

**La volatilidad del tipo de cambio nominal en Colombia y su conexión con la tasa de
interés doméstica y externa durante 2001-2019**

Cesar Camilo Gil Hernández

Tesis de pregrado

Dirigida por: Álvaro Andrés Perdomo Strauch

Programa de Economía

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Bogotá D.C., Colombia

2019

Resumen

Este trabajo busca analizar el impacto de las tasas de interés doméstica y externa sobre la volatilidad del tipo de cambio nominal en Colombia durante el período 2001-2019. A efectos de lograr este objetivo, se realiza una investigación descriptiva y se estiman algunos modelos de heterocedasticidad condicionada autorregresiva, de los cuales se concluye que la tasa cambiaria, además de ser volátil, responde asimétricamente a choques exógenos, y que el comportamiento del diferencial de tipos de interés es significativo en su determinación.

Palabras clave: volatilidad, tasa de cambio, tasa de interés, ARCH, tasa interbancaria, tasa de fondos federales, asimetría, heterocedasticidad.

Abstract

This work aims to analyze the impact of domestic and international interest rate on the nominal exchange rate volatility during the period 2001-2019, applied to the Colombian case. In order to fulfill that objective, a descriptive research is performed and some autoregressive conditional heteroscedasticity models are estimated, from which it is concluded that the exchange rate, in addition to being volatile, presents asymmetric responses to exogenous shocks, and the behavior of the interest rates differential is significant on its determination.

Key words: volatility, exchange rate, interest rate, ARCH, interbank rate, federal funds rate, asymmetry, heteroscedasticity.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivos	3
3. Aspectos Conceptuales y Teóricos de la Tasa de Cambio y la Tasa de Interés	4
3.1. Tipo de Cambio Nominal.....	4
3.1.1. Concepto	4
3.1.2. Algunos regímenes cambiarios.	5
3.1.2.1. <i>Tasa de cambio perfectamente flexible</i>	5
3.1.2.2. <i>Tasa de cambio perfectamente fija</i>	6
3.1.2.3. <i>Tasa de cambio fija pero ajustable</i>	7
3.1.2.4. <i>Tasa de cambio fija pero flexible dentro de una banda</i>	9
3.1.2.5. <i>Tasa de cambio fija pero ajustable y flexible dentro de una banda</i>	10
3.1.2.6. <i>Tasa de cambio flexible con intervención de mercado.</i>	11
3.2. Tasa de Interés Nominal	11
3.2.1. Concepto	11
3.2.2. Enfoque clásico de la síntesis neoclásica	12
3.2.3. Teoría keynesiana.	14
3.2.4. Otras posturas.....	14
4. Aspectos Teóricos que Relacionan el Tipo de Cambio con las Tasas de Interés Doméstica y Externa	17
4.1. Modelo Mundell – Fleming	17
4.2. Paridad de Intereses	19
5. Nociones de los Modelos de Heterocedasticidad Condicional Autorregresiva	20
5.1. Modelos ARCH	20
5.2. Modelos GARCH.....	21
5.3. Modelos EARCH	22
6. Implementación Empírica	23
6.1. Frecuencia y fuentes de los datos.....	23
6.2. Definición de las variables.....	24
6.2.1. Tasa de cambio.....	24
6.2.2. Tipo de interés doméstico	24
6.2.3. Tipo de interés externo.....	28
6.3. Estadísticas Descriptivas.....	31
6.3.1. Tasa de cambio.....	32
6.3.2. Tipo de interés doméstico.	34
6.3.3. Tipo de interés externo.....	36

6.3.4. Diferencial de tasas de interés.....	38
6.4. Estimación y Resultados	40
6.4.1. Modelos ARCH	40
6.4.2. Modelos GARCH.....	42
6.4.3. Modelos EARCH	45
6.4.4. Elección del mejor modelo	48
6.5. Posibles Efectos de Política o de Factores Exógenos	49
7. Conclusiones	54
8. Referencias.....	55
9. Anexos	57
9.1. Pruebas de Raíz Unitaria.....	57
9.2. Test de White	57
9.3. Test de Portmanteau.....	58
9.4. Test LM de Heterocedasticidad Condicional Autorregresiva	59

Gráficos

Gráfico 1. Tasa de cambio perfectamente flexible.....	6
Gráfico 2. Tasa de cambio perfectamente fija	7
Gráfico 3. Tasa de cambio fija pero ajustable.....	8
Gráfico 4. Tasa de cambio fija pero flexible dentro de una banda.....	9
Gráfico 5. Tasa de cambio fija pero ajustable y flexible dentro de una banda	10
Gráfico 6. Canales de transmisión de la tasa interbancaria.....	26
Gráfico 7. IBR y DTF vs. Tasa interbancaria	27
Gráfico 8. Tasa prime vs. tasa de fondos federales.....	30
Gráfico 9. Volatilidad del tipo cambiario	32
Gráfico 10. Distribución de probabilidad de la volatilidad cambiaria	33
Gráfico 11. Volatilidad del tipo interbancario	34
Gráfico 12. Distribución de probabilidad del crecimiento de la tasa interbancaria	35
Gráfico 13. Volatilidad del tipo de interés de los fondos federales	36
Gráfico 14. Distribución de probabilidad de la variación del tipo de interés de los fondos federales..	37
Gráfico 15. Volatilidad del diferencial de tipos de interés.....	38
Gráfico 16. Distribución de probabilidad del diferencial de tipos de interés.....	39
Gráfico 17. Volatilidades agrupadas.....	49
Gráfico 18. Varianza condicional del tipo de cambio a partir de un GARCH(4,3)	50

Recuadros

Recuadro 1. Relación entre el IBR y la DTF con la tasa interbancaria.....	26
Recuadro 2. Relación entre la tasa prime y la tasa de los fondos federales	30
Recuadro 3. Estadísticas descriptivas de la tasa de apreciación o depreciación del tipo de cambio....	33
Recuadro 4. Estadísticas descriptivas de la variación del tipo de interés interbancario	35
Recuadro 5. Estadísticas descriptivas de la variación del tipo de los fondos federales	37
Recuadro 6. Estadísticas descriptivas de la variación del diferencial de los tipos de interés	39
Recuadro 7. Estimación de modelos ARCH.....	40
Recuadro 8. Estimación de modelos GARCH	44
Recuadro 9. Estimación de modelos EARCH	45
Recuadro 10. Test de efectos asimétricos	48
Recuadro 11. Modelos GARCH (4,3) con variables dummy	52
Recuadro A1. Pruebas de raíz unitaria.....	57
Recuadro A2. Test de White	58
Recuadro A3. Test de Portmanteau.....	58
Recuadro A4. Test LM	59

1. Introducción

La economía colombiana sigue un esquema de administración cambiaria basada en la flotación del tipo de cambio y un régimen monetario de inflación objetivo desde principios del siglo XXI, lo cual sitúa a la tasa de interés de intervención como el principal instrumento de política monetaria y uno de los fundamentales en la transmisión¹ hacia las tasas de interés del mercado.

Bajo estas circunstancias, la tasa de cambio queda expuesta a las oscilaciones macroeconómicas externas e internas, de las cuales subyacen períodos de alta o poca volatilidad cambiaria. En efecto, es posible que esta clase de episodios promuevan la incertidumbre y el tránsito de información asimétrica hacia los agentes económicos, lo cual distorsiona sus decisiones de consumo e inversión.

La motivación de este trabajo se halla en dos causas fundamentales. La primera estriba en la necesidad de estimar y analizar tal volatilidad, con la intención de suministrar elementos que aporten en la interpretación del comportamiento de la tasa de cambio en Colombia. La segunda radica en la importancia de explorar el vínculo entre la variabilidad del tipo cambiario y de algunas tasas de interés², con miras a encontrar si el contexto monetario nacional o internacional tiene algún grado de impacto sobre la inestabilidad del peso colombiano, o bien, si origina asimetrías en la conducta del tipo cambiario.

En ese sentido, el esfuerzo empírico de esta investigación se enfocará en responder si las tasas de interés doméstica y externa afectan la volatilidad cambiaria en Colombia analizando un amplio horizonte de tiempo, bajo la hipótesis de que tales variables generan efectos sobre las oscilaciones de la tasa de cambio, asociados a eventos de política económica o a factores exógenos.

Para tales efectos, el trabajo se dividirá en seis partes, a excepción de esta introducción. En la primera se plantearán los objetivos del estudio, con miras a precisar el fin que se pretende alcanzar. En la segunda se hará una aproximación teórica y conceptual de las variables de estudio; mientras que en la tercera se revisarán las teorías que proponen un vínculo entre las

¹ Fenómeno documentado por, entre otros, Becerra y Melo (2006), Betancourt, Bonilla y Misas (2008) o Chavarro, Cristiano, Gómez, González y Huertas (2015).

² Variaciones de la tasa de cambio y la tasa de interés son alteraciones macroeconómicas que afectan la actividad productiva de un país. Según Castro, Rincón y Rodríguez (2017), en esta razón reside la importancia de su estudio y análisis para las autoridades económicas.

tasas de interés y el tipo cambiario. En la cuarta se suministrarán las nociones de los modelos de heterocedasticidad autorregresiva condicionada y en la quinta se llevará a cabo la implementación empírica, relacionado con los datos y la estimación del modelo. Por último, en la sexta se presentarán las conclusiones.

2. Objetivos

Objetivo General

Analizar el impacto de las tasas de interés doméstica y externa sobre la volatilidad del tipo de cambio nominal peso dólar en Colombia durante el período 2001-2019.

Objetivos Específicos

- Describir el comportamiento de la volatilidad de la tasa de cambio, la tasa de interés doméstica y externa en Colombia durante el período 2001-2019.
- Determinar si las tasas de interés doméstica y externa generaron efectos asimétricos³ sobre los niveles de volatilidad cambiaria.
- Identificar y analizar períodos de política económica y factores exógenos que pudieron propiciar inestabilidad o variabilidad asimétrica de la tasa de cambio durante el período 2001-2019.

³ De acuerdo con Nelson (1991), una variable (volatilidad cambiaria) puede responder de manera diferente ante aumentos o disminuciones inesperadas en esa u otras variables (tasas de interés). Es decir, en el contexto de la presente investigación, la volatilidad cambiaria podría reaccionar de manera diferente ante periodos de innovaciones positivas o negativas en su comportamiento.

3. Aspectos Conceptuales y Teóricos de la Tasa de Cambio y la Tasa de Interés

3.1. Tipo de Cambio Nominal

3.1.1. Concepto. La tasa o el tipo de cambio entre dos monedas x y y , expresada mediante la forma $E(x/y)$ ⁴, se entiende como la cantidad de moneda x que puede comprar una unidad de moneda y ; o lo que es igual, el precio unitario de y denominado en x . Esta variable se caracteriza por tener dos propiedades naturales:

- Es nominal, puesto que no se ajusta al nivel de precios del país a (en el cual se transa con x) o de aquel país b (en el cual se transa con y), de modo que no expresa el poder de compra⁵ de bienes o servicios de ninguna de las dos divisas⁶.
- Es bilateral, en tanto especifica el valor de una moneda en términos de otra.

Ahora, el cambio continuo del tipo cambiario entre el momento 0 y el momento 1 se representa mediante la ecuación $\dot{E}(x/y) = \log E_1(x/y) - \log E_0(x/y)$, en donde $\dot{E}(x/y)$ expresa la tasa de apreciación o depreciación, \log significa el logaritmo natural, $E_1(x/y)$ es la tasa de cambio observada en el período 1 y $E_0(x/y)$ es la tasa de cambio observada en el período 0. Si $\dot{E}(x/y)$ se eleva⁷, la divisa x se habrá depreciado respecto de la divisa y , o, lo que es igual, y se habrá apreciado respecto de x , dado que ahora la cantidad de x proporcional al valor unitario de y es mayor con relación al lapso anterior.

Pues bien, el tipo de cambio, como es natural, tiene una incidencia fundamental en la actividad productiva de cualquier país, pues genera una serie de conexiones intersectoriales e intrasectoriales que afectan las dinámicas macroeconómicas, en tanto es el medio mediante el cual se realizan las transacciones internacionales y se convierte en el suministro de cuantiosos enlaces en el proceso de producción y distribución.

⁴ La tasa recíproca $E(y/x) = 1/E(x/y)$ hace referencia a la cantidad de y equivalente a una unidad de x .

⁵ El poder adquisitivo de una moneda se refleja mediante la tasa de cambio real, que sigue la forma $R(x/y) = E(x/y) * (P^*/P)$, donde $E(x/y)$ es el tipo nominal, P^* es el nivel de precios del país cuya divisa es y , mientras que P es el nivel de precios en el país cuya moneda es x .

⁶ Aunque en sentido estrictamente conceptual, la moneda es el medio físico y la divisa es el medio monetario de cada país, este trabajo usará, a efectos prácticos, ambos términos de forma indiferente.

⁷ Si $\dot{E}(x/y)$ desciende, las relaciones son inversas a las planteadas en el caso opuesto.

Esto lo hace vital para el desplazamiento de los factores productivos, bienes, servicios y capitales de toda clase, así como también para la comunicación económica entre países. Además, en un entorno cada vez más robusto en materia de comercio internacional, es un determinante clave para los costos de producción y beneficios empresariales, por lo cual afecta directamente la formación de precios de las economías. En síntesis, el tipo de cambio es, por excelencia, la herramienta de conexión económica a escala mundial para cualquier nación.

3.1.2. Algunos regímenes cambiarios. El comportamiento de la tasa de cambio se encuentra sujeto a las políticas económicas adoptadas respecto del valor relativo de la moneda doméstica con relación a las monedas extranjeras. Una manera de clasificar tales regímenes se basa en el grado de flexibilidad o rigidez adoptada en términos nominales o reales. Otro criterio incluye dos vertientes: la unificación o segmentación del mercado y el grado de convertibilidad de la moneda nacional, referida ésta a la libre disponibilidad de divisas o a la restricción de su oferta.

Cuando se habla de unificación o segmentación del mercado, se hace referencia a la manera en la que se configuran las transacciones: a través del uso de la misma tasa de cambio (mercado unificado) o mediante diferentes tasas que cumplen diversos propósitos (mercado fragmentado); mientras que el grado de convertibilidad hace alusión a la disponibilidad de la oferta de divisas siempre que la demanda lo requiera.

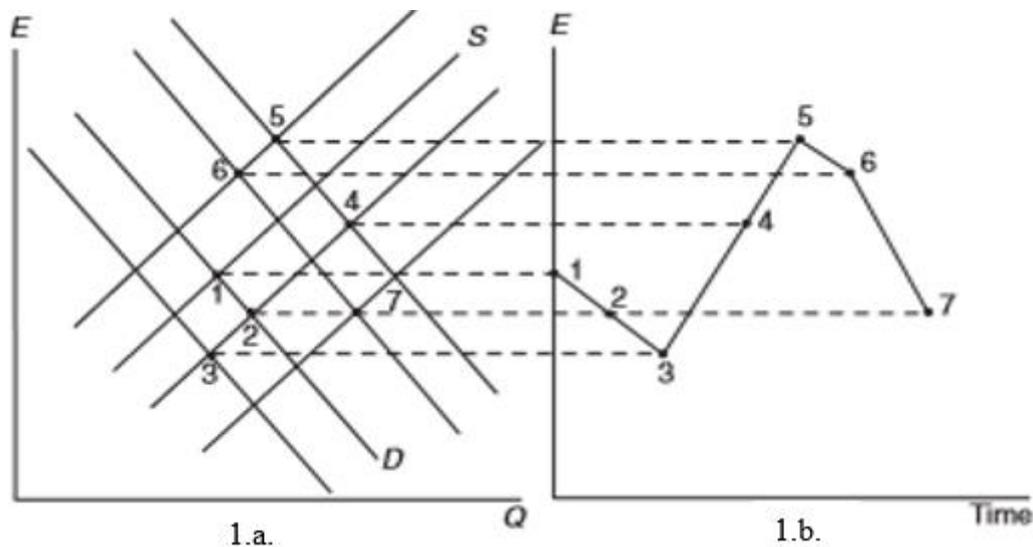
Ahora bien, de acuerdo con Moosa (2005), desde el punto de vista netamente teórico, los esquemas cambiarios se pueden catalogar como sigue:

3.1.2.1. Tasa de cambio perfectamente flexible. Se determina por las fuerzas del mercado, sin intervención alguna del banco central, aunque se ve afectada por la política monetaria vía comportamiento de los tipos de interés. La tasa de cambio refleja, en este caso, el precio decretado en un mercado competitivo por la intersección de las curvas de oferta y demanda, las cuales se mueven a través del tiempo debido a cambios en los factores que las afectan.

Como se aprecia en el gráfico 1.a., los movimientos de la oferta y la demanda de divisas generan, en primera instancia, diferentes puntos de equilibrio para un valor E y una cantidad Q de la moneda de intercambio (o tipo de cambio) en distintos lapsos de tiempo, de modo que, en el gráfico 1.b, a cada monto E de equilibrio le corresponde un período en el que sucedió, entre otros, alguno de los siguientes escenarios:

- La oferta de divisas creció y la demanda permaneció estable, por lo cual la tasa de cambio se apreció (disminuyó).

Gráfico 1. *Tasa de cambio perfectamente flexible*



Tomado de Moosa (2005)

- La demanda de divisas aumentó mientras que la oferta se mantuvo constante, de forma que el tipo cambiario se depreció (se elevó).
- Tanto la oferta como la demanda de divisas no cambió, de tal suerte que la tasa de cambio conservó su valor.

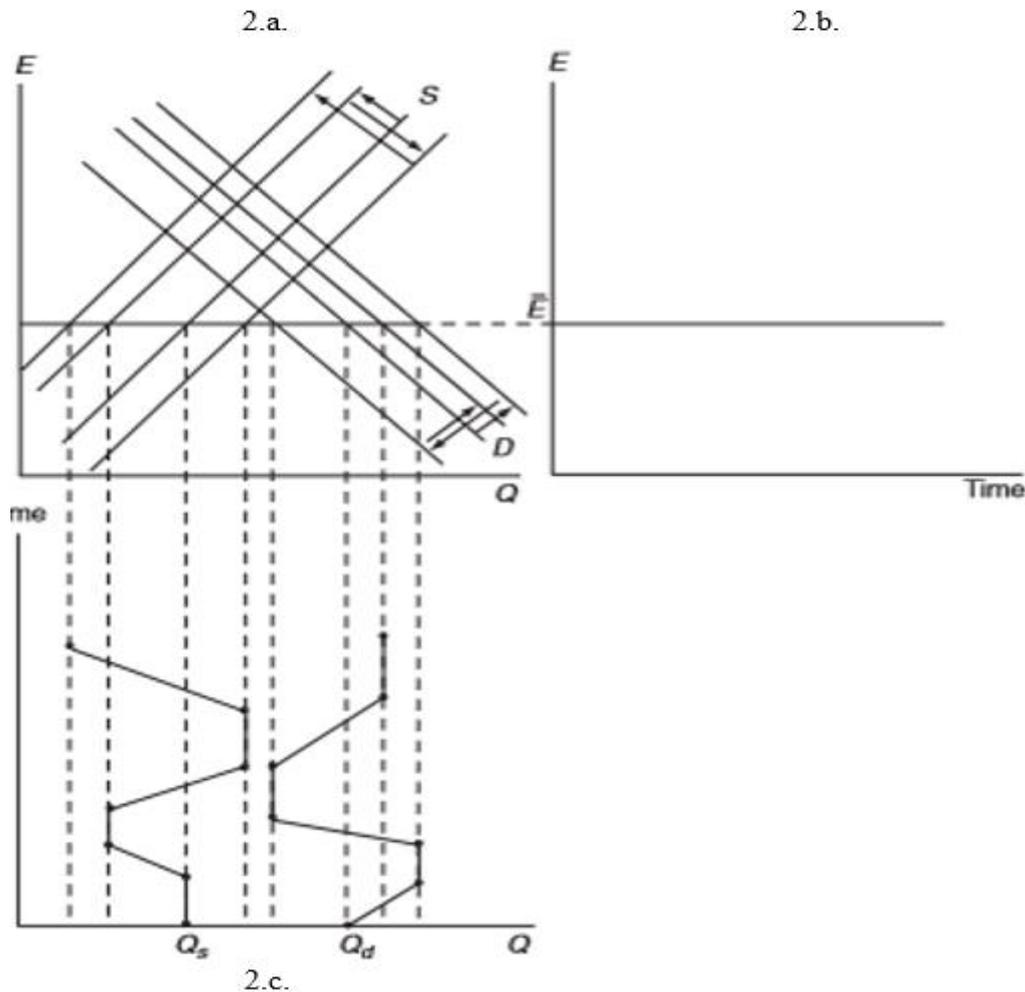
3.1.2.2. Tasa de cambio perfectamente fija. Si en materia de política cambiaria se decide que la tasa de cambio debe establecerse debajo de la tasa de equilibrio determinada por el mercado, la moneda nacional estará sobrevalorada debido a un exceso de demanda, equivalente a un déficit en la balanza de pagos. Para mantener la tasa de cambio fija⁸, las autoridades monetarias deben intervenir el mercado a través de la venta de cierto monto de divisas. Con este propósito, el banco central usa su stock de reservas internacionales.

