0,33	cero	de mas
	14	1,67	300,0	10,2	3.060,0	-	-	-	igual	-	cero	ok
3	15	-	350,0	10,0	3.500,0	-	-	-	igual	-	cero	ok
	16,17,18	-	350,0	9,0	3.150,0	-	1,0	350,0	distinto	1,00	cero	de mas
	19,20,21	-	350,0	11,0	3.850,0	350,0	-	350,0	distinto	1,00	cero	de mas

Figura 5. Ejemplo numérico

Frente a un Call teórico, el sintético se comporta igual o mejor, es decir arroja un resultado igual a los cambios del subyacente o superior al esperado.

Conclusión importante: la aplicación del enfoque analítico nos mostró que el sintético proporciona una cobertura con un rendimiento similar o incluso superior al de una opción Call teórica, lo que lo convierte en una estrategia de cobertura adecuada.

VI. Método algebraico

Hasta aquí se ha comprobado de manera analítica, que el sintético puede ajustarse a un Call teórico del contado con liquidación. Ahora trataremos de explicar cómo se comporta el sintético en un infinitésimo de tiempo, para lo cual desarrollaremos las derivadas apoyándonos en los trabajos de Black and Shcole (BS).

Antes de pasar a derivar al sintético, deberemos considerar que el diferencial del Call teórico del contado con liquidación, requiere suponer que el tipo de cambio se ajusta a un proceso de Wiener. En general, los economistas consideran que el tipo de cambio es una variable aleatoria browniana. Esto se debe a que el tipo de cambio se ve afectado por una gran cantidad de factores impredecibles, como las fluctuaciones económicas, los cambios en las políticas monetarias y fiscales, los eventos geopolíticos, entre otros. (Taylor, 2007)

Una forma de llegar a la fórmula de BS, es a través de la ecuación diferencial, sujetas a ciertas condiciones de bordes. Concretamente, dado que, en BS, el precio de la acción se distribuye lognormal, la dinámica del precio puede ser descrita por un movimiento Browniano geométrico (Fernández, 1999). Esto permite avizorar que resulta sostenible extrapolar al modelo al tipo de cambio CCL.

Repasemos los supuestos de nuestro sintético

1. Los subyacente siguen paseos al azar log normales en ambos mercados.

2. El subyacente no paga dividendos

3. El delta *hedging* es continuo

4. No hay costos de transacción

5. No hay oportunidades de arbitraje

6. Las opciones son europeas

7. Se admite posición short

Como se indicó la cartera está compuesta por un *long* Call *vanilla* C(S, t) sobre una acción S(t) denominada en pesos, que se comercializa en el mercado argentino, más un *long* Put *vanilla* P(S′, t) sobre el ADR denominado en dólares que se comercializa en el mercado internacional. La fecha de vencimiento T es la misma para las dos opciones, los precios de ejercicio S y S′ y los montos X y X′ que se adquieren en la estrategia son equivalentes de acuerdo a la expresión (5).

Llamamos Π al portafolio sintético que se escribe como

$$\Pi = C(S,t) + P(S',t)fx(t), \tag{6}$$

Analicemos cada parte de nuestra hipótesis.

Subyacente: Se trata de una acción argentina que se negocia también en el mercado americano. Por ejemplo, Banco Galicia cotiza en Argentina bajo el *ticker* GGAL.BA y en New York bajo el *ticker* GGAL.

El Call en pesos es sobre la cotización del subyacente en el mercado local, es decir, es una opción en pesos.

El Put es un derivado en dólares y es sobre el ADR y cotiza en mercado internacional sobre el precio de la acción en dólares.

El tipo de cambio, f(x), es el valor del CCL al momento t, proveniente del mismo ADR.

Por su parte ***X*** es la cantidad de contrato de Call y Put que se adquiere en la estrategia. Esta cantidad no es aleatoria o indeterminada, sino que surge como consecuencia del *hedge*. Debido a que la unidad de cobertura estará dada por el precio en dólares del subyacente, la acción y ADR, ***X*** será igual a la DEUDA /S´. Por ejemplo, si el nocional de la deuda a cubrir fueran 100.000 usd (cien mil dólares) y el precio del subyacente fueran 10 diez dólares, se deberán comprar diez mil contratos Put y Call para hacer el *hedge*. Al ser ***X*** un parámetro, desaparece en el análisis diferencial.

De acuerdo con la hipótesis de log normalidad de los subyacentes y la tasa de cambio, sus comportamientos están descritos por las ecuaciones

$$\mathrm{S}'(\mathrm{t}) = S'(0)\ exp\ [\mu_1\, t +\ \sigma_1 W_1], \tag{7}$$

$$f\mathrm{x}(\mathrm{t}) = fx(0)\ exp\ [\mu_2\, t +\ \sigma_2 W_2], \tag{8}$$

donde suponemos μi y σi, i = 1, 2 constantes, y W1 y W2 son dos movimientos Brownianos correlacionados, es decir

$$dW_1 dW_1 = dW_2\, dW_2 = dt\ ,\ \ dW_1\, dW_2 =\ \rho dt$$

donde ρ es el factor de correlación.

Las ecuaciones diferenciales estocásticas (SDE) que describen la dinámica de 7 y 8 se obtienen aplicando el lema de Ito

$$\mathrm{dS}' = \left(\mu_1 + \tfrac{1}{2}\sigma_1^2\right) S'\, dt + S'\sigma_1 dW_1\ . \tag{9}$$

$$\mathrm{d}fx = \left(\mu_2 + \tfrac{1}{2}\sigma_2^2\right)\, fx\, dt + fx\, \sigma_2 dW_2\,. \tag{10}$$

La variación del portafolio Π en un *dt* se escribe como

$$\mathrm{d}\Pi = dC(S,t) + d[P(S',t)\, fx(t)],$$

donde la variación de los dos términos se calcula usando el lema de Ito. Como se trata de un problema con dos factores de riesgo, para calcular la variación del segundo término hay que aplicar el lema de Ito multidimensional, para el primer término podemos observar:

$$dC = \frac{\partial C}{\partial S}\, dS + \frac{\partial C}{\partial t}\, dt + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 C}{\partial S^2}\,(S^2\,\sigma_1^2\, dt) \tag{11}$$

$$dC = \frac{\partial C}{\partial S}\left[\left(\mu_1 + \frac{1}{2}\sigma_1^2\right) S\, dt + S\sigma_1 dW_1\right] + \frac{\partial C}{\partial t}\, dt + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 C}{\partial S^2}\,(S^2\,\sigma_1^2\, dt)$$

$$dC = \left\{\frac{\partial C}{\partial S}\left(\mu_1 + \frac{1}{2}\sigma_1^2\right) S + \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 C}{\partial S^2}\, S^2\,\sigma_1^2\right\} dt + \frac{\partial C}{\partial S}\, S\sigma_1 dW_1 \tag{12}$$

Antes de calcular la variación del segundo término, consideremos la ecuación (8) como función del proceso estocástico en el exponente. Si llamamos $y = \mu_2 t + \sigma_1 W2$, entonces

$$dy = \mu_2 dt + \sigma_2 W_2 \tag{13}$$

obtenemos las siguientes relaciones que serán útiles en el desarrollo de la variación del segundo término

$$fx = exp\; y, \qquad \frac{\partial\, fx}{\partial t} = 0\;, \qquad \frac{\partial fx}{\partial y} = fx, \qquad \frac{\partial^2 fx}{\partial y^2} = fx\,. \tag{14}$$

Calculamos

$$d[\,P(\,S',t)\,fx(t)] = fx\left[\frac{\partial P}{\partial S'}\,dS' + \frac{\partial P}{\partial t}\,dt + \frac{1}{2}\,\frac{\partial^2 P}{\partial S'^2}\,S'^2\,\sigma_1^2\,dt\right]$$
$$+ P\left[\frac{\partial fx}{\partial y}\,dy + \frac{\partial fx}{\partial t}\,dt + \frac{1}{2}\,\frac{\partial^2 fx}{\partial y^2}\,\;\sigma_2^2\,dt\right] + \frac{1}{2}\sigma_1\sigma_2\rho\,\frac{\partial^2 Pfx}{\partial S'\partial y}\,dt$$

Reemplazamos en la ecuación anterior *dy* dada por (14)

$$d[\,P(\,S',t)\,fx(t)] = fx\left[\frac{\partial P}{\partial S'}\,dS' + \frac{\partial P}{\partial t}\,dt + \frac{1}{2}\,\frac{\partial^2 P}{\partial S'^2}\,S'^2\,\sigma_1^2\,dt\right]$$
$$+ P\left[fx\,(\mu_2 dt + \;\sigma_2 dW_2\,) + \frac{1}{2}\,fx\,\sigma_2^2\;\,dt\right] + \frac{1}{2}\sigma_1\sigma_2\rho\,\frac{\partial^2 Pfx}{\partial S\partial y}\,dt$$

En las opciones financieras, el delta representa la sensibilidad del precio del derivado frente a cambios en el precio del subyacente. En un Call del tipo de cambio, encarnaría cuan sensible es el Call frente a perturbaciones en el tipo de cambio.

La segunda y tercera interpretación del delta en un Call se refiere a la cobertura, cuando nos indica la cantidad de acciones que debería considerar para cubrir la posición en el derivado, y finalmente como probabilidad de que la opción se ejerza.

