

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A.C.**



**LA RELACIÓN ENTRE LA CRISIS Y EL FUTURO DEL TIPO DE CAMBIO**

**TESINA**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**LICENCIADO EN ECONOMÍA**

**PRESENTA**

**JOSÉ RAÚL LUYANDO SÁNCHEZ**

**DIRECTOR DE LA TESINA:**

**DR. FAUSTO HERNÁNDEZ TRILLO**

**CIUDAD DE MÉXICO**

**AGOSTO, 2017**

*Para mi familia y amigos del CIDE*

## **Agradecimientos**

*Quiero agradecer a mi asesor el Dr. Fausto Hernández quien no sólo fue mi asesor, sino que fue un guía y consejero para mí más allá de lo académico; a mis lectores: el Dr. Rodolfo Cermeño y el Dr. Gustavo Del Ángel; a todos mis profesores durante la carrera, de los cuales he aprendido mucho todos estos años; a mis padres que siempre me impulsaron a ser constante cada día, en especial a mi papá, quien fue el que me incitó a entrar al CIDE; a mi abuelita que siempre ha sido un apoyo incondicional y a mis amigos tanto del CIDE como externos.*

## **Resumen**

*Basándonos en la existencia de varios trabajos a lo largo del siglo XX y XXI sobre la relación, de una u otra manera, de los derivados sobre el tipo de cambio, su relación con el activo subyacente (tipo de cambio) y los cambios y predictibilidad de este último, la presente investigación buscará capturar el efecto de la volatilidad del tipo de cambio MXN/USD para el periodo de la crisis del 2008 y determinar si la evolución en la serie de futuros sobre el tipo de cambio pudiera haber sido una buena forma de predecir la volatilidad del tipo de cambio en México, entre los años 2008 y 2009.*

## **CONTENIDO**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
<b>3. DATOS .....</b>	<b>8</b>
<b>4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>9</b>
<b>5. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>22</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>23</b>

## Lista de tablas:

A.1. Causalidad de Granger a 2 rezagos.....	12
A.2. Causalidad de Granger a 4 rezagos.....	13
A.3. Causalidad de Granger a 6 rezagos.....	13
B.1. Modelo AR (1) para la serie de tipo de cambio.....	15
B.2. Prueba de Dickey-Fuller sobre la serie de tipo de cambio. ....	16
B.3. Modelo AR (1) con la serie que se transformó en estacionaria. ....	17
B.4. Modelo ARCH (1,1) con la serie que se transformó en estacionaria. ....	18
B.5. Modelo GARCH (1,1) con la serie que se transformó en estacionaria. ....	18
C.1. Modelo GARCH (1,1) con la serie que se transformó en estacionaria añadiéndole la variable <i>dummy</i> . ....	20

## **Lista de gráficos:**

1. Gráfico de la tendencia de la serie de tipo de cambio periodo 2001-2017..... 14
2. Gráfico de la tendencia de la serie de tipo de cambio que se transformó en estacionaria periodo 2001-2017..... 15
3. Gráfico que compara los gráficos 1 y 2..... 19

## **Lista de figuras:**

1. Correlograma de la serie de tipo de cambio periodo 2001-2017.....	14
2. Histograma de la serie de tipo de cambio que se transformó en estacionaria periodo 2001-2017.....	16
3. Correlograma de la serie de tipo de cambio que se transformó en estacionaria periodo 2001-2017.....	17
4. Figura que muestra la normalidad de residuos de la serie que se transformó en estacionaria periodo 2001-2017.....	20

## 1. INTRODUCCIÓN

Existe una amplia literatura sobre si los derivados financieros pueden predecir de manera acertada el tipo de cambio (Fama, 1984). De igual forma, hay otros trabajos que tratan de encontrar una relación entre el tipo de cambio, algún derivado de este último y la fragilidad financiera o realizar un análisis individualizado de cada una de estas variables. La mayoría de los trabajos tratan de vincular la introducción de futuros u otros derivados -en especial, derivados sobre el tipo de cambio-, con la fragilidad financiera (Jochum y Kodres, 1998). También, hay trabajos que tratan de relacionar el tipo de cambio con la fragilidad financiera (Eichengreen y Hausmann, 1999). Por otro lado, existen otros que tratan de buscar la mejor manera de predecir el tipo de cambio de manera estadística (Mark, 1995). Por último, hay investigaciones que tratan de relacionar el impacto de la introducción de futuros sobre el tipo de cambio en la volatilidad de este último (Kumar, 2015). Sin embargo, a pesar de la gran literatura existente que trata de relacionar de una u otra manera a los derivados sobre el tipo de cambio y su activo subyacente (el tipo de cambio), no existen artículos – en la revisión bibliográfica que realizamos- que vinculen de manera explícita la relación entre los derivados y la volatilidad de su activo subyacente en el periodo de la crisis del 2008.

Siguiendo el trabajo de Kumar (2015), la presente investigación buscará capturar el efecto de la volatilidad del tipo de cambio MXN/USD para el periodo de la crisis del 2008 y determinar si la evolución en la serie de futuros sobre el tipo de cambio pudiera haber sido una buena forma de predecir la volatilidad del tipo de cambio en México, entre los años 2008 y 2009. Para concretar esta idea, en primer lugar, se desarrollará un modelo que busque analizar la serie de tipo de cambio en cuanto a su volatilidad en el tiempo, para lo cual, se propone la utilización de un proceso GARCH (1,1)<sup>1</sup>. En segundo lugar, se busca encontrar una causalidad entre la serie de futuros del tipo de cambio y la serie de tipo de cambio. Para ello, se usarán pruebas de Causalidad de Granger. Por último, basados en los resultados obtenidos en las dos etapas anteriores, se buscará obtener una interpretación de los resultados de ambos modelos, del cómo los futuros podrían estar relacionados con la volatilidad del tipo de cambio y cómo esto pudiera servir a manera de predicción de crisis financieras similares a la del 2008. Todo la

---

<sup>1</sup> Que comúnmente se emplean en la modelación de series de tiempo financieras que exhiben volatilidad variable en el tiempo.

anterior teniendo en consideración que los futuros sobre el tipo de cambio -bajo la revisión de literatura que hacemos en este trabajo- no son buenas formas de predicción del tipo de cambio, sin embargo, reducen la volatilidad de este último, por lo que, un cambio amplio en un serie de futuros del tipo de cambio para el caso de México pudo ser, en su momento, una buena señal de aviso para predecir el traslape de la crisis del 2008 y, probablemente, podría ser una buena manera de predecir crisis futuras.

