
**Pronóstico de la tasa de cambio peso
colombiano dólar estadounidense a
partir de un indicador de
sentimiento del mercado**



Presentado por

José John Fredy González Veloza

LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Fundación Universitaria Los Libertadores

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Especialización en Estadística Aplicada

Bogotá D.C, Colombia

2018

**Pronóstico de la tasa de cambio peso
colombiano dólar estadounidense a
partir de un indicador de
sentimiento del mercado**

LOS LIBERTADORES

Presentado por
José John Fredy González Veloza

en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar al título

de

Especialista en Estadística Aplicada

Quien asesora

Sebastien Lozano Forero

Profesor

Fundación Universitaria Los Libertadores

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Especialización en Estadística Aplicada

Bogotá D.C, Colombia

2018

Notas de aceptación



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., Junio de 2018.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Las directivas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores y a los resultados de su trabajo.

Índice general

1	Introducción	3
1.1	Objetivos	5
1.1.1	Objetivo General	5
1.1.2	Objetivos Específicos	5
2	Marco Teórico	7
2.1	Conceptos básicos de las series de tiempo	7
2.1.1	Análisis de correlación	7
2.1.2	Estacionariedad	8
2.2	Modelo ARMA	8
2.2.1	Caminata aleatoria	9
2.3	Modelo VAR	10
2.3.1	Causalidad de Granger	10
2.3.2	Impulso respuesta y descomposición de la varianza de los errores de pronóstico	10
3	Marco Metodológico	13
3.1	Fuentes de información	13
3.2	Estimación y diagnóstico de los modelos	14
3.3	Evaluación del desempeño del pronóstico	14
4	Análisis y Resultados	17
4.1	Modelo univariado	17
4.1.1	Descripción de las series	17
4.1.2	Modelo de regresión ARIMAX	21
4.1.3	Diagnóstico	22
4.1.4	Pronóstico	24
4.2	Modelo multivariado	25
4.2.1	Modelo	25
4.2.2	Causalidad	27

4.2.3	Impulso respuesta y descomposición de la varianza de los errores de pronóstico	27
4.2.4	Pronóstico	29
4.3	Discusión de resultados	30
5	Conclusiones y Recomendaciones	33

Índice de figuras

4-1	Serie de tiempo de la tasa de cambio nominal y sentimiento del mercado mediante el interés del término “dólar” reflejado en las búsquedas en Internet. 18	18
4-2	Correlación cruzada de la serie de tiempo de la tasa de cambio nominal y sentimiento del mercado. La máxima correlación de Pearson es 0.93 y se obtiene cuando las series son contemporáneas.	18
4-3	Variaciones porcentuales de la tasa de cambio e índice de sentimiento del mercado.	20
4-4	Correlación cruzada de las variaciones de la tasa de cambio y el índice de sentimiento del mercado. La correlación máxima se obtiene cuando las series son contemporáneas.	20
4-5	Diagnóstico del modelo ARIMAX, (a) Ajuste del modelo. (b) Gráfica qqplot de los residuos. (c) Autocorrelación de los residuos. (d) Autocorrelación parcial de los residuos.	23
4-6	Pronóstico de la tasa de cambio entre enero de 2017 hasta mayo de 2018 (17 meses). Las áreas grises respresentan las bandas de confianza del 68 % y 95 %.	24
4-7	Diagnóstico del modelo VAR(2), (a) Gráfica qqplot de los residuos para la variación de la tasa de cambio. (b) Gráfica qqplot de los residuos para la variación del índice de sentimiento. (c) Prueba Ljung-Box para observar la correlación cruzada de los residuos.	26
4-8	Impulso respuesta de las variaciones de la tasa de cambio e índice de sentimiento del mercado.	28
4-9	Descomposición de la varianza de los errores de pronóstico de las variaciones de la tasa de cambio e índice de sentimiento del mercado.	28

4-10	Pronóstico de la tasa de cambio entre enero de 2017 hasta mayo de 2018 (17 meses). Las áreas grises respresentan las bandas de confianza del 68 % y 95 %.	29
-------------	---	----

Índice de tablas

3-1	Parámetros de consulta en la herramienta <i>Google Trends</i>	13
3-2	División de la serie de tiempo. La muestra <i>in-sample</i> se utiliza para estimar los parámetros del modelo y diagnosticarlo, la muestra <i>out-sample</i> para evaluar el desempeño del pronóstico.	14
4-1	Síntesis de los resultados de pronóstico de la tasa de cambio en la muestra <i>out-sample</i> para 12 meses y 24 meses. Las unidades son pesos/dólar.	30

Pronóstico de la tasa de cambio peso colombiano dólar estadounidense a partir de un indicador de sentimiento del mercado

Resumen

Dado que Colombia es una economía abierta, el pronóstico de la tasa de cambio nominal peso dólar es un valor de importancia a nivel macroeconómico para evaluar la salud económica del país, como también a pequeña escala para aquellos agentes interesados en el retorno de su portafolio de inversión. Por tanto, ha sido de interés tanto medirlo como pronosticarlo para toma de decisiones. Para esto, se han realizado diferentes modelos estructurados usando variables macroeconómicas en Colombia, pero estos modelos no se han desempeñado mejor que una caminata aleatoria, además las fuentes de información de estas variables son basadas en reportes oficiales que se actualizan cada tres meses por lo general. Como alternativa de análisis, se estudia un indicador de sentimiento del mercado que ofrecen las personas al realizar búsquedas en Internet del término “dólar”, dicha información se extrae de la herramienta Google Trends. En este estudio se evidencia alta correlación del índice propuesto con la tasa de cambio y se analiza la causalidad entre ambas series. Además se realizan 2 modelos usando la metodología Box-Jenkins y se pronostica el tasa de cambio 12 periodos adelante obteniendo un error absoluto medio igual a 50 pesos/dólar.

Palabras claves: dólar, tasa de cambio, series de tiempo, Google Trends, sentimiento del mercado, pronóstico, causalidad.

Capítulo 1

Introducción

Teniendo en cuenta que Colombia es una economía abierta, la tasa de cambio nominal peso dólar es un valor de importancia a nivel macroeconómico para evaluar la salud económica del país, como también a pequeña escala para aquellos agentes interesados en el retorno de su portafolio de inversión. Por consiguiente, ha sido de interés no sólo medir la tasa de cambio sino también pronosticarla para toma de decisiones.

De esta manera, la tasa de cambio se relaciona con factores económicos fundamentales, por ejemplo la tasa de interés, el nivel de precios o el flujo de salida neto de capital de los países involucrados (Mankiw, 2012). Sin embargo, el uso práctico de estas variables tienen dos problemas:

1. Generalmente en Colombia, los modelos sugeridos mediante estas variables macroeconómicas no se han desempeñado mejor que una *caminata aleatoria* para pronosticar la tasa de cambio nominal (Rowland y cols., 2003).
2. Generalmente la actualización de estas variables macroeconómicas en el mejor de los casos se reporta cada 3 meses (Rowland, 2003).

Con el objeto de profundizar en el primer problema, se mostrarán algunos antecedentes de trabajos que lo han estudiado: Fama (1970) definió el término *mercados eficientes* para aquellos procesos que no pueden ser pronosticados. Para el caso del pronóstico de valores en mercados abiertos como la compra venta de moneda extranjera, se han presentado bastantes controversias a lo largo del tiempo, algunos autores han encontrado evidencia a favor de clasificarlos como mercados eficientes pero otros han estado en contra. Por el lado de quienes respaldan la hipótesis están Malkiel (1973); Meese y Rogoff (1983), el primero no encontró suficiente evidencia en contra de la hipótesis en el mercado de valores y el segundo para la tasa de cambio nominal. Estos trabajos pusieron a prueba la hipótesis en diferentes periodos de tiempo, usando diferentes variables macroeconómicas y diferentes

modelos estructurales. En contraste, recientemente han surgido autores que si han mostrado la suficiente evidencia en contra de la hipótesis, por ejemplo [Molodtsova y Papell \(2009\)](#), quienes encontraron un modelo estructural a corto plazo. En síntesis, la comunidad científica aún tiene escepticismo de las pruebas dadas por estos investigadores y el modelo de caminata aleatoria continúa siendo el horizonte a vencer para el pronóstico de la tasa de cambio. Por este motivo el presente trabajo toma este modelo como referencia de los resultados que se presentan más adelante.