La cantidad está vinculado directamente a la distancia entre los bordes definidos en las opciones. Cuando el precio spot y el strike son iguales, es decir, una opción es at *the money*, la asimetría de la opción provoca que aquella reaccione a la mitad de velocidad y, por consiguiente, el delta se aproximara a 0.5.

Si la opción está muy *out of the money*, es decir, el strike está muy por debajo del spot de una opción Call, esta se torna muy sensible y una pequeña cantidad de acción cubre la posición. Por el contrario, una posición extremadamente in *the money*, la hará insensible y reaccionará en consecuencia a igual velocidad que el subyacente.

Lamoteh lo decía en estos términos: Delta puede variar entre cero y uno para las Call y entre –1 y cero para las Put. En el caso de un Call, cuando la opción está muy *out of the money*, la delta está próxima a cero ya que una variación pequeña del precio del subyacente, no cambia esta posición fuera de dinero de la opción. Si la opción está at *the money*, la delta se aproxima a 0,5, es decir, una variación de un punto de cotización del subyacente se traduce en una variación de 0,5 puntos en la prima de la opción. Cuando la opción está en in *the money*, la delta se va acercando a 1, conforme el valor intrínseco de la opción aumenta. Para las PUT, la delta varía entre –1 y cero. El hecho de que una posición de compra en opciones Put tenga un valor negativo es totalmente lógico. Si el precio del subyacente sube, recordemos que provoca un descenso en el precio de las Put, al caer su valor intrínseco, por lo que su elasticidad es negativa con respecto a dicho precio. (Lamothe Fernandez, 2003)

En la tesis, la construcción del instrumento requerirá posiciones simétricas y *at the money* y en consecuencia la sensibilidad de ambas posiciones será iguales. Ello implica que cuando se construyan las posiciones de Call y Put, uno y otra deberán mantener los valores de strike y spot en sus respectivas monedas *at the money* a fin de que los resultados de las ecuaciones sigan la estructura de los supuestos.

Por lo expuesto

$$\frac{dC}{dS} = \frac{dP}{dS'} \tag{15}$$

Si sumamos los dos términos analizados, el sintético se expresa de la siguiente manera

$$\mathrm{d}\Pi = \frac{\partial C}{\partial S}\,dS + \frac{\partial C}{\partial t}\,dt + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 C}{\partial S^2}\,(S^2\,\sigma_1^2\,dt) + fx\left[\frac{\partial P}{\partial S'}\,dS' + \frac{\partial P}{\partial t}\,dt + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 P}{\partial S'^2}\,S'^2\,\sigma_1^2\,dt\right] + P\left[fx\,(\mu_2 dt + \sigma_2 dW_2) + \frac{1}{2}\,fx\,\sigma_2^2\,dt\right] + \frac{1}{2}\sigma_1\sigma_2\rho\,\frac{\partial^2 Pfx}{\partial S\partial y}\,dt$$

Consideremos ahora las griegas de las dos opciones en el portfolio sintético

$$\Delta_{Call} = -\Delta_{Put}\,, \qquad donde \quad \Delta_{Call} = \frac{\partial C}{\partial S} = \Delta_{Put} = \frac{\partial P}{\partial S'}$$

$$\Gamma_{Put} = \frac{\partial^2 P}{\partial S'^2}$$

$$\Gamma_{Call} = \frac{\partial^2 C}{\partial S^2}$$

$$\Theta_{Call} = \frac{\partial C}{\partial t}$$

$$\Theta_{Put} = \frac{\partial P}{\partial t}$$

Reemplazando

$$\mathrm{d}\Pi = \Delta_{Call}\,dS + \Theta_{Call}\,dt + \frac{1}{2}\,\Gamma_{Call}\,\left(S^2\,\sigma_1^2\,dt\right) + fx\left[-\Delta_{Call}\,dS' + \Theta_{Put}\,dt + \frac{1}{2}\,\Gamma_{Put}\,S'^2\,\sigma_1^2\,dt\right] + P\left[fx\,(\mu_2 dt + \sigma_2 dW_2) + \frac{1}{2}\,fx\,\sigma_2^2\,dt\right] + \frac{1}{2}\sigma_1\sigma_2\rho\,\frac{\partial^2 Pfx}{\partial S\partial y}\,dt$$

Reagrupamos

$$d\Pi = \Delta_{Call}\, dS - fx\,\Delta_{Call}\, dS' + \Theta_{Call}\, dt + \frac{1}{2}\,\Gamma_{Call}\, S^2\, \sigma_1^2\, dt \;+\; fx\left[\Theta_{Put}\, dt + \frac{1}{2}\,\Gamma_{Put}\, S'^2\, \sigma_1^2\, dt\right]$$
$$+ P\left[\, fx\,(\mu_2 dt + \sigma_2 dW_2\,) + \frac{1}{2}\, fx\, \sigma_2^2\, dt\right] + \frac{1}{2}\sigma_1\sigma_2\rho\,\frac{\partial^2 Pfx}{\partial S \partial y}\, dt \qquad (16)$$

La ecuación 16, es la expresión algebraica del comportamiento del sintético.

Analicemos la expresión de esta ecuación y la separemos en partes. Primera expresión:

$$\Delta_{Call}\, dS - fx\,\Delta_{Call}\, dS'$$

Esta expresión nos dice que el sintético devolverá la diferencia de los cambios nominales del subyacente, ajustado por el cambio real de la acción valuadas en pesos. Esta diferencia recoge aquello cambios no imputables a cambios exclusivos de la acción en dólares y constituye el núcleo y la expresión diferencial del *hedge* del sintético.

Pensemos que, si *fx* no cambia, por construcción ambos diferenciales son iguales y el resultado será consistente a un call teórico, si por el contrario si *fx* cambia, esta expresión devolverá aquello no imputado por el cambio de la acción, siempre que sea positivo, ya que se trata de un call.

Segunda expresión:

$$\underbrace{\Theta_{Call}\, dt + \frac{1}{2}\,\Gamma_{Call}\, S^2\, \sigma_1^2\, dt}_{A} \;+\; \underbrace{fx\left[\Theta_{Put}\, dt + \frac{1}{2}\,\Gamma_{Put}\, S'^2\, \sigma_1^2\, dt\right]}_{B}$$

De la ecuación podemos desmembrar la ecuación en dos partes, la primera referida al Call (A), la segunda referida al Put(B).

Como se indicó en ambas secciones aparecen dos variables conocidas en el mundo de las opciones como griegas. Una de ella es tita, el devengamiento, la otra es gamma, la convexidad.

Black Scholes para llegar a su famosa ecuación, construyen un porfolio compuesto por -1 Call (short position) y dC/dS acciones, generan un porfolio cuyo *payoff* es totalmente libre de riesgo solo por el próximo infinitésimo de tiempo. En ese instante debe ganar la tasa libre de riesgo u oportunidades de arbitraje aparecerán. El portafolio creado por B/S arbitra contra la libre de riesgo, ello se desprende de la siguiente ecuación:

$$-\frac{dC}{dt}\,dt - \frac{1}{2}\,\frac{d^2c}{dS^2}\,(S^2\,\sigma_S^2\,dt) = rP_t\,dt$$

Donde r, es la *yield* de un libre de riesgo, y Pt, es el porfolio. Es decir, tita y gamma, están arbitrando contra un porfolio equivalente libre de riesgo.

Como puede observarse, las secciones de nuestra ecuación, es decir A y B, en el proceso de determinación de precio a mercado, debieron arbitrar cada una con una tasa libre de riesgo respectiva

Luego se puede desprender que

$$\Theta_{Call}\,dt + \frac{1}{2}\,\Gamma_{Call}\,S^2\,\sigma_1^2\,dt\ +\ fx\left[\Theta_{Put}\,dt + \frac{1}{2}\,\Gamma_{Put}\,S^{'2}\,\sigma_1^2\,dt\right]\ =\ -r\,Pt\,dt - r'\,Pt'\,dt\,.fx$$

Si suponemos que el portafolio en pesos Pt igual a 1, el porfolio Pt´ será igual a 1/fx_0, nuestro análisis se reduciría a:

$$-dt\,(\,r + r'\,\frac{fx}{fx_0}\,)$$

Donde r, es la tasa libre de riesgo utilizada en la valuación del Call en pesos y por lo tanto una tasa en pesos, y r´ es una tasa libre de riesgo utilizada en la valuación del Put en dólares.

La ecuación nos indica que el sintético se irá extinguiendo en el tiempo a una tasa en pesos más una tasa en dólares la que a su vez se ajustará por devaluación.

Es claro que el sintético se consume en el tiempo, como cualquier call, pero a una tasa agregada. En la medida de que los shocks sean pequeños y el *dt* sea infinitesimal, ambas ecuaciones tienden a converger, solo en el próximo instante de tiempo.

El modelo de BS, construye un sintético que arbitra contra el Call, en dicha situación una reacción explosiva en el subyacente puede provocar que el sintético no replique al Call, ello es debido a que en derivada segunda el sintético no replique los cash *flow* del Call.

En nuestra hipótesis, esto juega a favor del sintético. Debido a que se construyó el modelo usando derivados, la reacción de las segundas derivadas, esto es la convexidad del Call, juega a favor, en esta hipótesis a diferencia de BS, los derivados están en el sintético y en consecuencia aquellos eventos atípicos, también deberían estar cubiertos por el sintético.