En el siguiente capítulo, marco teórico, se hará una revisión de las principales propuestas teóricas que estudian este fenómeno; en la tercera parte se hará una revisión del estado del arte en esta materia; en el capítulo cuatro se describe la metodología utilizada; en el capítulo cinco se analizan e interpretan los resultados encontrados; por último, se expresan algunas de las conclusiones.

## 2. MARCO TEÓRICO

Los derivados, como su nombre lo indica, son instrumentos cuyo precio depende de o se deriva del precio de otro activo o producto.<sup>2</sup> Con el gran desarrollo que hubo en el sector financiero de los derivados a partir de la segunda mitad del siglo XX, comenzaron a surgir muchos estudios sobre el funcionamiento eficiente y mecánico de estos últimos. Uno de los trabajos base en el ámbito del funcionamiento de los derivados y la relación que guarda con su activo subyacente fue el trabajo de Eugene Fama (1984) “Forward and spot Exchange Rates”. Ese trabajo parte del punto de consenso de los estudios de la época de que los *forwards* sobre el tipo de cambio tienen poco poder predictivo de la tasa futura del tipo de cambio. Utiliza un modelo –de poco consenso en la época- formulando el valor de un *forward* como la esperanza de la tasa futura de tipo de cambio más una prima.

$$F_t = E(S_{t+1}) + P_t .$$

Donde  $F_t$  es la tasa *forward*,  $E(S_{t+1})$  es la esperanza de la tasa spot del tipo de cambio y  $P_t$  es una prima. Bajo el poco consenso que se tenía de si en el valor de un forward, la prima variaba a lo largo del tiempo y una hipótesis de mercados eficientes y agentes racionales<sup>3</sup>, el trabajo encuentra que ambos componentes del lado derecho de la igualdad, antes escrita, varían a lo largo del tiempo. Además, se encuentra que la mayor parte de la variación en las tasas forward es debido a la prima y, más relevante aún, se encontró que la prima y la esperanza del tipo de cambio del siguiente periodo están negativamente correlacionados, lo cual es una contradicción a la manera intuitiva en la que se pensaría que funciona el modelo. Para la modelación económica de la primas introduce la tasa de interés y la paridad del poder de compra. Para su estudio utiliza las monedas de nueve países con respecto al dólar.

Al final y a modo de conclusión, da tres posibles explicaciones del porqué sus resultados: ineficiencia del mercado cambiario, intervención gubernamental en el mercado de tipo de

---

<sup>2</sup> John Hull, *Options, futures and other derivatives*, (Boston: Prentice Hall, 2012), 791.

<sup>3</sup> Un mercado eficiente es aquel en el que los recursos existentes en el mercado son asignados para todos y cada uno de los individuos que estén dispuestos a pagarlo al precio de mercado existente. Un individuo racional es aquel que maximiza su utilidad con base en su información disponible. (Véase Varian, *Intermediate Microeconomics*)

cambio, desviaciones estocásticas de la ecuación de poder de paridad de compra y la teoría doomsday.

Siguiendo lo anterior, que menciona el poco o nulo poder que tienen los *forwards* sobre el tipo de cambio en predecir la tasa futura del tipo de cambio, Hansen P. y Hodrick R. (1980) en su artículo “Forward exchange rates as optimal predictors of future spot rates: an econometric analysis” examinan la hipótesis de que la tasa esperada de retorno a la especulación en el mercado externo de tipo de cambio es cero.<sup>4</sup> Para ello, examinan la hipótesis de los mercados eficientes en una versión simplificada que establecen que si los agentes son neutrales al riesgo<sup>5</sup>, los costos de transacción son cero, la información se usa de manera racional y los mercados son competitivos el mercado será eficiente en el sentido que el retorno esperado a la especulación en el mercado forward será cero. Con ello estable que el logaritmo de la tasa forward es igual a la esperanza condicionada del logaritmo del tipo de cambio futuro.

$$f_{t,k} = E\left(\frac{S_{t+k}}{\vartheta_t}\right)$$

Donde  $f_{t,k}$  es la tasa *forward* logarítmica,  $\frac{S_{t+k}}{\vartheta_t}$  es el ajuste a la tasa spot para  $k$  periodos y  $E\left(\frac{S_{t+k}}{\vartheta_t}\right)$  es la esperanza condicionada del logaritmo del tipo de cambio futuro. Generan un nuevo método econométrico para evaluar restricciones en una ecuación de predicción para  $k$  periodos adelante. A partir de la ecuación de mercados eficientes genera un modelo de regresión para obtener los estimadores de los lags entre ambas variables.

El trabajo se hace para dos periodos: los 1920's y los 1970's. Se usan 5 monedas expresadas en dólares para el estudio. Para ambos periodos la ecuación y la hipótesis de mercados eficientes es rechazada e incluso para el periodo más moderno se rechazan muchas otras relaciones teóricas consideradas existentes para una relación entre el tipo de cambio y su forward.

Otros trabajos buscan la predictibilidad del tipo de cambio por sí mismo, sin necesidad de involucrar un derivado. Es su artículo “Exchange rates and fundamentals: evidence on long-

---

<sup>4</sup> Esto quiere decir que no existen oportunidades de arbitraje. (Véase Cochrane J., *Asset Pricing*)

<sup>5</sup> Esto implica que a los agentes sólo les importa el primer momento (la esperanza) de los retornos que puedan obtener, no les importa la varianza de estos.

horizon predictability”, Nelson Mark (1995) desarrolla regresiones sobre cambios de múltiples periodos en el logaritmo del tipo de cambio en su desviación con lo que debería ser su “valor fundamental”. Esto proporciona evidencia de que los cambios en el largo plazo de logaritmo de tipo de cambio nominal poseen un componente económico que es significativamente predecible. En su metodología, para ocuparse de los sesgos por selección de muestra y el tamaño de la distorsión en pruebas asintóticas, se usan distribuciones bootstrap.<sup>6</sup> Los coeficientes de regresión ajustados por sesgo y la R2 incrementan mientras más grande sea el horizonte de tiempo que abarca la muestra.