El segundo problema expuesto, tiene que ver con la limitación de recursos que tienen las entidades del estado para generar informes con mayor frecuencia. Las metodologías utilizadas por lo general requieren de una investigación y toma de datos mediante técnicas de muestreo en campo, lo cual tiene un costo de recursos y la mayor afectación es el tiempo para tener disponibles los insumos para realizar otros estudios como el pronóstico de la tasa de cambio.

Por consiguiente, como alternativa de análisis, en el presente documento se define un índice de sentimiento del mercado mediante la información disponible que ofrecen los agentes que revelan su interés cuando realizan búsquedas en Internet con términos relacionados a la tasa de cambio. La herramienta utilizada para obtener esta información es Google Trends ([Google Trends, 2018](#)). Con esta información se generan dos modelos Box - Jenkins, un modelo univariado usando como variable regresora la serie de tiempo de las búsquedas del término “dolar” y un modelo multivariado con el cual se estudia la causalidad entre las variables. Además, con ambos modelos se pronostica la tasa de cambio peso dólar y se evalúa su desempeño fuera de la muestra.

Esta metodología utiliza las expectativas de las personas, las cuales quedan trazadas cada vez que interactúan con algún dispositivo conectado a Internet. Además, con esta metodología planteada, se obtiene con menores recursos y en tiempo real las series de tiempo útiles para formular modelos estructurados de pronóstico.

Cabe destacar que esta metodología se remonta desde la década de los noventa para pronosticar variables económicas. A pequeña escala [Lamont \(1995\)](#) observó las noticias en la prensa impresa cuya frecuencia de uso de la palabra “shortage” (escasez) era alta y que estas a su vez contenían información que podía utilizarse como variable predictora de la inflación en Estados Unidos. Con la explosión de la información en Internet a gran escala, [Choi y Varian \(2012\)](#) predijeron las reclamaciones de los seguros de desempleo en Estados Unidos usando las búsquedas en Internet de los términos relacionados mediante la herramienta Google Trends. [Suhoy \(2009\)](#) utilizó algunos términos de búsqueda en Google Trends e infirió el estado de algunas variables económicas antes de los reportes oficiales

del Banco Central de Israel. Además, [Bulut \(2017\)](#) pronosticó la tasa de cambio nominal mejorando el pronóstico de un modelo estructural (usando variables macroeconómicas), como también el obtenido por una caminata aleatoria.

De acuerdo a estos antecedentes, se abre una ventana de investigación para pronosticar la tasa de cambio peso dólar usando Google Trends que de acuerdo a nuestro conocimiento no se ha realizado en el país.

Por tanto, la hipótesis de este trabajo es: **la tasa de cambio peso dólar cambia de acuerdo al sentimiento del mercado. Entonces, la información de las búsquedas por Internet reflejan su valor.**

Lo cual origina la siguiente pregunta de investigación: **¿El sentimiento del mercado reflejado en las búsquedas de Internet pueden conducir a pronosticar la tasa de cambio peso dólar?**

De acuerdo a esta pregunta de investigación se define el siguiente objetivo general y los correspondientes objetivos específicos:

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Pronosticar la tasa de cambio peso dólar nominal involucrando el sentimiento del mercado reflejado en el interés por la búsqueda del término “dólar” en Internet.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Recolectar la serie de tiempo del índice del sentimiento del mercado.
- Modelar la tasa de cambio peso dólar nominal mediante el índice de sentimiento del mercado.
- Pronosticar la tasa de cambio peso dólar nominal.
- Diagnosticar el pronóstico.

Con este objeto de estudio, en el capítulo 2 se profundiza los conceptos que se introdujeron en el presente capítulo y se establece la teoría en la cual se sustenta el estudio. En el capítulo 3 se detalla el proceso metodológico con el cual se obtienen los resultados y sus respectivos análisis mostrados en el capítulo 4. Finalmente, en el capítulo 5 se establecen las conclusiones y se sugieren algunas recomendaciones para futuras aplicaciones o investigaciones.

Capítulo 2

Marco Teórico

De acuerdo al objetivo, se plantea desarrollar mediante la metodología de análisis propuesta por [Box y Jenkins \(1970\)](#) el pronóstico de la tasa de cambio, cuyos cálculos se realizarán utilizando la herramienta *R*. En seguida se mostrarán algunos conceptos fundamentales para la comprensión del documento.

2.1. Conceptos básicos de las series de tiempo

Una serie de tiempo es una medida secuencial durante un periodo de tiempo. Los modelos propuestos en este trabajo se realizan mediante el enfoque estadístico, en el cual se asume que cada medición es una realización de una variable aleatoria x_t .

2.1.1. Análisis de correlación

Una serie de tiempo puede tener efectos de tendencia o estacionalidad. Para identificarlos se utilizan la autocorrelación (ACF) y la autocorrelación parcial (PACF). La autocorrelación r_l en el rezago l se define como:

$$\begin{aligned}c_l &= \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-l} (x_t - \bar{x})(x_{t+l} - \bar{x}), \\r_l &= \frac{c_l}{c_0}.\end{aligned}\tag{2-1}$$

Donde \bar{x} es la media de la serie de tiempo y n es la longitud de la serie. Esta cantidad mide la relación lineal de la serie consigo misma cuando se desplaza l periodos de tiempo.

Como se puede observar en la ecuación 2-1, la autocorrelación suma sobre $n - l$ rezagos. Sin embargo no siempre es útil calcular el efecto total de todos estos rezagos, para removerlos, se define la autocorrelación parcial en el rezago l , como la medición de la autocorrelación después de eliminar todos los términos menores a l .

Por otra parte, la correlación cruzada mide la relación lineal de dos series x e y cuando una de ellas se desplaza l unidades respecto a la otra, se define como:

$$c_l(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-l} (x_{t+l} - \bar{x})(y_t - \bar{y}),$$
$$r_l(x, y) = \frac{c_l(x, y)}{\sqrt{c_0(x, x)c_0(y, y)}}. \quad (2-2)$$

2.1.2. Estacionariedad

En este documento, una serie de tiempo se dice estacionaria si su media \bar{x} y varianza σ^2 no dependen del tiempo en el cual es observada.

Para ilustrar la importancia de la estacionariedad, suponga dos series crecientes que no tienen relación intrínseca, seguramente la correlación de las series sería alta y significativa, sin embargo sería por el efecto de la tendencia positiva de cada una, no porque exista dependencia de una sobre la otra. Entonces, si se asegura que las series son estacionarias se elimina el efecto de la tendencia o de la varianza y si aún así existe correlación significativa es porque efectivamente existe alguna relación intrínseca entre ellas.

Para determinar la estacionariedad de las series [Dickey y Fuller \(1979\)](#) desarrollaron una prueba estadística mediante el *test de la raíz unitaria* (se profundizará más adelante acerca de este test) y [Said y Dickey \(1984\)](#) generalizaron el proceso, conocido como *test Dickey-Fuller aumentado*. En el presente trabajo se evaluará la estacionariedad de las series mediante esta prueba y el test [Phillips y Perron \(1988\)](#). En ambas pruebas si se rechaza la hipótesis nula se tendrá suficiente evidencia para asumir que la serie es estacionaria.