En la ilustración 2.a. se muestra cómo el desplazamiento de la oferta y la demanda de divisas origina distintos puntos de equilibrio que se ubican por encima del objetivo de tasa de cambio \bar{E} dispuesto por la política cambiaria, de forma que la demanda se sitúa por encima de la oferta. A efectos de lograr un nivel cambiario fijo, como se expone en la figura 2.b., el banco central debe impedir el retorno al equilibrio mediante el suministro de divisas por un monto igual a la

⁸ Otras medidas de política para tales efectos pueden ser el control de capitales, o bien restricciones al comercio internacional.

brecha⁹ producida entre la cantidad demandada Q_d y la cantidad ofertada Q_f , según los movimientos de ambas, como se exhibe en el gráfico 2.c.

Gráfico 2. Tasa de cambio perfectamente fija



Tomado de Moosa (2005)

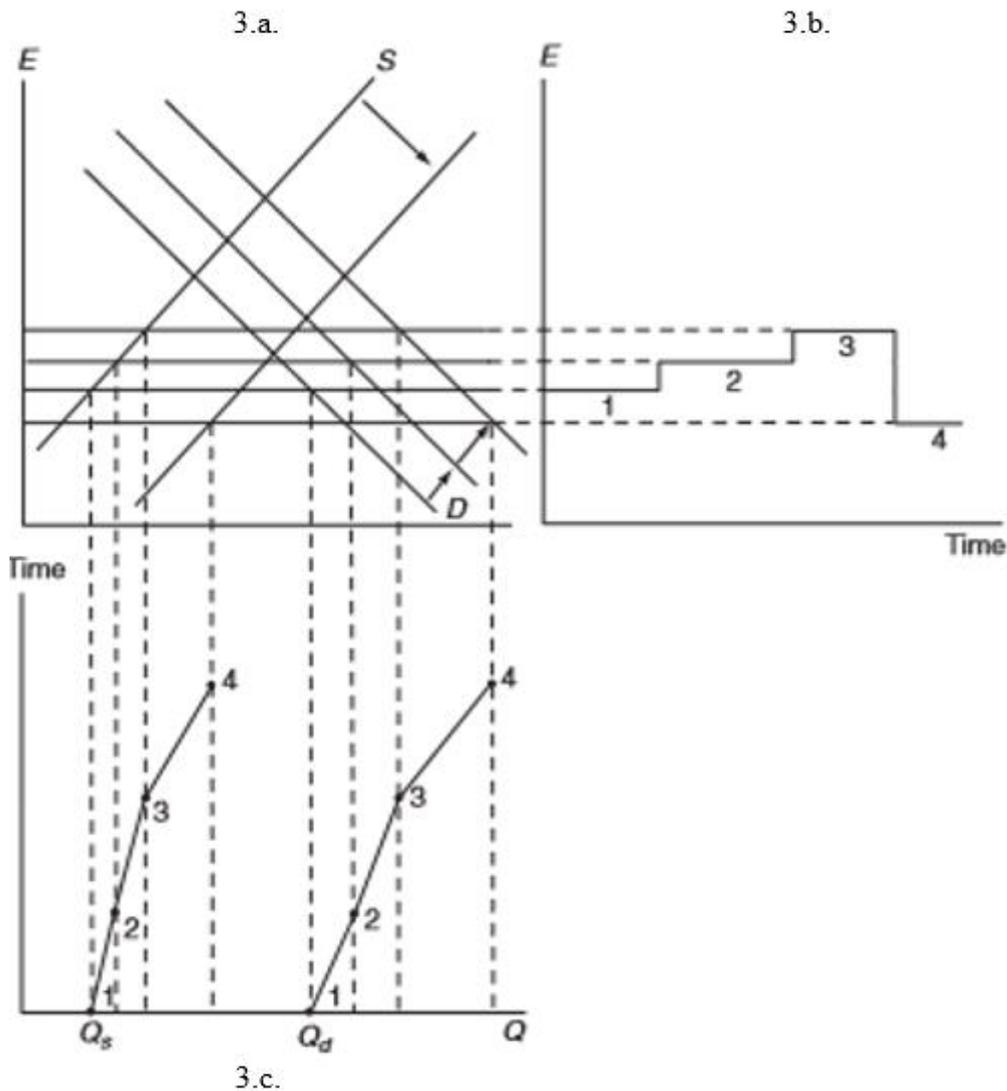
3.1.2.3. Tasa de cambio fija pero ajustable. Dentro de este esquema, el valor fijado de la tasa de cambio es ajustado por el banco central cada vez que exista la necesidad de corregir un desequilibrio en la balanza de pagos, o bien mantener tal desequilibrio a un nivel constante determinado, mediante herramientas como la devaluación (reducción del valor de la moneda doméstica respecto de otra), o la revaluación (aumento).

En la gráfica 3.a. se aprecian los movimientos de oferta y demanda en el mercado cambiario, los cuales configuran equilibrios que no se encuentran sincronizados con lo establecido por la autoridad monetaria.

⁹Tal diferencial es, por tanto, el cambio en reservas internacionales.

Bajo el supuesto de que la política cambiaria se concentra en mantener el exceso de demanda de divisas¹⁰ cerca de la cota predominante en el momento 1 sobre la línea Q_d (ilustración 3.c.), si la demanda de divisas crece y la oferta permanece a un mismo nivel, el exceso de demanda se ampliará. Para prevenir esto, la moneda local se devalúa a través del incremento de la tasa de cambio de 1 a 2 (en la figura 3.b.), lo que mantiene el exceso de demanda aproximadamente al mismo nivel, como se observa en los puntos 2 de la representación 3.c.

Gráfico 3. Tasa de cambio fija pero ajustable



Tomado de Moosa (2005)

La devaluación tendrá lugar una vez más (del nivel 2 al 3 en el gráfico 3.b.) en tanto la demanda vuelva a aumentar (de 2 a 3 en 3.c. sobre la curva Q_d). Sin embargo, si ahora es la oferta la que se amplía (de 3 a 4 en 3.c. sobre la línea Q_s), se requerirá de una revaluación para mantener el

¹⁰ Lo que es igual a un déficit de balanza de pagos.

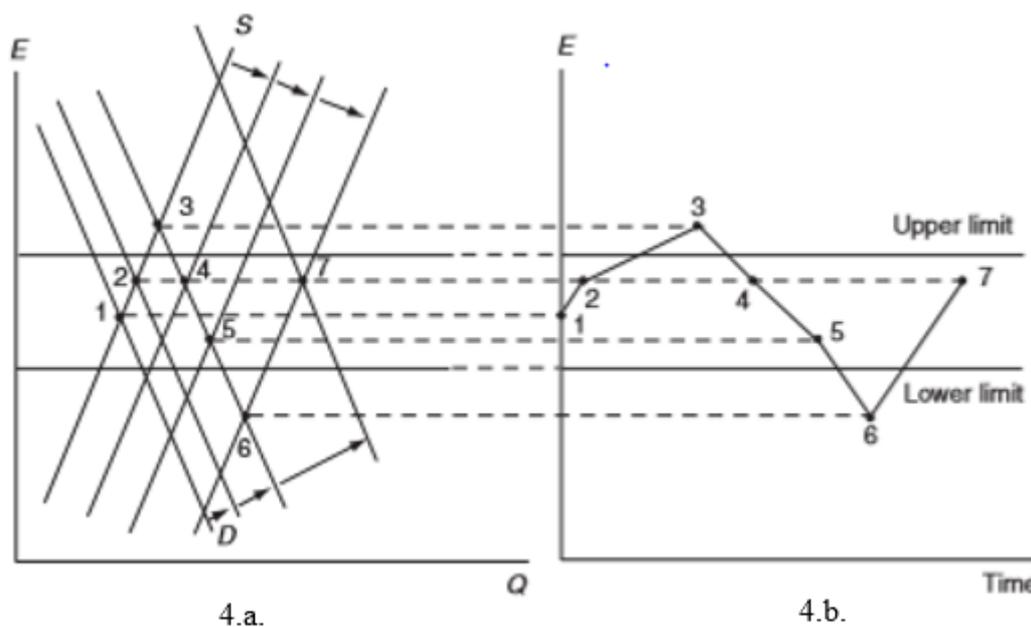
exceso de demanda al mismo nivel inicial, de tal forma que la tasa de cambio se desplaza de 3 a 4 en la figura 3.b.

Obsérvese que la diferencia esencial entre este tipo de cambio y el tipo de cambio perfectamente fijo es que ahora el banco central tiene como objetivo preservar un determinado nivel de exceso de demanda cuando las curvas de oferta y demanda se muevan.

3.1.2.4. Tasa de cambio fija pero flexible dentro de una banda. Se permite bajo este sistema que la tasa de cambio fluctúe dentro de los límites superior e inferior definidos por una banda alrededor del valor de paridad de la moneda nacional con relación a la internacional. La tasa de cambio es fija en el sentido en que no se admite, a través de la intervención del banco central, que permanezca arriba del límite superior o abajo del límite inferior.

En la gráfica 4.a. se exhiben las relaciones de equilibrio en el mercado cambiario según los movimientos de la oferta y la demanda. Las situaciones de equilibrio 1, 2, 4, 5 y 7 causan un nivel de tasa de cambio E que cae dentro de la banda establecida por la política cambiaria, como se muestra en la ilustración 4.b., de modo que, dentro de los límites, el tipo cambiario se encuentra a merced de las fuerzas del mercado.

Gráfico 4. Tasa de cambio fija pero flexible dentro de una banda



Tomado de Moosa (2005)

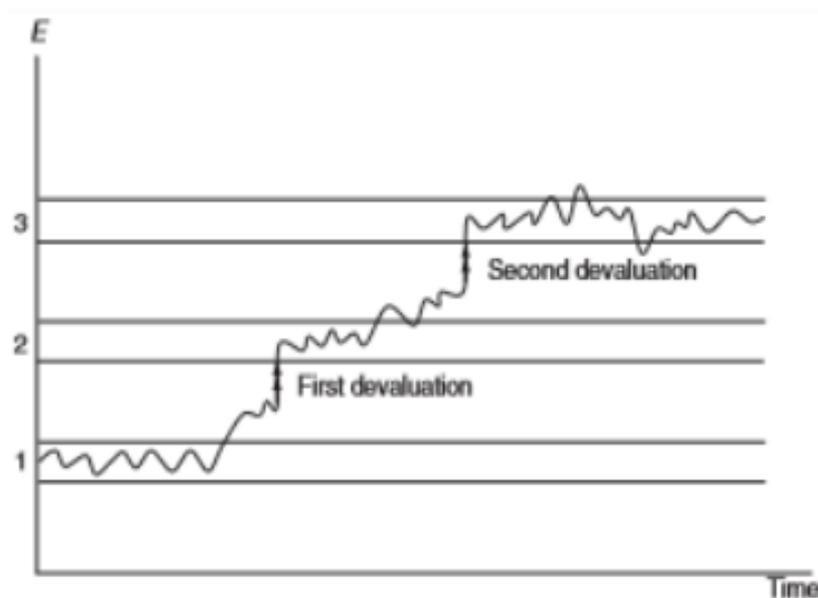
Sin embargo, si éstas la llevan fuera de la banda, el banco central debe intervenir a través de la compra o venta de divisas (incremento de la oferta o la demanda de divisas). El primer caso

sucede, como se observa en la ilustración 4.b., cuando la tasa de cambio sube al punto 3, mientras que el segundo sucede cuando la tasa de cambio baja al punto 6.

3.1.2.5. Tasa de cambio fija pero ajustable y flexible dentro de una banda. El tipo de cambio puede cumplir la propiedad de ajustabilidad aunque tenga la característica de ser fija pero también flexible dentro de una banda. Este esquema se hace posible en un escenario en el que el banco central sea incapaz de hacer retornar la tasa cambiaria dentro de la banda mediante, por ejemplo, la compra de la moneda nacional (cuando ésta se deprecia más allá del límite superior). En este caso, la autoridad monetaria devalúa la moneda estableciendo una banda por encima de la inicial.

Tal como se indica en el gráfico 5, en primera instancia existe una banda al nivel 1, dentro de la cual fluctúa libremente el tipo cambiario E . Sin embargo, para un momento determinado la moneda se deprecia y quiebra el límite superior, de modo que el banco central responde haciendo una primera devaluación y estableciendo una banda más alta al nivel 2. Lo mismo sucede para el caso de la segunda devaluación.

Gráfico 5. *Tasa de cambio fija pero ajustable y flexible dentro de una banda*



Tomado de Moosa (2005)

3.1.2.6. Tasa de cambio flexible con intervención de mercado. La política cambiaria también se puede organizar entorno a la admisión de un tipo de cambio fluctuante de acuerdo con el comportamiento de la oferta y la demanda de divisas, pero con intervenciones ocasionales del banco central en el mercado, a efectos de impulsar la moneda hacia una u otra dirección. Este tipo de regímenes se conocen como flotación sucia o flotación gestionada, dependiendo de la frecuencia de las intervenciones y el grado de flexibilidad de la tasa cambiaria. En general, tales medidas se toman con miras a contener las presiones especulativas, la incertidumbre y la volatilidad en el mercado de divisas.

3.2. Tasa de Interés Nominal

3.2.1. Concepto. La tasa o tipo de interés nominal se define, en términos generales, como aquel precio del dinero, el costo del uso del capital o la tasa de retorno sobre el ahorro. Se interpreta de tal manera debido a cinco propiedades innatas del dinero a medida que transcurre el tiempo:

- El dinero se puede convertir en más dinero mediante su uso en la realización de inversiones.
- En tanto el dinero participe en la inversión de capital, debe participar de sus ganancias, dado que éste es un bien productivo (su uso implica una relación de valor).
- Adquiere un carácter riesgoso una vez se presta o se invierte, puesto que no hay certeza sobre la ganancia subyacente.
- Pierde poder adquisitivo dado el efecto inflacionario o de aumento generalizado de precios, por lo cual la misma cantidad puede comprar menos bienes y servicios en el futuro con respecto al presente.
- Su prestamista enfrenta siempre un costo de oportunidad asociado a la rentabilidad de utilizarlo en otra actividad diferente al préstamo.

Ahora bien, existen diferentes enfoques teóricos que explican la tasa de interés nominal. Algunos de ellos se comentan a continuación:

3.2.2. Enfoque clásico de la síntesis neoclásica. Se considera que el tipo de interés es la variable de ajuste clave entre la demanda y la oferta de bienes y servicios, de acuerdo con el modelo renta-gasto, que explica tanto el flujo de la producción de la economía como sus determinantes mediante el siguiente análisis¹¹:

La función de producción refleja la cantidad de bienes y servicios (o producción) ofrecida en la economía, y sigue la forma de la ecuación 3.1:

$$Y = F(K, L) \quad (3.1)$$

Donde Y es la producción u oferta agregada, K es el factor capital y L es el factor trabajo.

Ahora, la función de demanda determina la cantidad de bienes y servicios (o producción) demandada en la economía, la cual se describe mediante las ecuaciones 3.2 a 3.6:

$$Y = C + I + G \quad (3.2)$$

$$C = C(Y - T) \quad (3.3)$$

$$I = I(r) \quad (3.4)$$

$$G = \bar{G} \quad (3.5)$$

$$T = \bar{T} \quad (3.6)$$

Donde Y es la renta nacional o demanda de agregada de producción, C es el consumo, T son los impuestos, $Y - T$ es el ingreso disponible, I es la inversión, r es la tasa de interés y G es el gasto del gobierno. Es importante precisar que se suponen \bar{T} y \bar{G} variables exógenas, en el sentido en que se determinan enteramente por decisiones de política económica, razón por la cual llevan una barra superpuesta.

Pues bien, el equilibrio entre oferta y demanda agregada toma la estructura de la ecuación 3.7:

$$Y = C(Y - \bar{T}) + I(r) + \bar{G} \quad (3.7)$$

Pero como la tasa de interés es, tal como se definió anteriormente, el costo o rendimiento de los préstamos de dinero, se deben contemplar también las relaciones subyacentes del mercado

¹¹ Para efectos prácticos, se observa solo la dinámica de una economía cerrada. En cualquier caso, estudios posteriores que incorporan el sector externo (o exportaciones netas) y que utilizan la vertiente clásica como base teórica, llegan a la misma conclusión respecto de la tasa de interés.

financiero, reescribiendo, en primera instancia, la ecuación 3.2 para hallar el ahorro nacional¹² S , entendido como aquel ingreso que no se consume:

$$S = Y - C - \bar{G} = I \quad (3.8)$$

Sustituyendo las relaciones de dependencia en 3.8 se deduce la siguiente ecuación:

$$S = Y - C(Y - \bar{T}) - \bar{G} = I(r) \quad (3.9)$$

Y , por tanto:

$$S = I(r) \quad (3.10)$$

Ahora bien, la concepción clásica del ahorro, que se representa en la porción izquierda de la ecuación 3.10 se relaciona con aquel sacrificio de consumo presente por consumo futuro, mientras que la tasa de interés juega un rol de compensación por dicha privación. Es así que a mayores tipos, los individuos se encontrarán más dispuestos a ahorrar en sustitución de consumo actual, con miras a elevar su acumulación de valor, por lo cual el ahorro es una función relacionada positivamente con la tasa de interés y $S = S(r)$.

Sin embargo, desde el ángulo de la porción derecha de la ecuación, la inversión es una función relacionada negativamente con la tasa de interés, en tanto “Si el tipo de interés es demasiado alto, la inversión es demasiado baja y la demanda de producción es inferior a la oferta. Si el tipo de interés es demasiado bajo, la inversión es demasiado alta y la demanda es superior a la oferta”. (Mankiw, 2014, p. 130).

La dinámica subyacente del análisis precedente, es que el ahorro suministra la oferta mientras que la inversión provee la demanda de fondos prestables y, como la tasa de interés es el precio mediante el cual se equilibra ese mercado, se encuentra en función del ahorro y la inversión.

¹² Si se suma y se resta \bar{T} en 3.8, se llega a la expresión $S = (Y - \bar{T} - C) + (\bar{T} - \bar{G}) = I$, donde $(Y - \bar{T} - C)$ refleja el ahorro privado (el ingreso nacional descontado de impuestos y consumo privado) y $(\bar{T} - \bar{G})$ expresa el ahorro público (el ingreso del gobierno descontado de su gasto).

