

**ΩΒΓ**

CURIOSITAS, DUBITARE, INVESTIGARE

**Omega Beta Gamma**

**ISSN 2312-4776**

Documento de Trabajo  
Nº 12-2014

**VOLATILIDAD DEL TIPO DE CAMBIO: UN ANÁLISIS  
DE HETEROCEDASTICIDAD CONDICIONAL  
AUTORREGRESIVA, PERÚ 2000-2014**

por

**Rafael Bustamante**

Setiembre 15, 2014



Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Lima - Perú

## Serie de Documentos de Trabajo OMEGA BETA GAMMA

El principal objetivo de la «Serie de Documentos de Trabajo OMEGA BETA GAMMA» es difundir los avances de investigaciones conducentes a futuras publicaciones de artículos científicos así como de textos resultantes del proceso de enseñanza de los profesores del Departamento de Economía de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; incluyendo publicaciones de investigadores nacionales e internacionales de otras instituciones de educación superior.

La «Serie de Documentos de Trabajo OMEGA BETA GAMMA» es promovido y desarrollado por un colectivo de profesores del Departamento de Economía de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

### COMITÉ EVALUADOR

Hugo Sánchez, DIRECTOR

Alfonso L. Ayala, *Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú*

Juan M. Cisneros, *Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú*

José A. Chumacero, *Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú*

Hugo Sánchez, *Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú*

### EDICIÓN

R. Fiorella Pérez

Documento de Trabajo OMEGA BETA GAMMA, Nro. 12-2014, setiembre 2014.

ISSN 2312-4776

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nro. 2015-15648

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Facultad de Ciencias Económicas

Av. Venezuela, cuadra 34.

Teléfono 619-7000, anexo 2231.

Lima 01

Perú

# VOLATILIDAD DEL TIPO DE CAMBIO: UN ANÁLISIS DE HETEROCEDASTICIDAD CONDICIONAL AUTORREGRESIVA, PERÚ 2000-2014

Rafael BUSTAMANTE\*  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Setiembre 15, 2014

## Resumen

El presente artículo trata sobre la estimación de distintos modelos de volatilidad del tipo de cambio, a la luz de los modelos de heterocedasticidad condicional autorregresiva, los cuales se van a diferenciar entre sí, según la forma de dependencia de la volatilidad de su propio pasado o según los factores que en ella pueden influir. Asimismo, se mostrará la evidencia de que la volatilidad de la rentabilidad del tipo de cambio es fuertemente influenciada por shocks macrofinancieros externos y que además el comportamiento de ésta rentabilidad responde a un componente autorregresivo de primero orden junto a un comportamiento GARCH(5,6).

**Palabras claves:** Volatilidad estocástica, máxima verosimilitud, ARCH, GARCH, GARCHM, EGARCH, AGARCH.

**Clasificación JEL:** C13, F31, F47.

---

\*B. Sc. Economía, M. Sc. Economía, Universidad Nacional Mayor de San Marcos y M. B. A. (c), Pontifica Universidad Católica del Perú. Profesor Auxiliar del Departamento de Economía, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ciudad Universitaria, Av. Venezuela, Cdra. 34, Lima 01. Teléfono 619-7000, anexo 2210. Contacto: [rbustamanter@unmsm.edu.pe](mailto:rbustamanter@unmsm.edu.pe).

# 1. Introducción

En las últimas dos décadas, se ha visto un incremento en la literatura dedicada al estudio del tipo cambiario, debido a la volatilidad que esta ha experimentado, tanto en países en vías de desarrollo como en países desarrollados, y a los efectos negativos que ello conlleva. Por tal razón, se ha incrementado el interés en comprender las causas de las fluctuaciones del tipo de cambio. Así como de saber si las devaluaciones nominales son un instrumento político eficaz. El Banco Central de Reserva es el principal autor de esta flexibilidad cambiaria, debido a que gracias a su correcta intervención, genera una menor volatilidad del mismo.

Asimismo, una mayor estabilidad del comportamiento del tipo cambiario es en parte explicada por la intervención del BCRP a través de compras directas de dólares, que luego coloca en Certificados de Depósito Reajustables (CDR) para atenuar las presiones alcistas sobre el billete verde. Por un lado, las empresas y los inversionistas institucionales (AFP) aún no se convencen de la fortaleza del sol en el corto plazo y no dejan que el tipo de cambio baje; por el otro, vemos al Banco Central vendiendo dólares cuando hay un sentimiento negativo en la región. Lo resaltante de esta situación es que el BCR cambia sus métodos de intervención dependiendo de la situación del mercado. No tiene un instrumento definido. Además, interviene en el tipo de cambio a futuro a través de los *swaps*.

El canal del tipo cambiario es un caso particular del canal de activos; puesto que, el tipo cambiario es el precio de un activo financiero que resulta de suma importancia para economías emergentes en un contexto de creciente apertura de mercados. Según Mishkin [20], las fluctuaciones del tipo de cambio en el corto plazo además de tener un efecto en las exportaciones, pueden tener un efecto significativo en las hojas de balance de las empresas financieras y no financieras, cuando estas tienen activos y pasivos en distintas monedas, particularmente en economías pequeñas y abiertas.

El comportamiento del tipo cambiario debería depender de la tasa de interés; sin embargo, el impacto exacto de un cambio de la tasa de política es incierto. Sin la intervención del banco central para equilibrar las fluctuaciones en la liquidez, la tasa de interés de corto plazo y el tipo de cambio tendrían un comportamiento más volátil de lo necesario y esto afectaría el desarrollo del sector financiero y de la economía.<sup>1</sup>

El propósito de este trabajo es examinar la dinámica del tipo de cambio y su volatilidad, para el período comprendido entre enero de 2000–2014, a través de la aplicación de modelos GARCH para el mercado cambiario. Se utilizó el tipo de cambio bancario diario promedio obtenido de la base de datos del Banco Central.

Dado que la evolución de las variables financieras es de naturaleza aleatoria y que su valor futuro no se puede pronosticar con precisión, se utilizan términos relacionados a la estadística y probabilidad para analizar sus características.