2.2. Modelo ARMA

El modelo autoregresivo (AR) de medias móviles (MA) escrito brevemente como ARMA de orden p, q o ARMA(p, q) asume que una serie x_t en cada instante de tiempo depende linealmente de su propia historia: tanto de sus propios p valores x_{t-l} más recientes, como también de los q impactos aleatorios normales ω_{t-l} más recientes. Este modelo se escribe generalmente como:

$$x_t = \alpha_1 x_{t-1} + \alpha_2 x_{t-2} + \cdots + \alpha_p x_{t-p} + \theta_1 \omega_{t-1} + \theta_2 \omega_{t-2} + \cdots + \theta_q \omega_{t-q} + \omega_t. \quad (2-3)$$

Algunas veces los modelos ARMA pueden escribirse en términos de diferencias suce-

sivas sobre la serie, de esta manera por ejemplo, si la serie x_t es igual a $y_t - y_{t-1}$, de la ecuación 2-3 se dice que la serie y_t es modelada como un ARIMA(p,1,q). De la misma manera, si es diferenciada d veces, el modelo puede escribirse como ARIMA(p,d,q).

En el presente trabajo se utilizará el modelo ARIMA para modelar los errores del modelo de regresión lineal entre la variable dependiente (la tasa de cambio) y las variables independientes o covariables (el índice de sentimiento). Este modelo se conoce como ARIMAX o *ARIMA errors*. En seguida se presenta el modelo:

$$y_t = \beta x_{1t} + \beta x_{2t} + \dots + \eta_t. \quad (2-4)$$

Donde η_t son los errores de la relación lineal de la variable dependiente y_t y las covariables x_{it} .

$$\eta_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p} - \theta_1 \omega_{t-1} - \theta_2 \omega_{t-2} + \dots + \theta_q \omega_{t-q} + \omega_t \quad (2-5)$$

Mientras que ω_t son los residuos del modelo, asumidos como ruido blanco (con media cero e independientes serialmente).

La interpretación de los parámetros del modelo ARIMAX ha mostrado ser confusa en la comunidad, por tal motivo [Hydman \(2010\)](#), quien es el creador del paquete *Forecast-R* realiza una breve aclaración de la correcta interpretación del modelo en su página oficial.

2.2.1. Caminata aleatoria

Un tipo especial de modelo ARMA es la caminata aleatoria, el cual viene dado por la siguiente ecuación:

$$x_t = x_{t-1} + \omega_t. \quad (2-6)$$

En otras palabras, el valor de la serie en el tiempo t viene dado por su valor inmediatamente anterior mas un término aleatorio. Esta serie puede escribirse como:

$$x_t - x_{t-1} = \omega_t.$$

Es decir, la serie diferenciada es aleatoria normal y por tanto es estacionaria, además de acuerdo a la definición de la ecuación 2-3 se modela como una serie ARIMA(0,1,0).

De manera más general si el modelo contiene un parámetro ϕ_1 que multiplica el término x_{t-1} en la ecuación 2-6, tenemos:

$$x_t = \phi_1 x_{t-1} + \omega_t.$$

Entonces, si $\phi_1 = 1$ la serie es una caminata aleatoria, sin embargo, si $\phi_1 < 1$ la serie puede escribirse como una serie de medias móviles ($x_t = \omega_t + \phi_1\omega_{t-1} + \dots + \phi_1^n\omega_{t-n}$ con $n \rightarrow \infty$) y por tanto es *invertible* y estacionaria. Las pruebas Dickey-Fuller y Phillips-Perron comentadas en la sección anterior ponen a prueba precisamente la hipótesis nula que $\phi_1 = 1$ (serie x_t tiene raíz unitaria) contra la hipótesis alternativa que $\phi_1 < 1$ (serie estacionaria).

2.3. Modelo VAR

A diferencia del modelo ARIMAX, el modelo VAR arregla las variables en un vector z_t , esta es una serie de tiempo con k componentes aleatorias $z_t = (z_{1t}, z_{2t}, \dots, z_{kt})$, un modelo VAR(p) asume que el vector depende linealmente de los p valores más recientes de la misma serie. Es decir:

$$z_t = \Phi_1 z_{t-1} + \Phi_2 z_{t-2} + \dots + \Phi_p z_{t-p} \quad (2-7)$$

Donde Φ_l son matrices de tamaño $k \times k$. Los parámetros de la diagonal de estas matrices relaciona cada componente consigo misma en un tiempo de rezago l , los demás parámetros relacionan las componentes unas con otras.

El gran beneficio que se obtiene mediante este modelo es el análisis de causalidad de las componentes de la serie de tiempo vectorial mediante la prueba de causalidad de Granger (1969), el análisis de impulso respuesta (IRF) propuesto por Beveridge y Nelson (1981) y la descomposición de la varianza de los errores de pronóstico (FEVD).

2.3.1. Causalidad de Granger

Se dice que una serie de tiempo z_{1t} causa a z_{2t} si el pronóstico bivariado es más preciso que el pronóstico univariado. La precisión se mide mediante la varianza del error del pronóstico en cada caso. En otras palabras, z_{1t} causa a z_{2t} en el sentido de Granger, si la información del pasado de z_{1t} mejora el pronóstico de z_{2t} . Precisamente la prueba estadística de la causalidad de Granger pone a prueba la hipótesis nula que no hay causalidad de Granger contra la hipótesis alternativa que si la hay.

2.3.2. Impulso respuesta y descomposición de la varianza de los errores de pronóstico

Otra manera para calcular la relación dinámica entre las componentes de la serie de tiempo de un modelo VAR es conocer los efectos de una componente sobre la otra, conocido como *análisis impulso respuesta*. Por ejemplo, responde por el efecto de una variación del 5% de la serie de tiempo z_{1t} sobre la serie z_{2t} . Para esto se observan los coeficientes del modelo VAR en la representación de medias móviles (ver ecuación 2-7), por lo cual es

necesario que los valores propios de cada matriz Φ_l sean menores a 1.

Por último, otra manera de analizar la respuesta de la serie z_{1t} sobre z_{2t} es la descomposición de la varianza de los errores de pronóstico. El cálculo toma en cuenta la varianza del pronóstico de z_{2t} l periodos adelante, entonces se calcula la proporción de la contribución del impacto aleatorio de la serie z_{2t} en la varianza total.

Capítulo 3

Marco Metodológico

3.1. Fuentes de información

Las fuentes de información principalmente fueron las siguientes:

- Serie de tiempo mensual del tipo de cambio nominal peso dólar obtenido de la página del Banco de la República ([Banco de la República \(banco central de Colombia\), 2018](#)). Esta serie de tiempo se denotará *TRM*.
- Serie de tiempo del índice de sentimiento del mercado. Este índice se estimó mediante el interés de las personas por el término de búsqueda “dolar”, el cual muestra el valor relativo de acuerdo al valor más alto por región y período de tiempo, donde 0 indica que no se realizaron búsquedas y 100 indica que se realizó la mayor cantidad de búsquedas en un periodo determinado. La consulta fue realizada usando la herramienta *Google Trends* ([Google Trends, 2018](#)) con los siguientes parámetros:

Término de búsqueda	dolar
Periodo de tiempo	Enero de 2009 - Marzo de 2018
Frecuencia	Mensual
Región	Colombia

Tabla **3-1**: Parámetros de consulta en la herramienta *Google Trends*

La serie de tiempo con los parámetros mostrados en la tabla **3-1** se denotará *TRENDS*.

Con el objetivo de evaluar el pronóstico del modelo, ambas series se dividen en dos partes, como se muestra en la tabla **3-2**, la muestra *in-sample* se utiliza para estimar los parámetros del modelo y diagnosticarlos, a su vez la muestra *out-sample* se utiliza para evaluar desempeño del pronóstico del modelo. En seguida se muestran los periodos de tiempo de cada muestra.