3.2.3. Teoría keynesiana. John M. Keynes postuló que el comportamiento de la tasa de interés se determina mediante la relación entre la eficiencia marginal del capital¹³ y la propensión marginal a ahorrar¹⁴, por lo cual afecta la inversión y el producto. Dicho vínculo se basa, a su vez, en la retribución subyacente a la privación de cierto nivel de liquidez durante un lapso determinado y, como el tipo de interés equilibra la preferencia por liquidez con la cantidad disponible de esta, se dice que es aquel precio que equilibra la oferta y la demanda de dinero.

Lo anterior hace que la demanda de dinero venga determinada por un motivo transacción (el simple uso del dinero como medio de pago de bienes y servicios) y por un motivo especulación, que hace referencia a la decisión de mantener dinero o invertirlo a la espera de determinado retorno. Las relaciones precedentes se sintetizan mediante la siguiente ecuación:

$$M^d = L(r) + L(y) \quad (3.11)$$

Donde M^d simboliza la demanda por dinero, $L(r)$ significa la función de preferencia por liquidez dependiente de la tasa de interés nominal r , de acuerdo con el motivo especulación, mientras que $L(y)$ es la función de preferencia por liquidez dependiente del nivel de producto y , con relación al motivo transacción.

Por otro lado, la oferta de dinero $\overline{M^o}$ se considera exógena, en el sentido en que es establecida enteramente por las decisiones de política del banco central, de manera que el equilibrio del sistema toma la forma:

$$\overline{M^o} = L(r) + L(y) \quad (3.12)$$

3.2.4. Otras posturas. La literatura económica cuenta con un amplio debate entorno a la formación y el comportamiento de la tasa de interés, así como a los posibles impactos que tiene sobre la dinámica macroeconómica de una nación. En particular, el hilo argumental se concentra en establecer la clase de rol que cumplen los tipos de interés en el mercado financiero y en el mercado real.

Por ejemplo, los monetaristas, liderados por Milton Friedman, realizaron un esfuerzo teórico por estructurar una función de saldos monetarios nominales mediante una nueva interpretación

¹³ Compara el rendimiento probable de la inversión con el precio de oferta del bien de capital usado y se define como aquella tasa de descuento que iguala el flujo de rentabilidad de la inversión con el costo de reposición del capital.

¹⁴ Se entiende como el incremento del ahorro provocado por la elevación unitaria del ingreso.

de la teoría cuantitativa¹⁵ como una teoría de demanda por dinero. Esta corriente considera que el dinero es una variable exógena al sistema, puesto que asume como constantes la preferencia por liquidez y los requerimientos de reservas bancarias dispuestos por el banco central. Bajo este escenario, cambios en la oferta monetaria son inducidos principalmente por la conducta de la base monetaria.

Sin embargo, como la oferta monetaria es exógena, si se incrementa por encima de lo deseado (decretado por la demanda), los individuos tendrán excedentes de saldos nominales, por lo que el precio del dinero (o el tipo de interés) disminuirá e incentivará el consumo y la inversión. La elevación de la producción se estabilizará cuando la oferta y demanda de dinero lleguen nuevamente al equilibrio¹⁶.

Por otro lado, la vertiente postkeynesiana rebate la postura monetarista, en la medida en que establece que sí se cumple la endogeneidad del dinero y una estrecha relación de su demanda con la tasa de interés y el producto. En este contexto, postula que la oferta monetaria depende del nivel de producción y que la demanda de dinero crea su propia oferta. El conjunto de relaciones anteriores hacen que tanto el producto como la demanda de dinero tengan efectos sobre el cambio de la tasa de interés.

Desde el ángulo de la escuela neoclásica, la economía se encuentra siempre en equilibrio, no hay rigideces de precios y la oferta monetaria es exógena. Por otro lado, se utiliza la Ley de Say¹⁷ y la teoría cuantitativa para determinar que la tasa de interés es un fenómeno nominal y que las variables nominales solo afectan las variables reales si los individuos se ven sorprendidos por su comportamiento, con respecto a las expectativas. Esto hace que la política monetaria sea inefectiva como instrumento para incrementar el producto.

Por su parte, la corriente neokeynesiana postula que las conclusiones neoclásicas solo son posibles si se supone que la economía funciona siempre en equilibrio, los precios son flexibles y la información es tanto simétrica como gratis. Cuando se abandonan estos supuestos, las variables nominales no son neutrales porque afectan las variables reales, mientras que la política monetaria sí es efectiva, aunque no afecta significativamente la tasa de interés, en el

¹⁵ la teoría cuantitativa del dinero postula que $MV = PQ$, donde M es la oferta de dinero en la economía, V significa la velocidad con la que cambia de manos, P representa el nivel de precios y Q simboliza el nivel de producción. Si la producción y la velocidad del dinero permanecen constantes, el nivel de precios se determina enteramente por la oferta monetaria.

¹⁶ Como la tasa de interés disminuye, el rendimiento de los activos financieros cae y la preferencia por liquidez aumenta.

¹⁷ Establece que la oferta crea su propia demanda.

sentido en que incrementos de la oferta monetaria elevan la oferta de crédito a cada nivel del costo del préstamo.

Por último, la política monetaria actual típica alrededor del mundo se concentra en estabilizar el nivel de precios mediante la oferta monetaria o la tasa de interés, de modo que los bancos centrales se muestran a favor de la teoría cuantitativa y la neutralidad del dinero. En el caso particular colombiano, se establece un nivel del tipo de interés anclado a la Regla de Taylor, cuya forma se muestra a continuación:

$$i_t = \pi_t + r_t^* + \alpha(\pi_t - \pi_t^*) + \beta(y_t - \bar{y}_t) \quad (3.13)$$

Donde i_t representa la tasa de interés nominal, π_t simboliza la inflación observada, r_t^* es la tasa de interés real de equilibrio, $\pi_t - \pi_t^*$ significa la brecha de la inflación observada respecto del objetivo, $y_t - \bar{y}_t$ muestra la brecha del producto observado respecto del potencial. Por su lado, α y β son coeficientes mayores a cero.

4. Aspectos Teóricos que Relacionan el Tipo de Cambio con las Tasas de Interés Doméstica y Externa

La tasa de cambio es, como ya se ha mencionado, el precio de una moneda extranjera o divisa en términos de la moneda nacional. Al margen del régimen que decidan adoptar los responsables de la política económica, la formación del tipo cambiario se origina en el mercado de divisas, que es el punto de encuentro de las transacciones entre la economía nacional y las internacionales, cuya contabilidad queda sistemáticamente registrada en lo que se conoce como balanza de pagos.

Bajo estos parámetros, un tipo de cambio flotante, por ejemplo, se apreciará con cualquier transacción que implica entrada¹⁸ de divisas (exportaciones, ingreso de remesas o recepción de capitales provenientes del exterior, por mencionar algunas) y se depreciará con cualquier transacción que implique salida¹⁹ de divisas (importaciones, egreso de remesas o fuga de capitales, entre otras).

Pues bien, cuando se habla de captación de capitales internacionales o colocación de capitales nacionales en el exterior, las tasas de interés doméstica y externa juegan un papel fundamental en la determinación del tipo cambiario. A continuación se sintetizarán dos enfoques que explican esta relación:

4.1. Modelo Mundell – Fleming

Fleming (1962) y Mundell (1962, 1963) integraron un análisis de economía abierta al modelo IS-LM²⁰, desarrollado por Hicks (1937) y Hansen (1953). Tal adhesión teórica, conocida como modelo IS-LM-BP o simplemente Mundell-Fleming, contempla los efectos de los movimientos internacionales de bienes y capitales sobre la balanza de pagos (así como también sobre la tasa de cambio nominal), mediante su respectiva incorporación en el equilibrio del sistema.

En primera instancia, este planteamiento trabaja sobre tres grandes supuestos: 1. Se analiza una economía abierta y pequeña²¹ con respecto al resto del mundo; 2. Existe libre movilidad de

¹⁸ Con lo cual la oferta de divisas se eleva.

¹⁹ Lo que incrementa la demanda de divisas.

²⁰ También llamado modelo de Hicks-Hansen, es una síntesis teórica y una representación matemática de la macroeconomía keynesiana, que muestra la relación entre la tasa de interés y el producto de equilibrio, subyacente a la interacción entre el mercado de bienes y el mercado monetario. Cabe precisar que es un análisis de corto plazo, en tanto supone que existen rigideces de precios.

²¹ De modo que sus flujos de préstamos no afecten la tasa de interés internacional.

capitales; y 3. Los precios no se ajustan simultáneamente a los movimientos de oferta o demanda de los mercados.

Ahora bien, el equilibrio en el mercado de bienes, del cual se deriva la curva IS, viene dado por:

$$Y = C(Y - T) + I(r) + G + XN(E) \quad (4.1)$$

Donde Y simboliza la renta nacional o demanda agregada de la producción, C representa el consumo, T son los impuestos, $Y - T$ se considera el ingreso disponible, I simboliza la inversión, r representa la tasa de interés, G es el gasto del gobierno, XN son las exportaciones netas de importaciones y E es la tasa de cambio.

Por otro lado, el equilibrio del mercado monetario se consigue mediante la siguiente relación:

$$m(r) = L(Y, r) \quad (4.2)$$

Donde m se considera la oferta de saldos reales, r simboliza la tasa de interés nominal, L representa la función de demanda por liquidez o dinero y Y es la renta nacional.

Desde el ángulo de la balanza de pagos, existen dos componentes: la balanza comercial y la balanza de capitales. El saldo de la balanza de pagos en moneda extranjera, que se muestra en la ecuación 4.3, es la suma de los saldos de ambos componentes:

$$SBP = (P/E)X - P^*M + F \quad (4.3)$$

Donde SBP representa el saldo de la balanza de pagos, P simboliza el nivel de precios interno, E es la tasa de cambio nominal, X se considera las exportaciones, P^* representa el nivel de precios externo, M simboliza las importaciones y F es el saldo en la balanza de capitales, que sigue una relación funcional como la siguiente.

$$F = F(r, r^*) \quad (4.4)$$

Donde r representa la tasa de interés nominal doméstica y tiene una relación directamente proporcional con F , mientras que r^* se considera la tasa de interés nominal externa y conlleva una relación inversamente proporcional con F . Lo anterior se debe, en esencia, a que un incremento del tipo internacional o una disminución del tipo doméstico promueve la colocación de capitales nacionales en el exterior, lo cual origina, ceteris paribus, un déficit en la balanza

de capitales y un posterior déficit en balanza de pagos. Como la demanda por la moneda extranjera crece²², se estimula la depreciación²³ del tipo cambiario.

4.2. Paridad de Intereses

La teoría de la paridad de intereses postula, a la luz de las observaciones de Isard (2006), que los inversores de portafolio tienen la opción de mantener activos denominados en la moneda doméstica en un momento t , que rindan a una tasa de interés r_t entre t y $t + 1$, o bien mantener activos denominados en moneda extranjera y que ganen una tasa de interés externa r_t^* entre t y $t + 1$. Si el inversor comienza con una unidad de moneda doméstica, debe comparar si acumular $1+r_t$ unidades, o si bien convertir tal unidad en s_t unidades de moneda extranjera a la tasa de cambio spot, a efectos de invertir en activos extranjeros que acumulen en el momento $t + 1$ el equivalente a $s_t (1 + r_t^*)$ unidades de moneda externa.

Ahora, si ambos activos solo difieren en su moneda de denominación y si el inversor puede cubrirse de la incertidumbre provocada por los movimientos de la tasa de cambio, mediante el uso de una tasa esperada²⁴ f_t , que convierta su inversión en moneda externa a moneda nacional en el momento $t + 1$, la condición de equilibrio se encuentra dada por:

$$1 + r_t = s_t \frac{1 + r_t^*}{f_t} \quad (4.5)$$

De cuya manipulación resulta:

$$r_t^* - r_t \approx \frac{f_t - s_t}{s_t} \quad (4.6)$$

Así, el diferencial de tasas de interés externa e interna debe ser aproximadamente igual a la apreciación o depreciación esperada del tipo de cambio. Es decir que, cuando el tipo de interés externo se incrementa (disminuye) respecto del interno, la economía doméstica experimentará una fuga (captación) de capitales, que resultará en un aumento de la demanda (oferta) de divisas (por la necesidad de cambiar la moneda nacional por la internacional) y una subsecuente depreciación (apreciación) cambiaria.

²² La colocación de capitales en el exterior implica la conversión de moneda nacional por extranjera.

²³ La apreciación surge de las relaciones contrarias a las descritas.

²⁴ O tasa de cambio esperada, se expresa como la cantidad de moneda extranjera por unidad de moneda nacional acordada para un momento futuro determinado.

5. Nociones de los Modelos de Heterocedasticidad Condicional Autorregresiva

La estimación de modelos por medio de métodos como el de mínimos cuadrados ordinarios presenta ciertas limitaciones, derivadas de dos grandes supuestos que se imponen sobre las características del término de error o residuo: la primera es que es homocedástico o de varianza constante en el tiempo, y la segunda es que sigue una distribución normal. Los modelos de heterocedasticidad condicionada autorregresiva abandonan estos supuestos a efectos de estimar la volatilidad de una serie, definida como la varianza del error condicionada a sus valores pasados.

Desde luego que, con miras a lograr un buen ajuste del modelo, las series utilizadas en él deben tener las siguientes características, conforme lo señalado por Casas y Cepeda (2008):

- Aglomeración de la volatilidad: períodos de alta volatilidad deben ser seguidos por períodos de alta volatilidad y viceversa para lapsos de baja volatilidad.
- Reversión a la media: esta característica implica que ciclos de alta volatilidad son procedidos por ciclos de baja volatilidad, de manera que, eventualmente, la volatilidad retorna a su nivel normal.
- Influencia de variables exógenas: series independientes pueden contener información que determine el comportamiento de la volatilidad de la serie dependiente.
- No normalidad de la distribución de probabilidad de la serie: se presentan colas pesadas o curtosis en exceso.

Pues bien, a lo largo del tiempo se han desarrollado numerosos modelos de heterocedasticidad condicionada, como una ampliación al trabajo pionero de Engel (1982). A continuación se describirán de manera muy general tres de ellos.

5.1. Modelos ARCH

El modelo de heterocedasticidad condicional autorregresiva (autoregressive conditional heteroskedasticity en inglés) fue desarrollado por Engel (1982) para estimar la varianza de la inflación en el Reino Unido. Se parte de un modelo lineal²⁵ de la forma:

$$y_t = a_0 + a_1 x_t + u_t \quad (5.1)$$

²⁵ Asimismo se puede usar un AR para y_t , caso para el cual el modelo de estimación de la varianza condicional también recibe el nombre AR-ARCH.

Que es la estimación en media de y_t , donde para todo momento t , y_t simboliza la variable dependiente, a_0 representa el intercepto o término constante, a_1 indica el coeficiente o impacto de la variable independiente sobre la dependiente, x_t se entiende como la variable independiente y u_t es el residuo. La estimación en varianza se interpreta como la esperanza del término de error al cuadrado, condicionada a sus valores rezagados, como en la siguiente ecuación:

$$E(u_t^2 / u_{t-1}, u_{t-2}, \dots, u_{t-p}) = \beta_0 + \beta_1 u_{t-1}^2 + \beta_2 u_{t-2}^2 + \dots + \beta_p u_{t-p}^2 \quad (5.2)$$

Lo que en otros términos significa la varianza condicional o modelo de heterocedasticidad condicional ARCH (p), para un orden autorregresivo determinado p , que se simboliza mediante la función h_t :

$$h_t = \beta_0 + \beta_1 u_{t-1}^2 + \beta_2 u_{t-2}^2 + \dots + \beta_p u_{t-p}^2 \quad (5.3)$$

Para la cual $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p > 0$.

Una representación más sintetizada de 4.3 posee la siguiente estructura:

$$h_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i u_{t-i}^2 \quad (5.4)$$

Donde β_0 es el término constante y β_i es el coeficiente que determina el impacto del error al cuadrado rezagado u_{t-i} sobre la varianza condicionada h_t .

Nótese que, en tanto la ecuación (5.1) estima la media de y_t , y u_t indica la desviación de la observación respecto de dicha media, su modelación es apropiada como aproximación de la varianza o volatilidad de y_t .

5.2. Modelos GARCH

Bollerslev (1986) desarrolló, a partir del trabajo de Engel, los modelos de heterocedasticidad condicional autorregresiva generalizados (generalized autoregressive conditional heteroscedasticity en inglés), los cuales incorporan en el sistema, además de los errores al cuadrado rezagados (u_{t-p}), componentes de la propia varianza condicional para eventos pasados (h_{t-q}), de la siguiente manera:

$$h_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i u_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \alpha_j h_{t-j}^2 \quad (5.5)$$

Para la cual se cumple que $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p > 0$ y $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_q > 0$.

Como se incluyen tanto factores de autorregresión como factores de media móvil, la ecuación 5.5 expresa un modelo tipo GARCH (p, q) , de orden p para el error al cuadrado y de orden q para la media móvil de la varianza, donde β_0 es el término constante, β_i y α_i son, respectivamente, los coeficientes que determinan el impacto del error al cuadrado rezagado u_{t-i} y de la varianza al cuadrado rezaga h_{t-j} sobre la varianza condicionada h_t .

5.3. Modelos EARCH

La volatilidad de las series de tiempo, en algunos casos, no reacciona de manera homogénea a innovaciones positivas o negativas de las variables explicativas; es decir, su comportamiento es asimétrico frente a choques que aumentan o disminuyen su inestabilidad. Los modelos ARCH y GARCH, aunque son métodos adecuados para modelar la volatilidad de una serie, no alcanzan a captar esta característica, debido al carácter cuadrático de las regresoras.

Nelson (1991) presentó una extensión de este tipo de modelos a efectos de contrarrestar tal defecto. Para tales fines, estimó un modelo de heterocedasticidad condicional autorregresivo generalizado de tipo exponencial (exponential generalized autoregressive conditional heteroscedasticity en inglés). Una adaptación de esta aplicación se fundamenta en incorporar solamente elementos autorregresivos del término de error, como se muestra a continuación:

$$\log h_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i u_{t-i} + \sum_{j=1}^p \Phi_j (u_{t-j} - \sqrt{2\pi}) \quad (5.6)$$

Donde β_0 es el término constante y β_i es el coeficiente que determina el impacto del error rezagado u_{t-i} sobre la varianza condicionada h_t y Φ_j es un parámetro de ajuste que funciona como coeficiente del diferencial del error rezagado y la raíz cuadrada de 2π .

6. Implementación Empírica

6.1. Frecuencia y fuentes de los datos

Se emplearán datos de series de tiempo para tres variables: tasa de cambio, tasa de interés doméstica y tasa de interés externa, con una frecuencia diaria desde el 1 de enero de 2001 hasta el 29 de marzo de 2019. Tanto el tipo cambiario como el tipo de interés interno se extraerá de la base de datos del Banco de la República de Colombia, mientras que la tasa de interés externa se obtendrá del sitio web *macrotrends.net*²⁶.

La razón del período de investigación se halla en que desde principios del siglo XXI, Colombia adoptó un esquema de administración cambiaria basada en la flotación²⁷ del tipo de cambio (con intervenciones ocasionales) y un régimen monetario de inflación objetivo, el cual se concentra esencialmente en controlar el nivel de precios mediante el establecimiento de una tasa de interés de corto plazo, cuyo objetivo intermedio es transmitir su comportamiento a tipos de más largo plazo.

²⁶ Diríjase a <https://www.macrotrends.net/2015/fed-funds-rate-historical-chart>.

²⁷ Unos años atrás, la tasa de cambio seguía un régimen de bandas cambiarias.