Una primera característica es que las variaciones grandes, sean positivas o no, ocurren con mayor frecuencia de lo que se supone teóricamente. Es decir, que la posibilidad de tener fuertes ganancias o grandes pérdidas son mayores que las que corresponderían a una distribución normal. En términos de análisis de portafolio, esto quiere decir que con frecuencia se subestima el riesgo de los activos financieros pues se asume un comportamiento menos volátil del que realmente tienen. Esta característica de mayor presencia de variaciones extremas que la obtenida de una distribución normal se asocia al excesivo empinamiento de la distribución de probabilidades de la serie en estudio (la curtosis de la distribución). Efectivamente, en todas las series analizadas, cambiarias y bursátiles, se encontraron valores de curtosis elevados.

Por lo general, esta característica se vincula al hecho que los resultados de las inversiones en moneda extranjera son impredecibles y no es factible deducir un patrón de comportamiento que pueda servir para obtener ganancias extraordinarias. Es decir, si el mercado financiero es eficiente, no hay posibilidad de generar regularmente ganancias extraordinarias. En el caso peruano, las pruebas sobre el período de análisis total muestran evidencia de que esto no sería así y que sí existiría una relación entre las rentabilidades cambiarias y sus respectivos valores previos.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Ver [19].

<sup>2</sup>Ver [17].

## 2. Hechos estilizados

El tipo cambiario responde a la evolución y expectativas de ingresos y egresos de divisas; estos resultan del saldo neto entre nuestras exportaciones e importaciones de bienes y servicios, y de la diferencia entre la entrada y salida de capitales (conformada por inversiones reales y financieras, endeudamiento). En nuestro caso, confluyen menores envíos, menor entrada de inversión directa y la salida de capitales. A continuación presentamos en la figura 1 la evolución del tipo de cambio, durante el periodo de estudio. Como se puede observar el tipo cambiario ha venido teniendo una tendencia decreciente hasta finales del 2012, periodo en el cual tuvo que enfrentar la crisis.

Durante la crisis financiera de 2007,<sup>3</sup> los tipos de cambio, estuvieron sujetos a una burbuja especulativa. Sin embargo, no existe evidencia de que se haya generado una crisis cambiaria.

No existe acuerdo en la definición de una crisis cambiaria, a pesar que ésta ha estado asociada a las crisis financieras internacionales.



Figura 1: Evolución diaria del tipo de cambio nominal (Dólar/Soles) 2000-2014. Fuente: BCRP. Elaboración propia

En seguida, se resumirá algunas de las conceptualizaciones planteadas por diversos autores. Frankel y Rose [12] conceptualizan a una crisis cambiaria como un aumento del tipo de cambio nominal mayor que 25 %, porcentaje definido de manera arbitraria. Esquivel y Larraín [8] definen a las crisis cambiarias como un cambio abrupto en el tipo de cambio nominal: si el aumento en el tipo cambiario nominal ocurre en una proporción igual al diferencial de inflaciones, manteniendo constante el poder de compra de la moneda nacional, el tipo de cambio real no se altera. En consecuencia, las devaluaciones nominales que tienden a ocurrir en momentos de alta inflación y que ajustan el tipo de cambio a la inflación, no constituyendo una crisis cambiaria. Para que un aumento en el tipo de cambio nominal sea calificado como una crisis cambiaria, debe acumularse un aumento del tipo de cambio real mayor que 15 % durante tres meses consecutivos.

<sup>3</sup>La crisis financiera de 2008 se desató de manera directa debido al colapso de la burbuja inmobiliaria en Estados Unidos en el año 2006, que provocó aproximadamente en octubre de 2007 la llamada crisis de las hipotecas subprime. Las repercusiones de la crisis hipotecaria comenzaron a manifestarse de manera extremadamente grave desde inicios de 2008, contagiándose primero al sistema financiero estadounidense, y después al internacional, teniendo como consecuencia una profunda crisis de liquidez, y causando, indirectamente, otros fenómenos económicos, como una crisis alimentaria global, diferentes derrumbes bursátiles (como la crisis bursátil de enero de 2008 y la crisis bursátil mundial de octubre de 2008) y, en conjunto, una crisis económica a escala internacional.

Por otro lado, el tipo de cambio tuvo una tendencia ascendente, sobre todo desde mayo del 2013, por la influencia de factores externos. En particular, la perspectiva del inicio del retiro de los estímulos monetarios en Estados Unidos, ocasionó un cambio de portafolio, principalmente de inversionistas locales.<sup>4</sup> En consecuencia, el BCRP modificó la dirección de sus intervenciones en el mercado cambiario. Así, mientras que entre enero y abril del 2013 realizó compras en dólares por US\$5,210 millones desde mayo hasta diciembre del 2013, efectuó ventas que ascendieron a US\$5,205 millones. Con ello se convirtió en un comprador neto de dólares incrementándose así las reservas internacionales netas alcanzaron un nivel de US\$65,663 millones a diciembre del 2013.

A continuación, observamos el comportamiento de las operaciones cambiarias del BCRP, durante el periodo de estudio. Se puede observar que a partir de diciembre del 2006 el comportamiento del mismo ha sido más volátil, debido a los acontecimientos mundiales que ocurrieron después de ese periodo que afectaron la estabilidad del tipo de cambio.

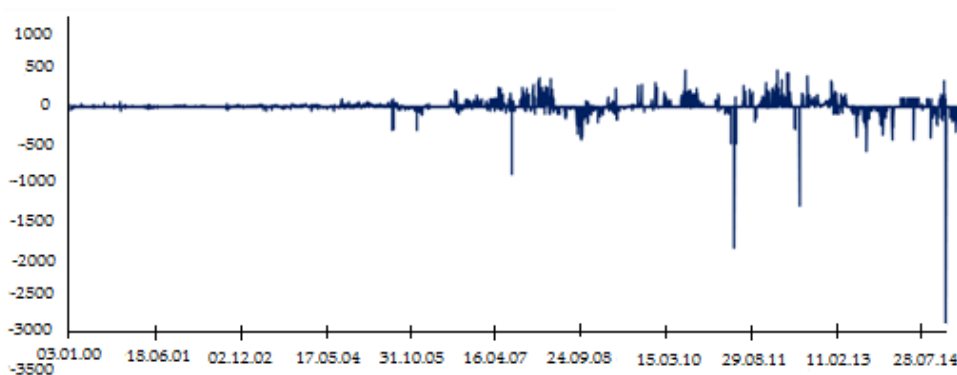


Figura 2: Operaciones cambiarias en millones de soles. Fuente: BCRP. Elaboración propia.