Tercera expresión:

$$P\left[\,fx\,(\mu_2 dt + \ \sigma_2 dW_2\,) + \frac{1}{2}\,fx\,\sigma_2^2\ \ dt\right]$$

Esta sección de la ecuación, es positiva, y nos devuelve el diferencial de *fx* ponderada por el valor del put. Debido a que está multiplicando por el put, tendrá valor solo si el precio de la acción se mantiene por debajo del strike. Luego, si la acción sube el resultado del put será cero y diferencial del tipo de cambio se anulará, en cuyo caso dicho cambio será recogió por la primera expresión. Por el contrario, si la acción del subyacente cae, el put recogerá el diferencial de cambio, incrementado por el resultado del put.

Nuevamente la expresión se expresa como un *hedge*, ya que el diferencial de *fx*, solo se recogerá si el put tiene valor.

Como se pondera por el resultado del put, este resultado siempre será positivo y es consecuencia del aspecto bimonetarios de la estrategia.

Termino de covarianza

$$\frac{1}{2}\sigma_1\sigma_2\rho\frac{\partial^2 Pfx}{\partial S\partial y}\,dt$$

En este segmento de la ecuación, se hace referencia a la conexión recíproca entre el activo subyacente y el tipo de cambio. Esta interdependencia será objeto de estudio en los capítulos venideros, centrándonos en entender cómo se relacionan estos elementos y cómo esta relación se manifiesta en términos de correlación

Se ha observado el comportamiento algebraico del sintético, una primera parte que devuelve la devaluación, una segunda parte que recoge el paso del tiempo y la convexidad, una tercera que captura los efectos positivos del instrumento bimonetarios y finalmente un término de covarianza.

Es notable que los primeros dos factores respondan al parámetro típicos de un Call y que las expresiones algebraicas adicionales, resulten positivas, de hecho, estas expresiones adicionales son los orígenes de los resultados positivos que muestran los estados superadores del Call teórico en nuestro análisis basado en el método analítico.

VII. Comportamiento y correlación del contado con liquidación

Entre los supuestos de la tesis, se encuentra la independencia y la lognormalidad del tipo de cambio libre.

Se ha justificado que el arbitraje en la cotización del CCL lo torna en independiente. Pasemos a analizar la lognormalidad del CCL. Una distribución lognormal es una distribución de probabilidad continua que se utiliza para modelar variables aleatorias positivas que tienen una asimetría hacia la derecha en su distribución. Esta distribución se obtiene tomando el logaritmo natural de una variable aleatoria positiva que sigue una distribución normal.

Si los retornos logarítmicos diarios de un activo financiero siguen una distribución normal, entonces los cambios absolutos de esa variable seguirán una distribución lognormal. En otras palabras, si los cambios porcentuales diarios en los precios tienen una distribución normal, los precios del activo financiero tendrán una distribución lognormal.

Para ver si el CCL tiene una distribución log normal se procedió a realizar un análisis sobre los retornos logarítmicos diarios del CCL de la acción de banco Galicia para los periodos 2018-2023. Los resultados se exponen en el grafico siguiente:

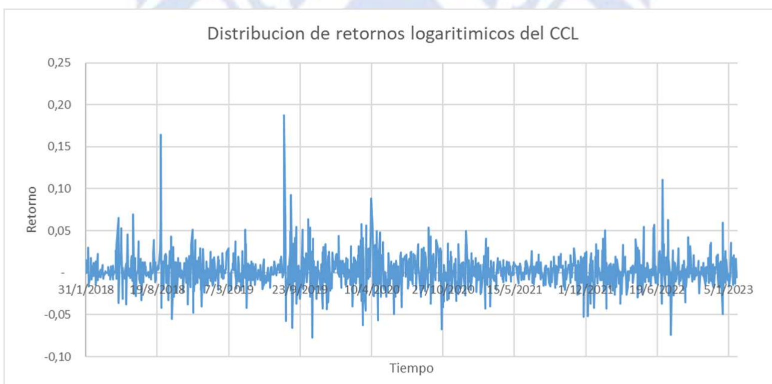


Figura 6. Distribución de los retornos log normales de CCL Galicia

Una manera de observar el comportamiento es a través de un gráfico QQ - *Plot* (*quantile-quantile*) que es una herramienta de visualización utilizada en estadísticas para evaluar si dos conjuntos de datos siguen una distribución similar. El gráfico QQ compara los cuartiles teóricos de una distribución de referencia (por ejemplo, la distribución normal) con los cuartiles observados de los datos reales.

Como la distribución normal logarítmica es una distribución de probabilidad continua de una variable aleatoria cuyo logaritmo está normalmente distribuido, si los retornos logarítmicos del CCL son normales, entonces la variable aleatoria CCL se comportaría como una lognormal, al igual que otros activos financieros.

Por lo expuesto, el grafico del retorno logarítmico del CCL deberá ajustarse a una línea recta con una distribución normal para mostrar gráficamente si se ajusta a dicha distribución. En el grafico a continuación se expone el resultado del análisis en el periodo indicado anteriormente:

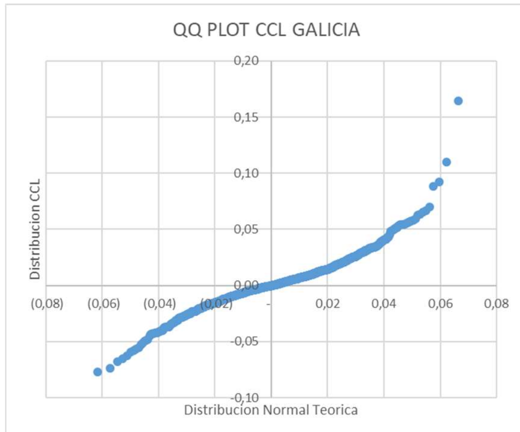


Figura 7. QQ Plot Banco Galicia

Como puede observarse la distribución no se ajusta adecuadamente a una distribución normal, pero de hecho casi ningún activo lo hace de manera ideal.

Consideremos el test de *Jarque Bera* para analizar la normalidad de los retornos.

Estadístico	*Valor*
Media	0,0024
Desvío	0,0203
Curtosis	10,629
Coeficiente de Correlación	1,2601
Muestra	1216
Jarque Bera	22.977

El test de *Jarque Bera* calcula la estadística de prueba mediante la combinación de la asimetría y la curtosis de la muestra y compara este valor con una distribución conocida. Si la estadística de prueba es significativamente diferente de cero, se rechaza la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal y como se observa el test nos muestra un valor extremo del estadístico JB (22.977) indicado que no es normal.

Sin embargo, esto también ocurre con otros activos financieros con mucha volatilidad. Para realizar un análisis más adecuado es mejor considerar grupos o *clúster* de volatilidad en el periodo analizado, de manera de considerar lapsos temporales de comportamiento similar.

Para ver este supuesto se aplicó el modelo EWMA y se identificaron gráficamente tres grupos de volatilidad. Para cada subgrupo se realizaron la estadística descriptiva y se realizaron el test nuevamente. A continuación, se muestra el grafico de la distribución del retorno logarítmico del

CCL separado por *clúster* con líneas verdes y por periodos de baja, media o alta volatilidad con amarillo, de manera de que cada vez que existe un cambio de régimen se lo identifica en el grupo al que corresponde.

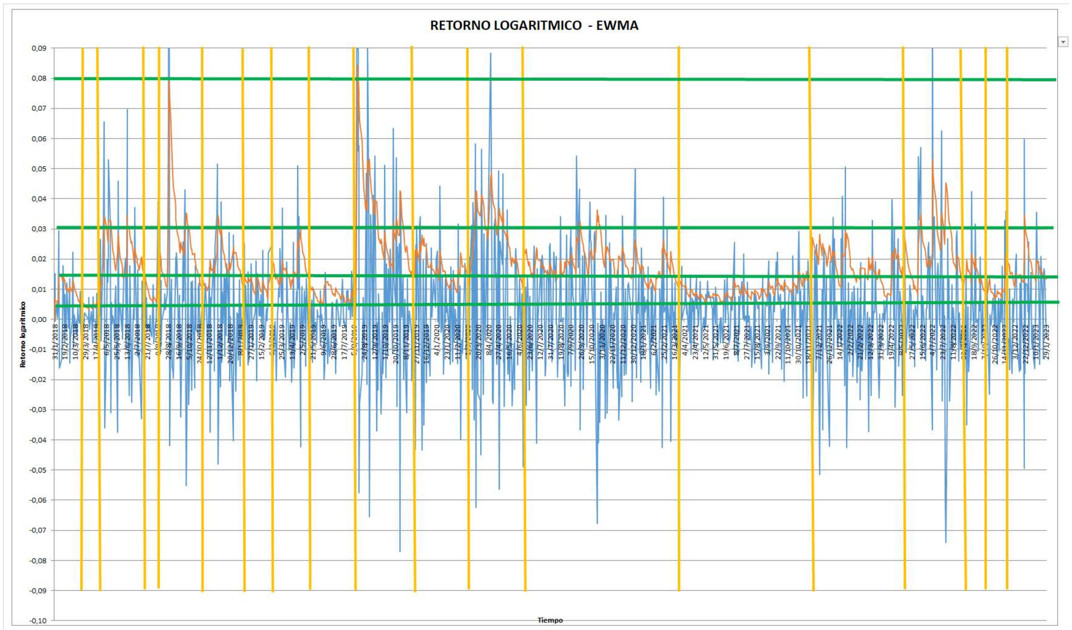


Figura 8. EWMA de retornos log normales de CCL Galicia

Cluster	1	2	3
Media	0,0020	0,0015	0,0050
Desvio	0,0097	0,0189	0,0312
Curtosis	0,6264	0,8466	6,9164
Coeficiente de Asimetria	0,1718	0,0784	1,4146
N	358	598	260
JB	24	72	2.095

Puede observarse como el estadístico de Jarque Bera mejora notablemente al separar los periodos en grupos de volatilidad.