6.2. Definición de las variables

6.2.1. Tasa de cambio. Se utilizará el tipo de cambio del peso colombiano (*COP \$*) frente al dólar estadounidense (*USD \$*), expresado mediante la forma $E(COP\ \$/USD\ \$)$, se entiende como la cantidad de pesos que pueden comprar un dólar; o lo que es igual, el precio unitario del dólar denominado en pesos. Cabe precisar que se usará la tasa representativa del mercado o TRM, que se interpreta como la tasa promedio de los flujos de compra y venta diarios en el mercado de divisas.

6.2.2. Tipo de interés doméstico. Cuando se habló del vínculo entre la tasa de cambio y las tasa de interés interna y externa, se hizo hincapié en que la transmisión de éstas últimas al tipo cambiario tiene lugar vía flujo de capitales; es decir, si la tasa de interés interna crece²⁸, los productos financieros nacionales se vuelven más atractivos para los inversores de portafolio, quienes invierten en ellos mediante la conversión de moneda extranjera por moneda doméstica, lo cual origina una apreciación cambiaria²⁹. Lo mismo se esperaría que sucediera si el tipo de cambio externo cae, en tanto se volverían menos preferentes las inversiones en el exterior y se sustituirían por aquellas de carácter nacional.

Por lo anterior, lo ideal en términos conceptuales estrictos es que la tasa de interés que se utilice en la aplicación empírica de este trabajo sea aquella que cumpla tres características generales:

- Que sea una tasa de referencia del comportamiento de las tasas del mercado financiero, de forma que aplique a cualquier tipo de inversor de portafolio y que explique en buena parte sus decisiones de colocación.
- Que se encuentre calculada en frecuencia diaria, para que sea posible un análisis empalmado con la tasa de cambio, a efectos de reflejar con mayor precisión la volatilidad de ambas.
- Que no muestre comportamientos escalonados³⁰, dado que su presencia dificulta el estudio de series de tiempo, en especial si el enfoque de análisis es el de volatilidades.

Pues bien, una tasa doméstica que cumple con las tres condiciones es el Índice Bancario de Referencia, del cual son participantes ocho bancos colombianos y que se entiende como el

²⁸ Si la tasa de interés doméstica decrece, o si la externa se incrementa, se esperaría un impacto inversamente proporcional al descrito.

²⁹ Pues se eleva la oferta de divisas.

³⁰ Significa que posterior a un cambio en determinado período, la serie permanece constante por un lapso importante de tiempo. Esta característica suele suceder con las tasas de política monetaria establecidas por los bancos centrales.

precio al cual desean colocar o captar recursos del mercado monetario, de modo que muestra efectivamente sus condiciones de oferta y demanda, así como el costo del dinero subyacente a su interacción. Su cálculo surgió como un instrumento para lograr tres objetivos: tener un indicador de corto plazo del precio de mercado del dinero, que sea una referencia de las demás tasas y que converja a estándares de cálculo internacionales (como las tasas Prime en Estados Unidos, Libor en el Reino Unido y Euribor en Europa).

Asobancaria³¹ (s.f.), señala que estas características permiten que el IBR siga la política monetaria y tenga una mayor correlación con ella, que muestre de forma efectiva las expectativas del mercado sobre las tasas de interés y que sea una herramienta eficaz en la gestión del riesgo. Sin embargo, la problemática que genera tal índice para esta investigación es que no cubre todo el período de investigación, puesto que se calcula solamente desde 2008.

Pues bien, otra tasa que funciona como referencia es la DTF, ya que es el promedio ponderado del precio de los certificados de depósito a 90 días y, por tanto, recoge una información representativa para este activo de renta fija, pero presenta una dificultad relacionada con que no está disponible para datos diarios.

Asimismo, cabría mencionar que dentro de las especificaciones mencionadas podría entrar la tasa interbancaria, definida como el precio de los fondos que se prestan las entidades financieras entre sí a un plazo overnight (por un día). Aunque en primera instancia pareciera que no fuera un tipo que representara las tasas del mercado financiero, en el sentido en que solo es aplicable a intermediarios financieros en el corto plazo, la realidad es que el esquema monetario de inflación objetivo³², que opera en Colombia desde casi dos décadas atrás, hace posible que si lo sea.

En efecto, autores como Chavarro, Cristiano, Gómez, González y Huertas (2015), utilizan la tasa interbancaria como proxy de la tasa de política monetaria y encuentran que una tasa de captación como la DTF tiene una sensibilidad a los cambios del tipo interbancario del 42%, mientras las tasas de captación presentan una relación positiva y significativa frente a éste.

A su vez, Betancourt, Bonilla y Misas (2008) indican que el tipo interbancario, otra vez como aproximación de la tasa de intervención del banco central, transmite su comportamiento tanto

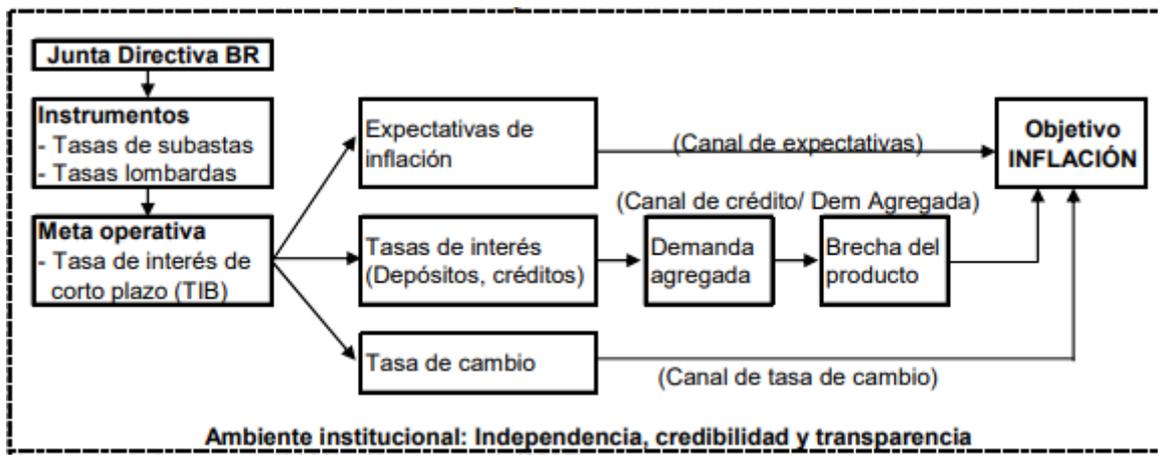
³¹ Véase <https://www.asobancaria.com/ibr/>

³² En términos muy generales, es el mecanismo mediante el cual el banco central busca lograr un nivel determinado de inflación. Para esto, "...utiliza como instrumento de política sus tasas de interés de intervención, con el fin de modificar la tasa de interés interbancaria (su meta operativa), y a su vez influenciar las tasas de interés de plazos más largos." (Becerra y Melo, 2008, p. 1).

a las tasas bancarias de corto como de largo plazo, aunque el proceso es más completo y más rápido sobre las primeras.

Por su parte, Becerra y Melo (2008) explican que el banco central establece un nivel de tasa de intervención tal que, en un primer momento, afecte la tasa interbancaria. Asimismo, argumentan que mediante esta relación, el tipo interbancario afecta las expectativas de inflación y las tasas de interés de más largo plazo. Incluso, llegan a plantear una relación directa entre la tasa interbancaria y la tasa de cambio, como se observa en el gráfico 6.

Gráfico 6. *Canales de transmisión de la tasa interbancaria*



Adaptado de Longworth (2000) y Huertas et al. (2005).

Fuente: Becerra y Melo (2008).

Recuadro 1. *Relación entre el IBR y la DTF con la tasa interbancaria*

$y_t = \theta_0 + \theta_1 x_t + u_t$					
$IBR_t = \theta_0 + \theta_1 TIB_t + u_t$					
Observaciones					4.105
R^2					0,9935
Coeficiente	Valor	P>z	Error Estándar Robusto	Intervalo de Confianza (95%)	
θ_0	0,0005734	0,000	0,000079	0,0004186	0,0007282
θ_1	0,9983239	0,000	0,0013969	0,9955851	1,001063
$y_t = \theta_0 + \theta_1 x_t + u_t$					
$DTF_t = \theta_0 + \theta_1 TIB_t + u_t$					
Observaciones					952
R^2					0,8537
Coeficiente	Valor	P>z	Error Estándar Robusto	Intervalo de Confianza (95%)	
θ_0	0,0045323	0,000	0,0007393	0,0030814	0,0059833
θ_1	1,005517	0,000	0,0140068	0,9780288	1,033004

Fuente: cálculos propios a partir del Banco de la República

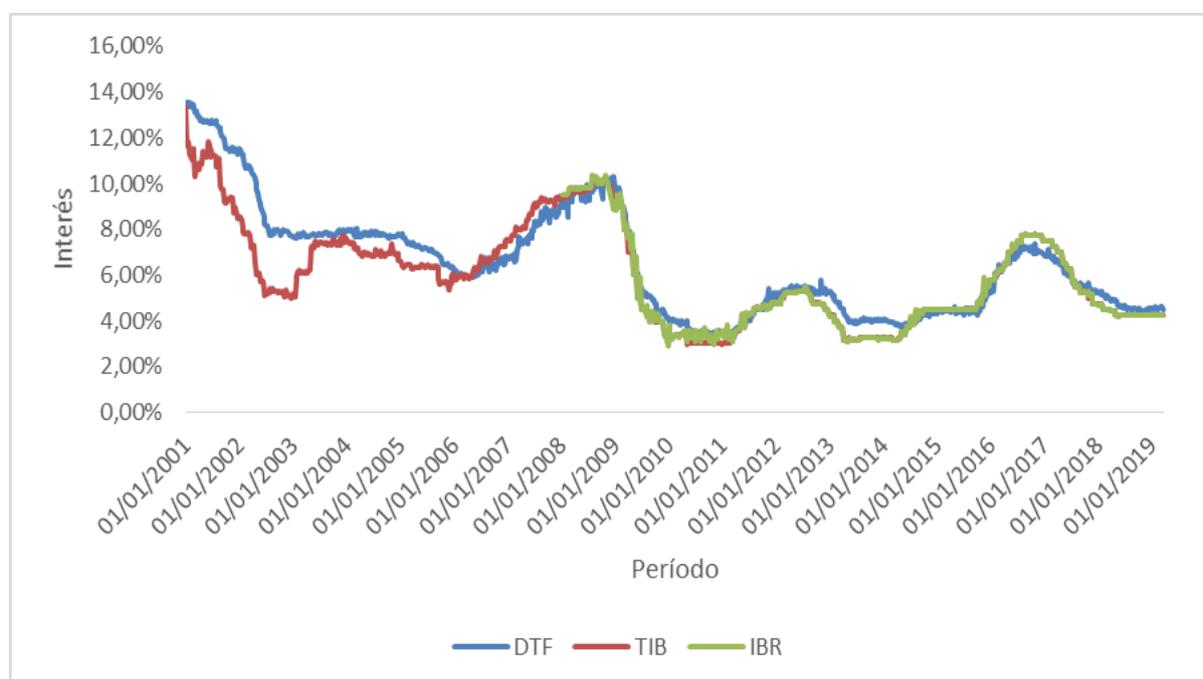
Ahora bien, se aprecia en el recuadro 1 la estimación de dos regresiones por mínimos cuadrados ordinarios (suponen una relación lineal entre la variable dependiente y la regresora), que vinculan el IBR y la DTF con la tasa interbancaria (*TIB*) respectivamente. Los resultados sugieren que el tipo interbancario es una variable significativa y diferente de cero en la determinación del IBR y la DTF.

Además, se encuentra que la *TIB* explica, en promedio, el 99,35% de la varianza del IBR; y que si la primera aumenta unitariamente, el segundo se eleva 0,99 unidades (*ceteris paribus*), por lo cual la relación es directamente proporcional y casi uno a uno³³.

A su vez, se halla que la *TIB* explica, en promedio, el 85,37% de la varianza de la DTF; y que si la primera aumenta unitariamente, la segunda se eleva 1,005 unidades (*ceteris paribus*), de modo que la relación es directamente proporcional y casi uno a uno³⁴.

De igual forma, se exhibe en el gráfico 7 cómo la tasa interbancaria tiene un comportamiento similar a aquel de la DTF y del IBR, lo que sugiere una alta correlación entre las tres variables y que la motivación de los trabajos empíricos sobre el fenómeno de transmisión tiene sustento. La evidencia permite, entonces, elegir la tasa interbancaria como la tasa doméstica a emplear en esta investigación.

Gráfico 7. *IBR y DTF vs. Tasa interbancaria*



Fuente: Banco de la República

³³ El coeficiente de correlación estimado es de 0,99.

³⁴ El coeficiente de correlación estimado es de 0,92.

6.2.3. Tipo de interés externo. La variable externa debe ser una tasa de interés proveniente de los mercados financieros de Estados Unidos, pues el tipo cambiario usado en este trabajo es aquel que relaciona el peso colombiano con el dólar estadounidense. En esencia, se deben cumplir todos los requerimientos y preliminares que se mencionaron en el apartado 6.2.2.

Uno de los tipos que mejor representa el mercado financiero norteamericano es la tasa prime, la cual se define como aquel precio mínimo que los 25 bancos más grandes de Estados Unidos cobran a sus prestatarios de créditos comerciales más confiables o sus clientes corporativos más grandes. Se utiliza como referencia para establecer las tasas de interés de las tarjetas de crédito, préstamos para construcción de vivienda, inversiones, entre otros.

Dada la amplia participación del país angloamericano en el flujo de capitales a nivel mundial, la prime es un punto de referencia o “benchmark” de todos los mercados financieros internacionales. Sin embargo, no podrá ser la variable a utilizar en este ejercicio empírico, puesto que presenta un comportamiento escalonado (véase gráfico 8). Esta característica puede estar asociada al hecho de que se establece por medio de un consenso de los participantes³⁵, de manera que se requiere que 13 de los 25 bancos cambien su tasa mínima para que la tasa global varíe.

Pues bien, un tipo que puede representar el interés internacional y cuyos datos son apropiados en términos metodológicos es la tasa de los fondos federales, que se puede interpretar como la homóloga de la tasa interbancaria colombiana: es el precio overnight de los préstamos entre entidades financieras estadounidenses, proveniente del saldo de sus reservas sobre el encaje.

Cabe precisar que la política monetaria en Estados Unidos también sigue un esquema de inflación objetivo y tipo de cambio flotante. En estas circunstancias, su tasa de intervención es el instrumento de política por el cual influye en el tipo de los fondos federales, que se convierte en su objetivo operativo. Este mecanismo tiene una influencia directa en la tasa prime, pues ésta suele situarse 300 puntos básicos por encima de la tasa de fondos.

Existe un sinnúmero de investigaciones que analizan la relación entre ambas variables. Por ejemplo, Friedman y Shachmurove (2014) encuentran que desde 1981 hasta 1993, el tipo de fondos federales y la tasa prime se causaban mutuamente en el sentido de Granger. Posterior a

³⁵ Quizá, el escalonamiento se puede deber a que la tasa se mantiene constante entre una y otra reunión de los participantes, como sucede con las reuniones de la junta directiva del Banco de la República para tomar decisiones sobre la tasa de intervención.

1993 y hasta la actualidad³⁶, solo el tipo de fondos tiene causalidad sobre la *prime*. Adicionalmente, detectan que a partir de las decisiones implementadas por la Reserva Federal en 1994, los bancos comerciales respondieron inmediatamente mediante el anclaje de su tasa *prime* a la tasa de los fondos federales más un 3%.

Por su parte, Atesoglu (2003) revela que existe una relación de cointegración positiva que representa el “pass-through” o transmisión del tipo de fondos federales sobre la tasa *prime*, y que “las acciones de política monetaria diseñadas por la FED mediante la tasa de fondos federales son ahora rápida y completamente transmitidas a la tasa *prime*, que a su vez forma la base de otras tasas de interés cobradas por los bancos.” (Atesoglu, 2003, p. 362).

Asimismo, destaca que su investigación suministra gran sustento empírico sobre el canal de “pass-through” monetario a través de la tasa de interés y, específicamente, sobre el proceso de transmisión explicado por la vertiente postkeynesiana, cuyo postulado es que la oferta monetaria se determina por la endogeneidad horizontal del dinero.

Estos resultados concuerdan con estimaciones como la realizada mediante mínimos cuadrados ordinarios en el recuadro 2, la cual arroja que ante una relación lineal entre la variable dependiente *prime* y la regresora *fedfunds*, la tasa de fondos federales es significativa y diferente de cero. Además, la tasa de fondos explica, en promedio, el 99,55% de la varianza de la tasa *prime*, de tal manera que la segunda varía, en proporción, 0,97 de lo que cambie la primera. Esto configura una relación directamente proporcional y casi uno a uno³⁷.

³⁶ Desde 1994 la tasa de los fondos federales empezó a ser pública y se decretó como objetivo operativo definitivo de la política monetaria en Estados Unidos.

³⁷ El coeficiente de correlación estimado es de 0,99.

Recuadro 2. *Relación entre la tasa prime y la tasa de los fondos federales*

$y_t = \theta_0 + \theta_1 x_t + u_t$					
$prime_t = \theta_0 + \theta_1 fedfunds_t + u_t$					
Observaciones				6.662	
R^2				0,9935	
Coeficiente	Valor	P>z	Error Estándar Robusto	Intervalo de Confianza (95%)	
θ_0	0,0311688	0,000	0,0000167	0,0311362	0,0312015
θ_1	0,9723765	0,000	0,0007466	0,9709129	0,97384

Fuente: Cálculos propios a partir del Banco de la República y macrotrends.net

De igual modo, el gráfico 8 muestra el comportamiento escalonado típico de la tasa prime, correlacionado fuertemente con los movimientos del tipo de los fondos federales y, usualmente, 3% por arriba de éste.

Gráfico 8. *Tasa prime vs. tasa de fondos federales*



Fuente: Banco de la República y macrotrends.net

6.3. Estadísticas Descriptivas

Una vez definidas las variables, se procede a estimar algunas estadísticas descriptivas y a pormenorizar algunos aspectos que den luces sobre la pertinencia estadística de las series. Cabe aclarar que primero se estimó la primera diferencia del logaritmo de cada variable, con el fin de trabajar sobre tasas de crecimiento y determinar si existen comportamientos de tipo ARCH.

Recordemos que la tasa de crecimiento continua de x entre un momento t y un momento $t - k$ viene dada por:

$$\Delta x_t = \log(x_t/x_{t-k}) = \log(x_t) - \log(x_{t-k}) \quad (6.1)$$

Donde Δ simboliza el cambio o la diferencia continua de la variable x y \log es el logaritmo natural.