Seguidamente, presentamos en la figura 3, la evolución de la volatilidad del tipo de cambio, expresado en su rentabilidad diaria durante el periodo de estudio.

Para realizar un análisis de la volatilidad que se ha producido en estas variables se va a trabajar con la primera diferencia regular del logaritmo neperiano del tipo de cambio, a la cual denominaremos rentabilidad del tipo de cambio.

Una primera característica es que las variaciones grandes, sean positivas o negativas, ocurren con mayor frecuencia. Es decir, que la posibilidad de tener fuertes ganancias o grandes pérdidas son mayores que las que corresponderían a una distribución normal. En términos de análisis de portafolio, esto quiere decir que con mucha frecuencia se subestima el riesgo de los activos financieros pues suponen un comportamiento menos volátil del que realmente lo tienen. Asimismo esta característica de mayor presencia de variaciones extremas.<sup>5</sup>

Hay claramente tres episodios de volatilidad financiera (2006, 2008-2009 y 2011-2014), con aumentos pronunciados primero y disminuciones fuertes después en la desviación estándar de los retornos. Claramente, el período reciente de crisis financiera global es el que corresponde a la mayor volatilidad durante toda la muestra analizada. En circunstancias en las que existe una mayor incertidumbre macroeconómica o financiera, ambos mercados presentan una mayor volatilidad en sus rentabilidades.

<sup>4</sup>Ante la crisis financiera del 2008-09, los Bancos Centrales, especialmente la Reserva Federal (FED) de Estados Unidos, respondieron con una política monetaria expansiva; eso quiere decir, reduciendo tasas de interés e inyectando dinero a la economía. La manera como la FED comenzó a inyectar dinero a la economía fue a través de paquetes, conocidos como QE por sus siglas en inglés, que consisten en la compra de instrumentos financieros (principalmente bonos del tesoro) con dinero «nuevo». Al inyectar dinero, particularmente a través de las entidades financieras, los bancos centrales esperan incentivar la economía y el crédito. Después de tres paquetes y cinco años de estímulo monetario, Ben Bernanke, entonces presidente de la FED, anunció en diciembre del 2013 que comenzará a reducir el ritmo de inserción de dinero a la economía en US\$ 10,000 millones —de US\$ 85,000 millones al mes a US\$ 75,000 millones—. Dicha reducción dio inicio al proceso conocido como *tapering*, que terminará una vez las compras se reduzcan a cero.

<sup>5</sup>Ver [17].

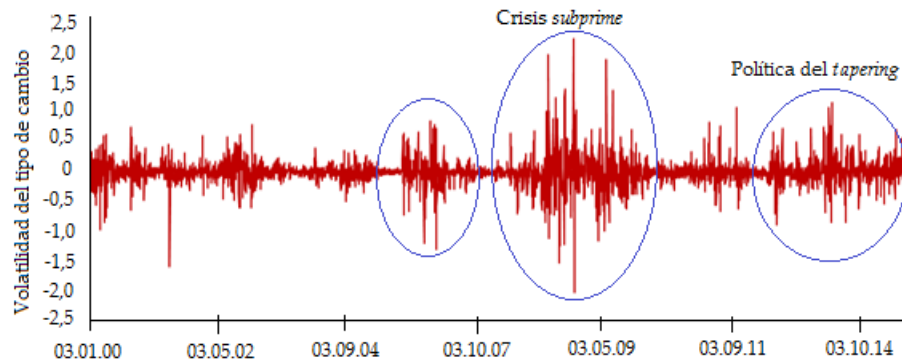


Figura 3: Operaciones cambiarias en millones de soles. Fuente: BCRP. Elaboración propia.

Finalmente, al observar la figura 3, se puede apreciar que se producen clustering o concentración de volatilidades; es decir, en ciertos momentos del tiempo se producen altas dispersiones y en otros la dispersión es menor. Ya en el análisis empírico; por un lado, en las funciones de autocorrelación simple y parcial de la rentabilidad del tipo de cambio y de la misma elevada al cuadrado, observamos posibles indicios de autocorrelación.

### 3. Marco teórico

La apertura de los mercados ha derivado en un incremento sostenido tanto en las relaciones de intercambio comercial como en la circulación de los capitales destinados a la inversión internacional de portafolios. Las fluctuaciones pronunciadas en el tipo de cambio dificultan la toma de decisiones relacionadas con el comercio internacional y la inversión internacional de capitales debido a que generan un gran riesgo cambiario para los inversionistas privados. Por otro lado, estas fluctuaciones cambiarias son percibidas por algunos inversionistas como magníficas oportunidades de inversión como lo indican la intensa actividad y los cuantiosos volúmenes de las negociaciones que se llevan a cabo en el mercado internacional por este motivo.

La volatilidad en el tipo cambiario, junto con la volatilidad de los precios de otros activos financieros, ha fomentado el desarrollo de nuevos mercados e instrumentos que pueden en todo caso reducir o incrementar la exposición a las condiciones de la volatilidad cambiaria.

Asimismo, se ha argumentado que los sistemas de flotación cambiaria pueden ser más riesgosos que los sistemas de paridades fijas, es decir, se espera que la volatilidad de los tipos de cambios cuando hay libre flotación sea mayor pues se permite que la paridad esté modificándose de manera prácticamente constante. Al respecto es conveniente destacar que el estudio Clark [4] muestra que de 1970 a 1990, en promedio, la volatilidad de los tipos de cambio fijos ha sido aproximadamente la misma que con los tipos de cambio flotantes. De esta manera muestra la volatilidad cambiaria no afecta más a los flujos comerciales cuando el tipo de cambio es flexible, siendo sus efectos comparables independientemente de que el sistema cambiario sea fijo o flexible. Esto no implica que la volatilidad sea irrelevante para el comercio internacional, pues no se ha resuelto la discusión con respecto a si la volatilidad cambiaria es un dificultad para los intercambios comerciales dados los costos de cobertura.