El trabajo usa cuatro monedas en su relación con el dólar. Se encuentra que mientras los cambios en el corto plazo son dominados por ruido, éste es promediado a lo largo del tiempo, por lo que revela que estos cambios se deben y se determinan por las principales variables económicas. Esto revela que, a pesar de los estudios anteriores, las tasas de tipo de cambio podrían sí ser predecibles después de todo.

Por el lado de si los derivados sobre una cierta moneda nacional pueden ser una buena manera de predecir el tipo de cambio, en su trabajo, “Currency Derivatives and Exchange Rate Forecastability”, Liu S (2007) se basa en una hipótesis que fue testada para el periodo de 1982-1997 cuando se introdujeron derivados financieros sobre el tipo de cambio para tres grandes relaciones de tipos de cambio y dos prominentes mercados en el mundo. Esta hipótesis sugiere que, a partir de la introducción de derivados financieros sobre el tipo de cambio, las tasas de tipo de cambio, dada la añadidura de información, deberían ser menos predecibles que antes y los mercados cambiarios del mundo deberían ser más eficientes. El autor, a través de varias pruebas estadísticas, que se hicieron por la introducción de contratos de derivados, encuentra que los tipos de cambio se hicieron más volátiles y las monedas involucradas tendieron a poseer un precio más eficiente, lo cual apoya la hipótesis propuesta anteriormente.

El autor obtiene 3 contratos de derivados para 9 monedas con el fin de probar la hipótesis de eficiencia mediante pruebas de correlación y volatilidad. El resultado de ambas pruebas confirma la hipótesis. Esto implica que la introducción de derivados sobre el tipo de cambio ha

---

<sup>6</sup> Es una técnica de re muestreo en la cual las muestras sucesivas se extraen de la muestra y no de la población de estudio. (Véase Efron B. y Tibshirani R., *An introduction to Bootstrap*)

provocado que los tipos de cambio sean útiles para cobertura y especulación debido a su carácter de no predecibles.

Existen otros trabajos que analizan que vinculan el tipo de cambio con la fragilidad financiera y los movimientos del tipo de cambio. Los autores Eichengreen B. y Hausmann R. (1999) en su trabajo “Exchange rates and financial fragility” se centran en relacionar el tipo de cambio con la fragilidad financiera de tres maneras distintas. En primer lugar, la hipótesis del riesgo moral, la cual dice que los países con tipos de cambio mixto ofrecen seguro frente al riesgo, por ello, promueven un desmedido ciclo de prestar-pedir. En segundo lugar, la hipótesis del pecado original que menciona la no completitud de los mercados financieros (un mundo dolarizado y falta de liquidez) que previene el uso de la moneda nacional de ser usada para préstamos en el extranjero o para préstamos internacionales de largo plazo. En tercer lugar, la hipótesis del problema de compromiso, que ve las crisis financieras como el resultado de la poca capacidad de las instituciones para asegurar el compromiso de ambas partes en un ciclo prestar-pedir. Al final, después de analizar las hipótesis, se hace mención de las implicaciones para las políticas de mercado cambiario en los países en vías de desarrollo.

El trabajo guía de esta tesina es el de Kumar A. (2016), “Impact of currency futures on volatility in exchange rate: a study of Indian currency market” (2016). El trabajo realiza un estudio sobre la introducción de los futuros sobre el tipo de cambio entre la rupia india y el euro y la volatilidad que esto produce en el mercado de tipo de cambio indio-euro. Se usan valores del tipo de cambio rupia india-euro diarios del 1 de enero de 2006 hasta el 30 de septiembre del 2014. El estudio se divide en dos periodos antes de la introducción de futuros y después de ellos (1 de febrero de 2010). Para obtener estimadores de la volatilidad del tipo de cambio se utilizan los modelos GARCH (1,1) (heteroscedasticidad condicional autorregresiva generalizada) de Bollerslev (1986) y el GARCH asimétrico de Glosten, Jagganathan y Runkle (1993).<sup>7</sup>

Los modelos encuentran que la volatilidad es persistente en ambos periodos y que la buenas noticias causan más volatilidad que las malas noticias. A través de varias pruebas estadísticas para diferenciar la volatilidad entre las tasas de tipo de cambio en los periodos antes y después

---

<sup>7</sup> Para más información de los métodos véase: Greene W., *Econometric analysis*.

de la introducción de los futuros, se encuentra que es significativamente diferente y que la volatilidad se redujo después de la introducción de los futuros al mercado cambiario indio-euro.

Por último, se va a explicar la diferencia entre un futuro y un *forward*. Un contrato de futuros es un contrato negociado en bolsa, es decir, es un contrato para entregar o recibir una cantidad específica de un activo en particular en una fecha futura fija, a un precio convenido en la negociación.<sup>8</sup> La diferencia que tiene con el forward es que como se negocian en bolsa, el contrato se vuelve estandarizado – se pone fecha de inicio, final, monto fijado, nombre-.

Ambos se modelan de la misma manera, pero, por su naturaleza poco formal, los forwards tienden a tener más riesgo de incumplimiento.

---

<sup>8</sup> Simon Gray y Joanna Place, “Derivados financieros”, *Centro de estudios monetarios latinoamericanos*, no. 69, (2003): 16.

### **3. DATOS**

En este trabajo se usará la serie diaria de tipo de cambio MXN/USD obtenida del Banco de México desde 2001 hasta principios de 2017. A su vez, se usará la serie diaria de futuros sobre el tipo de cambio MXN/USD obtenida de la base de datos de Bloomberg (la serie usada para este trabajo es la genérica que Bloomberg crea con base en las otras series que se negocian en los diversos mercados de derivados, ex. Chicago).