Es así que la observación de cada serie en el momento t tendrá la forma de las siguientes ecuaciones:

$$dlogtc_t = \Delta logtc_t = \log(tc_t/tc_{t-1}) = \log(tc_t) - \log(tc_{t-1}) \quad (6.2)$$

$$dlogtib_t = \Delta logtib_t = \log(tib_t/tib_{t-1}) = \log(tib_t) - \log(tib_{t-1}) \quad (6.3)$$

$$dlogfed_t = \Delta logfed_t = \log(fed_t/fed_{t-1}) = \log(fed_t) - \log(fed_{t-1}) \quad (6.4)$$

$$dlogint_t = \Delta logint_t = \log(int_t/int_{t-1}) = \log(int_t) - \log(int_{t-1}) \quad (6.5)$$

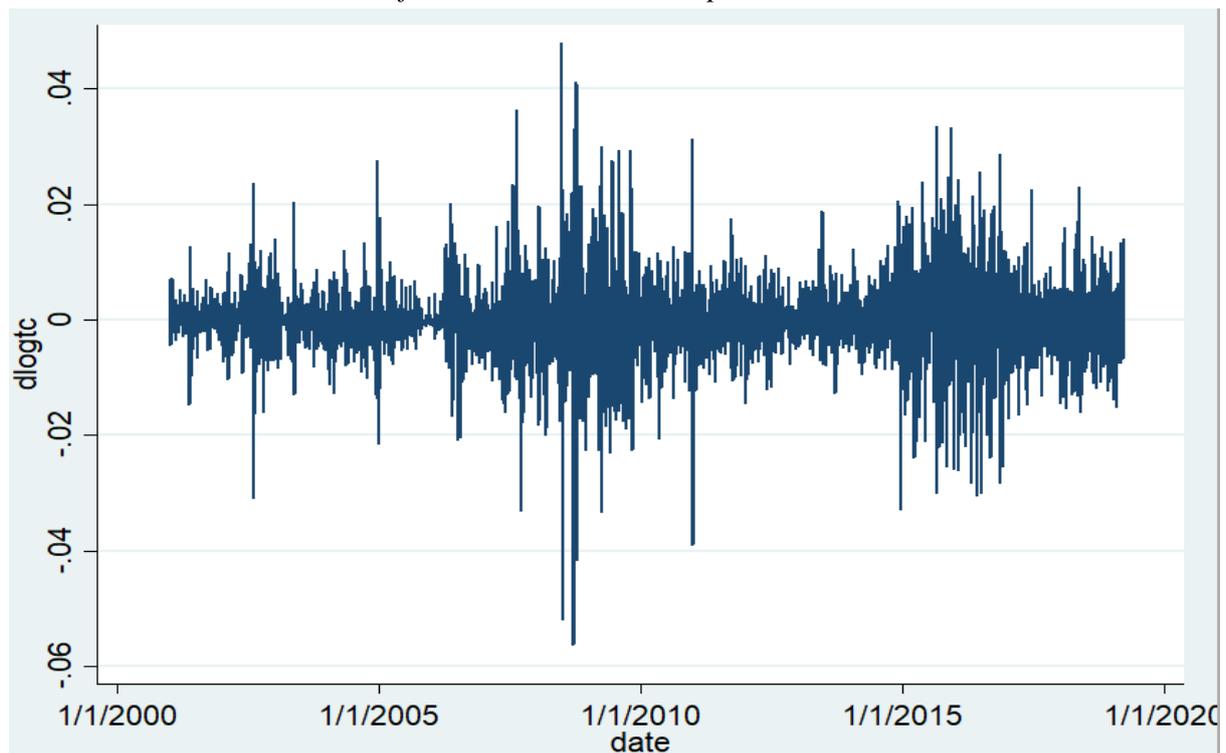
Para las cuales, $dlogtc$ simboliza la primera diferencia del logaritmo de la tasa de cambio, $dlogtib$ representa la primera diferencia del logaritmo del tipo de interés interbancario, $dlogfed$ indica la primera diferencia del logaritmo de la tasa de fondos federales y, por último, $dlogint_t$ se entiende como la primera diferencia del logaritmo del diferencial entre la tasa de interés externa (fondos federales) y la interna (interbancaria).

En adelante, se utilizarán estas notaciones para referirse al crecimiento logarítmico diario de las variables, que, para efectos prácticos, se relacionará indistintamente con términos tales como variación, volatilidad, variabilidad o inestabilidad.

6.3.1. Tasa de cambio. El gráfico 9 enseña el crecimiento (apreciación o depreciación) del tipo de cambio, como aproximación de la volatilidad cambiaria, mientras que el recuadro 3 muestra las estadísticas descriptivas correspondientes. Se denota que la serie cumple con el criterio de volatilidad aglomerada y de reversión de la media, en la medida en que los períodos de alta (baja) volatilidad son seguidos por períodos de alta (baja) volatilidad y conglomerados de alta inestabilidad son cortados por aquellos de baja inestabilidad.

En el largo plazo, el valor medio de la variación del tipo de cambio, entendido como el promedio de la alteración sufrida un día respecto del valor un día atrás, es de 0,005%. Esto también se puede interpretar como una tendencia de la tasa cambiaria a oscilar tanto positiva como negativamente en medio de la concurrencia a un punto de equilibrio (en el cual su variación es nula), pero con un muy ligero sesgo hacia la depreciación, pues el cambio es positivo, aunque muy pequeño.

Gráfico 9. Volatilidad del tipo cambiario



Fuente: cálculos propios a partir del Banco de la República

Asimismo, los datos se desvían en promedio, 0,56% de la media, lo cual refleja que la tasa de apreciación o depreciación típica del peso colombiano se desestabiliza 56 puntos básicos o casi cien veces más por encima o por debajo de su valor promedio, lo cual permite dimensionar el grado de volatilidad de la variable.

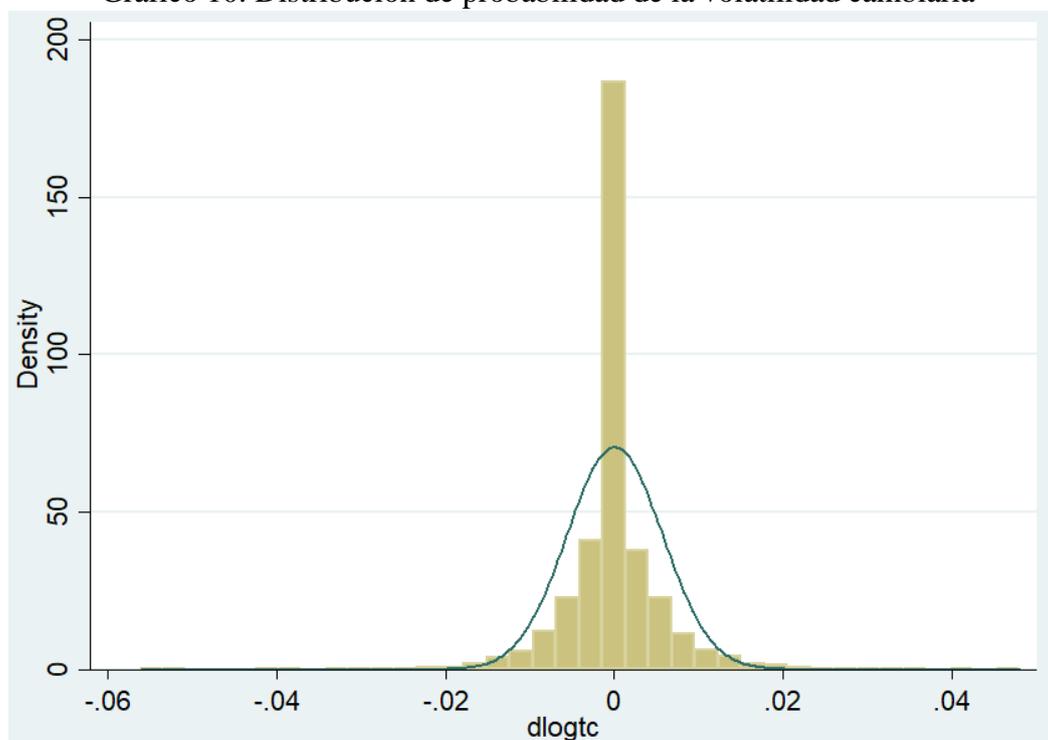
Recuadro 3. *Estadísticas descriptivas de la tasa de apreciación o depreciación del tipo de cambio*

	Percentiles	Smallest		
1%	-.0161815	-.0561929	Obs	6,661
5%	-.0084001	-.0518526	Sum of Wgt.	6,661
10%	-.0053227	-.0416777	Mean	.0000538
25%	-.0012722	-.0393267	Std. Dev.	.0056503
50%	0		Variance	.0000319
		Largest	Skewness	-.018964
75%	.0012306	.0363934	Kurtosis	13.56488
90%	.0055415	.0407763		
95%	.0089117	.0410907		
99%	.0180794	.048021		

Fuente: elaboración propia

En el gráfico 10 se observa la distribución de probabilidad de la variable y su respectiva comparación con una distribución normal (de media cero y desviación estándar 1). Tal como lo expone el recuadro 3, el crecimiento de la tasa de cambio no se distribuye normalmente, pues su curtosis es mayor a tres, lo cual se refleja en la forma de tipo leptocurtica. A su vez, la asimetría es negativa, de modo que la gráfica se sesga con respecto a la media.

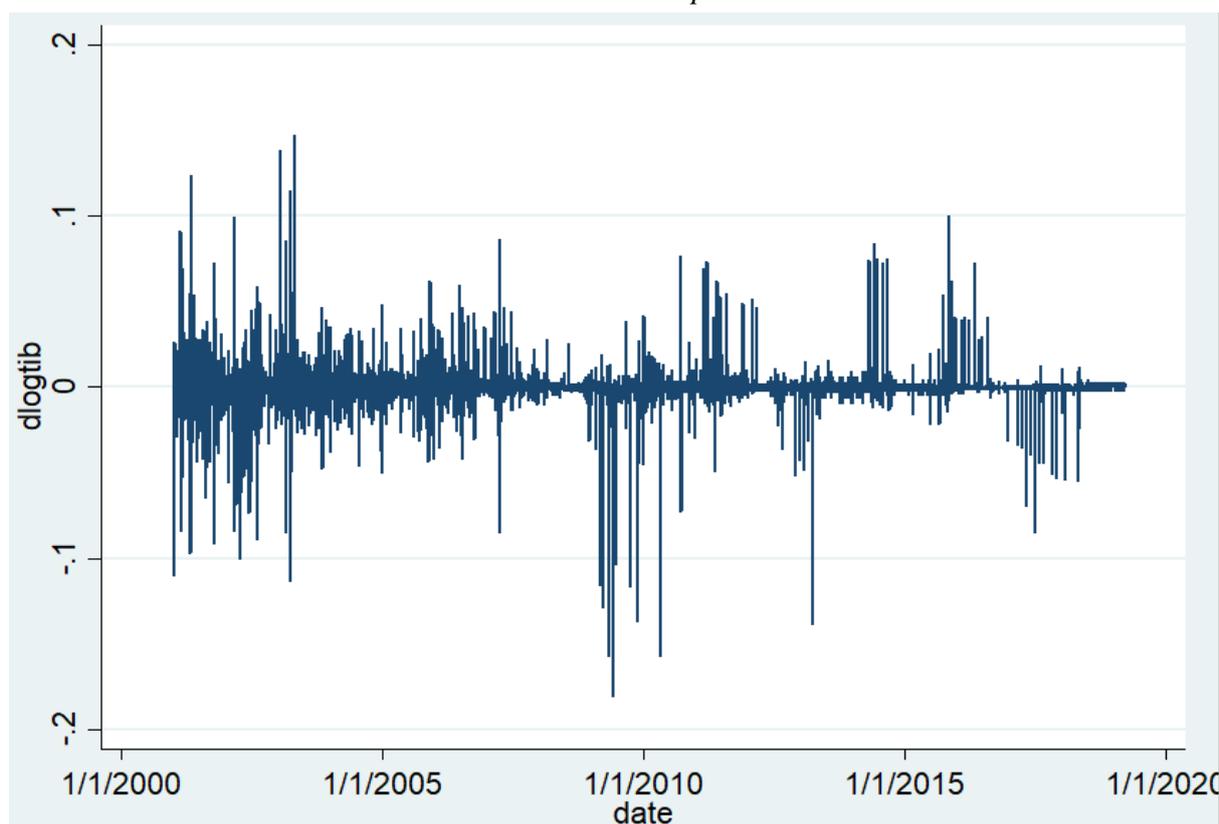
Gráfico 10. Distribución de probabilidad de la volatilidad cambiaria



Fuente: elaboración propia

6.3.2. Tipo de interés doméstico. La variación de la tasa interbancaria se exhibe en el gráfico 11. Esta serie satisface los criterios de volatilidad aglomerada y de reversión de la media, aunque las agrupaciones de alta o baja inestabilidad son mucho menos uniformes y de menor duración con relación a las observadas en la tasa de cambio; es decir, los ciclos volátiles parecen ser más asimétricos.

Gráfico 11. *Volatilidad del tipo interbancario*



Fuente: cálculos propios a partir del Banco de la República

Las estadísticas descriptivas se pueden encontrar en el recuadro 4. Según éstas, la media de largo plazo del crecimiento de la tasa interbancaria toma un valor de $-0,017\%$, de manera que durante el período de estudio en promedio, el tipo interbancario se ha comportado a favor de la liquidez del mercado monetario y en contraposición de la captación de flujos de capital.

Ahora bien, el desvío típico de los datos con respecto a su media es del $1,16\%$, aproximadamente 68 veces más. Es decir que, guardando las proporciones, la desviación estándar del tipo interbancario es dos terceras partes de la desviación estándar de la tasa de cambio, o, lo que es igual, la volatilidad cambiaria, en ese sentido, supera en un tercio la volatilidad de la tasa interbancaria.

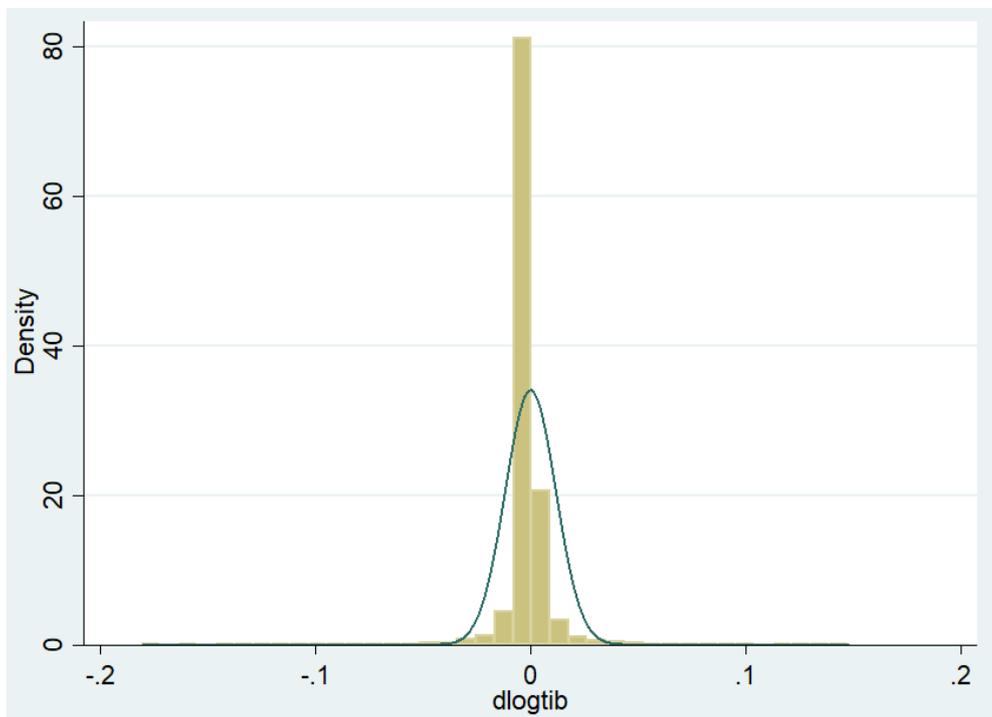
Recuadro 4. *Estadísticas descriptivas de la variación del tipo de interés interbancario*

Percentiles		Smallest		
1%	-.0350913	-.1806535	Obs	6,661
5%	-.0099221	-.1570037	Sum of Wgt.	6,661
10%	-.0053333	-.1570037	Mean	-.0001718
25%	0	-.1385497	Std. Dev.	.011698
50%	0		Variance	.0001368
		Largest	Skewness	-1.631459
75%	0	.1147169	Kurtosis	58.90473
90%	.0045662	.1237318		
95%	.0096827	.1382141		
99%	.0369169	.1474786		

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, de acuerdo con el recuadro 4 y el gráfico 12, la distribución de probabilidad de la variación del tipo doméstico no es normal, en el sentido en que la kurtosis es mayor que tres (por lo que su forma es leptocurtica) y el coeficiente de asimetría es negativo, de manera que existe un sesgo con relación a la media.

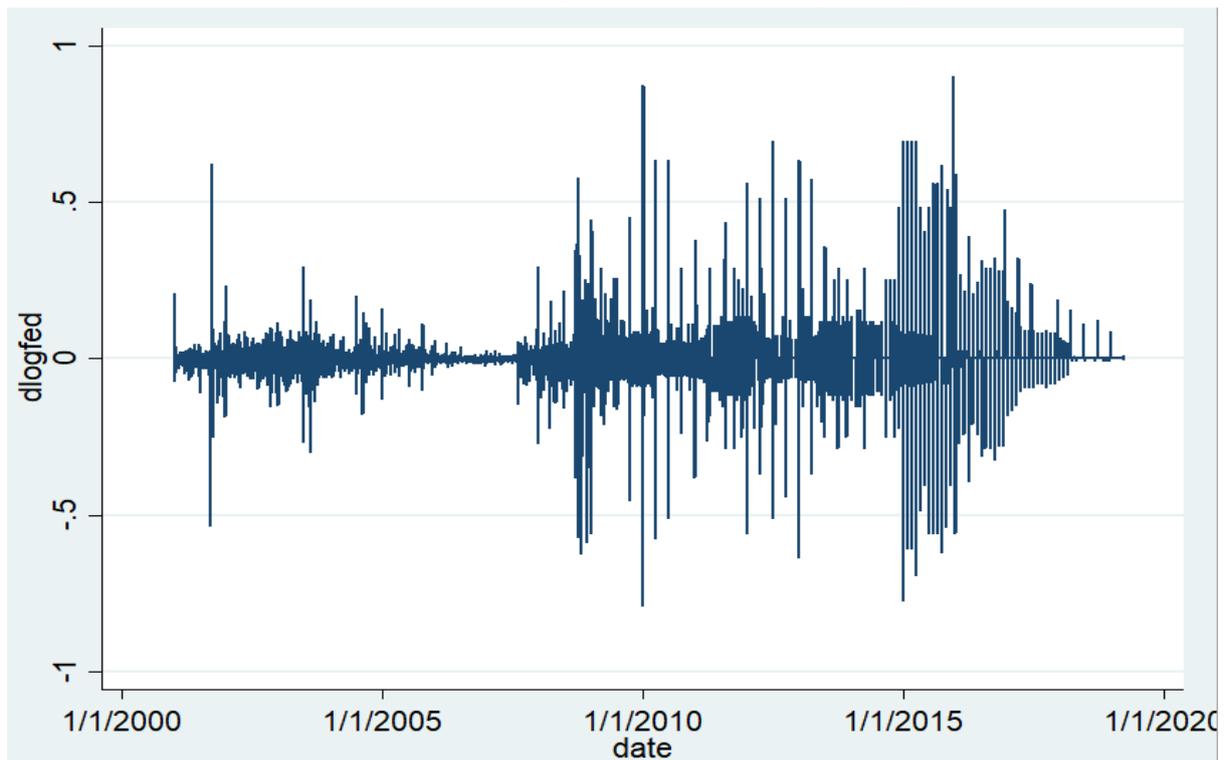
Gráfico 12. *Distribución de probabilidad del crecimiento de la tasa interbancaria*



Fuente: elaboración propia

6.3.3. Tipo de interés externo. La variación de la tasa de interés de los fondos federales se ilustra en el gráfico 13. Se puede evidenciar que su volatilidad se encuentra conglomerada y que existe reversión de la media. Sin embargo, se advierte que los ciclos de alta o baja volatilidad no son uniformes, así como que existen asimetrías relacionadas con la heterogeneidad de la volatilidad frente a incrementos o decrementos del tipo de interés.

Gráfico 13. *Volatilidad del tipo de interés de los fondos federales*



Fuente: elaboración propia a partir de macro trends.net

Por su parte, el recuadro 5 señala que el crecimiento promedio del tipo de fondos respecto del valor observado un días atrás es de $-0,012\%$, de tal suerte que, así como la tasa interbancaria, la tasa de fondos de largo plazo ha jugado en favor de la liquidez del mercado monetario estadounidense y en discrepancia de la captación de flujos de capital, aunque en pequeñas proporciones.