Entre quienes muestran efectos negativos de la volatilidad del tipo cambiario se encuentran Clark [5], Ethier [10], Hooper y Kohlhagen [15], Cushman [6], Wolf [29] y Franke [11].

De Grauwe [7] y Giovannini [14] muestran que la volatilidad cambiaria no sólo no dificulta los flujos comerciales sino que incluso puede estimularlos porque, por ejemplo sostiene De Grauwe [7], puede existir un cierto nivel de aversión al riesgo de un productor en el cual un aumento del riesgo cambiario puede elevar su utilidad marginal esperada del ingreso proveniente de la exportación, induciéndolo así a tratar de incrementar su oferta de exportación. La investigación empírica no es concluyente, en un

estudio reciente Baum y Caglayan [2] encuentran una relación débil entre la volatilidad cambiaria y los flujos comerciales de 22 países durante el periodo 1980-2006, entre la muestra de países se encuentra México. Sin embargo, el amplio uso de instrumentos para cobertura cambiaria por parte de empresas involucradas en operaciones internacionales y el riesgo derivado de la volatilidad cambiaria sigue siendo un elemento de suma importancia a considerar en las relaciones de intercambio comercial.

La inversión de portafolios diversificados internacionalmente ha venido incrementándose de manera más o menos sostenida en la medida en que se han facilitado ese tipo de transacciones mediante la desregulación de los mercados financieros alrededor del mundo.

Los mercados y productos para negociar coberturas cambiarias permiten: administrar el riesgo de manera ágil y con un costo relativamente bajo sin necesidad de recurrir a estrategias dinámicas de inversión que incrementan notoriamente los costos derivados de las transacciones requeridas por el rebalaceo de los portafolios, invertir sin tener una idea clara sobre los movimientos de los precios, contar con un grado adecuado de protección contra movimientos adversos del mercado, etc. En última instancia, a pesar del enorme desarrollo de los mercados e instrumentos de cobertura cambiaria, de cualquier forma es claro que la volatilidad cambiaria incrementa el riesgo de pérdidas relacionadas con el programa de inversión o, al menos, puede incrementar los costos de protección contra los riesgos derivados de las fluctuaciones cambiarias.

Según Rodríguez, López y Ortiz [22]: Algunos estudios sobre la volatilidad cambiaria han utilizado los modelos generalizados de heterocedasticidad condicional autorregresiva para analizarla. Sengupta y Sfeir [25] observan la volatilidad cambiaria del dólar estadounidense respecto de la libra esterlina, el yen, el marco alemán y el franco francés; Baillie [1] analizan la volatilidad del tipo de cambio del marco alemán respecto del dólar. Las últimas investigaciones han seguido este perfil: Sandoval [24] analiza la volatilidad cambiaria de las monedas de algunos países con mercados financieros emergentes, Siddiqui [26] analiza la volatilidad de la paridad cambiaria de la rupia paquistaní en relación con las monedas de Canadá, Estados Unidos, Japón, Reino Unido y la Unión Monetaria Europea; Mohnot [23] estudia la capacidad que tienen los modelos GARCH para predecir la volatilidad cambiaria respecto al dólar estadounidense de las monedas de 13 países. Otros estudiosos han optado por analizar la volatilidad cambiaria utilizando modelos de volatilidad estocástica. Taylor [27] estudia el tipo de cambio diario del marco alemán respecto del dólar aplicando varios modelos de volatilidad estocástica.

## 4. Análisis de los datos

En esta sección se describirán las características principales de la rentabilidad del tipo de cambio en el Perú. Dado que la evolución indicador financiero es aleatorio y que su valor futuro no se puede pronosticar con exactitud, se utilizan términos relacionados a la estadística y probabilidad para analizar sus características. Una primera característica es que las variaciones grandes, sean positivas o negativas, ocurren con mayor frecuencia de lo que se supone teóricamente.

En la figura 1 se puede observar que el comportamiento de la rentabilidad del tipo de cambio no sigue a una función de distribución normal, rechazándose la hipótesis nula de normalidad al 5 % de nivel de significancia.

Debido a que la función de distribución de esta serie la posibilidad de tener fuertes ganancias o grandes pérdidas son mayores que las que corresponderían a una distribución normal.<sup>6</sup> En términos de análisis de portafolio, esto quiere decir que con frecuencia se subestima el riesgo de los activos financieros pues se asume un comportamiento menos volátil del que realmente tienen. Esta característica de mayor presencia de variaciones extremas.

Existe una extensa literatura aplicada que muestra que los precios en mercados cambiarios presentan ciertas características importantes que deben ser consideradas para tomar decisiones de portafolio más eficientes. Es relevante documentar estas características en la medida que suelen diferir de lo que

---

<sup>6</sup>En este tipo de distribución estadística, el promedio y la varianza describen al conjunto de datos observados, pues el sesgo o asimetría es nulo (igual probabilidad de datos mayores y menores al promedio) y la mayor parte de los datos están concentrados alrededor del promedio.



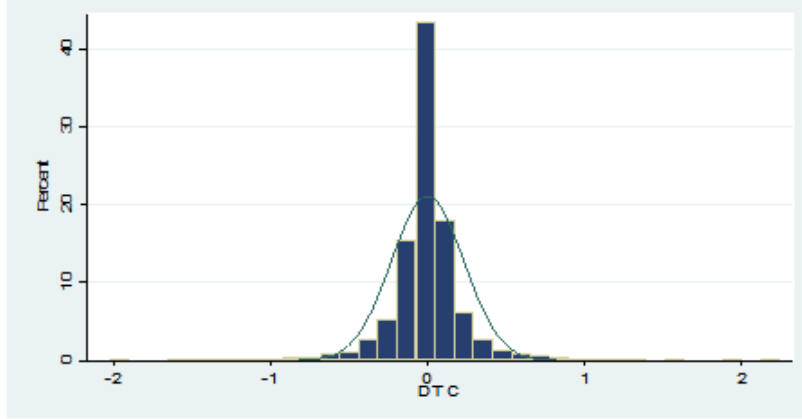


Figura 4: Histograma de la rentabilidad del tipo de cambio. Fuente: BCRP. Elaboración propia.