#### 4. METODOLOGÍA

En primer lugar, se desarrolló un modelo GARCH (1,1) sobre la serie de tipo de cambio que se tenía en la base de datos. El modelo es capturado por las ecuaciones de la media y varianza condicionales que están dadas respectivamente por:

$$y_t = \alpha + \beta y_{t-1} + \epsilon_t \quad (\text{A.1})$$

$$\sigma_t^2 = \delta + \gamma \epsilon_{t-1}^2 + \theta \sigma_{t-1}^2 \quad (\text{A.2})$$

Donde  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\theta$  son parámetros a estimar,  $y_t$ ,  $y_{t-1}$  son la media y la media rezagada,  $\sigma_t^2$ ,  $\sigma_{t-1}^2$  son la varianza y la varianza rezagada,  $\epsilon_t$  es el error de la regresión de la media y  $\epsilon_{t-1}^2$  es el error de la ecuación de la varianza condicional. Cabe destacar que a este modelo, el cual es el original, se le pueden agregar los regresores que sean necesarios para que la inferencia sea lo más precisa. En el caso de esta tesis, se desarrollará una regresión GARCH (1,1) original y una con un regresor *dummy* para un periodo determinado que se señala posteriormente.

Este modelo usualmente se usa para evaluar activos financieros por la heteroscedasticidad<sup>9</sup> que presentan normalmente. Para empezar se hicieron pruebas de no estacionalidad gráficas y al denotar que efectivamente la serie no era estacionaria, se le tomó el logaritmo y después la primera diferencia a la serie. Antes de la transformación, se hizo un correlograma de las series en el que se visualizaba que, posiblemente, un modelo AR(1) era necesario dada la correlación parcial en el primer *lag*. Para la serie transformada se hace un test de Dickey-Fuller para comprobar la hipótesis de serie no estacionaria (con raíz unitaria), la cual no es rechazada. En una gráfica de ésta última se observaron discontinuidades de saltos en los precios, es decir, la volatilidad aumentaba en ciertos periodos específicos, posiblemente por un choque – en nuestro caso tomamos ese choque como la crisis del 2008-2009. Al ver la gráfica, también vemos que hay un comportamiento asimétrico en las series, lo cual, denota volatilidad. Se crea una gráfica en la que se adjuntan la serie original y la serie transformada, en la cual se observa que los puntos en los que la serie normal es más alta coinciden con los periodos de mayor volatilidad. Primeramente se estima un modelo AR(1) sobre la series transformadas, se obtienen los cuadrados de sus errores y su correlograma, para después visualizar la

---

<sup>9</sup> Se refiere al hecho de que la varianza de los errores no es constante a lo largo de la muestra.

heteroscedasticidad viendo los niveles de auto correlación para cada *lag*. Viendo que la volatilidad no resulta homoscedastica, el modelo GARCH resulta apropiado ya que puede describir el comportamiento de la varianza condicional a lo largo del tiempo. Posteriormente, se corre otro modelo GARCH (1,1) incluyendo una variable *dummy* para las fechas 15 de septiembre del 2008 (quiebra de Lehman Bros.) hasta el 31 de diciembre del 2009. Los resultados e interpretación de ambos modelos se muestran en la siguiente sección.

Posteriormente, se realiza una prueba de Causalidad de Granger, que busca encontrar una relación causal entre ambas variables, ya sea bidireccional, unidireccional o ninguna. En la prueba se usan 2, 4 y 6 *lags*. La dirección, el monto y si hay dicha causalidad, estará determinado por los coeficientes de la variable causal de la regresión correspondiente. En el caso de esta tesina, lo que se busca es encontrar una causalidad entre los futuros del tipo de cambio sobre el tipo de cambio (o en todo caso, al revés). Para eso se plantean dos ecuaciones determinativas:

$$F(TC)_t = \sum_{i=1}^n \alpha_i TC_{t-i} + \sum_{j=1}^n \beta_j F(TC)_{t-j} + u_{1t} \quad (\text{B. 1})$$

$$TC_t = \sum_{i=1}^m \gamma_i TC_{t-i} + \sum_{j=1}^m \delta_j F(TC)_{t-j} + u_{2t} \quad (\text{B. 2})$$

Donde  $F(TC)_t$  es el futuro sobre el tipo de cambio peso mexicano/dólar,  $TC_t$  es el tipo de cambio peso mexicano/dólar,  $\alpha_i$ ,  $\beta_j$ ,  $\gamma_i$ ,  $\delta_j$  son los coeficientes de la regresión,  $TC_{t-i}$  y  $F(TC)_{t-j}$  son el tipo de cambio y el futuro sobre el tipo de cambio rezagados para  $i$  y  $j$  periodos respectivamente y las  $u$  son los errores aleatorios, los cuales podrían estar correlacionados.<sup>10</sup>

De aquí se podrían obtener tres resultados.

1. Causalidad unidireccional: sólo son significativamente diferentes de cero los coeficientes de una regresión, por lo cual, sólo hay una dirección de causalidad, o el tipo de cambio causa su contrato de futuro, o viceversa.
2. Causalidad bidireccional: Todos los coeficientes son significativamente distintos de cero, por lo tanto, hay retroalimentación entre ecuaciones y variables.

---

<sup>10</sup> Para mayor comprensión del tema véase Greene, *Econometric Analysis*.

3. Independencia: Ninguno de los coeficientes es significativamente distinto de cero, por lo tanto, no hay causalidad entre variables.

## 5. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

Analizando primero los resultados obtenidos en la prueba de Causalidad de Granger, podemos observar las siguientes tablas. Además, recordemos que la hipótesis nula de que el Tipo de Cambio (TC) no causa el Futuro sobre el Tipo de Cambio (FTC) se evalúa verificando que los coeficientes del TC en la ecuación 1 no son significativamente diferentes de cero en conjunto, mediante una prueba F. De manera similar, la hipótesis nula de que el Futuro sobre el Tipo de Cambio (FTC) no causa el Tipo de Cambio (TC) se evalúa verificando que los coeficientes del FTC en la ecuación 2 no sean significativamente diferentes de cero en conjunto, mediante una prueba F. Así, si los rezagos de TC en (1) no pueden explicar FTC entonces el Tipo de Cambio no causa al Futuro sobre el Tipo de Cambio; mientras que, si los rezagos de FTC en (2) no ayudan a explicar TC, entonces el Futuro sobre el Tipo de Cambio no causa al Tipo de Cambio. Por lo tanto, si ambas hipótesis no son rechazadas se concluye que hay independencia entre las variables, mientras que si ambas hipótesis son rechazadas se concluye que hay una causalidad bidireccional, y, si sólo una hipótesis es rechazada, se concluye que hay una causalidad unidireccional, en el sentido que corresponda. Mientras que la probabilidad que aparece es la probabilidad de cometer el error tipo 1 asociado al estadístico F. Recordemos que un error tipo 1 es aquel error que se comete cuando se rechaza la hipótesis nula siendo está verdadera.