A su vez, la desviación estándar de los datos con relación a su media, es de $7,48\%$, o aproximadamente 600 veces más. En ese sentido, la variación del tipo de fondos federales es la más volátil de las tres variables, pues si se guardan proporciones respecto de las medias, multiplica por nueve la desviación estándar del crecimiento de la tasa interbancaria y por seis la desviación de la tasa de cambio.

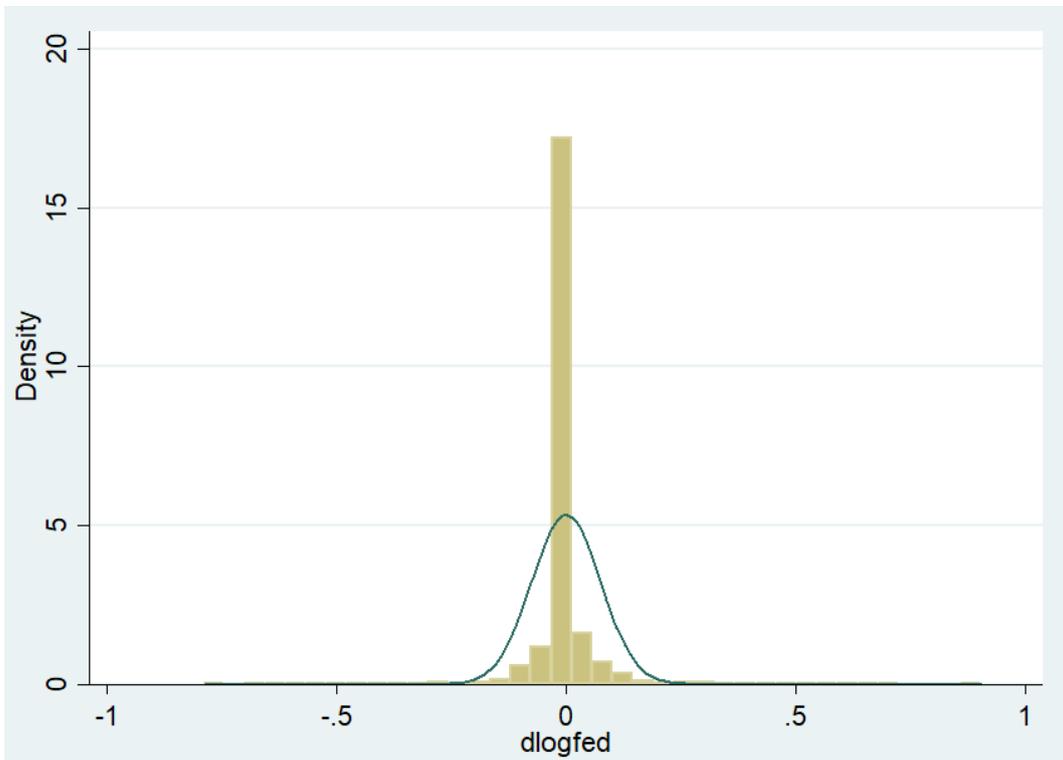
Recuadro 5. *Estadísticas descriptivas de la variación del tipo de los fondos federales*

Percentiles		Smallest		
1%	-.2436221	-.7884573	Obs	6,661
5%	-.074108	-.7731899	Sum of Wgt.	6,661
10%	-.0307717	-.6931472	Mean	-.0001202
25%	0	-.6359888	Std. Dev.	.0748646
50%	0		Variance	.0056047
		Largest	Skewness	.471952
75%	0	.6931472	Kurtosis	42.22964
90%	.0272496	.6931472		
95%	.074108	.8754687		
99%	.2513144	.9028677		

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, en términos de distribución de probabilidad, las condiciones que presenta la variación de la tasa de fondos son muy similares a aquellas de la tasa interbancaria, como se observa en el recuadro 5 o en el siguiente gráfico:

Gráfico 14. *Distribución de probabilidad de la variación del tipo de interés de los fondos federales*

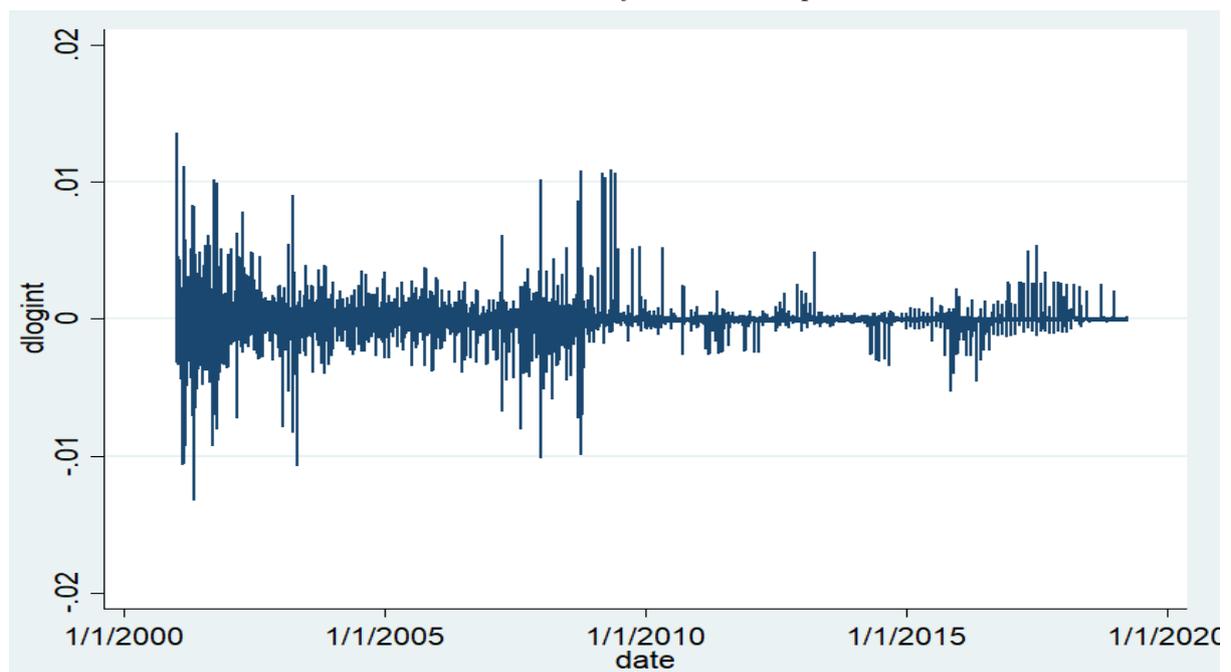


Fuente: elaboración propia.

6.3.4. Diferencial de tasas de interés. Tal como se expuso en el capítulo 4, el vínculo entre la tasa de cambio y las tasas de interés tiene lugar en el comportamiento de los flujos de capitales. En general, tanto el modelo Mundell-Fleming como la teoría de la paridad de intereses hacen referencia a un tipo de interés doméstico y a uno externo, para llegar a una conclusión homóloga: si la tasa interna crece respecto de la externa, las inversiones de portafolio fluirán hacia el mercado interno, se ofertarán más divisas y, finalmente, se terminará apreciando el tipo cambiario. Es decir, con miras a analizar de manera apropiada estas relaciones, es preciso utilizar el diferencial de tasas de interés, más que cada tasa por separado.

Por lo anterior, en el gráfico 15 se muestra la volatilidad del diferencial de tipos de interés (externo menos interno), denotado como *dlogint*. En general, esta variable cumple con los criterios de regresión a la media y volatilidad aglomerada, mientras que su conducta exhibe grandes asimetrías, en el sentido en que no se comporta igual cuando crece que cuando disminuye.

Gráfico 15. *Volatilidad del diferencial de tipos de interés*



Fuente: elaboración propia

A su vez, el recuadro 6 indica que la media de largo plazo del diferencial es de 0,00097%, de tal suerte que la tasa externa ha superado a la tasa doméstica, pero en proporciones muy pequeñas. Esto se encuentra en línea con las estadísticas de las demás variables: el tipo de fondos federales, aunque ha disminuido, lo ha hecho en una proporción menor al decrecimiento de la tasa interbancaria, por lo cual el diferencial es positivo y la tasa de cambio se ha depreciado, o ha aumentado en el largo plazo. Asimismo, la desviación típica del diferencial

respecto de su media es de 0,11%, cerca de 120 veces más, de modo que si se mantienen las proporciones con relación a las medias, el diferencial es, aproximadamente, 0,2 veces más volátil que la tasa de cambio, 2 veces más que la tasa interbancaria, pero 6 veces menos que la tasa de fondos federales.

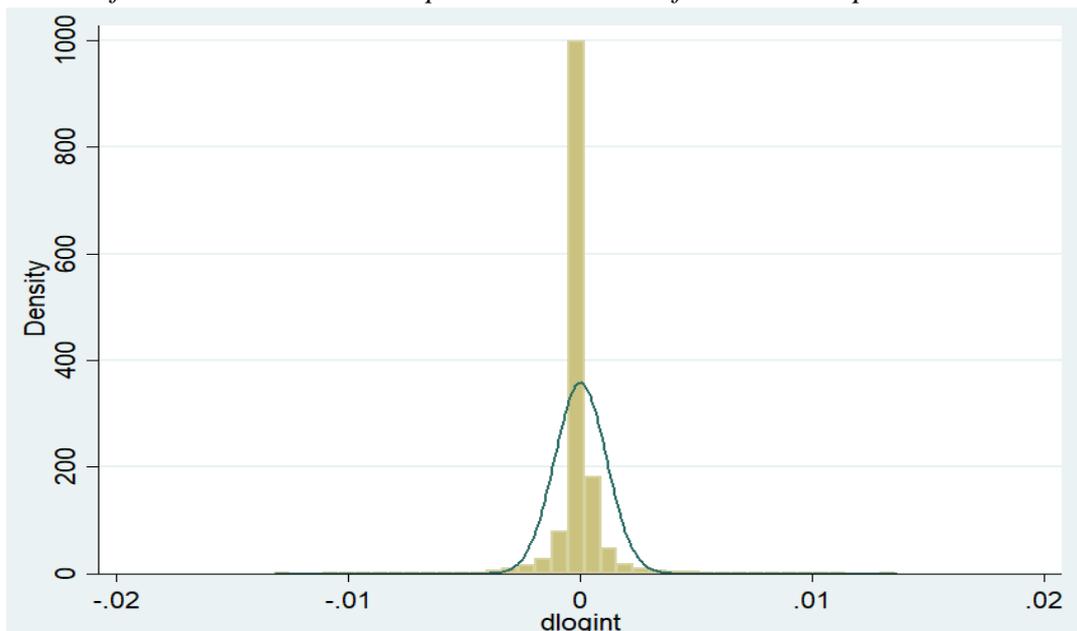
Recuadro 6. *Estadísticas descriptivas de la variación del diferencial de los tipos de interés*

5%	-.0011597	-.0106817		
10%	-.0005162	-.010598	Obs	6,661
25%	-.0001032	-.0100823	Sum of Wgt.	6,661
50%	0		Mean	9.70e-06
		Largest	Std. Dev.	.0011133
75%	.0001033	.0108848		
90%	.0005291	.0111386	Variance	1.24e-06
95%	.0011663	.0135795	Skewness	.7999742
99%	.0035345	.0135983	Kurtosis	41.36114

Fuente: elaboración propia

Por último, el gráfico 16 indica, en sincronía con el recuadro 6, que el diferencial no tiene una distribución de probabilidad normal, pues su curtosis es mayor a 3 y el coeficiente de asimetría es mayor a cero, por lo cual se presenta sesgo con respecto a la media.

Gráfico 16. *Distribución de probabilidad del diferencial de tipos de interés*



Fuente: elaboración propia

6.4. Estimación y Resultados

De acuerdo con los test estadísticos contrastados (véase el anexo 9.2, 9.3 y 9.4), se determinó que las variables escogidas sí presentan procesos ARCH o, en otros términos, es apropiado modelarlas mediante métodos de heterocedasticidad condicionada autorregresiva. A continuación se muestra la estimación y los resultados para diferentes modelos ARCH, GARCH y EARCH:

6.4.1. Modelos ARCH. Se estiman modelos ARCH por máxima verosimilitud para la media de $dlogtc_t$, dependiente de $dlogint_t$, y para su varianza, dependiente solo del término de error al cuadrado autorregresivo derivado del modelo de la media. Los resultados se enseñan en el recuadro 7:

Recuadro 7. Estimación de modelos ARCH

ARCH (1)			ARCH (2)			ARCH (3)		
Observaciones		6.661	Observaciones		6.661	Observaciones		6.661
Media			Media			Media		
Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z
a	0,0000836	0,172	a_0	0,0000603	0,330	a_0	0,0000174	0,765
a_1	0,1952381	0,000	a_1	0,1664573	0,000	a_1	0,0813957	0,060
Varianza			Varianza			Varianza		
Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z
β_0	0,0000222	0,000	β_0	0,0000216	0,000	β_0	0,0000187	0,000
β_1	0,3394835	0,000	β_1	0,3023984	0,000	β_1	0,3125087	0,000
			β_2	0,0396398	0,000	β_2	0,0407492	0,000
						β_3	0,0942035	0,000
Criterios de Información			Criterios de Información			Criterios de Información		
AIC		-50.903,46	AIC		-50.943,37	AIC		-51.130,30
BIC		-50.876,24	BIC		-50.909,35	BIC		-51.089,48

El cálculo de la ecuación de la varianza con más de dos rezagos del término de error al cuadrado arroja un coeficiente no significativo del diferencial de tipos en la ecuación de la media; por lo tanto, el rango de elección del modelo más parsimonioso se encuentra entre un ARCH (1) y un ARCH (2). Bajo el Criterio de Información de Akaike (AIC), se elige un ARCH (2), puesto que se observa un valor más cercano a menos infinito.

De manera que la ecuación de la media toma la siguiente forma:

$$dlogtc_t = 0,0000603 + 0,1664dlogint_t + u_t \quad (6.6)$$

Donde para todo momento t :

- a_0 significa que el crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$ se eleva en una proporción de 0,006% cuando la variables regresora es iguales a cero.
- a_1 implica que en promedio, ceteris paribus, un aumento de 1% en el crecimiento del diferencial de tasas de interés ($dlogint_t$), acarrea un incremento de la variación de la tasa de cambio en 16,64%.
- u_t simboliza el término de error o residuo.

Por otra parte, la ecuación de la varianza se representa como sigue:

$$h_t = 0,0000216 + 0,3023u_{t-1}^2 + 0,0396u_{t-2}^2 \quad (6.7)$$

Para la cual:

- β_0 enseña que la varianza del crecimiento de la tasa de cambio aumenta en una proporción de 0,0000216 unidades cuando las variables regresoras son iguales a cero.
- β_1 implica que en promedio, ceteris paribus, un incremento unitario del residuo al cuadrado, rezagado un período, produce un aumento de 0,3023 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio ($dlogtc_t$).
- β_2 muestra que en promedio, ceteris paribus, un aumento unitario del residuo al cuadrado, rezagado dos períodos, genera un aumento de 0,0396 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio ($dlogtc_t$).

Por último, se realiza un test de significancia con las siguientes hipótesis:

$$H_0: a_i = 0 \text{ vs. } H_1: a_i \neq 0 \text{ y } H_0: \beta_i = 0 \text{ vs. } H_1: \beta_i \neq 0$$

Donde $i = n$ rezagos.

Dado que para todas las variables, el p-value asociado al estadístico de prueba es menor que un nivel de significancia de 5%, se rechaza la hipótesis nula; es decir, los parámetros son estadísticamente significativos y diferentes de cero.

6.4.2. Modelos GARCH. Se estiman modelos GARCH por máxima verosimilitud para la media de $dlogtc_t$, dependiente de $dlogint_t$ y para su varianza, dependiente tanto del término de error al cuadrado autorregresivo como del componente de media móvil autorregresivo de la misma varianza. Los resultados se muestran en el recuadro 8.

El cálculo de la ecuación de la varianza con más de cuatro rezagos, tanto del término de error al cuadrado como de la propia varianza³⁸, no permite la convergencia de las iteraciones que se realizan mediante el método econométrico; de tal suerte que el rango de elección del modelo más parsimonioso se encuentra entre un GARCH (1,1) y un GARCH (4,3). Bajo el Criterio de Información de Akaike (AIC), se elige un GARCH (4,3), dado que se aprecia un valor más cercano a menos infinito.

Es así que la ecuación de la media toma la siguiente forma:

$$dlogtc_t = -0,0000595 + 0,0589805dlogint_t + u_t \quad (6.8)$$

Donde para todo momento t :

- a_0 significa que el crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$ disminuye en una proporción de 0,005% cuando la variables regresora es iguales a cero.
- a_1 implica que en promedio, ceteris paribus, un aumento de 1% en el crecimiento del diferencial de tasas de interés ($dlogint_t$), acarrea un incremento de la variación de la tasa de cambio en 5,89%.
- u_t simboliza el término de error o residuo.

Por otra parte, la ecuación de la varianza se representa como sigue:

$$h_t = 0.0000000892 + 0.22001u_{t-1}^2 - 0,08868u_{t-2}^2 + 0,14957u_{t-3}^2 + 0,113723 u_{t-4}^2 + 0,44382h_{t-1}^2 + 0,91269h_{t-2}^2 - 0,44386h_{t-3}^2 \quad (6.9)$$

Para la cual:

- β_0 enseña que la varianza del crecimiento de la tasa de cambio aumenta en una proporción de 0,0000000892 unidades cuando las variables regresoras son iguales a cero.

³⁸ Si el rezago de uno de los dos términos es de cuarto orden, y el del otro es de un rezago menor, se hace posible la convergencia.

- β_1 implica que en promedio, ceteris paribus, un incremento unitario del residuo al cuadrado, rezagado un período, produce un aumento de 0,22001 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.
- β_2 muestra que en promedio, ceteris paribus, un aumento unitario del residuo al cuadrado, rezagado dos períodos, genera un decremento de 0,08868 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.
- β_3 significa que en promedio, ceteris paribus, una elevación unitaria del residuo al cuadrado, rezagado tres períodos, provoca un incremento de 0,14957 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.
- β_4 indica que en promedio, ceteris paribus, un aumento unitario del residuo al cuadrado, rezagado cuatro períodos, ocasiona un decremento de 0,113723 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.
- α_1 enseña que en promedio, ceteris paribus, una ampliación unitaria de la varianza condicionada, rezagada un período, origina un incremento de 0,44382 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) actual del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.
- α_2 muestra que en promedio, ceteris paribus, una elevación unitaria del residuo al cuadrado, rezagado dos períodos, provoca una amplificación de 0,91269 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) actual del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.
- α_3 señala que en promedio, ceteris paribus, un incremento unitario del residuo al cuadrado, rezagado tres períodos, genera un decremento de 0,44386 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) actual del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.

Por último, se realiza un test de significancia con las siguientes hipótesis:

$$H_0: a_i = 0 \text{ vs. } H_1: a_i \neq 0; H_0: \beta_i = 0 \text{ vs. } H_1: \beta_i \neq 0 \text{ y } H_0: \alpha_i = 0 \text{ vs. } H_1: \alpha_i \neq 0$$

Donde $i = n$ rezagos.

Dado que para todas las variables, el p-value asociado al estadístico de prueba es menor que un nivel de significancia de 5%, se rechaza la hipótesis nula; es decir, los parámetros son estadísticamente significativos y diferentes de cero.