Variable	Obs	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	—joint— Prob > chi
DTC	3,7e + 03	0,0000	0,0000	-	0,0000

Prueba de normalidad de la rentabilidad del tipo de cambio.

usualmente se representa en los modelos teóricos de finanzas.

Igualmente, en la literatura financiera doméstica, se encuentran algunos patrones de comportamiento para la rentabilidad cambiaria en Perú similar a los encontrados para mercados financieros más desarrollados. Sin embargo, se identifican también algunas peculiaridades importantes respecto a la volatilidad de nuestros mercados financieros y su vínculo a las crisis financieras o eventos macroeconómicos relevantes.<sup>7</sup>

Null Hypothesis: TC has a unit root	
Exogenous: Constant	
lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=24)	
	t-statistic
Elliott-Rothenberg-Stock DF-GLS test statistic	0,001
Test critical values: 1 % level	-2,566
5 % level	-1,941
10 % level	-1,6166
*MacKinnon (1996)	

Cuadro 1: Prueba de raíz Unitaria aplicada al tipo de cambio.

Sometiendo a la serie a la prueba de raíz unitaria ADF- GSL (o prueba DF- GSL) se encuentra evidencia de que evolución temporal del tipo de cambio responde a un proceso estocástico raíz unitaria, tal como se puede observar en el cuadro 1 donde se acepta la hipótesis nula de raíz unitaria al 5 % de nivel de significancia, esto es porque  $0,001 < 1,941$ .<sup>8</sup>

<sup>7</sup>Veáse [17].

<sup>8</sup>En estadística y econometría, la prueba ADF- GSL (o prueba DF- GSL) es una prueba de una raíz unitaria en una muestra de series económicas. Fue desarrollado por Elliott, Rothenberg y Stock (ERS) en 1992 como una modificación de la prueba Dickey - Fuller aumentada (ADF). Ellos desarrolló un punto de prueba óptima asintóticamente para detectar una raíz unitaria. Este procedimiento de prueba domina otras pruebas de raíces unitarias existentes en términos de poder para estimar eficientemente los parámetros deterministas de la serie, y el uso de los datos transformados para realizar

Luego, procedemos a someter la rentabilidad del tipo de cambio a la misma prueba presentado en el cuadro 2.

Sometiendo a la serie a la prueba de raíz unitaria (ADF- GSL (o prueba DF- GSL) se encuentra evidencia de que responde a un proceso estocástico estacionaria en media, tal como se puede observar en el cuadro N1 donde se acepta la hipótesis nula de raíz unitaria al 5 % de nivel de significancia, esto es porque  $3,42 > 1,94$ . Observando la figura 5 se deduce que la serie tiene componente autorregresivo entre uno a tres rezagos. En la figura 6 se deduce que la serie tiene componentes promedios móviles entre uno a tres rezagos.

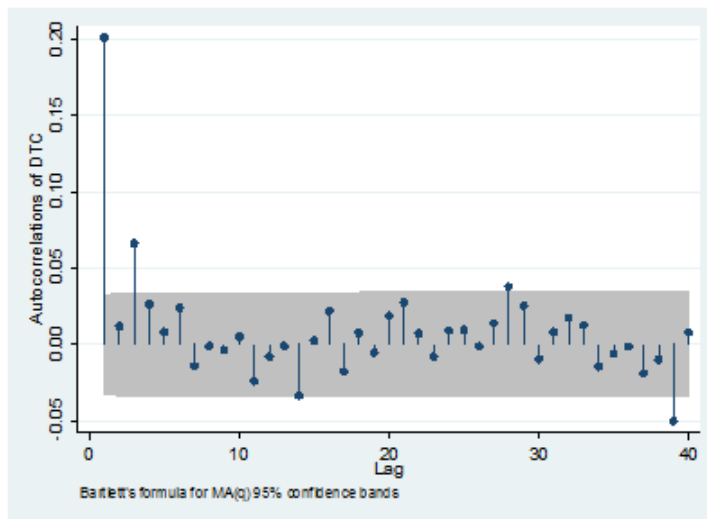


Figura 5: Función de autocorrelación simple para la rentabilidad del tipo de cambio. Fuente: BCRP. Elaboración propia.

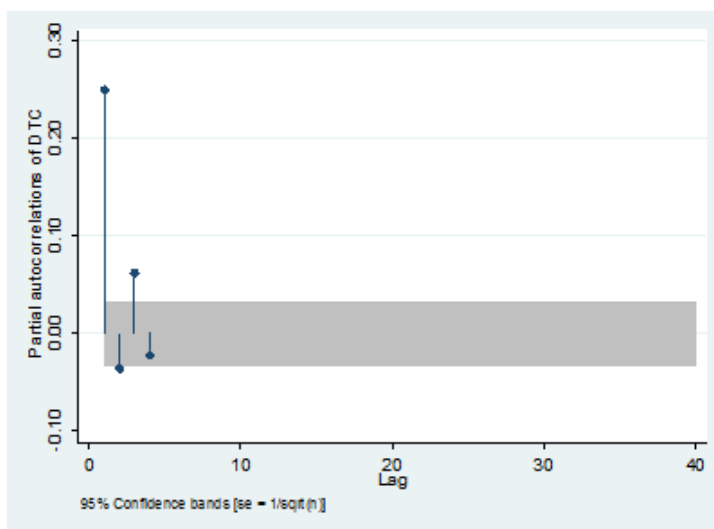


Figura 6: Función de autocorrelación parcial para la rentabilidad del tipo de cambio. Fuente: BCRP. Elaboración propia.

---

una prueba de raíz unitaria ADF habitual.