Pruebas de Causalidad de Granger con 2 rezagos (Tabla A.1)			
Hipótesis nula	Observaciones	Estadístico F	Prob.
<i>El tipo de cambio no causa su futuro</i>	3994	6.38923	0.0017
<i>El futuro no causa su tipo de cambio</i>		1486.46	0.0000

Fuente: elaboración propia.

Analizando los resultados de esta primer gráfica podemos ver que la hipótesis nula se rechaza para ambos casos dado el “estadístico F” y que la probabilidad tan baja de cometer el error tipo 1<sup>11</sup>. Dado que ambas hipótesis nulas (de no causalidad) son rechazadas concluimos a

<sup>11</sup> Rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera. Para más información véase Gujarati, *Econometría*.

favor del resultado dos antes propuesto, es decir, hay causalidad bidireccional entre el Tipo de Cambio y su Futuro.

Pruebas de Causalidad de Granger con 4 rezagos (Tabla A.2)			
Hipótesis nula	Observaciones	Estadístico F	Prob
<i>El tipo de cambio no causa su futuro</i>	3994	5.12743	0.0004
<i>El futuro no causa su tipo de cambio</i>		817.346	0.0000

Fuente: elaboración propia.

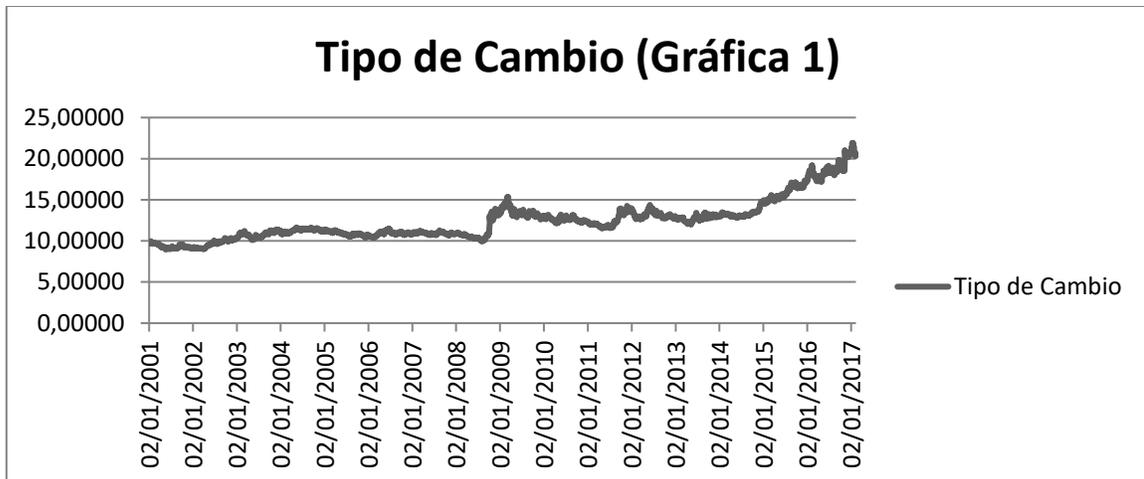
Para 4 rezagos, las pruebas de Causalidad de Granger siguen mostrando causalidad bidireccional.

Pruebas de Causalidad de Granger con 6 rezagos (Tabla A.3)			
Hipótesis nula	Observaciones	Estadístico F	Prob
<i>El tipo de cambio no causa su futuro</i>	3994	2.72325	0.0122
<i>El futuro no causa su tipo de cambio</i>		562.477	0.0000

Fuente: elaboración propia

Cuando se hace la prueba con 6 rezagos, la prueba de Causalidad de Granger continúa mostrando causalidad bidireccional. Sin embargo, a partir de los resultados se podría afirmar que la dirección de causalidad más factible es que los Futuros sobre el Tipo de Cambio propicien los cambios en el Tipo de Cambio y en la dirección opuesta es menos verificable.

En segundo lugar, hacemos un diagnóstico de la posible heteroscedaticidad en la serie de tipo de cambio en el tiempo y, posteriormente, analizaremos los resultados del modelo GARCH (1,1) sin incluir la variable *dummy* – anteriormente mencionada- para el periodo de la crisis.



Fuente: elaboración propia

La gráfica anterior muestra la evolución del tipo de cambio. Se puede ver, claramente, la tendencia al alza y la no estabilidad o tendencia a un estado estacionario de la serie.

### Figura 1

Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	0.998	0.998	3981.2	0.000
		2	0.995	-0.030	7944.6	0.000
		3	0.993	-0.014	11890.	0.000
		4	0.991	0.051	15818.	0.000
		5	0.989	-0.004	19731.	0.000
		6	0.986	-0.014	23626.	0.000
		7	0.984	-0.009	27505.	0.000
		8	0.982	-0.003	31366.	0.000
		9	0.979	-0.036	35209.	0.000
		10	0.977	-0.008	39034.	0.000
		11	0.974	-0.006	42840.	0.000
		12	0.972	-0.003	46627.	0.000
		13	0.969	-0.018	50395.	0.000
		14	0.967	-0.019	54143.	0.000
		15	0.964	-0.024	57871.	0.000
		16	0.961	0.014	61579.	0.000
		17	0.958	0.023	65267.	0.000
		18	0.956	0.002	68937.	0.000
		19	0.953	-0.002	72588.	0.000

Fuente: elaboración propia.