Recuadro 8. *Estimación de modelos GARCH*

GARCH (1,1)			GARCH (2,1)			GARCH (1,2)					
Observaciones			6.661			Observaciones			6.661		
Media			Media			Media					
Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z			
a_0	-0,000065	0,062	a_0	-0,0000734	0,033	a_0	-0,0000657	0,057			
a_1	0,0398458	0,206	a_1	0,0573485	0,046	a_1	0,0494249	0,099			
Varianza			Varianza			Varianza					
Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z			
β_0	8,97E-08	0,000	β_0	5,97E-08	0,000	β_0	1,42E-08	0,000			
Términos AR			Términos AR			Términos AR					
β_1	0,0874358	0,000	β_1	0,1987914	0,000	β_1	0,1486526	0,000			
			β_2	-0,1277452	0,000						
Términos MA			Términos MA			Términos MA					
α_1	0,9184806	0,000	α_1	0,9342887	0,000	α_1	0,2462029	0,000			
						α_2	0,6162119	0,000			
Criterios de Información			Criterios de Información			Criterios de Información					
AIC		-53.224,55	AIC		-53.292,26	AIC		-53.285,14			
BIC		-53.190,53	BIC		-53.251,43	BIC		-53.244,32			
GARCH (2,2)			GARCH (3,2)			GARCH (2,3)					
Observaciones			6.661			Observaciones			6.661		
Media			Media			Media					
Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z			
a_0	-0,0000694	0,045	a_0	-0,0000639	0,066	a_0	-0,0000757	0,038			
a_1	0,0611459	0,030	a_1	0,0620225	0,026	a_1	0,0466957	0,128			
Varianza			Varianza			Varianza					
Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z			
β_0	8,63E-08	0,000	β_0	5,01E-08	0,000	β_0	5,69E-08	0,103			
Términos AR			Términos AR			Términos AR					
β_1	0,2174394	0,000	β_1	0,2162663	0,000	β_1	0,1637466	0,000			
β_2	-0,1192344	0,000	β_2	-0,2867167	0,000	β_2	-0,1617381	0,000			
			β_3	0,1225996	0,000						
Términos MA			Términos MA			Términos MA					
α_1	0,6560905	0,000	α_1	1,382704	0,000	α_1	1,23857	0,000			
α_2	0,2534331	0,000	α_2	-0,4304805	0,000	α_2	0,3257087	0,000			
						α_3	-0,5661126	0,000			
Criterios de Información			Criterios de Información			Criterios de Información					
AIC		-53.310,01	AIC		-53.325,73	AIC		-53.325,31			
BIC		-53.262,38	BIC		-53.271,30	BIC		-53.277,68			
GARCH (3,3)			GARCH (4,3)			GARCH (3,4)					
Observaciones			6.661			Observaciones			6.661		
Media			Media			Media					
Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z			
a_0	-0,0000663	0,054	a_0	-0,0000595	0,086	a_0	-0,0000655	0,059			
a_1	0,0583705	0,038	a_1	0,0589805	0,034	a_1	0,0581908	0,037			
Varianza			Varianza			Varianza					
Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z	Coefficiente	Valor	P>z			
β_0	1,55E-08	0,000	β_0	8,92E-08	0,000	β_0	1,84E-08	0,000			
Términos AR			Términos AR			Términos AR					
β_1	0,2190649	0,000	β_1	0,2200108	0,000	β_1	0,221712	0,000			
β_2	0,0803365	0,000	β_2	-0,0886418	0,000	β_2	0,0959901	0,000			
β_3	-0,1159776	0,000	β_3	0,1495764	0,000	β_3	-0,0998594	0,000			
			β_4	0,113723	0,000						
Términos MA			Términos MA			Términos MA					
α_1	-0,2596321	0,000	α_1	0,4438255	0,000	α_1	-0,3346124	0,000			
α_2	0,8944529	0,000	α_2	0,9126988	0,000	α_2	0,7664643	0,000			
α_3	0,1966572	0,000	α_3	-0,4438653	0,000	α_3	0,2585235	0,000			
						α_4	0,1097483	0,023			
Criterios de Información			Criterios de Información			Criterios de Información					
AIC		-53.318,55	AIC		-53.336,20	AIC		-53.320,06			
BIC		-53.257,31	BIC		-53.268,16	BIC		-53.252,02			

6.4.3. Modelos EARCH. Se estiman modelos para determinar efectos asimétricos por medio del método de máxima verosimilitud, tanto para la media de $dlogtc_t$, dependiente de $dlogint_t$, como para su varianza, dependiente del término de error autorregresivo. Los resultados se exponen en el recuadro 9:

Recuadro 9. Estimación de modelos EARCH

EARCH (1)			EARCH (2)		
Observaciones	6.661		Observaciones	6.661	
Media			Media		
Coeficiente	Valor	P>z	Coeficiente	Valor	P>z
a_0	0,0001216	0,046	a_0	0,0001662	0,006
a_1	0,2585908	0,000	a_1	0,3151109	0,000
Varianza			Varianza		
Coeficiente	Valor	P>z	Coeficiente	Valor	P>z
β_0	-10,36244	0,000	β_0	-10,35599	0,000
β_1	-0,007623	0,398	β_1	0,0142891	0,166
			β_2	0,091955	0,000
Φ_1	0,433846	0,000	Φ_1	0,4335756	0,000
			Φ_2	0,0999427	0,000
Criterios de Información			Criterios de Información		
AIC	-50.762,43		AIC	-50.859,03	
BIC	-50.728,41		BIC	-50.811,40	
EARCH (3)			EARCH (4)		
Observaciones	6.661		Observaciones	6.661	
Media			Media		
Coeficiente	Valor	P>z	Coeficiente	Valor	P>z
a_0	0,0002007	0,001	a_0	0,0002013	0,001
a_1	0,2685764	0,000	a_1	0,2641167	0,000
Varianza			Varianza		
Coeficiente	Valor	P>z	Coeficiente	Valor	P>z
β_0	-10,33212	0,000	β_0	-10,31844	0,000
β_1	0,0084859	0,426	β_1	0,0232346	0,038
β_2	0,0873552	0,000	β_2	0,0818949	0,000
β_3	0,0617441	0,000	β_3	0,0617619	0,000
			β_4	0,0320798	0,000
Φ_1	0,4270478	0,000	Φ_1	0,4353414	0,000
Φ_2	0,1372465	0,000	Φ_2	0,1449669	0,000
Φ_3	0,1528261	0,000	Φ_3	0,132829	0,000
			Φ_4	0,1079914	0,000
Criterios de Información			Criterios de Información		
AIC	-50.960,37		AIC	-51.010,38	
BIC	-50.899,14		BIC	-50.935,53	

El cálculo de la ecuación de la varianza con más de cuatro rezagos del término de error al cuadrado arroja un coeficiente no significativo del diferencial de tipos en la ecuación de la media; por lo tanto, el rango de elección del modelo más parsimonioso se encuentra entre un EARCH (1) y un EARCH (4). Bajo el Criterio de Información de Akaike (AIC), se elige un EARCH (4), puesto que presenta un valor más cercano a menos infinito.

De manera que la ecuación de la media toma la siguiente forma:

$$dlogtc_t = 0,0002013 + 0,2641167dlogint_t + u_t \quad (6.10)$$

Donde para todo momento t :

- a_0 significa que el crecimiento de la tasa de cambio ($dlogtc_t$) aumenta en una proporción de 0,020% cuando las variables regresoras son iguales a cero.
- a_1 implica que en promedio, ceteris paribus, una elevación de 1% en el crecimiento del diferencial de tipos de interés ($dlogint_t$), acarrea un incremento de la variación de la tasa de cambio ($dlogtc_t$) en 26,41%.
- u_t simboliza el término de error o residuo.

Por otra parte, la ecuación de la varianza se representa como sigue:

$$\begin{aligned} h_t = & -10,31844 + 0,0232u_{t-1} + 0,0818u_{t-2} + 0,0617u_{t-3} + 0,0320u_{t-4} \\ & + 0,4353(u_{t-1} - \sqrt{2\pi}) + 0,1449(u_{t-2} - \sqrt{2\pi}) + 0,1328(u_{t-3} - \sqrt{2\pi}) \\ & + 0,1079(u_{t-4} - \sqrt{2\pi}) \end{aligned} \quad (6.11)$$

Para la cual:

- β_0 enseña que la varianza del crecimiento de la tasa de cambio disminuye en una proporción de 10,31844 unidades cuando las variables regresoras son iguales a cero.
- β_1 implica que en promedio, ceteris paribus, un incremento unitario del residuo, rezagado un período, produce un aumento de 0,0232 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio ($dlogtc_t$).
- β_2 muestra que en promedio, ceteris paribus, un aumento unitario del residuo, rezagado dos períodos, genera un decremento de 0,0818 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio ($dlogtc_t$).
- β_3 significa que en promedio, ceteris paribus, una elevación unitaria del residuo, rezagado tres períodos, provoca un incremento de 0,0617 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.

- β_4 indica que en promedio, ceteris paribus, un aumento unitario del residuo, rezagado cuatro períodos, ocasiona una ampliación de 0,0320 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.

Mientras que con respecto al diferencial entre el residuo y la raíz de 2π :

- Φ_1 enseña que en promedio, ceteris paribus, una ampliación unitaria del residuo, rezagado un período, origina un incremento de 0,4353 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.
- Φ_2 muestra que en promedio, ceteris paribus, una elevación unitaria del residuo, rezagado dos períodos, provoca una ampliación de 0,1449 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.
- Φ_3 señala que en promedio, ceteris paribus, un incremento unitario del residuo, rezagado tres períodos, genera un decremento de 0,1328 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.
- Φ_4 implica que en promedio, ceteris paribus, un incremento unitario del residuo, rezagado cuatro períodos, genera un decremento de 0,1079 unidades en la varianza condicional (o volatilidad) del crecimiento de la tasa de cambio $dlogtc_t$.

Por último, se realiza un test de significancia con las siguientes hipótesis:

$$H_0: a_i = 0 \text{ vs. } H_1: a_i \neq 0; H_0: \beta_i = 0 \text{ vs. } H_1: \beta_i \neq 0 \text{ y } H_0: \Phi_i = 0 \text{ vs. } H_1: \Phi_i \neq 0$$

Donde $i = n$ rezagos.

Dado que para todas las variables, el p-value asociado al estadístico de prueba es menor que un nivel de significancia de 5%, se rechaza la hipótesis nula; es decir, los parámetros son estadísticamente significativos y diferentes de cero.

Adicionalmente, se lleva a cabo un test de efectos asimétricos cuyos resultados se aprecian en el recuadro 10. Las hipótesis a contrastar son las siguientes:

$$H_0: \text{No existen efectos asimétricos} \text{ vs. } H_1: \text{Hay presencia de efectos asimétricos}$$

Recuadro 10. *Test de efectos
asimétricos*

```
test [ARCH]:L.earch L2.earch L3.earch L4.earch

( 1) [ARCH]L.earch = 0
( 2) [ARCH]L2.earch = 0
( 3) [ARCH]L3.earch = 0
( 4) [ARCH]L4.earch = 0

      chi2( 4) = 177.94
Prob > chi2 = 0.0000
```

Dado que el p-value asociado al estadístico de prueba es menor que el nivel de significancia de un 5%, se rechaza la hipótesis nula, y tal como se analizó con las gráficas de las volatilidades, existen efectos asimétricos de choques exógenos. Es decir, la tasa de cambio responde de manera diferente a las innovaciones positivas que a las negativas.

6.4.4. Elección del mejor modelo. La estimación de todos los modelos fue pertinente, en el sentido en que muestran significancia a nivel metodológico y sincronía con la teoría expuesta en el capítulo 3. Es decir, arrojan un coeficiente positivo del diferencial de tipos de interés (externo menos interno) como variable explicativa de la variación de la tasa cambiaria. Por lo anterior, parece ser que se cumple aquel principio por el cual, si el tipo de interés internacional crece con respecto al nacional³⁹ (o bien si el nacional decrece con respecto al internacional), la economía doméstica experimenta una fuga de capitales que impulsa la demanda de divisas e induce la elevación o depreciación de la tasa de cambio.

Asimismo, entre las mejores estimaciones seleccionados para cada una de las tres clases de modelos de heterocedasticidad condicionada autorregresiva; o, en otros términos, entre un ARCH (2), GARCH (4,3) y EARCH (4), se elige el GARCH (4,3) como aquel prototipo que mejor explica la relación entre la tasa de cambio y el diferencial del tipo de intereses, así como la varianza condicional subyacente, de acuerdo con el Criterio de Información de Akaike⁴⁰.

³⁹ Si el caso es que la tasa de interés externa disminuye respecto de la interna, o bien si la interna aumenta con relación a la externa, se impulsa la oferta de divisas y, por esta vía, se aprecia el tipo de cambio.

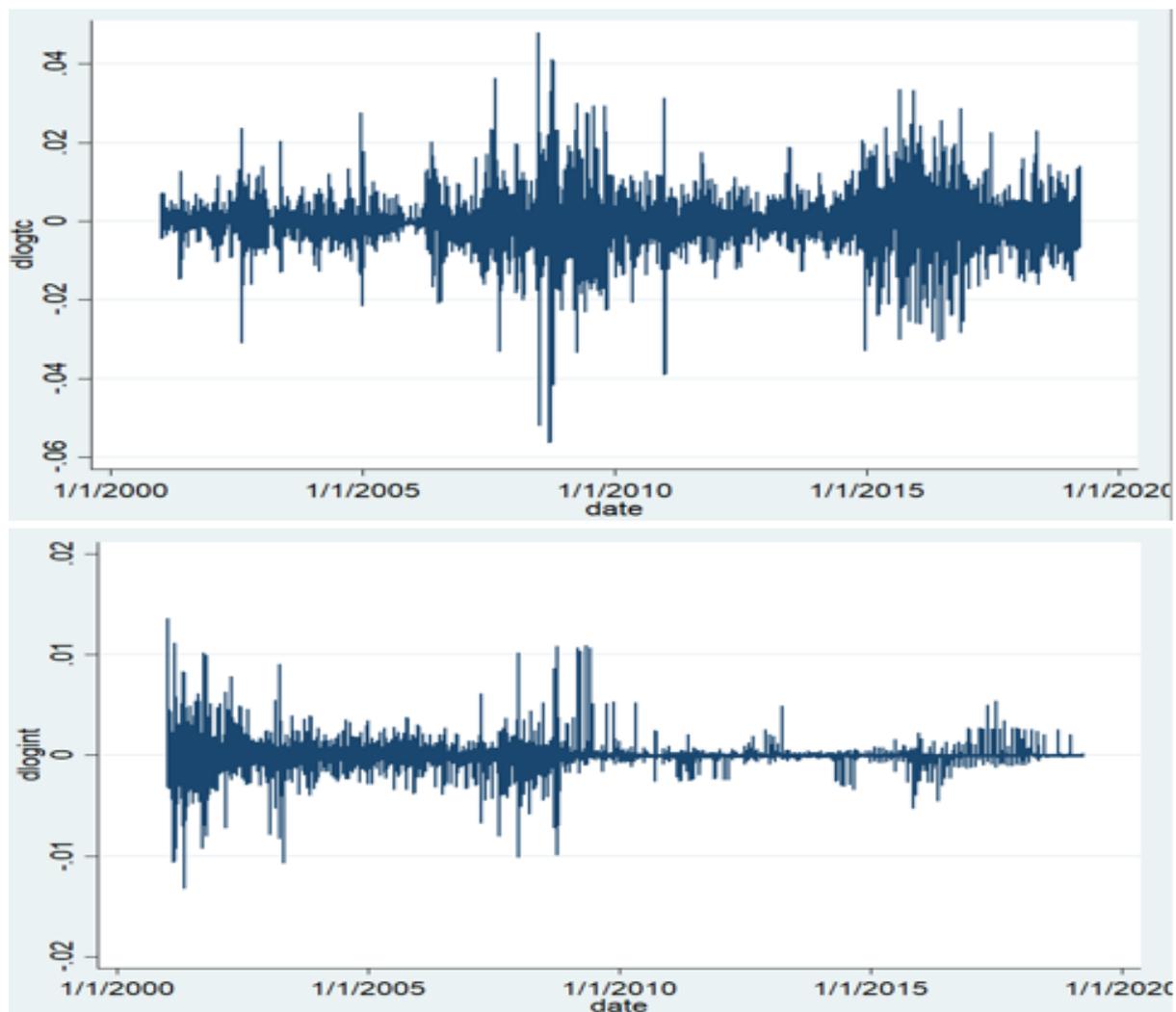
⁴⁰ El valor AIC para una GARCH (4,3) es el menor de los tres modelos seleccionados.

6.5. Posibles Efectos de Política o de Factores Exógenos

Como se mostró en la sección 6.3, la media de la variación en el período 2001-2019 es positiva para la tasa de cambio y negativa para ambos tipos de interés (aunque positiva para su diferencial). A nivel empírico, lo que podría explicar esta conducta es que, si bien la tasa de los fondos federales disminuyó, lo hizo a una menor cuantía promedio que la tasa de interés interbancaria, de modo tal que el diferencial de tipos de interés favoreció la fuga de capitales de la economía nacional; es decir, en el largo plazo, la tasa externa se volvió más atractiva para invertir que la tasa doméstica.

Pues bien, en el gráfico 17 se condensan las volatilidades de la tasa de cambio (*dlogtc*) y del diferencial de tipos de interés (*dlogint*).

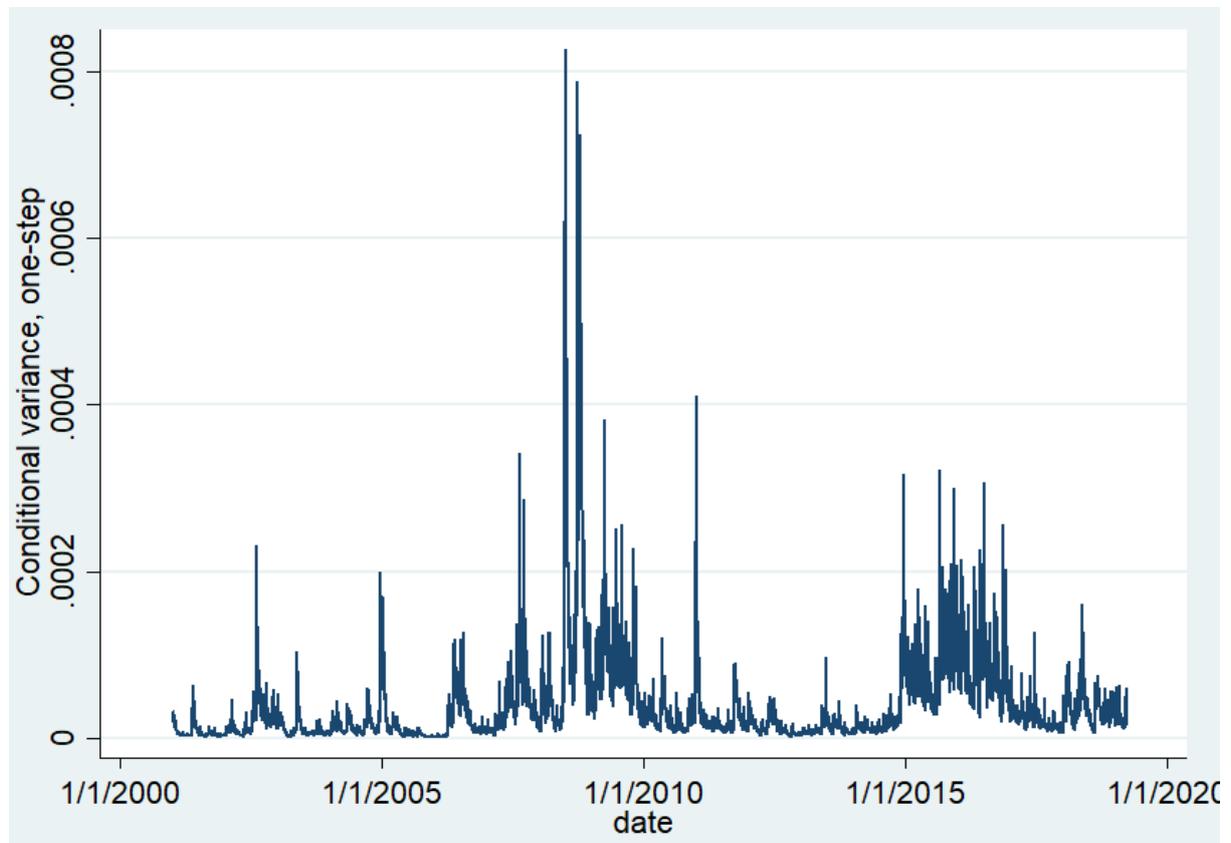
Gráfico 17. Volatilidades agrupadas



Fuente: cálculos propios a partir de Banco de la República y macrorends.net

De la misma manera, en el gráfico 18 se exhibe la volatilidad condicionada de la tasa de cambio extraída del modelo GARCH (4,3):

Gráfico 18. *Varianza condicional del tipo de cambio a partir de un GARCH(4,3)*



Fuente: elaboración propia.