Como conclusión podemos decir, que el tipo de cambio CCL tiende a comportarse lognormal en periodos homogéneos de volatilidad.

<u>Correlación con el CCL</u>

Como fuera indicado, el precio de una acción argentina que posea un ADR, es decir, un activo de fuente argentina con cotización bursátil en dólares y en el exterior, constituye un único activo expresado en dos monedas. Se trata de una única fuente de riesgo, supongamos YPF, que cotiza en pesos argentinos en el mercado local y en dólares en el mercado de Nueva York, pero siempre sobre la misma empresa.

Por definición, la relación de precios S = S´. *fx*, se mantiene en todo momento. Siendo *fx* independiente, podemos construir un porfolio teórico de w1 cantidades de S´ y w2 cantidades *fx* para replicar S.

De esta manera, el retorno del porfolio deberá respetar las siguientes condiciones:

$$r_S = w_1 r_{S'} + w_2 r_{fx} \tag{17}$$

$$\sigma_S^2 = w_1^2\, \sigma_{S'}^2 + w_2^2\, \sigma_{fx}^2 + 2\, w_1 w_2\, \rho_{s',fx} \sigma_{s'} \sigma_{fx} \tag{18}$$

Los pesos de equilibrio (w) que respondieron a este proceso de optimización arrojaron valores de 1, simplificando la ecuación significativamente. El retorno esperado de S en todos los casos será igual retorno promedio de S´ más el retorno promedio de *fx* (CCL). Y la varianza de S, será igual a la Varianza de S más la Varianza de *fx* (CCL) más dos veces la covarianza.

A continuación, se expone los porfolios con su matriz de varianza y covarianza para los activos argentinos Galicia, Macro, Pampa e YPF, donde se muestra esta igualdad y la aproximación

S´	Galicia	r(s´) = µ	-0,00106
fx	CCL	r(*fx*)=µ	0,00248

	w
w1	100,00%
w2	100,00%

var-cov	S´	*fx*
S'	0,002272	-0,000480
fx	-0,000480	0,000401

Porfolio	Valores
Retorno	0,00142
Varianza	0,00171
Desvio	0,04140

Galicia	Valores	Dif
r(s) = µ	0,001419	-
σ(s)^2	0,001713	0,000001
σ	0,041393	0,000010

S´	BMA	r(s´) = µ	- 0,00123
Fx	CCL	r(fx)=µ	0,00252

var-cov

	w
w1	100,00%
w2	100,00%

	S´	fx
S'	0,002177	- 0,000385
fx	- 0,000385	0,000394

Porfolio	Valores
Retorno	0,00129
Varianza	0,00180
Desvio	0,04245

BMA	Valores	Dif
r(s) = µ	0,00129	0,00000
σ(s)^2	0,00180	0,00000
σ	0,04244	0,00001

S´	YPF	r(s´) = µ	- 0,00042
Fx	CCL	r(fx)=µ	0,00251

var-cov

	w
w1	100,00%
w2	100,00%

	S´	fx
S'	0,001661	- 0,000359
fx	- 0,000359	0,000421

Porfolio	Valores
Retorno	0,0020919
Varianza	0,001363746
Desvio	0,03693

YPF	Valores	Dif
r(s) = µ	0,00209	-
σ(s)^2	0,00136	0,00000
σ	0,03692	0,00001

S´	PAM	r(s´) = µ	- 0,0002410
Fx	CCL	r(fx)=µ	0,0025138

var-cov

	w
w1	100,00%
w2	100,00%

	S´	fx
S'	0,001712	- 0,000357
fx	- 0,000357	0,000415

Porfolio	Valores
Retorno	0,0022728
Varianza	0,001411872
Desvio	0,03757

PAM	Valores	Dif
r(s) = µ	0,00227	-
σ(s)^2	0,00141	0,00000
σ	0,03757	0,00001

Claramente se puede apreciar que la relación se mantiene en todos los ADR e incluso también los CEDEAR. En el cuadro siguiente observamos como la relación de la varianza es exacta en el caso del ETF SPY

	ETF SPY	Estimado Porfolio	Diferencias
r(log)	0,002426	0,002426	-
Varianza(log)	0,000390	0,000390	-

No resulta trivial observar que el CCL del CEDEAR y del ADR mantengan la misma volatilidad, forma y comportamiento. Nos muestra que el tipo de cambio contado con liquidación es independiente a la fuente de riesgo y volatilidad.

Podemos decir, que la correlación existente entre las variable CCL y los activos en dos monedas respetan las siguientes ecuaciones, en torno a su retorno log normal

$$MEDIA\ (s)\ = MEDIA\ (s') + MEDIA\ (fx) \quad (17)$$

$$VARIANZA\ (s)\ = VARIANZA\ (s') + VARIANZA\ (fx) + COVARIANZA\ (s', fx) \quad (18)$$

Donde la covarianza es el producto del factor de correlación por los desvíos estándares de las variables *s´* y *fx.*

Como conclusión podemos destacar que el CCL es una variable estocástica lognormal, con una covarianza cercano a cero y similar entre todos los instrumentos, independientemente del origen del riesgo.

VIII. Suficiencia de la cobertura. Análisis de Montecarlo

Hemos explicado analítica y matemáticamente que el sintético se ha comportado como un instrumento de cobertura del CCL. Para poner a prueba la integridad del instrumento, su suficiencia y alcance, se realizaron pruebas de Montecarlo con más de diez mil escenarios aleatorias.

El método de Montecarlo es especialmente útil cuando el problema en cuestión es demasiado complejo o no se puede resolver analíticamente. Al simular numerosas trayectorias aleatorias o muestras, se obtienen resultados aproximados que convergen hacia la solución deseada a medida que se aumenta el número de muestras. Esto permite obtener estimaciones numéricas precisas y aproximaciones de fenómenos complejos

La descomposición de Cholesky puede ser utilizada para generar muestras de variables aleatorias multivariadas correlacionadas a partir de muestras de variables aleatorias independientes con distribución normal estándar, como en nuestro caso. Se aplica a matrices simétricas y definidas positivas para descomponerlas en el producto de una matriz triangular inferior y su traspuesta conjugada.

Dada una matriz simétrica definida positiva A, la descomposición de Cholesky encuentra una matriz triangular inferior L tal que A = LL^T, donde L^T denota la traspuesta conjugada de L. Al aplicar la descomposición a una matriz de correlación, se puede obtener una matriz triangular inferior que, combinada con números aleatorios independientes, genera números aleatorios que siguen una distribución específica y presentan la correlación deseada.

Antes de construir la matriz triangula, debemos considerar que vamos a partir de un modelo que generara de manera aleatoria shock en dólares a una ADR argentino y un shock al CCL, para que ambos impacten en el precio en pesos en la variable, deberemos contemplar la correlación entre el CCL y los ADR. A continuación, se presenta un cuadro comparativo entre cuatro ADR, calculados para el periodo 18/1/2022 a 24/5/2023. Usaremos en nuestra matriz de correlación el promedio de ellos con el CCL:

S*	varianza	desvio	correlacion s*
galicia	0,0010	0,0316	- 0,4181
macro	0,0010	0,0322	- 0,3532
ypf	0,0013	0,0365	- 0,3547
pampa	0,0008	0,0282	- 0,2621
promedio	0,0010	0,0321	- 0,3470

La matriz de correlación entre los retornos logarítmicos de los ADR y el CCL nos arrojan los siguientes valores:

Matriz de Correlación		
	ln r CCL	ln r S´
ln r CCL	1	-0,347022
ln r S´	-0,347022	1

Con esta información se procederá a realizar los siguientes cálculos

Matriz Triangular	Transpuesta	Aleatorio	Aleatorio Correlacionados
$\begin{pmatrix} a11 & 0 \\ a21 & a22 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a11 & a21 \\ 0 & a22 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} x \\ x \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} z1 \\ z2 \end{pmatrix}$

Luego

$$\begin{bmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix}$$

$$a_{11}^2 + 0 . 0 = 1$$

$$a_{11} . a_{21} + 0 . a_{22} = \rho$$

$$a_{21}^2 + a_{22}^2 = \sigma_2$$

Así calculamos la matriz triangular inferior L

$$L = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$$

Luego para generar el aleatorio multiplicamos L . X = Z

$$\begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} . \begin{pmatrix} x1 \\ x2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z1 \\ Z2 \end{pmatrix}$$

Los Z son variables aleatorias, correlacionadas.

Luego los escenarios se realizarán sobre las igualdades 7 y 8, es decir:

$$\mathrm{S(t)} = S(0)\ exp\ [\mu_1\ t +\ \sigma_1 Z_1],$$

$$f\mathrm{x(t)} = fx(0)\ exp\ [\mu_2\ t +\ \sigma_2 Z_2],$$

Calculo de la matriz triangular

a11 1

a21 -0,347022

a22 0,937857

Matriz Triangular	
1,00000	-
- 0,34702	0,93786

Con esta matriz, se simularon shock en el CCL y en el precio de la acción en dólares, cada uno con eventos aleatorios diferentes peros ajustados por Cholesky para capturar la correlación.