La tabla pasada obtenida de Eviews muestra el correlograma para la serie de tipo de cambio que se tiene en los datos. Se observa, por la auto correlación que desciende muy lentamente y la correlación parcial altamente significativa y cercana a uno en el primer *lag*, que la serie podría estar modelada como una caminata o proceso aleatorio, es decir, como un proceso

AR (1) con raíz unitaria. Esto se puede confirmar informalmente mediante la siguiente regresión<sup>12</sup>.

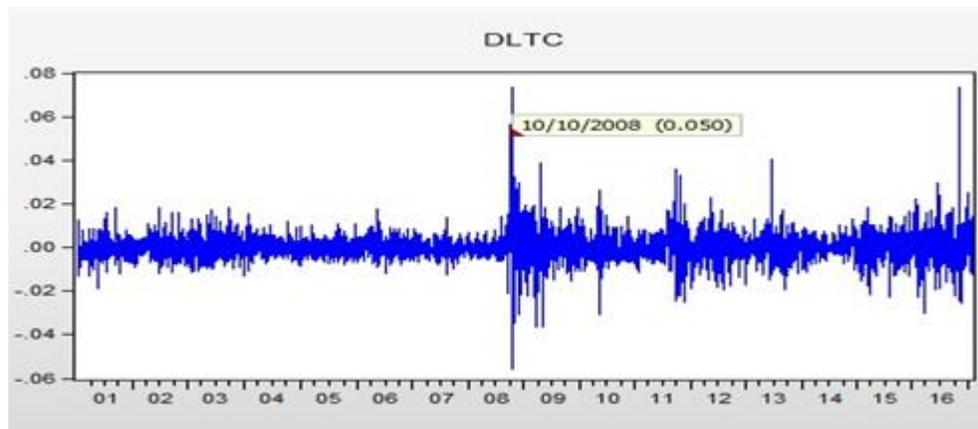
**Tabla B.1**

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.999983	0.000854	1170.788	0.0000
SIGMASQ	0.008659	5.74E-05	150.7495	0.0000
R-squared	0.998548	Mean dependent var		12.38545
Adjusted R-squared	0.998548	S.D. dependent var		2.442258
S.E. of regression	0.093078	Akaike info criterion		-1.907688
Sum squared resid	34.60208	Schwarz criterion		-1.904538
Log likelihood	3813.560	Hannan-Quinn criter.		-1.905571
Durbin-Watson stat	1.839452			
Inverted AR Roots	1.00			

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la tabla anterior muestran que la dinámica del tipo de cambio es consistente con un proceso no estacionario, donde la persistencia en el tiempo del regresor en el periodo anterior es total. Debido a esto, a la serie se le va a obtener el logaritmo para estabilizar su varianza y después su primera diferencia para estabilizar su media. La gráfica de la primera diferencia de la primera diferencia del tipo de cambio se muestra enseguida.

**Gráfica 2**



Fuente: elaboración propia.

<sup>12</sup> Proceso Auto regresivo. Para más información véase: Wei, W. "Time series Analysis".

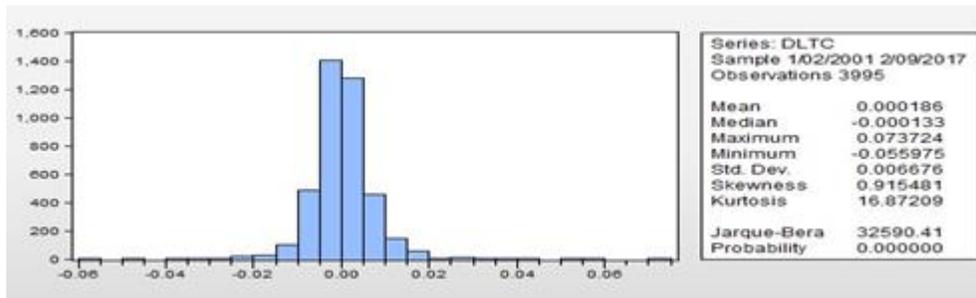
### Tabla B.2

Null Hypothesis: DLTC has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=30)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-59.80284	0.0001
Test critical values:		
1% level	-3.431802	
5% level	-2.862067	
10% level	-2.567094	

Fuente: elaboración propia.

La última tabla muestra la prueba de raíz unitaria a través del *test de Dickey-Fuller*. Esta última nos muestra que para los 3 valores críticos, el valor de estos en valor absoluto no es mayor que el “estadístico t” por lo que la serie transformada es estacionaria. En la siguiente gráfica se ve un histograma de la serie transformada en la cual se ve que esta distribución es leptocúrtica o que sus valores están muy concentrados alrededor de la media y las colas de la distribución son muy angostas.

### Figura 2



Fuente: elaboración propia.

Ahora, para continuar con nuestro análisis, se modelará la serie como el proceso AR(1) propuesto inicialmente.

### Tabla B.3

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.000186	0.000118	1.577544	0.1147
AR(1)	0.055307	0.006519	8.483532	0.0000
SIGMASQ	4.44E-05	3.67E-07	121.0482	0.0000
R-squared	0.003058	Mean dependent var		0.000186
Adjusted R-squared	0.002558	S.D. dependent var		0.006676
S.E. of regression	0.006667	Akaike info criterion		-7.182419
Sum squared resid	0.177462	Schwarz criterion		-7.177694
Log likelihood	14349.88	Hannan-Quinn criter.		-7.180744
F-statistic	6.121659	Durbin-Watson stat		2.000248
Prob(F-statistic)	0.002215			
Inverted AR Roots	.06			

Fuente: elaboración propia.