Tipo de muestra	Periodo de tiempo
<i>in-sample</i>	Enero de 2009 - Diciembre de 2016
<i>out-sample</i>	Enero de 2017 - Mayo de 2018

Tabla 3-2: División de la serie de tiempo. La muestra *in-sample* se utiliza para estimar los parámetros del modelo y diagnosticarlo, la muestra *out-sample* para evaluar el desempeño del pronóstico.

3.2. Estimación y diagnóstico de los modelos

Con las muestras *in-sample* de cada serie se realizó un análisis descriptivo y se realizaron pruebas de estacionariedad mediante la prueba *Dickey-Fuller aumentado* y *Phillips-Perron*.

De acuerdo a este resultado se diagnostican algunos modelos ARIMAX y VAR, aprovechando la correlación dinámica con el índice de sentimiento del mercado. Cada modelo seleccionado se diagnostica y se valida de acuerdo a las siguientes condiciones:

- El menor BIC de todos los modelos propuestos.
- Todos los parámetros del modelo deben ser significantes ($|t| > 2.5$).
- Los residuos no están correlacionados serialmente, se analiza usando la prueba *Ljung-Box*.
- Los residuos deben ser normales, se analiza usando la prueba *Jarque-Bera*.
- Para el caso de los modelos VAR los residuos no deben estar cross-correlacionados.
- Para el caso de los modelos VAR debe existir causalidad de Granger en algún sentido.

3.3. Evaluación del desempeño del pronóstico

Mediante el modelo seleccionado que satisface las condiciones de la sección anterior se realiza el pronóstico. Su desempeño se evalúa en el periodo *out-sample* (ver tabla 3-2) comparando con la tasa de cambio en este mismo periodo. La evaluación se realiza mediante el error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE) definidos de la siguiente manera:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\tilde{z}_t - z_t)^2} \quad (3-1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\tilde{z}_i - z_i| \quad (3-2)$$

Donde, N es el tamaño de la muestra *out-sample*, \tilde{z}_i es la tasa de cambio pronosticada y z_t es el tasa de cambio en la muestra *out-sample*.

Capítulo 4

Análisis y Resultados

4.1. Modelo univariado

De acuerdo a la metodología propuesta, a continuación se mostrarán y analizarán los resultados obtenidos.

4.1.1. Descripción de las series

En la figura 4-1 se ilustra simultáneamente la tasa de cambio nominal (pesos/dólar) y el sentimiento del mercado obtenido mediante el interés en las búsquedas del término “dólar” en Internet usando la herramienta *Google Trends* ([Google Trends, 2018](#)). Como se puede observar existe relación entre estas dos series. Por ejemplo, a mediados de 2014 la moneda colombiana tuvo una importante revaluación, llegando a una tasa de cambio de aproximadamente 1900 pesos/dólar, de la misma manera el índice de sentimiento decreció aproximadamente hasta el 25 %. Entre mediados de 2014 y comienzos de 2016 la moneda se devaluó considerablemente desde 1900 a 3300 pesos/dólar aproximadamente, de la misma manera el índice de sentimiento del mercado aumentó desde 25 % hasta 85 % aproximadamente. Cabe destacar que estas series no son estacionarias como lo indican las pruebas Dickey-Fuller aumentada y Phillips-Perron.

De acuerdo a este comportamiento, se calcula la correlación de Pearson de estas dos series. Con un intervalo de confianza del 95 %, se estima que la correlación se encuentra entre 0.90 y 0.96. Además, se destaca que la correlación es máxima cuando las series son contemporáneas, es decir, la máxima relación entre estas variables ocurre instantáneamente (ver figura 4-2). La alta correlación se explica posiblemente por el sentimiento instantáneo de las necesidades y demandas de los usuarios de Internet por la tasa de cambio y viceversa, donde se evidencia que en general los usuarios se interesan más por el valor de la tasa de cambio cuando su valor crece y pierden interés cuando decrece, como también en sentido contrario, el sentimiento del mercado reflejado en las búsquedas

das de los usuarios de Internet posiblemente causa la alta o baja demanda de la moneda estadounidense que impacta su valor en el mercado.

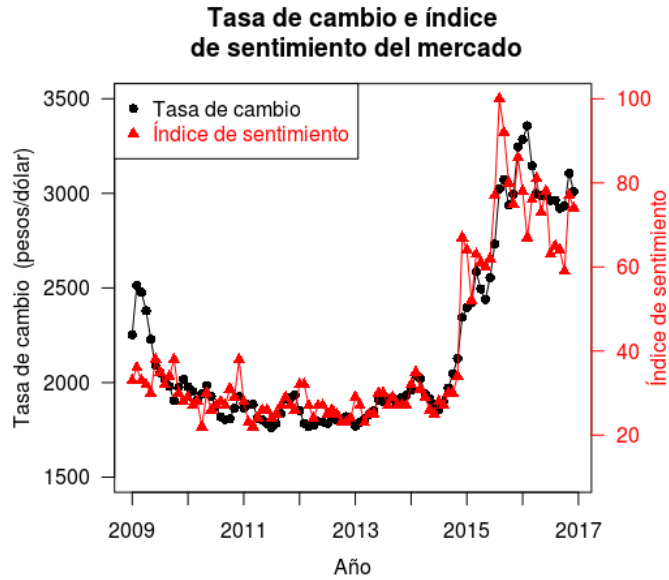


Figura 4-1: Serie de tiempo de la tasa de cambio nominal y sentimiento del mercado mediante el interés del término “dólar” reflejado en las búsquedas en Internet.

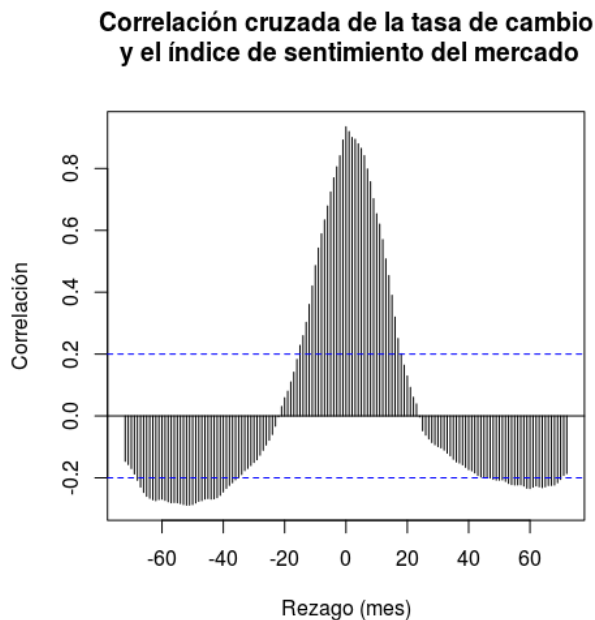


Figura 4-2: Correlación cruzada de la serie de tiempo de la tasa de cambio nominal y sentimiento del mercado. La máxima correlación de Pearson es 0.93 y se obtiene cuando las series son contemporáneas.

Dado que la alta correlación entre las series puede ser causa de tendencia positiva o negativa de las mismas, es necesario diferenciarlas para evaluar su estacionariedad y observar si existe una relación intrínseca entre ambas. Entonces, más allá de observar el valor nominal de la tasa de cambio, se analiza la proporción de variación respecto al mes anterior. Para realizarlo se aproxima esta cantidad como el logaritmo natural de la razón de la serie en dos meses consecutivos:

$$\begin{aligned} \text{Proporción de variación en el tiempo } t &= \frac{z_t - z_{t-1}}{z_{t-1}} \\ &\approx \Delta \ln z_t \end{aligned} \quad (4-1)$$

Donde z_t es el valor de la serie en el tiempo t y el símbolo Δ denota la diferencia en dos meses consecutivos.