En cada escenario el modelo mide el resultado del Call en pesos, según un strike definido, en nuestro ejemplo usaremos el ADR de Galicia, con un ke en pesos de $ 478 y en dólares de USD13,13 dólares estadounidenses al 02/02/2023

En las diferentes situaciones el modelo ira devolviendo:

A) En el Call : Max(*spot* pesos - ke pesos:0)
B) En el Put: Max (ke usd -*spot* usd ; 0)

En las columnas dS y dS ´, se registrarán los resultados en pesos y en dólares para cada instante.

Para evaluar la suficiencia en cada momento debemos considerar que la cobertura del sintético estará determinada por la cantidad de contratos de Call y Put adquiridos. Esta cantidad de cobertura será determinada al inicio y será igual al monto de deuda de capital a cubrir en dólares y el precio en dólares del subyacente de los derivados. También podemos pensar que la unidad de cobertura del sintético será igual al precio en dólares del subyacente, ya que es la unidad de medida de los derivados.

Por el momento, solo queremos analizar si en todos los escenarios aleatorios supuestos, el resultado del sintético cubre los cambios del CCL. Para ello el resultado del sintético en pesos o en dólares, en todos los escenarios debería arrojar un beneficio suficiente como para cubrir las diferencias que surjan en ese mismo escenario para adquirir nuevamente los dólares, que por construcción será igual al precio del subyacente S’ (13.13 USD).

A continuación, se describen los gráficos de la simulación de Montecarlo realizado

Figura 9. Simulación de Montecarlo. Histograma de estados finales

La figura 9, muestra que el resultado del sintético se concentra en torno a los 200 pesos.

Por su parte el grafico de caja y bigote, se encuentra en línea con el grafico anterior. Los resultados se concentran entre los 200 y 400 pesos y sus extremos son 0 y 900.

Figura 10: Caja y bigotes. Montecarlo.

Finalmente, en el grafico N 11, se observa el resultado neto entre la devaluación y el sintético. Es claro observar que *hedge* ocurre en todos los escenarios estimados.

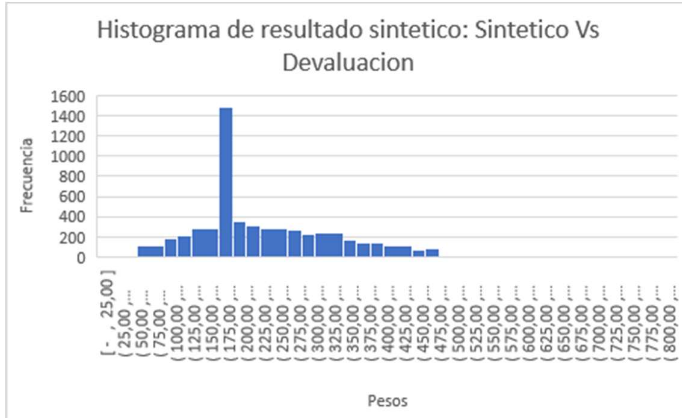


Figura 11: Distribución del resultado

Como se puede notar, el resultado en todos los escenarios analizados fue positivos, dando nuevamente evidencia de la suficiencia del *hedge*.

IX. Análisis de la cobertura en un porfolio

Como se describió en el punto anterior, el sintético se comporta como un ***hedge en todos los escenarios***. Ahora analizamos si resulta económicamente viable su uso en un porfolio. Cuando comenzamos esta tesis, se partió de un modelo de equilibrio en un esquema ALM y hemos construidos el ***hedge*** de un porfolio sintético frente a un desdoblamiento cambiario. Veamos ahora la estructura del porfolio con cobertura, para analizar el P and L de la posición:

En el momento inicial 0

$$Porfolio\ en\ pesos = P_0 = w_1 A_{1+} w_2 A_2 = D\ .f_0 = Deuda\ en\ dolares\ pesificada$$

En el momento final t

$$Porfolio\ en\ pesos = P_t = w_1 A_{1+} w_2 A_2$$

$$Deuda\ capitalizada\ en\ dolares\ y\ \ pesificada = D\ (1+kd)^t . f_t$$

$$w_{1t} A_{1t} = K_0\ (1+ra1)\text{^}t$$

$$w_{2t} A_{2t} = Cobertura = X\ (C\ + P\ .f_t)$$

Donde

$$X = \frac{D}{S'}$$

$$W1 + W2 = 1$$

En equilibrio

$$P_t = K_0\ (1+ra1)^t + X\ (C\ + P\ .f_t)_. = D\ (1+kd)^t . f_t$$

$$PyL = K_0\ (1+ra1)^t + X\ (C\ + P\ .f_t) - D\ (1+kd)^t . f_t \qquad (19)$$

El capital inicial *Ko*, es un monto W2 del valor adeudado en dólares aplicado a la inversión A1 y será igual a

$$K_{0=} W1\ D\ f_0 \qquad (20)$$

Por otra parte, la cantidad W2 de cobertura al momento inicial es conocido y nos permite ver la siguiente relación:

$$\frac{D}{S'}\ (C_0\ + P_0\ .\ f_0) = W2\ D\ \ f_0$$

Y simplificando y agrupando

$$\frac{(C_0\ + P_0\ .\ f_0)}{S'}\ .\frac{1}{f_0}\ = W2 \qquad (21)$$

Remplazando los términos en 19

$$PyL = W1\ D\ f_0\ \ (1 + ra1)^t + \frac{D}{S'}\ \ (C_t\ + P_t\ .\ f_t) -\ D\ (1 + kd)^t .\ f_t \qquad (22)$$

Esta ecuación en t arrojará el resultado del porfolio. A partir de ella podemos determinar el costo máximo de la prima por cobertura que soporta el modelo, si son conocidos los valores de tasa en pesos y costo de la deuda en dólares.

Para ello, debemos sacar factor común D. La ecuación quedará de la siguiente manera:

$$PyL = D\left(W1\ \ f_0\ \ (1 + ra1)^t + \frac{1}{S'}\ \ (C_t\ + P_t\ .\ f_t)\right) -\ D\ (1 + kd)^t .\ f_t \qquad (23)$$

En *breakeven* se deberá respetar la siguiente igualdad

$$W1\ \ f_0\ \ (1 + ra1)^t + \frac{1}{S'}\ \ (C_t\ + P_t\ .\ f_t) =\ (1 + kd)^t .\ f_t \qquad (24)$$

Nos concentremos por un momento en el funcionamiento del sintético, es decir, el segundo término de la ecuación de la derecha y recordemos que, al tratarse de un Call en un momento futuro t, existirá dos posibles resultados, positivo o cero.

Como hemos analizado en otros capítulos, el Call puede tornarse cero, si el diferencial del tipo de cambio no se modifica o si se reduce. Es en este escenario, en el que el sintético se hace cero, en el que podemos considerar el costo de la prima máxima, dado un ***r*** y ***kd*** conocidos.

Como se dijo ello se dará cuando el diferencial *dfx* no cambie.
En consecuencia, podemos simplificar la ecuación (24) a la siguiente expresión:

$$W1 \ f_0 \ (1+ra1)^t = (1+kd)^t . f_0$$

Como el tipo de cambio no ha variado, es decir, d$f = 0$, entonce $f_0 = f_t$. También sabemos que la suma de los weith w1+w2, es la unidad. Es por ello que remplazando w1 por (1-w2) y al mismo tiempo de la ecuación (21) podemos re expresar el termino (24) de la siguiente manera:

$$(1-w2) \ (1+ra1)^t = (1+kd)^t$$

$$\left(1-\frac{(C_0 + P_0 . f_0)}{S'} . \frac{1}{f_0}\right) = \frac{(1+kd)^{\ t}}{(1+ra1)^t}$$

Reagrupando términos

$$\left[1-\frac{(1+kd)^{\ t}}{(1+ra1)^t}\right] = \frac{\frac{C_0}{f_0} + P_0}{S'_0} \quad (25)$$

La ecuación (25) no devuelve el máximo precio por prima que un porfolio puede cubrir dado un costo de la deuda en dólares y una tasa de inversión en pesos. Por ejemplo, si el costo de la deuda en dólares fuera 5% y la tasa en pesos ascendiera a 60%, el precio en Call y el Put, medidos en dólares dividido el precio spot no debería superar los 0.4227 dólares a un año por unidad de cobertura con W1 = 57.7%

X. *Backtesting y mercado*

Finalmente, como corolario se hizo un ***back testing*** del resultado del sintético. Para ello se simuló un escenario anterior y se observó los efectos reales acaecidos, analizando e identificando los cambios a fin de entender cómo se comportó el modelo si se hubiera construido en dicho momento.