En seguida, se procedió a estimar las distintas posibilidades de regresiones ARMA (proceso autorregresivo y promedio móviles), llegando a quedarse con el modelo presentado en el cuadro 3.

	t-statistic
Null Hypothesis: DTC has a unit root	
Exogenous: Constant	
lag Length: 12 (Automatic - based on SIC, maxlag=24)	
Elliott-Rothenberg-Stock DF-GLS test statistic	-3.4277
Test critical values: 1% level	-2.5664
5% level	-1.941
10% level	-1.6166
*MacKinnon (1996)	

Cuadro 2: Prueba de Raíz Unitaria aplicada a la rentabilidad del tipo de cambio.

Se observa que el componente autorregresivo AR(1), cuyo valor es 0.28, significativo, no se ve reflejado en su bondad de ajuste, esto quiere decir que es el componente de volatilidad de la serie captada por el residuo que provee el modelo, el cual explica con mayor eficacia el comportamiento de la serie.

Log likelihood=283,589				Number of obs=3663		
				Wald $chi2(1) = 1583, 1$		
				$Prob > chi2 = 0$		
				$R$ cuadrado=0,018		
DTC	Coef.	Std. Err.	$z$	$P > z$	[95% Cor Interval]	
Constant	-0,00276	0,00472	-0,59	0,558	-0,012	0,0065
AR(1)	0,28748	0,00723	39,79	0	0,2733	0,3016

Cuadro 3: Estimación del proceso autorregresivo AR(1).

## 5. Modelos de Heterocedasticidad Autorregresiva

Los modelos no lineales que más se utilizan en la práctica financiera para tomar en cuenta la volatilidad, son los modelos de heteroscedasticidad condicional autorregresiva. Engel [9] presentó el primer modelo de esa familia, denominado el modelo ARCH, y Bollerslev [3]) lo generalizó presentando el modelo denominado GARCH. Varios estudios sobre la volatilidad cambiaria han usado modelos tipo GARCH, entre ellos se pueden mencionar: Sengupta y Sfeir [25], Baillie *et al.* [1] y Tse [28]. Otros estudios han incluido a tipos de cambio de países cuyas economías son emergentes, por ejemplo: Longmore y Robinson [18] que analiza el comportamiento del dólar de Jamaica y el dólar de Estados Unidos; Olowe y Ayodeji [21] estudia la volatilidad cambiaria de la moneda nigeriana respecto del dólar de Norteamericano; Siddiqui [26] analiza la volatilidad cambiaria de la rupia paquistaní en relación con las monedas de Canadá, Estados Unidos, Japón, Reino Unido y la Unión Monetaria Europea; y el trabajo de Mohnot [23] estudia la capacidad que tienen los modelos GARCH para predecir la volatilidad cambiaria respecto al dólar estadounidense de las monedas de 13 países.<sup>9</sup>

Hsieh [16] afirma que en los modelos ARCH/GARCH no hay uno que se pueda considerar como el modelo general para pronosticar las volatilidades del cambio. Sin embargo, el uso del modelo GARCH(1,1) se justifica porque cuenta con ventajas específicas para pronosticar la volatilidad cambiaria, entre las principales se tiene que: Permite especificaciones más parsimoniosas que el modelo ARCH, evitando la sobre parametrización de la especificación además que se ajusta muy bien a los datos de

<sup>9</sup>Ver Rodríguez, López y Ortiz [22].

Modelos	AIC	BIC
GARCH(2,2)	-1818,341	-1774,899
GARCH(2,1)	-1805,547	-1768,221
GARCH(3,3)	-2725,24	-2669,386
GARCH(4,4)	-2764,608	-2696,342
GARCH(5,5)	-2859,313	-2778,635
GARCH(6,6)	-2891,564	-2798,474
GARCH(5,6)	-2893,524	-2806,639
GARCH(5,5)	-2859,313	-2778,635

Cuadro 4: Selección del modelo GARCH

variables financieras, principalmente cuando las observaciones son de alta frecuencia. Otra discusión que ha tomado importancia es el hecho de que los rendimientos de los activos financieros no siguen una distribución probabilística de tipo normal, como lo sostienen las teorías financieras tradicionales. Un punto de enorme interés para el estudio del riesgo es el fenómeno de las colas pesadas, según el cual las probabilidades de eventos extremos son mayores que los predecibles bajo la distribución normal.<sup>10</sup>

A partir de esta evidencia empírica se ha procedido a encontrar el modelo ARCH más parsimonioso a partir de los criterios de información AIC y BIC, llegando a un modelo GARCH (5,6) por tener el menor valor AIC y BIC, después de la estimación, como se muestra en el cuadro 4.

La especificación formal del modelo a estimar se muestra a continuación

$$vct_t = \mu + \beta vct_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$\varepsilon_t = \sigma_t a_t \quad a_t \sim N(0, 1) \quad (2)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \alpha_2 \varepsilon_{t-2}^2 + \alpha_3 \varepsilon_{t-3}^2 + \alpha_4 \varepsilon_{t-4}^2 + \alpha_5 \varepsilon_{t-5}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \beta_2 \sigma_{t-2}^2 + \beta_3 \sigma_{t-3}^2 + \beta_4 \sigma_{t-4}^2 + \beta_5 \sigma_{t-5}^2 + \beta_6 \sigma_{t-6}^2 \quad (3)$$

donde  $\forall i, \alpha_i \geq 0$  y  $\beta_i \geq 0$ .

Como se puede observar en la figura 7 el modelo GARCH (5,6) planteado es significativo tanto globalmente como individualmente al 5% de nivel de significancia.

Cabe mencionar que se procedió a buscar alguna posibilidad de que la serie responda a un proceso ARCH-M, es decir exista una influencia directa de la volatilidad en la ecuación autorregresiva de la siguiente forma:  $vct_t = \mu + \beta vct_{t-1} + \delta \sigma_t^2 + \varepsilon_t$ . Sin embargo, se encontró que el coeficiente asociado a la volatilidad no es significativo.

A continuación, presentamos, en la figura 7 el comportamiento de la volatilidad estimada por el modelo planteado, descrito por la serie de varianza condicional (gráfico de color rojo) junto al comportamiento de la rentabilidad promedio (gráfico de color azul).