El valor para el coeficiente del AR(1) es estadísticamente significativo, mientras que el de la constante no lo es, ya que la probabilidad de cometer el error tipo 1 es relativamente alta. En la prueba de Durbin Watson, el valor es muy cercano a dos, lo cual nos descarta presencia de auto correlación de primer orden en los residuos, lo que podría significar que los residuos se comportan como ruido blanco<sup>13</sup>. Sin embargo, a pesar de que el modelo parece encajar muy bien en los datos, debemos constatar si existe o no heteroscedasticidad condicional autorregresiva. Realizando un correlograma de residuos al cuadrado del modelo anterior:

### Figura 3

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.342	0.342	466.40	0.000
		2	0.432	0.357	1213.2	0.000
		3	0.305	0.114	1585.5	0.000
		4	0.206	-0.041	1755.8	0.000
		5	0.182	-0.000	1888.2	0.000
		6	0.103	-0.028	1930.8	0.000
		7	0.116	0.033	1984.7	0.000
		8	0.079	0.016	2010.0	0.000
		9	0.108	0.056	2056.9	0.000
		10	0.087	0.018	2086.9	0.000
		11	0.077	-0.005	2110.4	0.000
		12	0.088	0.018	2141.4	0.000
		13	0.078	0.021	2165.6	0.000
		14	0.072	0.006	2186.7	0.000
		15	0.102	0.053	2228.7	0.000
		16	0.072	0.004	2249.6	0.000
		17	0.093	0.019	2284.3	0.000
		18	0.066	-0.010	2301.5	0.000

Fuente: elaboración propia.

<sup>13</sup> No hay correlación estadística entre periodo y otro y tiene media constante a lo largo del tiempo (se comportan de manera estacionaria).

Dado que al menos las primeras tres pruebas parciales son significativas, podemos concluir que existe heteroscedasticidad consistente con un patrón autorregresivo. Conviene recordar que los residuales que se usan como base para obtener el correlograma anterior son una aproximación de la varianza condicional. Esta heteroscedasticidad, normalmente, podría verse reflejada por la incertidumbre habitual que existe en el mercado del tipo de cambio. Se puede concluir, pues, que la varianza debe ser modelada dado que va a influir en los resultados de estimación y a su vez nos va a permitir analizar hasta qué punto ésta es afectada por la crisis financiera internacional. Modelando la serie transformada como un ARCH(1) y como un GARCH (1,1) consecutivamente, se obtiene:

**Tabla B.4**

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000149	8.69E-05	1.720292	0.0854
AR(1)	0.001290	0.007573	0.170332	0.8647
Variance Equation				
C	2.97E-05	4.22E-07	70.22885	0.0000
RESID(-1)^2	0.332218	0.018822	17.65065	0.0000
R-squared	0.000116	Mean dependent var	0.000183	
Adjusted R-squared	-0.000135	S.D. dependent var	0.006674	
S.E. of regression	0.006674	Akaike info criterion	-7.320627	
Sum squared resid	0.177839	Schwarz criterion	-7.314325	
Log likelihood	14523.29	Hannan-Quinn criter.	-7.318393	
Durbin-Watson stat	1.889075			
Inverted AR Roots	.00			

Fuente: elaboración propia.

**Tabla B.5**

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-2.35E-05	8.02E-05	-0.292897	0.7696
AR(1)	0.070642	0.016686	4.233645	0.0000
Variance Equation				
C	3.47E-07	6.52E-08	5.316636	0.0000
RESID(-1)^2	0.091787	0.005100	17.99592	0.0000
GARCH(-1)	0.904031	0.005735	157.6465	0.0000
R-squared	0.001998	Mean dependent var	0.000183	
Adjusted R-squared	0.001748	S.D. dependent var	0.006674	
S.E. of regression	0.006668	Akaike info criterion	-7.566796	
Sum squared resid	0.177504	Schwarz criterion	-7.558919	
Log likelihood	15115.89	Hannan-Quinn criter.	-7.564004	
Durbin-Watson stat	2.027371			
Inverted AR Roots	.07			

Fuente: elaboración propia.

Modelando la ecuación de la media y varianza, consecutivamente, para el proceso ARCH:

$$y_t = 0.000149 + 0.00129y_{t-1} + \epsilon_t \quad (\text{C. 1})$$

$$\sigma_t^2 = 0.0000297 + 0.332218 \epsilon_{t-1}^2 \quad (\text{C. 2})$$

Modelando la ecuación de la media y varianza, consecutivamente, para el proceso GARCH:

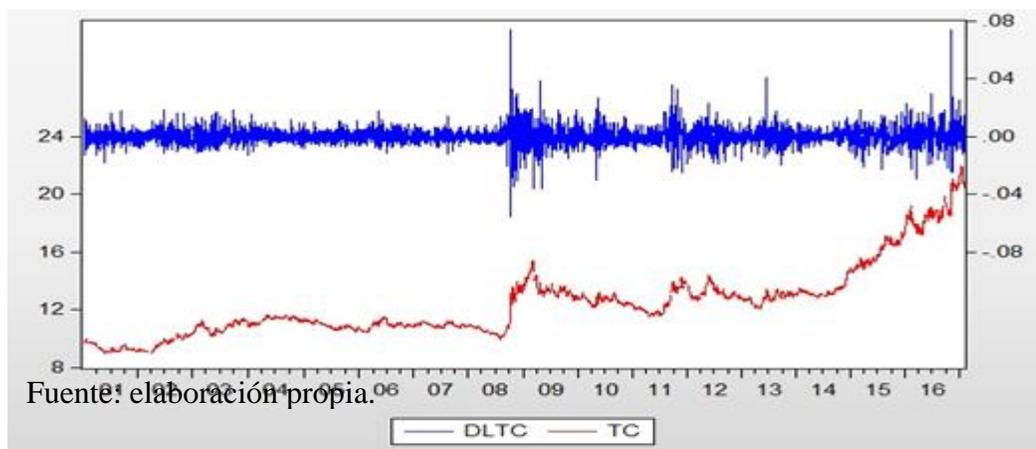
$$y_t = -0.0000235 + 0.070642y_{t-1} + \epsilon_t \quad (\text{D. 1})$$

$$\sigma_t^2 = 0.000000347 + 0.091787 \epsilon_{t-1}^2 + 0.904031\sigma_{t-1}^2 \quad (\text{D. 2})$$

Podemos observar de la tabla del modelo GARCH que la constante no es estadísticamente significativa, mientras que en el modelo ARCH todas las variables son estadísticamente significativas.