Los resultados se exponen a continuación:

<u>Datos iniciales:</u>

Activo Subyacente: Acción y ADR del Banco Galicia

Deuda en dólares: Igual al precio de una acción

Fecha de inicio: 07/01/2023 o de operación

Precio de la acción en pesos y en dólares al inicio

S = 372.50 Pesos Argentinos

S´= 11,40 USD

El ADR del banco Galicia posee un factor de conversión de 10, es decir, a = 10

<u>Periodos de vencimiento</u>

Call y Put= 17/02/2023

Periodo de cobertura y prueba de modelo = hasta el 07/02/2023

Cantidad de días: 29

Precio de ejercicio. Se buscaron los precios más cercanos a una valuación *at the money* estos valores fueron:

Ke= 377,29 AR

Ke´=12,50 usd

Fecha	7/1/2023

		PESOS	USD	Cambio			
	GGAL	372,5	11,4	326,75			
		strike	Fecha Vento	Precio	Fecha operación	Fecha de Prueba	07-feb-2023
at	Call	377,29	17/2/2023	22,45	09-ene-2023	Dias	29,00
money	Put	12,5	17/2/2023		17-ene-2023		

De los datos extraídos de Reuters, se construyó la siguiente tabla:

Fecha	Px Call	Px Put	GGAL Pesos	GGAL USD	ccl galicia
09-ene-2023	22,45		376,40	11,40	330,18
10-ene-2023	23,50		380,70	11,58	328,76
11-ene-2023	45,90		411,10	12,39	331,80
12-ene-2023	78,00		441,80	12,85	343,81
13-ene-2023	79,05		457,00	13,04	350,46
16-ene-2023	99,15		465,50	13,04	356,98
17-ene-2023	132,00	0,50	494,50	13,76	359,38
18-ene-2023	71,00	0,95	439,00	12,40	354,03
19-ene-2023	107,00	0,80	455,45	12,89	353,34
20-ene-2023	129,00	0,50	496,10	13,75	360,80
23-ene-2023	123,00	0,45	492,20	13,58	362,44
24-ene-2023	107,00	0,55	484,00	13,53	357,72
25-ene-2023	143,00	0,25	506,90	14,05	360,78
26-ene-2023	143,00	0,25	510,00	13,90	366,91
27-ene-2023	115,00	0,33	493,45	13,24	372,70
30-ene-2023	96,00	0,60	467,90	12,63	370,47
31-ene-2023	120,00	0,42	490,00	13,40	365,67
01-feb-2023	111,00		480,00	13,17	364,46
02-feb-2023	109,00	0,38	480,00	13,13	365,58
03-feb-2023	80,00		455,00	12,33	369,02
06-feb-2023	94,00		456,50	12,72	358,88
07-feb-2023	95,00		470,15	12,78	367,88

A continuación, se comparó la evolución del CCL de mercado y se estimó la devaluación real del CCL Galicia. También se estimaron los resultados teóricos vs los resultados reconocidos en el mercado, los resultados fueron estos:

Fecha	ccl galicia	CCL Mercado	Cambios CCL	Resultado del Call	Resultado del Put	Resultado Teorico	Valor real
09-ene-2023	330,18	333,97	3,42	3,90	1,10	406,37	224,50
10-ene-2023	328,76	331,97	2,00	8,20	0,92	387,41	235,00
11-ene-2023	331,80	336,96	5,05	38,60	0,11	423,07	459,00
12-ene-2023	343,81	343,57	17,06	69,30	-	693,00	780,00
13-ene-2023	350,46	349,26	23,71	84,50	-	845,00	790,50
16-ene-2023	356,98	356,38	30,22	93,00	-	930,00	991,50
17-ene-2023	359,38	362,19	32,62	122,00	-	1.220,00	1.501,10
18-ene-2023	354,03	351,82	27,28	66,50	0,10	700,18	1.044,23
19-ene-2023	353,34	355,41	26,58	82,95	-	829,50	1.354,33
20-ene-2023	360,80	360,98	34,05	123,60	-	1.236,00	1.470,49
23-ene-2023	362,44	363,19	35,69	119,70	-	1.197,00	1.393,44
24-ene-2023	357,72	360,03	30,97	111,50	-	1.115,00	1.268,02
25-ene-2023	360,78	365,99	34,03	134,40	-	1.344,00	1.521,50
26-ene-2023	366,91	369,39	40,15	137,50	-	1.375,00	1.522,35
27-ene-2023	372,70	370,39	45,94	120,95	-	1.209,50	1.272,23
30-ene-2023	370,47	369,52	43,71	95,40	-	954,00	1.181,74
31-ene-2023	365,67	367,42	38,92	117,50	-	1.175,00	1.354,32
01-feb-2023	364,46	367,07	37,71	107,50	-	1.075,00	1.110,00
02-feb-2023	365,58	366,83	38,82	107,50	-	1.075,00	1.229,40
03-feb-2023	369,02	362,95	42,26	82,50	0,17	886,70	800,00
06-feb-2023	358,88	365,71	32,13	84,00	-	840,00	940,00
07-feb-2023	367,88	366,16	41,13	97,65	-	976,50	950,00

A continuación, se presenta un gráfico de las comparaciones.

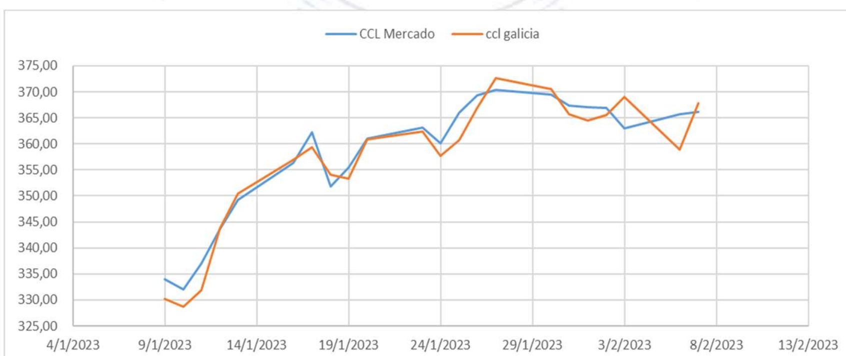


Figura 12: Comparación CCL Mercado y CCL Galicia

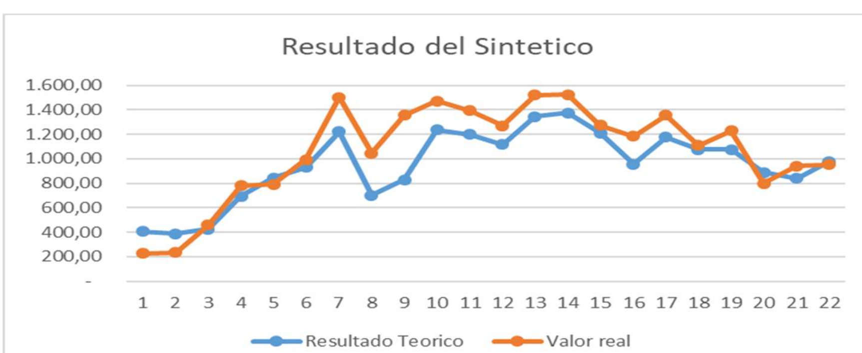


Figura 13: Comparación evolución de los resultados

Veamos cuál fue el resultado en esta pequeña prueba. Debido a que el precio en dólares de la acción era de 11.4 usd, supondremos que ese es el monto de la deuda. Es por ello que podemos resumir lo siguiente:

Deuda	11,4
Tasa 8%	0,022%
n	29,00
Total	11,47
Cantidad	1

Con una tasa en dólares del 8% anual deberemos devolver al final de nuestro periodo de prueba de 29 días 11.47 dólares.

Los pesos a la fecha de la operación serán de 3.725 pesos, el total de nuestro porfolio en el momento 0 y al final deberemos obtener al menos 4.200,76 pesos para poder adquirir los 11.47 usd que deberemos pagar. En resumen, en pesos la información es:

Pesos iniciales	3.725,00
CCL inicial	326,75
CCL final	366,16
Pesos Necesarios	4.200,76

Para determinar la cantidad de *hedge* es decir W2, usaremos la formula (21) pero ajustaremos por el factor de conversión a = 10 del ADR en particular. El precio del Call en pesos era 22.45 pesos la acción y 0.5 centavos de dólares el Put, el CCL cotizaba a 376.4

$$\frac{(C_0 \ + P_0 \,. \theta_0)}{S´} \,. \frac{1}{\theta_0} \ = W2 \tag{21}$$

$$\frac{(22{,}45\,.10 \ + 0.5.\ 330{,}18)}{11{,}40} \,. \frac{1}{330{,}18} \ = W2 \ \ = 10{,}96\%$$

$$W1 \ \ = 89{,}04\%$$

El porfolio quedara construido en el momento t = 0 de la siguiente manera

w1	A1	w2	A2	Total
89,04%	3.316,58	10,96%	412,70	3.729,28

A2 también resulta de:

A2

X	Call	Put	Total
1	224,50	188,20	412,70

Veamos cómo evoluciono el porfolio con los datos reales, para ello supondremos que los 3.316,58 pesos se invirtieron una caución colocadora al 60% TNA vigente a esa fecha por los 29 días. Es decir:

Rendimiento en pesos	$	usd
Inversion Inicial	3.316,58	10,15
Tasa 60 %	0,001667	
Vf pesos	3.434,61	9,38
Rendimiento pesos	3,559%	
Rendimiento en usd		-7,59%