Tal como se puede observar en las figuras 7, la volatilidad del tipo de cambio sigue patrones predecibles, en particular durante aquellos períodos de mayor incertidumbre financiera y macroeconómica y por lo tanto mayor volatilidad financiera (periodos 2008-2009), con aumentos pronunciados primero y disminuciones fuertes después en la desviación estándar de los retornos. Notoriamente, el período reciente de crisis financiera global es el que corresponde a la mayor volatilidad durante toda la muestra analizada. En circunstancias en las que existe una mayor incertidumbre macroeconómica o financiera, ambos mercados presentan una mayor volatilidad en sus rentabilidades.<sup>11</sup>

Como se muestra en este artículo, el análisis dinámico de las características estadísticas de las rentabilidades cambiarias en el Perú permite identificar los ciclos de volatilidad claramente asociados

<sup>10</sup>Ver Rodríguez, López y Ortiz [22].

<sup>11</sup>Cabe indicar que el modelo estimado, puede ser usado para hacer pronósticos del riesgo futuro para un nivel de rentabilidad dado. Este es el gran aporte de esta familia de modelos, la de facilitar la información del riesgo para la toma de decisiones de los inversionistas.

Var. Dependiente DTC	Coeficientes	Std. Error	z	Number of obs=3663		
				Wald $\chi^2(1)$ =93,23	$Prob > \chi^2$ =0,000	[95% Cor Interval]
Log likelihood=1460,762						
Constante 1	-0,008	0,002	-3,640	0,000	-0,013	-0,004
AR(1)	0,206	0,021	9,660	0,000	0,164	0,284
ARCH(1)	0,353	0,017	21,310	0,000	0,321	0,386
ARCH(2)	0,164	0,016	10,460	0,000	0,133	0,195
ARCH(3)	0,171	0,016	11,030	0,000	0,141	0,202
ARCH(4)	0,134	0,018	7,500	0,000	0,099	0,169
ARCH(5)	0,102	0,018	5,730	0,000	0,067	0,137
GARCH(1)	-0,029	0,032	-0,930	0,353	-0,091	0,033
GARCH(2)	0,068	0,027	2,540	0,011	0,015	0,120
GARCH(3)	0,086	0,033	2,610	0,009	0,021	0,151
GARCH(4)	0,103	0,027	3,860	0,000	0,051	0,155
GARCH(5)	0,151	0,031	4,940	0,000	0,091	0,211
GARCH(6)	0,286	0,029	9,930	0,000	0,232	0,346
Constante 2	-0,025	0,000	-58,350	0,000	-0,026	-0,024

Cuadro 5: Estimación del proceso autorregresivo AR(1) con un GARCH(5,6).

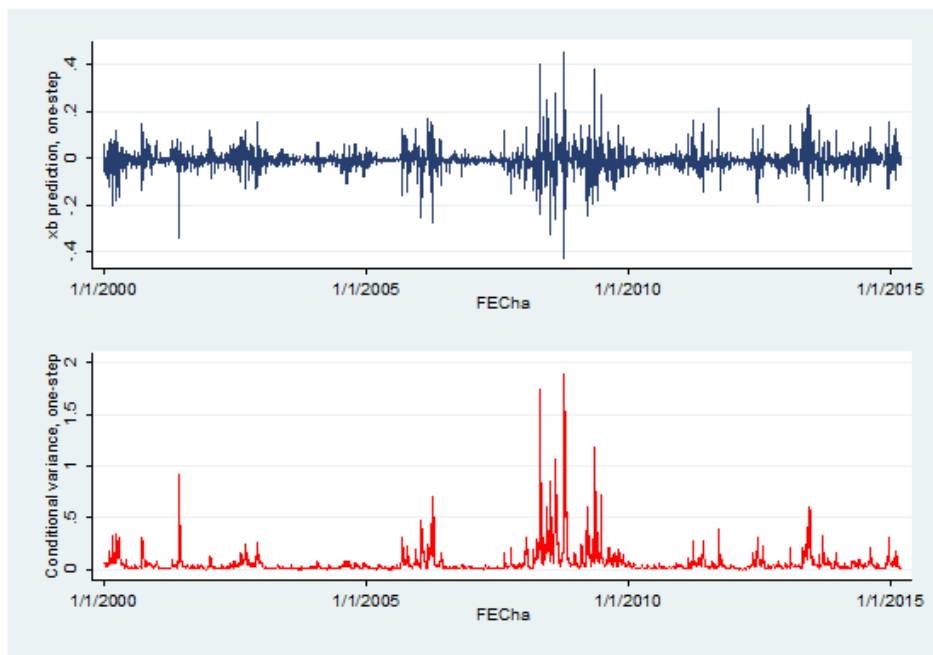


Figura 7: Evolución de la rentabilidad promedio del tipo de cambio y el comportamiento de la volatilidad condicional autorregresiva estimadas

a eventos macroeconómicos y financieros comunes. Es importante, entonces, continuar con los estudios que nos permitan comprender mejor la naturaleza de esta relación entre incertidumbre y rentabilidad en nuestros mercados financieros.

## 6. Conclusiones

Dependiendo del comportamiento de la volatilidad del tipo cambiario, a lo largo del tiempo, es necesario plantear, revisar y encontrar el modelo que mejor lo estime y recoja la mayor información posible acerca de la volatilidad. Con esto las predicciones serán más precisas, además que se puedan tomar adecuadas decisiones en los portafolios de inversión en activos denominados en moneda extranjera.

Desde nuestra perspectiva, consideramos que en un entorno de volatilidad es importante no sólo contar con estimaciones de la misma y de la posibilidad de pronosticar la volatilidad del periodo siguiente, sino que también es de gran utilidad para los tomadores de decisiones contar con información respecto a las probabilidades que tienen de observar baja o alta volatilidad. La probable duración de cada uno de los estados en que se puede encontrar la volatilidad, es decir, cuánto se espera que dure un periodo de alta (baja) volatilidad y cuál es la probabilidad de que se pase a un estado de alta volatilidad cuando el tipo de cambio se encuentra en el estado de baja volatilidad o viceversa.