El resultado de la proporción de variación de las series se observa en la figura 4-3a, la variación porcentual de la tasa de cambio se correlaciona positivamente con la variación porcentual del índice del sentimiento del mercado. A manera de ejemplo, en diciembre de 2014 la tasa de cambio aumentó aproximadamente 10 % respecto al mes anterior y en ese mismo mes aumentó aproximadamente 70 % el índice de sentimiento del mercado.

Además, en la figura 4-3b se observa la representación de la correlación entre las variaciones porcentuales de la tasa de cambio y el índice de sentimiento mediante la gráfica de dispersión. Allí se observa la tendencia positiva entre estas variables, además los puntos que no se ajustan al modelo de regresión lineal, es decir los errores (η_t), son incorporados en un modelo ARIMA en la siguiente sección. El resultado del modelo es el siguiente:

$$\Delta \ln(TRM_t) = 0.085\Delta \ln(TRENDS_t) + 0.002 + \eta_t \quad (4-2)$$

De acuerdo a este resultado, en general, cada punto porcentual de variación en la tasa de cambio, equivale a una variación de 12 puntos ($\approx 1/0.085$) en el índice de sentimiento del mercado.

Ahora bien, una pregunta que se plantea con el objetivo de determinar el pronóstico de la tasa de cambio es la siguiente: ¿si el índice de sentimiento del mercado aumenta, la tasa de cambio lo reflejará el siguiente mes?, es decir ¿existe causalidad en este sentido?. Con este objetivo en mente se realiza la correlación cruzada entre la variación de la tasa de cambio y la variación del índice de sentimiento del mercado. Como se puede observar en la figura 4-4, la correlación de Pearson es máxima y significativa (aproximadamente igual a 0.3) cuando las variables son contemporáneas, entonces, la significancia de la correlación justifica un modelo ARIMAX usando como variable regresora la variación del índice de

sentimiento sin rezago. Además, probablemente el aumento de la tasa de cambio no es causada por el sentimiento o especulación de los agentes. Cabe resaltar que este es un análisis descriptivo, en la sección 4.2.2 se realizará el análisis multivariado de causalidad que nos ofrecerá un entendimiento más profundo de este análisis.

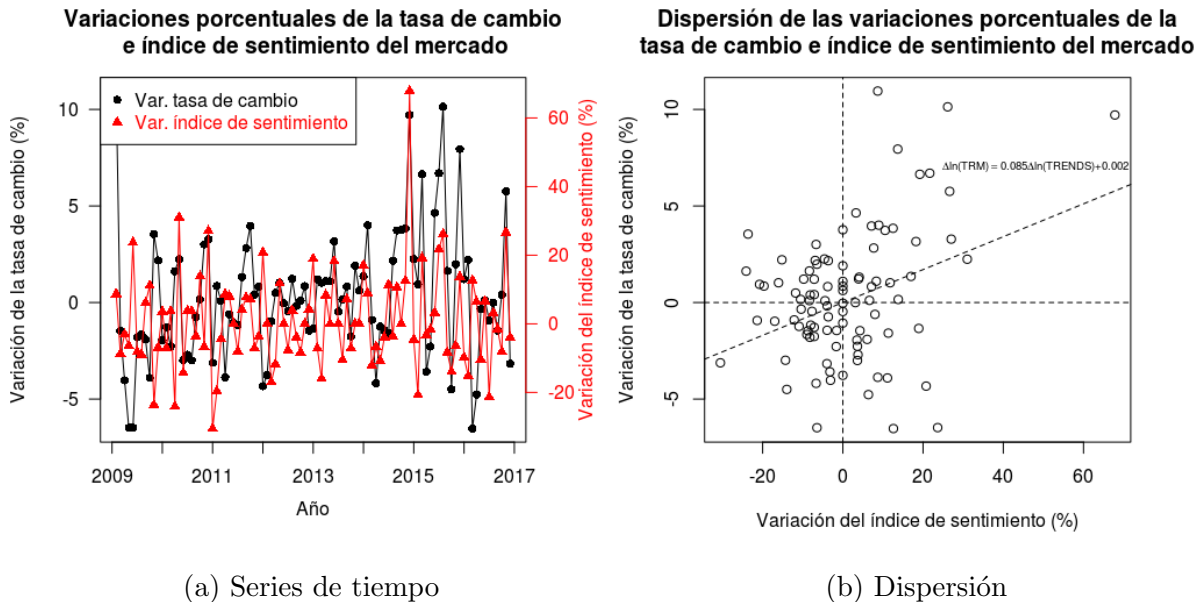


Figura 4-3: Variaciones porcentuales de la tasa de cambio e índice de sentimiento del mercado.

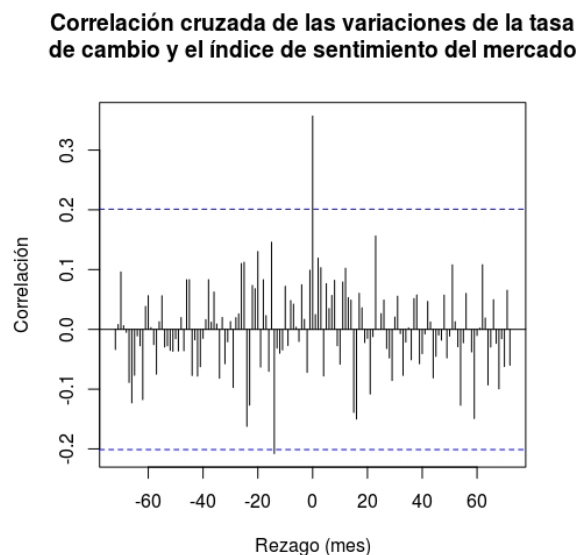


Figura 4-4: Correlación cruzada de las variaciones de la tasa de cambio y el índice de sentimiento del mercado. La correlación máxima se obtiene cuando las series son contemporáneas.

4.1.2. Modelo de regresión ARIMAX

Como se observa en la figura 4-3b, generalmente las observaciones no se ajustan al modelo de regresión lineal entre la variación de la tasa de cambio $\Delta \ln(TRM)$ y la variación del índice de sentimiento del mercado $\Delta \ln(TRENDS)$. Suponiendo que cada uno de estos residuos o errores dependen del residuo del mes anterior se propone un modelo conocido como ARIMAX (conocido también como *ARIMA errors*).

Para esto, se confirmó la hipótesis de estacionariedad de las series mediante los métodos Dickey-Fuller aumentado y Phillips-Perron con una significancia del 5%. Entonces, se procedió a estimar el mejor modelo ARIMAX que cumple con las condiciones de la sección 3.2, obteniendo un modelo autorregresivo diferenciado una vez con variable regresora, es decir ARIMAX(1,1,0), con BIC = -384.4, cuya ecuación es:

$$\begin{aligned} z_t &= \beta x_t + \eta_t \\ \eta_t &= \phi \eta_{t-1} + \epsilon(0, \sigma^2) \end{aligned} \quad (4-3)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \phi &= 0.35(0.1) \\ \beta &= 0.07(0.02) \\ \sigma^2 &= 9 \times 10^{-4} \\ z_t &= \Delta \ln(TRM) \\ x_t &= \Delta \ln(TRENDS) \\ \eta_t &= \text{Residuos del modelo lineal} \end{aligned}$$

Los valores entre paréntesis de ϕ y β representan la varianza de los parámetros.

En este modelo, el parámetro β sugiere que cada 14 puntos porcentuales ($\approx 1/0.07$) en la variación del interés de las personas por el dólar equivalen a 1 punto porcentual de la variación de la tasa de cambio. Este resultado es muy similar al discutido en la sección anterior mediante el modelo de regresión lineal.