Fecha	A1	A2 Call	A2 Put	A2 Total	Portafolio
9/1/2023	3.316,58	224,50	188,20	412,70	3.729,28
10/1/2023	3.322,10	235,00	-	235,00	3.557,10
11/1/2023	3.327,64	459,00	-	459,00	3.786,64
12/1/2023	3.333,19	780,00	-	780,00	4.113,19
13/1/2023	3.338,74	790,50	-	790,50	4.129,24
16/1/2023	3.344,31	991,50	-	991,50	4.335,81
17/1/2023	3.349,88	1.320,00	247,25	1.567,25	4.917,13
18/1/2023	3.355,46	710,00	417,05	1.127,05	4.482,51
19/1/2023	3.361,06	1.070,00	364,36	1.434,36	4.795,42
20/1/2023	3.366,66	1.290,00	248,05	1.538,05	4.904,71
23/1/2023	3.372,27	1.230,00	221,49	1.451,49	4.823,76
24/1/2023	3.377,89	1.070,00	266,20	1.336,20	4.714,09
25/1/2023	3.383,52	1.430,00	126,73	1.556,73	4.940,24
26/1/2023	3.389,16	1.430,00	127,50	1.557,50	4.946,66
27/1/2023	3.394,81	1.150,00	162,84	1.312,84	4.707,65
30/1/2023	3.400,46	960,03	280,74	1.240,77	4.641,23
31/1/2023	3.406,13	1.200,00	205,80	1.405,80	4.811,93
1/2/2023	3.411,81	1.110,00	-	1.110,00	4.521,81
2/2/2023	3.417,50	1.090,00	182,40	1.272,40	4.689,90
3/2/2023	3.423,19	800,00	-	800,00	4.223,19
6/2/2023	3.428,90	940,00	-	940,00	4.368,90
7/2/2023	3.434,61	950,00	-	950,00	4.384,61

Por su parte, el sintético se comportó de la siguiente manera:

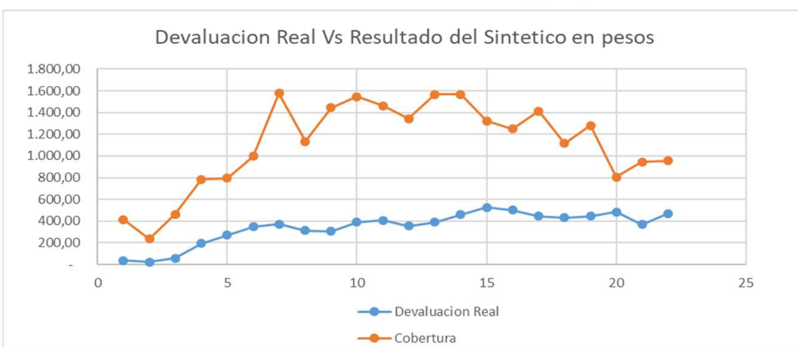
Devaluacion	12,59%
Monto pesos	412,70
Monto en USD	1,26
Cobertura Pesos	950,00
Cobertura USD	2,59
Rendimiento pesos	1,30
Rendimiento en usd	1,05

El portafolio se comportó de la siguiente manera:

rp	w1	ra	w2	rc
rp	89,04%	3,56%	10,96%	130,19%
rp pesos	17,44%			
rp usd	89,04%	-7,59%	10,96%	105,42%
rp usd	4,80%			

PL =	0,50	usd

Porf $	Porf Usd
4.384,61	11,97
3.729,28	11,41
17,6%	4,9%



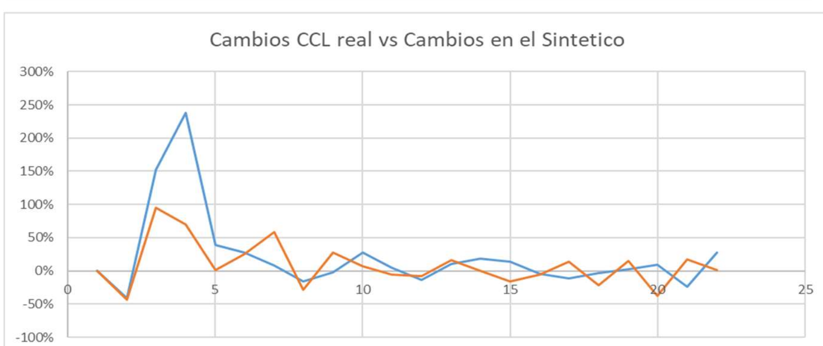


Figura 14: Evolución cambios en el CCL y en el sintético

El resultado del test fue positivo, el costo de la cobertura fue del 11%, la razón entre el precio en dólares del sintético y el precio spot del subyacente.

El resultado de la cobertura en nuestro ejemplo resulto de extraordinario valor, ya que en el periodo seleccionado la tasa de devaluación supero a la tasa en pesos. Esto queda claramente en evidencia cuando vemos que el resultado de la inversión en caución medido en dólares arrojo una pérdida del 7.6% en dólares en 29 días.

Afortunadamente el Call sintético arrojo un beneficio superador, el cual a su vez se vio potenciado por la performance de la acción.

Como resultado final el porfolio rindió un 5% en un mes.

En la práctica, los modelos deben enfrentar situaciones que no son las óptimas previstas y deberemos considerar estas situaciones. El primer problema que podemos enfrentar, es el de no encontrar contratos *at the money* de manera exacta o aproximada. En estos casos los valores intrínsecos en los derivados pueden afectar el rendimiento de la cobertura. Para evitar estos efectos, resulta conveniente que los valores en el strike de cada instrumento sean el menor más cercano al spot, resulta aconsejable estar *out the money*, debido a que eliminamos el valor intrínseco resultante de los beneficios de estar en el dinero y evitamos agregar más costos y más incertidumbre a la cobertura.

Es particularmente importante considerar que el costo máximo de la cobertura resulta el costo de las primas de los derivados. Este costo nos cubrirá durante el periodo de vigencia de los contratos y por lo tal motivo este es el periodo de cobertura y de costo financiero. En un país con mucha inflación, a medida que estos periodos son más extensos las primas se vuelven relativamente más baratas. Las primas de muy corto plazo, pueden hacer el *hedge* inviable.
Veamos como se ve los costos de la prima medidos en costo financiero para diversos periodos, para ello se han analizados 44 contratos put y call a diversos vencimientos de los ADR Banco Macro, Galicia, YPF y Pampa Energía, estos fueron los resultados:

Figura 15: Primas de opción call

Figura 16: Primas de opción put

Es visible que a medida que los vencimientos de los derivados sean más largos, el costo de cobertura se torna relativamente más económico.

De igual manera, los derivados que cotizan en el dinero, muestran un costo relativo más alto, aun después de corregir el valor intrínseco. A continuación, se observa como los contratos en estado 1 (*at the money o out of the money*) representan tasas más económicas por sobre los contratos en estado 2 (*in the money*).

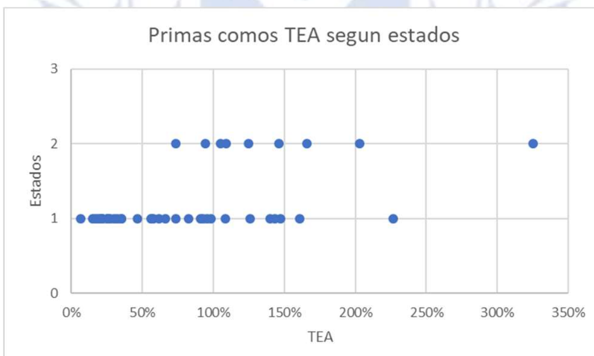


Figura 17: Tasa efectiva en opciones *out of the money* (1) y en el dinero (2)

Respecto a la volatilidad, hemos podido demostrar la relación en la varianza del ADR en dólares con la varianza del precio en pesos de esa misma acción. Esto también está presente en las valuaciones de las opciones. Veamos un ejemplo de mercado, en el cuadro siguiente se obtuvieron los datos al 20 de junio de una opción put en dólares y una opción call en pesos de la empresa Galicia, ambos a la misma fecha de vencimiento. Con esta información se calculó la *implied volatility* valorada por el mercado al determinar los precios de las opciones.

SUBYACENTE	ACCION: GALICIA	ADR: GALICIA
Fecha del Calculo	20/6/2023	20/6/2023
Fecha Vencimiento	20/10/2023	20/10/2023
STRIKE = K	990,00	17,50
SPOT = S	798,60	17,15
Sigma	63,94%	74,02%
r (q)	97,00%	5,25%
Dias para la expiracion	122	122
Maturity (In Years) = T dias/años	0,3389	0,3389
E ^-rt	71,98%	98,24%
Raiz de t	0,58	0,58
ln(SPOT/K)	- 0,2148	- 0,0202
(r+0.5*Sigma^2)(T-t)	0,3980	0,1106
Sigma*Sqrt(T-t)	0,3722	0,4309
d1	0,4921	0,2099
d2	0,1198	- 0,2210
Valor Presente K	786,76	17,20
N(d2)	0,55	0,41
N(-d2)	0,45231	0,58747
N(-d1)	0,3113	0,4169
N(d1)	68,866%	58,311%
Spot* N (d1)	549,96	10,00
Prime USD CALL	119,060	2,905
Prime USD PUT	107,223	2,954

Para los precios de las primas en cuestión el mercado nos arroja, la IV (*implied volatility*) o sigma de 63,94 % y 74 %, respectivamente.

Ahora con esta información podemos analizar si las volatilidades están ajustadas a su comportamiento histórico. Si tomamos la volatilidad en dólares y la relacionamos con el CCL deberíamos obtener una volatilidad en pesos alineados a mercado.