A continuación, agregamos al modelo la variable *dummy* para el periodo 15 septiembre del 2008 – quiebra de Lehman Brothers- al 31 de diciembre del 2009. En la siguiente gráfica, se adjunta la serie de tipo de cambio normal y la transformada del modelo realizado anteriormente, porque también va a ser utilizada para esta regresión, debido a su carácter ilustrativo. Se observa que en los periodos en los que hubo picos más pronunciados alza (línea roja), hubo mayor volatilidad (línea azul).

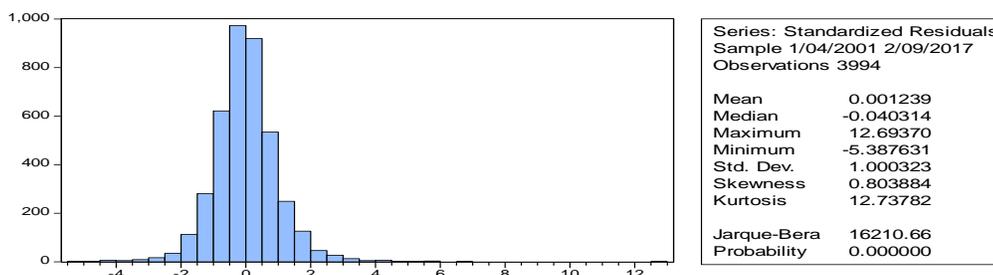
**Gráfico 3**



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura se muestra la normalidad de residuos de la serie transformada.

**Figura 4**



Fuente: elaboración propia.

En la tabla siguiente se muestran los resultados del modelo GARCH(1,1) con una variable *dummy* para el periodo antes mencionado.

**Tabla C.1**

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-2.54E-05	8.02E-05	-0.316449	0.7517
AR(1)	0.070717	0.016682	4.239161	0.0000
Variance Equation				
C	4.09E-07	7.16E-08	5.714965	0.0000
RESID(-1) <sup>2</sup>	0.093007	0.005174	17.97446	0.0000
GARCH(-1)	0.899057	0.005972	150.5349	0.0000
DUMMY	1.36E-06	4.31E-07	3.149855	0.0016
R-squared	0.001980	Mean dependent var	0.000183	
Adjusted R-squared	0.001730	S.D. dependent var	0.006674	
S.E. of regression	0.006668	Akaike info criterion	-7.567828	
Sum squared resid	0.177508	Schwarz criterion	-7.558375	
Log likelihood	15118.95	Hannan-Quinn criter.	-7.564477	
Durbin-Watson stat	2.027491			

Fuente: elaboración propia.

Las ecuaciones del modelo para la media y la varianza sucesivamente son:

$$y_t = -0.0000254 + 0.070717y_{t-1} + \epsilon_t \quad (\text{E. 1})$$

$$\sigma_t^2 = 0.000000409 + 0.093007 \epsilon_{t-1}^2 + 0.899057\sigma_{t-1}^2 + 0.00000136D \quad (\text{E. 2})$$

Se puede observar en la última tabla que, aunque el coeficiente asociado a la variable *dummy* es muy pequeño, ésta es estadísticamente significativa. Con esto podemos decir que esta variable captura un efecto externo sobre la volatilidad de la serie de tipo de cambio

## **6. CONCLUSIONES**

En este trabajo se encuentra que existe una relación causal bilateral entre el tipo de cambio y los futuros sobre el tipo de cambio. Por otro lado, un resultado importante es que para la serie de tipo de cambio en las fechas el 15 de septiembre de 2008 hasta finales del 2009 hay un incremento en la volatilidad de la serie. Además, hay un cambio en la tendencia, que anteriormente tenía tendencia a la media, a la alza. Agregando, a pesar del paso de los años posteriores que abarca nuestra muestra del tipo de cambio, la serie abarcada nunca regresa a la volatilidad relativamente pequeña que poseía antes de la crisis. Aparte de ello, dados los resultados obtenidos, se encuentra una causalidad bilateral entre ambas series, por lo que, los futuros sobre el tipo de cambio también capturan la volatilidad del tipo de cambio. Los resultados no son suficientes como para extrapolarlos como una medida eficiente de predicción de crisis futuras.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Bollerslev, Tim. “Generalized Autorregresive Conditional Heteroskedasticity”. *Journal of Econometrics* 31 (1986).
- Cocraine, John. *Asset Pricing*. Chicago: University of Chicago Press, 2000.
- Eichengreen, Barry y Hausman Ricardo. *Exchange Rates and Financial Fragility* (Massachusetts: National Bureau of Economic Research, 1999).
- Efron Bradley y Robert Tibshirani. *An Introduction to the Bootstrap*. New York: Chapman & Hall, 1993.
- Fama, Eugene. “Forward and Spot Exchange Rates”. *Journal of Monetary Economics* 14 (1984).
- Glosten, L, Jagganathan, R and Runkle D. “On the Relation between the Expected Value and the Volatility of the Nominal Excess Return on Stocks”, *The Journal of Finance* No. 5, Willey-Black Well, December
- Gray S. y Place J., *Derivados financieros*. México: Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos, 2003.
- Greene, William. *Econometric Analysis*. Nueva Jersey: Prentice hall, international editions, 1993.
- Gujarati, Damodar. *Econometría*. México: McGraw-Hill, 1993
- Hull, John. *Options, futures and other derivatives*. Boston: Prentice Hall, 2012.
- Hansen, L and Hodrick, R. (1980). “Forward Exchange Rates as Optimal Predictors of Future Spot Rates: An Econometric Analysis”, *JSTOR* No. 5, *The Journal of Political Economy*, October.

Jochum, Ch. and Kodres L. (1998). “Does the Introduction of Futures on Emerging Market Currencies Destabilize the Underlying Currencies?”, IMF Working Paper No. 98/13, International Monetary Fund, February.

Kumar, Ashish. *Impact of Currency Futures on Volatility in Exchange Rate: A study of Indian Currency Market* (Nueva Delhi: Sage, 2015).

Mark, Nelson. “Exchanges Rates and Fundamentals: Evidence on Long-Horizon Predictability”, Vol. 85, núm.1. (1995).

Varian, Hal. *Microeconomic Analysis*. New York: Norton, 1992.

Wei, William. *Time Series Analysis*. Nueva York: Pearson, 2006.