Además, como lo sugiere el parámetro ϕ , los residuos que no podían ser explicados anteriormente mediante el modelo lineal, muestran ahora que están significativamente correlacionados serialmente, es decir, si en el presente mes la variación de la tasa de cambio aumentó 3 puntos porcentuales ($\approx 1/0.35$), es debido aproximadamente a una variación de un punto porcentual del error η_t (no explicado por el índice de sentimiento) del mes anterior.

En seguida se explicará mejor la interpretación de este error η_t . El índice de sentimiento del mercado y el valor de la tasa de cambio se encuentran estrechamente correlacionados, inclusive en su variación, es decir, cuando un valor cambia el otro se ajusta en el transcurso del mes. Sin embargo, esta relación no es perfecta, existe un error η_t significativo, la cual llamaré “mala experiencia”. Esta “mala experiencia” queda en la “memoria” colectiva de los agentes, de la cual se transmite el 7% (el parámetro β) al siguiente mes.

4.1.3. Diagnóstico

Dado que el modelo asume que los residuales son normales y no correlacionados serialmente, se realizó el diagnóstico de los mismos. En la figura 4-5 se observa el ajuste del modelo comparada con la tasa de cambio. Allí se observa que los residuales en general se encuentran entre las bandas de confianza de la curva qqplot y no están correlacionados serialmente como se muestra en las gráficas de autocorrelación y autocorrelación parcial. Respecto a la autocorrelación de los residuos, el rezago 9, cuya fecha es Marzo de 2016, posiblemente es un *outlier*. En esta fecha los agentes tenían gran expectativa de recuperación del dólar frente al peso y ocurrió lo contrario, la tasa de cambio varió negativamente más del 5% (ver figura 4-3a). En adición, las pruebas *Ljung-Box* cuyo p-valor es 32% y *Jarque-Bera* cuyo valor-p es 18% confirman el resultado expuesto anteriormente.

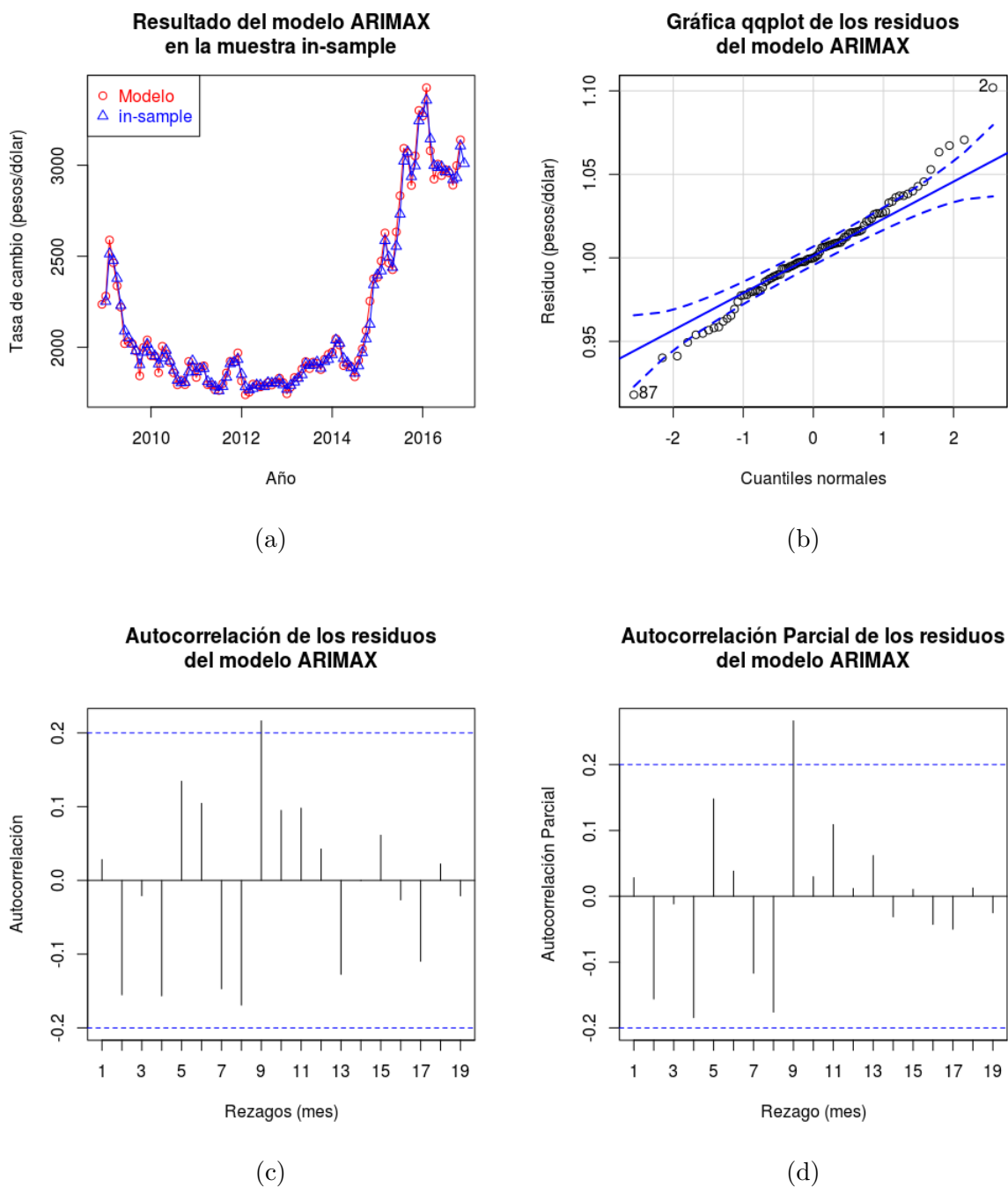


Figura 4-5: Diagnóstico del modelo ARIMAX, (a) Ajuste del modelo. (b) Gráfica qqplot de los residuos. (c) Autocorrelación de los residuos. (d) Autocorrelación parcial de los residuos.