Para ello partimos de la volatilidad en dólares, 74.02% y la expresaremos como varianza diaria para lo cual la dividiremos en raíz 250 y luego la elevaremos al cuadrado.

$$\sigma\ Anual\ = 74.02 \rightarrow \left(\frac{\sigma}{\sqrt{250}}\right)^2 \rightarrow varianza\ diaria \rightarrow 0.002192$$

Con la varianza diaria de la acción y los datos de varianza diaria del CCL y su correlación, datos obtenidos de la serie históricas podemos obtener la matriz varianza y covarianza

	ADR	CCL
ADR	0,002192	- 0,000480
CCL	- 0,000480	0,000401

Ahora podemos aplicar la ecuación (18) y obtenemos lo siguiente

$$Varianza\ del\ Porfolio = 0.001633\ \rightarrow \sigma\ diario\ 0.040415\ \rightarrow \sigma\ anualizado = 63.90$$

Como resultado el porfolio sintético arrojo un desvío anualizado del 63.9, por su parte el mercado valoro desvío anual del 63.94, valores virtualmente idénticos.

Esto nos indica que el valor del call y el put, en diversas monedas están manteniendo adecuadamente las relaciones de volatilidad entre los instrumentos y que los precios de ambos instrumentos son acordes a la volatilidad histórica del instrumento.

Esto no es siempre así, el mercado puede tomar volatilidades más elevadas, subiendo los costos de los instrumentos y haciéndolo menos adecuados para la cobertura.

En el siguiente grafico podemos observar las correlaciones positivas entre volatilidad y costo efectivo.

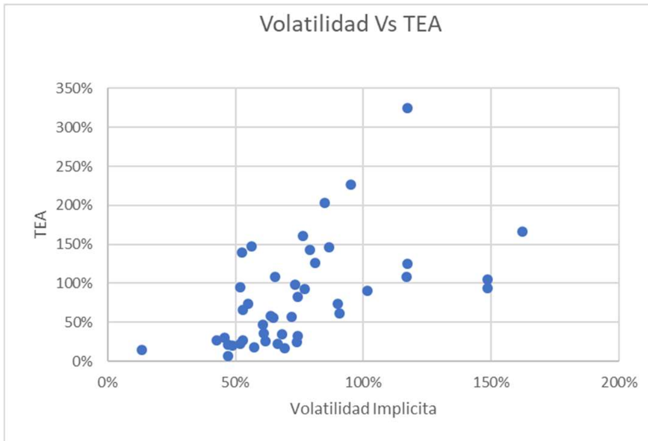


Figura 18: Comparación de volatilidad y tasa efectiva

Como se indicó, no todas las combinaciones de precios son apropiadas para la estrategia y dependerá de los factores de tasa y costo en dólares. A los valores actuales de mercado podemos ver en verde cuales son las combinaciones sustentables.

PUT \ CALL	15%	74%	93%	94%	98%	109%	125%	143%	146%	161%	166%	203%	227%	325%
7%	21%	80%	99%	101%	105%	115%	132%	150%	153%	167%	173%	210%	234%	332%
16%	31%	90%	109%	110%	115%	125%	141%	160%	163%	177%	182%	220%	243%	342%
18%	33%	92%	111%	112%	117%	127%	143%	162%	165%	179%	184%	222%	245%	344%
20%	35%	94%	113%	114%	118%	129%	145%	163%	166%	181%	186%	223%	247%	345%
21%	36%	95%	114%	115%	120%	130%	146%	165%	168%	182%	187%	225%	248%	347%
22%	37%	95%	115%	116%	120%	131%	147%	165%	168%	183%	188%	225%	249%	347%
22%	37%	95%	115%	116%	120%	131%	147%	165%	168%	183%	188%	225%	249%	347%
25%	40%	99%	118%	119%	123%	134%	150%	168%	171%	186%	191%	228%	252%	350%
26%	40%	99%	119%	120%	124%	134%	151%	169%	172%	186%	192%	229%	253%	351%
26%	41%	100%	119%	120%	125%	135%	151%	170%	173%	187%	192%	230%	253%	352%
27%	42%	101%	120%	121%	126%	136%	152%	170%	173%	188%	193%	230%	254%	352%
30%	45%	104%	123%	124%	129%	139%	155%	173%	177%	191%	196%	233%	257%	356%
32%	47%	106%	125%	126%	131%	141%	157%	176%	179%	193%	198%	236%	259%	358%
35%	50%	109%	128%	129%	133%	144%	160%	178%	181%	196%	201%	238%	262%	360%
35%	50%	109%	128%	129%	134%	144%	160%	179%	182%	196%	201%	239%	262%	361%
47%	61%	120%	139%	141%	145%	155%	171%	190%	193%	207%	212%	250%	273%	372%
56%	71%	130%	149%	150%	155%	165%	181%	200%	203%	217%	222%	260%	283%	382%
57%	71%	130%	149%	151%	155%	165%	181%	200%	203%	217%	222%	260%	284%	382%
57%	72%	131%	150%	152%	156%	166%	182%	201%	204%	218%	223%	261%	284%	383%
62%	77%	136%	155%	156%	160%	171%	187%	205%	208%	223%	228%	265%	289%	387%
66%	81%	140%	159%	160%	165%	175%	191%	210%	213%	227%	232%	270%	293%	392%
74%	88%	147%	167%	168%	172%	182%	199%	217%	220%	234%	240%	277%	301%	399%
82%	97%	156%	175%	176%	181%	191%	207%	226%	229%	243%	248%	286%	309%	408%
91%	105%	164%	183%	185%	189%	199%	216%	234%	237%	251%	256%	294%	318%	416%
95%	110%	169%	188%	190%	194%	204%	220%	239%	242%	256%	261%	299%	322%	421%
105%	120%	179%	198%	199%	203%	214%	230%	248%	251%	266%	271%	308%	332%	430%
108%	123%	182%	201%	202%	207%	217%	233%	252%	255%	269%	274%	312%	335%	434%
126%	140%	199%	218%	220%	224%	234%	250%	269%	272%	286%	291%	329%	353%	451%
140%	154%	213%	233%	234%	238%	248%	265%	283%	286%	300%	306%	343%	367%	465%
147%	162%	221%	240%	241%	246%	256%	272%	290%	293%	308%	313%	350%	374%	472%

Figura 19: Cuadro de combinación de costos

XI. Conclusiones

Hemos realizados un recorrido extenso desde el planteo del problema a la búsqueda de una solución al desdoblamiento cambiario.

Para protegerse frente a este riesgo, se construyó el sintético de un Call del tipo de cambio CCL, mediante la construcción de un Call en pesos y un Put en dólares del ADR.
Se ha podido concluir lo contundente del comportamiento de cobertura del sintético a nivel analítico y algebraico y se hicieron pruebas de Montecarlo con diez mil escenarios.

Finalmente se ha detallado los aspectos de mercado al momento de la operación de cobertura con esta metodología, ya que, de no medir correctamente el costo de cobertura, esta pudiera ser considerablemente onerosa. Cuando el costo de la cobertura es elevado, la inexistencia de devaluación traerá un lastre que no podrá ser soportado por la tasa en pesos y puede inclinar el resultado del porfolio.

Se debe considerar los efectos de un mercado ilíquido del Call o del Put de ADR, con precios que muchas veces no se condicen con el nivel de sigma razonable en la determinación de la prima o precio de las opciones y que en ocasiones no mantienen la relación de varianzas.

Otro aspecto de mercado, es el de poder contar con volumen y valores lo más cercanos al spot para evitar distorsiones en el delta de la estructura.

Aun así, con todas estas limitante y aspectos, podemos concluir que la construcción del sintético resulta adecuada para la cobertura del riesgo cambiario en escenarios de desdoblamiento cambiario y una elección apropiada de las primas y el plazo, le permiten a un porfolio manager proteger la cartera y cumplir con las obligaciones, cuando administre un ALM en un mercado con restricciones.

XII. Anexos

Anexos: Test de Media

	Pablacion 2	Pobalcion 1
MEDIA	212,64	207,80
DESVIO	68,53	67,89
N	533	533
DESVIO OBJETIVO		1
SIGNIFICACIA		5%

CALCULO AUXILIARES		
Numerador	3,84	
Denominador	8,81	8,65
Z	3,84	
	4,18	
Z	0,9183	

No se rechaza la de hipotesis nula
con nivel de significancia

No existen diferencias SIGNIFICATIVA
Son estadisticamente similares

Solución

Se usa *Z* porque aunque las desviaciones estándar poblacionales son desconocidas, se tienen muestras grandes ($n \geq 30$):

$$z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - \delta}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

Bibliografía

Vadosa, M. (2015). *Los controles de cambio en la Argentina: El cepo cambiario.* Academia.edu.

Búa, M. M. (2010). El riesgo cambiario y su cobertura financiera. *Revista Galega de economía*, 1.

Cerruti, J. (2012). Dólar paralelo: cómo vivieron 38 países que tuvieron tipo de cambio desdoblado. *El Cronista*.

Fernández, V. (1999). Teoría de Opciones: una síntesis. *Revista de Análisis Económico*.

Hull, J. C. (1997). *Options, Futures and Other Derivatives.* Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.

Kiguel, M. y. (1995). *Tipos de cambio paralelos en los países en desarrollo.* The World Bank Research Observer.

Lamothe Fernandez, P. (2003). *Opciones Financieras y Productos Estructurados.* Madrid: McGRAW-HILL.

LEVI, M. (1997). *Finanzas internacionales.* 3ª ed. Madrid: McGraw Hill.

Taylor, M. (2007). An Introduction to the Foreign Exchange Market. En V. Sharan, *International Financial Management.* Oxford University Press.

UBA, A. A. (2012). ¿Importa el paralelo? La relevancia del tipo de cambio. *El desafío del desarrollo para la Argentina en un contexto mundial incierto.*