Además, modelos de valoración financieros que tienen en cuenta simultáneamente diferentes elementos tales como la asimetría, clustering, etc., son los más utilizados en la literatura financiera y econométrica, ya que reflejan una mejor la situación del mercado. En ese sentido se han creado modelos que reúnan todas las características del mercado; por esta razón, a lo largo del tiempo la familia de modelos ARCH y GARCH ha sido muy fructífera, en el intento de obtener las mejores estimaciones y predicciones de la volatilidad futura insumo importante para la toma de decisiones eficientes.

Las oscilaciones cambiarias constituyen uno de los riesgos más importantes a los que se enfrentan los inversionistas, así como quienes realizan otros tipos de transacciones financieras y comerciales. En particular, es de destacarse que el pronóstico de la volatilidad es de trascendental importancia para las decisiones relacionadas con la administración de los portafolios internacionales, así como para el diseño e instrumentación de las estrategias de administración de riesgos para mitigar el riesgo cambiario, incluyendo la determinación de la cobertura óptima mediante los instrumentos derivados adecuados, como es el caso de las opciones financieras.

Una mejor aproximación del análisis de la volatilidad del tipo cambiario, son los modelos de volatilidad estocástica que considera los cambios de estado o de régimen de la volatilidad cambiaria para dar respuesta a las crisis financieras que se han enunciado líneas antes. Cabe sugerir utilizar esta novedosa metodología econométrica para investigaciones futuras.

## Referencias

- [1] Baillie, R.; Bollerslev, T. y Mikkelsen, H. (1996). «Fractionally integrated generalized autoregressive conditional heteroskedasticity». *Journal of Econometrics*, (74), 3–30.
- [2] Baum, Ch. y Caglayan, M. (2009). «The volatility of international trade flows and exchange rate uncertainty». *Working paper*, Department of Economics, Boston College y Department of Economics, University of Sheffield.
- [3] Bollerslev, T. (1986). «Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity». *Journal of Econometrics*, 31, 307–327.
- [4] Clark, P. (2004). «Exchange rate volatility and trade flows—Some new evidence». *International Monetary Fund (IMF)*(11).
- [5] Clark, P.B. (1973). «Uncertainty, exchange risk, and the level of international trade». *Western Economic Journal*, (11), 302–313.
- [6] Cushman, D. (1988). «U.S. bilateral trade flows and exchange risk during the floating period». *Journal of International Economics*, 317–330.
- [7] De Grauwe, P. (1988). «Exchange rate variability and the slowdown in the growth of international trade». *IMF, Staff Papers*(35), 63–84.
- [8] Esquivel, G. y Larraín, F. (1998). «Explaining Currency Crises». *HKS Faculty Research Working Paper Series R98-07*, John F. Kennedy School of Government of Harvard University.
- [9] Engle, R. (1982). «Autoregressive conditional heteroscedasticity, with estimates of the variance of United Kingdom inflation». *Econometrica*, 50, pp 987–1007.
- [10] Ethier, W. (1973). «International trade and the forward exchange market». *American Economic Review*, (63), 494–503.

- [11] Franke, G. (1991). «Exchange rate volatility and international trade strategy». *Journal of International Money and Finance*, (10), 269–287.
- [12] Frankel, J. y Rose, A. «Currency Crashes in Emerging Markets: An Empirical Treatment». *International Finance Discussion Papers 534*, Board of Governors of the Federal Reserve System.
- [13] García, M., y Ibar Alonso, R. (2003). «Estimación de modelos de volatilidad estocástica». *Documento de Trabajo*, Departamento Métodos Cuantitativos para la Economía, Universidad San Pablo-CEU.
- [14] Giovannini, A. (1988). «Exchange Rate and Traded Goods Prices». *Journal of International Economics*, (24), 45-68.
- [15] Hooper, P. y Kohlhagen, S. (1978). «The effects of exchange rate uncertainty on the prices and volume of international Trade». *Journal of International Economics*, (8).
- [16] Hsieh, D. (1989). «Testing for Nonlinearity in Daily Foreign Exchange Rate Changes». *Journal of Business* (62).
- [17] Humala, A. y Rodríguez, G. (2010). «Some stylized facts of returns in the foreign». Banco Central de Reserva.
- [18] Longmore, R. y Robinson, W. (2004). «Modelling and forecasting exchange rate dynamics: an application of asymmetric volatility models». *Working Paper*, Research Services Department, Bank of Jamaica.
- [19] Mies, V., Morandé, F. y Matías, T. (2004). *Política monetaria y mecanismos de transmisión: nuevos elementos para una vieja discusión*. México: Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos.
- [20] Mishkin, F. S. (2001). «The Transmission Mechanism and the Role of Asset Prices in Monetary Policy». (N. W. Paper, Ed.) (8617).
- [21] Olowe, R. y Ayodeji, R. (2009). «Stock Return, Volatility And The Global Financial Crisis in An Emerging Market: The Nigerian Cases». *International Review of Business Research Papers*, 5, 426-447.
- [22] Rodríguez, D., López F., y Ortiz, F. (2011). «Volatilidad estocástica del tipo de cambio peso-dólar: el régimen flotante en México. investigación económica», **70** (276).
- [23] Mohnot, R. (2011). «Forecasting Forex volatility in turbulent times». *Global Journal of Business Research*, **5** (1), 21-38.
- [24] Sandoval, J. (2006). «Do asymmetric GARCH models fit better exchange rate volatilities on emerging markets?», *Odeon*, (3), 97–118.
- [25] Sengupta, J. y Sfeir, R. (1996). «Modelling exchange rate volatility». *Working paper*, Department of Economics, University of California en Santa Barbara y School of Business, Chapman University.
- [26] Siddiqui, M. (2009). «Modelling pak rupee volatility against five major currencies in the perspective of different exchange rate regimes». *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences* (17).
- [27] Taylor, S. (1994). «Modelling stochastic volatility: a review and comparative study». *Mathematical Finance*, **4** (2), 183–204.
- [28] Tse, Y. K. (1998). «The conditional heteroscedasticity of the yen-dollar exchange rate». *Journal of Applied Econometrics*, **13** (1), 49-55.
- [29] Wolf, A. (1995). «Import and hedging uncertainty in international trade». *Journal of Future Markets*, 101-110.