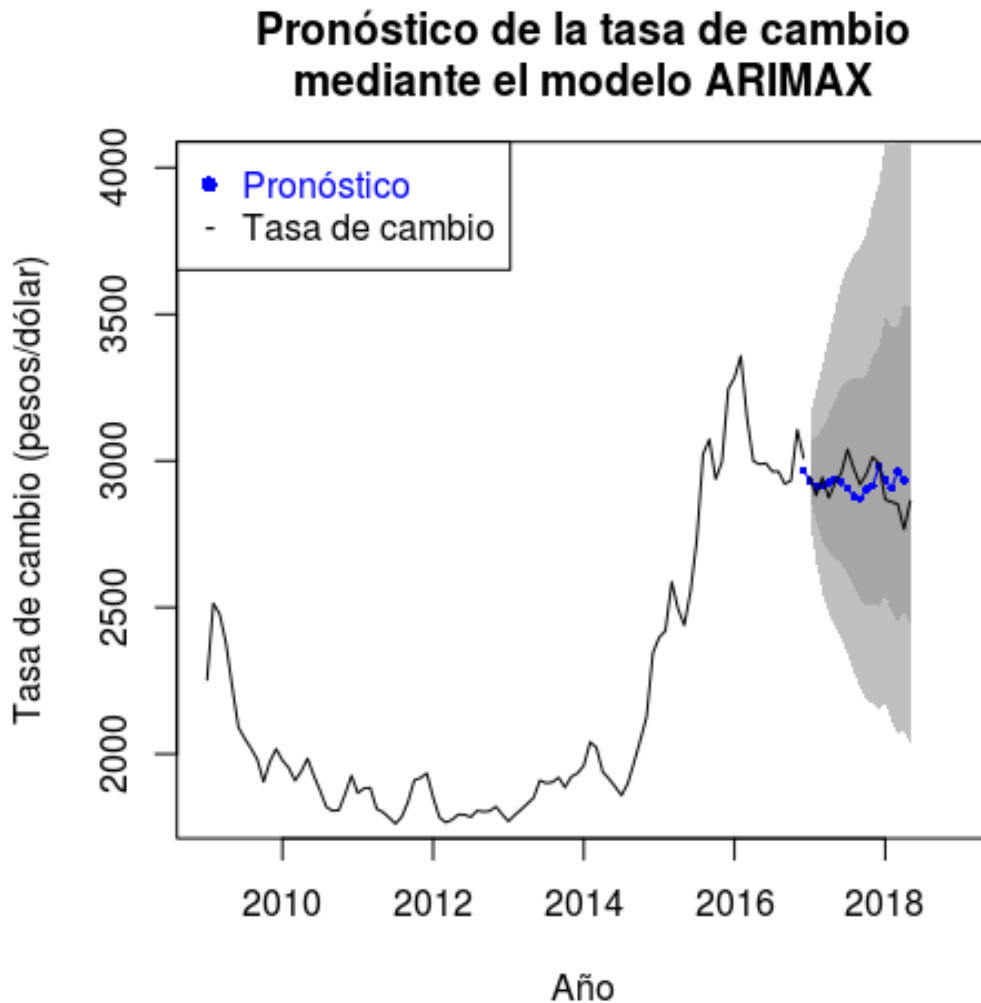


Figura 4-6: Pronóstico de la tasa de cambio entre enero de 2017 hasta mayo de 2018 (17 meses). Las áreas grises respresentan las bandas de confianza del 68 % y 95 %.

4.1.4. Pronóstico

Mediante el modelo ARIMAX obtenido se realizó el pronóstico de la tasa de cambio entre enero de 2017 y mayo de 2018 (ver figura 4-6) y se comparó con los valores de la muestra *out-sample*. Allí se observa que los valores del pronóstico siguen la misma tendencia de la tasa de cambio los primeros 12 meses (hasta diciembre de 2017) y se aleja de la tendencia en los últimos 5 meses. En este primer periodo el error cuadrático medio (RMSE) es 63 pesos/dólar y el error medio absoluto (MAE) es 50 pesos/dólar. Por otro lado en el periodo completo de la muestra *out-sample* el $RMSE = 77$ pesos/dólar y el $MAE = 62$ pesos/dólar.

4.2. Modelo multivariado

Con el ánimo de analizar las series de tiempo simultáneamente para: 1) estudiar la relación dinámica entre la tasa de cambio y el sentimiento del mercado reflejado en el interés de las búsquedas en Internet y 2) para mejorar el pronóstico del modelo univariado, se realizaron distintos modelos multivariados. En seguida se muestra el resultado del modelo que:

- Satisface las condiciones de diagnóstico de la sección 3.2.
- Tiene causalidad significativa de acuerdo a la prueba Granger.
- Con menor BIC entre los modelos propuestos.

4.2.1. Modelo

De acuerdo a las condiciones anteriormente expuestas, un modelo vectorial autoregresivo VAR(2) fue obtenido, cuyas componen variación de la tasa de cambio y la variación del índice de sentimiento del mercado (ambas series estacionarias). La relación de este modelo es la siguiente:

$$\vec{z}_t = \Phi_1 \vec{z}_{t-1} + \Phi_2 \vec{z}_{t-2} + \epsilon(\mathbf{0}, \Sigma^2) \quad (4-4)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \begin{pmatrix} 0.4(0.1) & 0 \\ 0.9(0.5) & -0.2(0.1) \end{pmatrix} \\ \Phi_2 &= \begin{pmatrix} -0.2(0.1) & 0.04(0.02) \\ 0 & -0.2(0.1) \end{pmatrix} \\ \Sigma^2 &= \begin{pmatrix} 0.0008 & 0.001 \\ 0.001 & 0.02 \end{pmatrix} \\ \vec{z}_t &= \begin{pmatrix} \Delta \ln(TRM) \\ \Delta \ln(TRENDS) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Los valores entre paréntesis indican la varianza de cada parámetro. Los valores cero corresponden a parámetros no significativos estadísticamente.

El diagnóstico confirma que los residuos del modelo están distribuidos normalmente (figuras 4-7a y 4-7b) y absorbe todas las posibles correlaciones cruzadas entre las series los primeros 24 rezagos (figura 4-7c).

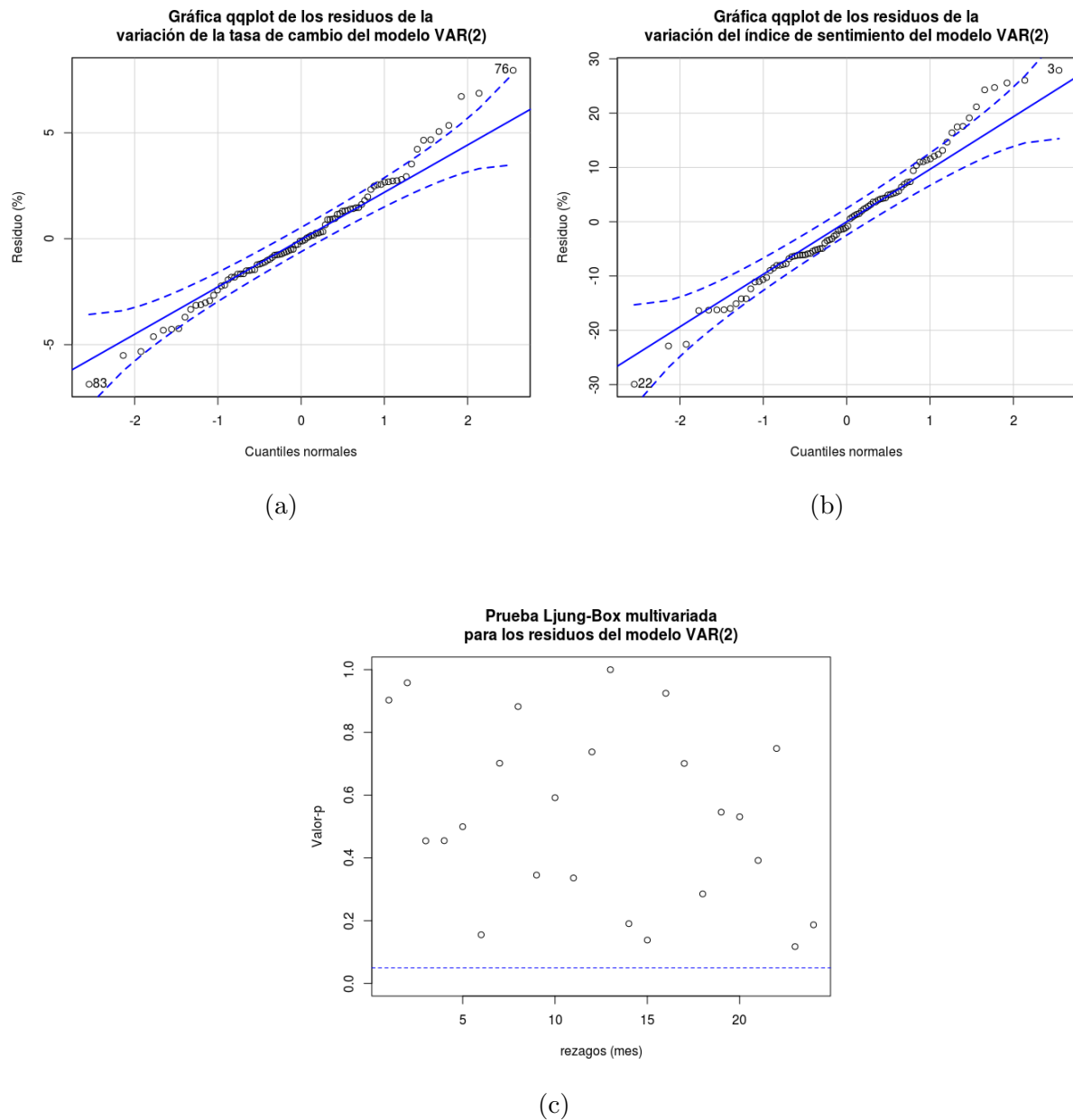


Figura 4-7: Diagnóstico del modelo VAR(2), (a) Gráfica qqplot de los residuos para la variación de la tasa de cambio. (b) Gráfica qqplot de los residuos para la variación del índice de sentimiento. (c) Prueba Ljung-Box para observar la correlación cruzada de los residuos.