Observando las gráficas de volatilidad y de varianza condicional, se encuentra que el crecimiento del diferencial de tipos de interés fue muy inestable desde principios de 2001 hasta mediados de 2002 y en los primeros meses de 2003, período desde el cual se mantuvo relativamente estable. Si se observan con detenimiento las gráficas 11 y 13, la causante de este comportamiento fue la tasa interbancaria, que a diferencia de la tasa de fondos federales, fue muy volátil durante el lapso 2001-2003.

Lo anterior pudo ser causado por la poca efectividad de la política monetaria colombiana para controlar la volatilidad de su objetivo operativo, lo cual se reflejó en una tasa interbancaria que fue la más alta de los últimos 20 años (la cual coincide también con un período de relativa inestabilidad cambiaria desde mediados de 2002 hasta comienzos de 2003). En efecto, en los primeros años de operación del régimen de inflación objetivo, las acciones de política se enfocaban sobre todo en el control del nivel de precios, más que en el control de la volatilidad de las tasas de interés de corto plazo.

A su vez, otro período de gran volatilidad del tipo interbancario fue entre 2005 y 2007, con algunas intermitencias, en medio de una escalada del crédito y la demanda agregada que originaron fuertes presiones inflacionarias. En los últimos períodos de 2004 y en los primeros de 2005, esta inestabilidad se sincronizó con inestabilidad cambiaria.

Por su parte, la tasa de fondos federales no parece tener eventos de política o efectos exógenos que alterarán su estabilidad hasta 2008. Es en la crisis financiera de mediados de ese año que se hace más fuerte la conexión entre las volatilidades de la tasa de cambio y el diferencial de tipos (aunque con efectos más lentos sobre la tasa interbancaria respecto de la tasa de fondos). Entre 2008, 2009 y parte de 2010 reinó la incertidumbre por la bancarrota de Lehman Brothers, la cual quebró el mercado financiero estadounidense y originó efectos escalonados sobre los mercados financieros y reales a nivel mundial.

Otro período que parece plantear conexiones es el comprendido entre finales de 2014 hasta finales de 2017, donde la tasa de fondos federales y el tipo de cambio experimentaron uno de los lapsos de mayor volatilidad y aglomeración. Esto en un escenario difícil para Colombia en términos del comercio internacional (pues la caída del precio del petróleo originó desbalances internos y externos que trastocaron el nivel de producto, en medio de un repunte inflacionario) y en un episodio de incertidumbre en Estados Unidos debido a controles sobre el comercio internacional y a la normalización monetaria subsecuente a la recuperación de la crisis de 2008

Con miras a analizar numéricamente estos efectos, se estiman cuatro modelos GARCH (4,3), cada uno con una variable dummy que toma el valor de cero para un período t determinado y de uno para un período posterior, de acuerdo con los lapsos de volatilidad comentados anteriormente. De esta manera, $D1 = 1$ si t es mayor a *julio 06 de 2002*, $D2 = 1$ si t es mayor a *noviembre 07 de 2004*, $D3 = 1$ si t es mayor a *junio 21 de 2008* y $D4 = 1$ si t es mayor a *noviembre 25 de 2014*. Los resultados se muestran en el recuadro 10. Para el primer modelo, con la variable dummy $D1$, la ecuación de la media sigue la siguiente estructura:

$$dlogtc_t = -0,0000596 + 0,0590265dlogint_t + u_t \quad (6.12)$$

Mientras que la ecuación de la varianza es:

$$h_t = -16,24443 + 0,2199u_{t-1}^2 - 0,08860u_{t-2}^2 - 0,14948u_{t-3}^2 + 0,11369u_{t-4}^2 + 0,44368h_{t-1}^2 + 0,91263h_{t-2}^2 - 0,44372h_{t-3}^2 + 0,01953D1 \quad (6.13)$$

De modo que, después de *julio 06 de 2002*, la volatilidad del tipo cambiario aumentó 0,01953 unidades.

Recuadro 11. Modelos GARCH (4,3) con variables dummy

GARCH (4,3), Dummy D1			GARCH (4,3), Dummy D2		
Observaciones		6.661	Observaciones		6.661
Media			Media		
Coeficiente	Valor	P>z	Coeficiente	Valor	P>z
a_0	-0,0000596	0,108	a_0	-0,0000596	0,091
a_1	0,0590265	0,036	a_1	0,059613	0,034
Varianza			Varianza		
Coeficiente	Valor	P>z	Coeficiente	Valor	P>z
β_0	-16,24443	0,000	β_0	-16,26932	0,000
$D1$	0,0195332	0,902	$D2$	0,0793421	0,565
Términos AR			Términos AR		
β_1	0,219947	0,000	β_1	0,2201643	0,000
β_2	-0,0886034	0,000	β_2	-0,0888808	0,000
β_3	-0,1494814	0,000	β_3	-0,1494824	0,000
β_4	0,1136953	0,000	β_4	0,114018	0,000
Términos MA			Términos MA		
α_1	0,4436881	0,000	α_1	0,4438447	0,000
α_2	0,9126363	0,000	α_2	0,9124314	0,000
α_3	-0,4437296	0,000	α_3	-0,4439581	0,000
Criterios de Información			Criterios de Información		
AIC		-53.334,21	AIC		-53.334,29
BIC		-53.259,36	BIC		-53.259,44
GARCH (4,3), Dummy D3			GARCH (4,3), Dummy D4		
Observaciones		6.661	Observaciones		6.661
Media			Media		
Coeficiente	Valor	P>z	Coeficiente	Valor	P>z
a_0	-0,000063	0,063	a_0	-0,0000546	0,117
a_1	0,0624261	0,013	a_1	0,0575069	0,038
Varianza			Varianza		
Coeficiente	Valor	P>z	Coeficiente	Valor	P>z
β_0	-16,25619	0,000	β_0	-16,0136	0,000
$D3$	1,174889	0,000	$D4$	1,664563	0,000
Términos AR			Términos AR		
β_1	0,2210074	0,000	β_1	0,2173481	0,000
β_2	-0,0907975	0,000	β_2	-0,0871705	0,000
β_3	-0,1469435	0,000	β_3	-0,1483711	0,000
β_4	0,1170168	0,000	β_4	0,1170455	0,000
Términos MA			Términos MA		
α_1	0,4502113	0,000	α_1	0,4476042	0,000
α_2	0,9024385	0,000	α_2	0,9103552	0,000
α_3	-0,4480878	0,000	α_3	-0,4526738	0,000
Criterios de Información			Criterios de Información		
AIC		-53.361,29	AIC		-53.357,45
BIC		-53.286,45	BIC		-53.282,61

En el caso del modelo con la variable dummy $D2$, la ecuación de la media se muestra a continuación:

$$dlogtc_t = -0,0000596 + 0,059613dlogint_t + u_t \quad (6.14)$$

Y la varianza condicionada sigue la siguiente estructura:

$$h_t = -16,26932 + 0,22016u_{t-1}^2 - 0,08888u_{t-2}^2 - 0,14948u_{t-3}^2 + 0,1140u_{t-4}^2 \\ + 0,44384h_{t-1}^2 + 0,91243h_{t-2}^2 - 0,44395h_{t-3}^2 + 0,07934D2 \quad (6.15)$$

Por lo cual, la volatilidad de la tasa de cambio se elevó 0,07934 unidades posterior a *noviembre 07 de 2004*.

Para la variable dummy $D3$, la ecuación de la media es como sigue:

$$dlogtc_t = -0,000063 + 0,0624261dlogint_t + u_t \quad (6.16)$$

Y la varianza condicionada se encuentra dada por:

$$h_t = -16,25619 + 0,22100u_{t-1}^2 - 0,09079u_{t-2}^2 - 0,14694u_{t-3}^2 + 0,11701u_{t-4}^2 \\ + 0,45021h_{t-1}^2 + 0,90243h_{t-2}^2 - 0,44808h_{t-3}^2 + 1,1748D3 \quad (6.17)$$

Por lo cual, la volatilidad de la tasa de cambio aumentó 1,1748 unidades posterior a *junio 21 de 2008*.

Por último, para la variable dummy $D4$, la ecuación de la media sigue la siguiente estructura:

$$dlogtc_t = -0,0000546 + 0,0575069dlogint_t + u_t \quad (6.18)$$

Y la varianza condicionada se presenta en la ecuación precedente:

$$h_t = -16,0136 + 0,21734u_{t-1}^2 - 0,08717u_{t-2}^2 - 0,14837u_{t-3}^2 + 0,11704u_{t-4}^2 \\ + 0,44760h_{t-1}^2 + 0,91035h_{t-2}^2 - 0,45267h_{t-3}^2 + 1,6645D4 \quad (6.19)$$

Por lo cual, la volatilidad de la tasa de cambio se incrementó 1,6645 unidades posterior a *noviembre 25 de 2014*.

De esta manera se encuentra que, factores exógenos o de política pudieron tener un impacto sobre la volatilidad de la tasa de cambio y que, además, tales efectos fueron de tipo asimétrico, como se evidencia en las gráficas y en el test estadístico. A su vez, los impactos de mayor preponderancia y significancia estadística son aquellos relacionados con la crisis de 2008, la caída del precio del petróleo en 2014 y los eventos de política estadounidense desde 2016.

7. Conclusiones

A nivel teórico, existen diferentes enfoques que han planteado la importancia de las tasas de interés en la especificación del tipo de cambio, los cuales se sintetizan en modelos como el de Mundell-Fleming y el de paridad de intereses, en el sentido en que establecen un canal de transmisión de los tipos de interés al precio cambiario mediante el movimiento de capitales.

A nivel empírico, se encuentra que las tasas de interés de muy corto plazo, como el tipo interbancario en Colombia y el tipo de los fondos federales en Estados Unidos, son variables que, respectivamente, reproducen el comportamiento del mercado financiero, puesto que presentan una correlación muy cercana a uno con tasas de mayor representatividad para un inversionista. A su vez, la variación del tipo de interés exterior descontada de la variación del tipo interno es estadísticamente significativa en la determinación de la volatilidad cambiaria.

Se concluye también que, dicho diferencial entre la tasa de interés externa y doméstica, influye en la tasa de cambio peso dólar de la misma manera que lo predice la teoría. Es decir, cuando el tipo de interés internacional se amplía con respecto al tipo de interés nacional, la tasa de cambio se eleva como resultado del movimiento subyacente de capitales. El modelo de heterocedasticidad condicionada autorregresiva que mejor explica esta relación para el período de estudio es un GARCH (4,3), cuyos resultados arrojan que un aumento de 1% en el crecimiento del diferencial de tipos de interés, deprecia la tasa de cambio en una magnitud equivalente a 5,89%, de forma que el impacto es característico y más que proporcional.

Asimismo, se determina que la media de largo plazo de la variación durante el período 2001-2019 es positiva para la tasa de cambio y negativa tanto para la tasa de interés externa como para la doméstica (aunque positiva para su diferencial). Lo que podría explicar esta conducta es que, si bien la tasa de los fondos federales disminuyó, lo hizo a una menor cuantía promedio que la tasa de interés interbancaria, de modo tal que el diferencial de tipos de interés favoreció la fuga de inversiones de la economía nacional; es decir, en el largo plazo, la tasa externa se volvió más atractiva para invertir que la tasa doméstica.

Por último, se advierte que la volatilidad de la tasa de cambio reacciona de forma asimétrica a choques exógenos o de política, y que tales respuestas han sido mayores en períodos como la crisis financiera de 2008, la caída del precio del petróleo en 2014 y la normalización monetaria en Estados Unidos, junto con controles a su comercio internacional desde 2016-2017.

8. Referencias

- Asobancaria. (s.f.). ¿Qué es el IBR? Recuperado de <https://www.asobancaria.com/ibr/>.
- Atesoglu, H. (2003). Monetary Transmission: Federal Funds Rate and Prime Rate. *Journal of Post Keynesian Economics*, 26 (2), 357-362.
- Becerra, O., & Melo, L.F. (2008). Transmisión de tasas de interés bajo el esquema de metas de inflación: evidencia para Colombia. *Borradores de Economía*, 519.
- Becerra, O., & Melo, L.F. (2006). Una aproximación a la dinámica de las tasas de interés de corto plazo en Colombia a través de modelos GARCH multivariados. *Borradores de Economía*, 366.
- Betancourt García, R., Bonilla Mejía, L., & Misas Arango, M. (2008). "Pass-through" de las tasas de interés en Colombia: Un enfoque multivariado con cambio de régimen. *Borradores de Economía*, 535.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity. *Journal of Econometrics*, 31 (3), 307-327.
- Casas Monsegny, M. & Cepeda Cuervo, E. (2008). Modelos arch, garch y egarch: aplicaciones a series financieras. *Cuadernos de Economía*, 27 (48), 287-319.
- Castro Pantoja, J., Rincón Castro, H., & Rodríguez Niño, N. (2017). Perturbaciones macroeconómicas, tasa de cambio y pass-through sobre precios. *Borradores de Economía*, 982.
- Chavarro, X., Cristiano, D., Gómez J., González, E., & Huertas, C. (2015). Evaluación de la transmisión de la tasa de interés de referencia a las tasas de interés del sistema financiero. *Borradores de Economía*. 874.
- Dornbusch, Rudiger (1987). Exchange Rates and Prices. *American Economic Review*, 77 (1), 93–106.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of UK inflation. *Econometrica*, 50, 987-1008.
- Fleming, J. (1962). Domestic Financial Policies Under Fixed and Floating Exchange Rates. *IMF Staff Papers*, 9, 369-380.

- Friedman, J. & Shachmurove, Y. (2014). The Responses of the Prime Rate to a Change in Policies of the Federal Reserve. *DETU Working Paper*. 14(5).
- Hicks, J. (1937). Mr. Keynes and the 'classics': a suggested interpretation. *Econometrica*, 5 (2), 147–159.
- Hansen, A. H. (1953). *A guide to Keynes*. New York: McGraw Hill.
- Isard, P. (2006). Uncovered interest parity. *IMF Working Paper*, 6 (96).
- Mankiw, N.G. (2014). *Macroeconomía*. Barcelona: Antoni Bosch.
- Moosa, I. (2005). *Exchange rates regimes: fixed, flexible or something in between?* Londres, Reino Unido: Palgrave-Macmillan.
- Mundell, R. (1962). The Appropriate Use of Monetary and Fiscal Policy for Internal and External Stability. *IMF Staff Papers*, 9, 70-79.
- Mundell, R. (1963). Capital Mobility and Stabilization Policy under Fixed and Flexible Exchange Rates. *Canadian Journal of Economic and Political Science*, 29, 475-485.
- Nelson, D. (1991). Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach. *Econometrica*, 59 (2), 347-370.

9. Anexos

9.1. Pruebas de Raíz Unitaria

Se lleva a cabo el test de Dickey-Fuller Aumentado para el crecimiento logarítmico de la tasa de cambio y del diferencial de tipos de interés, como se exhibe en el recuadro A1:

Recuadro A1. *Pruebas de raíz unitaria*

```
. dfuller dlogtc, lags(1)
```

Augmented Dickey-Fuller test for unit root		Interpolated Dickey-Fuller		
		1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Number of obs = 6659				
Test Statistic				
Z(t)	-55.260	-3.430	-2.860	-2.570
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000				

```
. dfuller dlogint, lags(1)
```

Augmented Dickey-Fuller test for unit root		Interpolated Dickey-Fuller		
		1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Number of obs = 6659				
Test Statistic				
Z(t)	-65.725	-3.430	-2.860	-2.570
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000				

Con las siguientes hipótesis:

H_0 : La serie presenta raíz unitaria vs. H_1 : La serie no presenta raíz unitaria

Como para los dos casos, el valor absoluto del estadístico de prueba es mayor al valor absoluto de los valores críticos, se rechaza H_0 y hay evidencia que permita pensar que las series no tienen raíz unitaria, o, en otros términos, que son estacionarias.

9.2. Test de White

La estimación de una relación lineal entre la tasa de cambio y el diferencial de los tipos de interés se establece mediante la ecuación 9.1:

$$dlogtc_t = a_0 + a_1 dlogint_t + u_t \quad (9.1)$$

Se prueba la heterocedasticidad del término residual o error (u_t) mediante el Test de White:

Recuadro A2. *Test de White*

White's test for H_0 : homoskedasticity
against H_a : unrestricted heteroskedasticity

chi2(2) = 15.37
Prob > chi2 = 0.0005

Cameron & Trivedi's decomposition of IM-test

Source	chi2	df	p
Heteroskedasticity	15.37	2	0.0005
Skewness	4.08	1	0.0435
Kurtosis	25.38	1	0.0000
Total	44.83	4	0.0000

Con las siguientes hipótesis:

H_0 : Homocedasticidad vs. H_1 : Heterocedasticidad Irrestriccta

Dado que el p-value asociado al estadístico de prueba es menor que un nivel de significancia de 5%, se rechaza la hipótesis nula, y el residuo es heterocedástico (de varianza inconstante en el tiempo), de modo que las estimaciones tipo ARCH son apropiadas para modelarlo.

9.3. Test de Portmanteau

Otro test que verifica la idoneidad de los modelos ARCH, es el Test de Portmanteau para el término de error al cuadrado, que se muestra en el recuadro A3:

Recuadro A3. *Test de Portmanteau*

Portmanteau test for white noise

Portmanteau (Q) statistic = 508.2935
Prob > chi2(4) = 0.0000

Con las siguientes hipótesis:

H_0 : Los residuos son ruido blanco vs. H_1 : Los residuos no son ruido blanco

Como el p-value asociado al estadístico de prueba es menor que un nivel de significancia de 5%, se rechaza la hipótesis nula, y el residuo no es ruido blanco, de tal manera que la metodología ARCH es consistente para modelarlo.

9.4. Test LM de Heterocedasticidad Condicional Autorregresiva

La forma más directa de establecer si es correcto utilizar modelos de heterocedasticidad condicionada autorregresiva para modelar los datos extraídos es mediante el Test LM sobre el término residual, como lo sugiere el recuadro A4:

Recuadro A4. *Test LM*

LM test for autoregressive conditional heteroskedasticity (ARCH)

lags (p)	chi2	df	Prob > chi2
4	392.587	4	0.0000

H0: no ARCH effects vs. H1: ARCH(p) disturbance

Con las siguientes hipótesis:

H_0 : No se presentan efectos ARCH vs. H_1 : Se presentan efectos ARCH (p)

Puesto que el p-value asociado al estadístico de prueba es menor que el nivel de significancia de 5%, se rechaza la hipótesis nula, lo cual significa que el residuo presenta perturbaciones de tipo ARCH para un orden p .