El modelo de la ecuación 4-4 indica que los valores históricos de la tasa de cambio influyen en su valor presente, la variación de 2.5 puntos porcentuales ($= 1/0.4$) de la tasa de cambio del mes anterior incrementa un punto porcentual la misma tasa de cambio en el presente mes. Por otro lado se requiere una variación de 5 puntos porcentuales ($= 1/0.2$) de hace dos meses para que se reduzca un punto porcentual en el presente mes.

De manera similar, el modelo indica que la variación histórica del índice de sentimiento posiblemente afecta la variación de la tasa de cambio. Se requiere que el índice de sentimiento varíe en 25 puntos porcentuales ($=1/0.04$) hace dos meses para que la tasa de cambio aumente tan sólo 1 punto porcentual en el presente mes. Sin embargo en sentido contrario, se observa que la tasa de cambio puede impactar considerablemente el índice de sentimiento, prácticamente la variación de un punto porcentual en la tasa de cambio del mes anterior aumenta el índice de sentimiento en el presente mes aproximadamente un punto porcentual también. Para comprobar la significancia estadística de éstos parámetros cruzados, se realizó la prueba de causalidad de Granger, cuyos resultados se muestran en la siguiente sección.

4.2.2. Causalidad

El resultado de esta prueba indica que con una significancia del 10 % la variación de la tasa de cambio impacta la variación del índice de sentimiento del mercado (valor-p Granger Test = 9 %), pero no hay suficiente evidencia estadística en el otro sentido (valor-p Granger Test = 12 %), es decir:

La variación en la tasa de cambio influye en la variación del índice del sentimiento del mercado (impacta las búsquedas en Internet). Sin embargo, la variación en el sentimiento del mercado no influye en la tasa de cambio.

4.2.3. Impulso respuesta y descomposición de la varianza de los errores de pronóstico

En la figura 4-8 se describe gráficamente el resultado anterior. Se observa que un impulso de la tasa de cambio con un mes de rezago impacta la variación del índice de sentimiento del mercado en 4.5 % aproximadamente (figura 4-8a). Sin embargo para 2 o más meses de rezago no es estadísticamente significativa la respuesta. Por otro lado, la respuesta de la variación de la tasa de cambio a un impulso de la variación del índice de sentimiento nunca es significativa (figura 4-8b).

El resultado de la descomposición de la varianza en los errores de pronóstico ratifica la causalidad observada. En la figura 4-9a se observa que los errores del pronóstico del modelo VAR(2) se explican en medida por la variación del índice de sentimiento, pero no en el sentido contrario (ver fig. 4-8b).

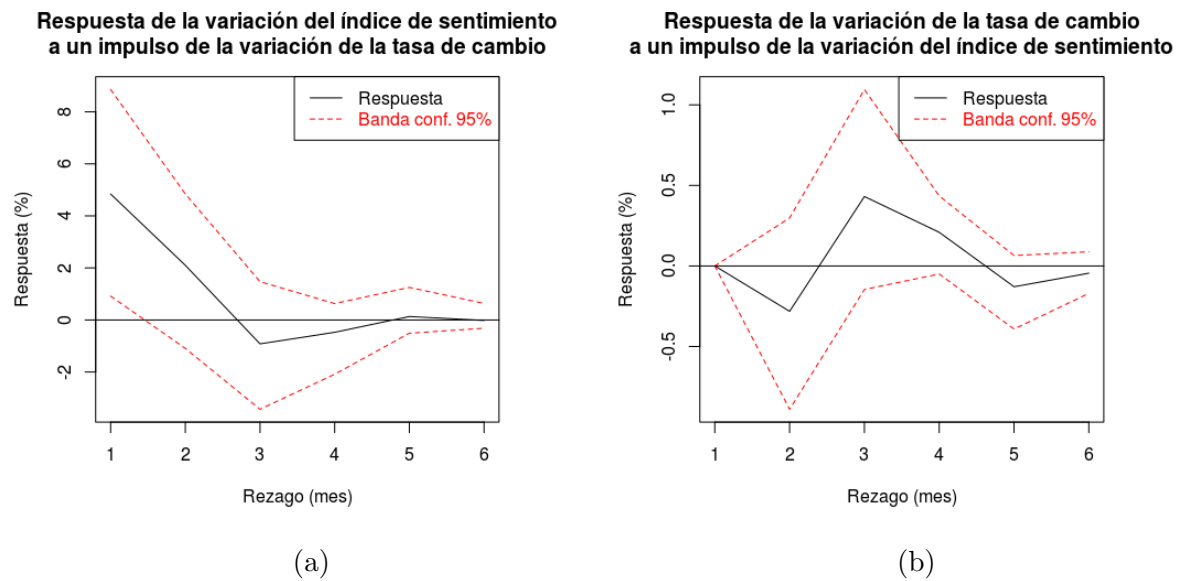


Figura 4-8: Impulso respuesta de las variaciones de la tasa de cambio e índice de sentimiento del mercado.

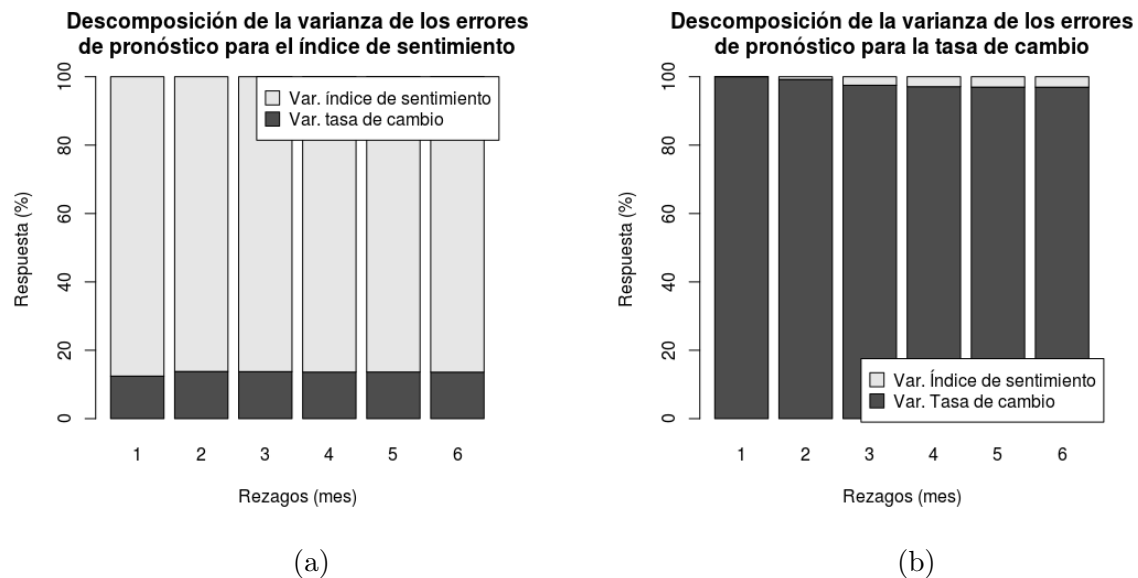


Figura 4-9: Descomposición de la varianza de los errores de pronóstico de las variaciones de la tasa de cambio e índice de sentimiento del mercado.

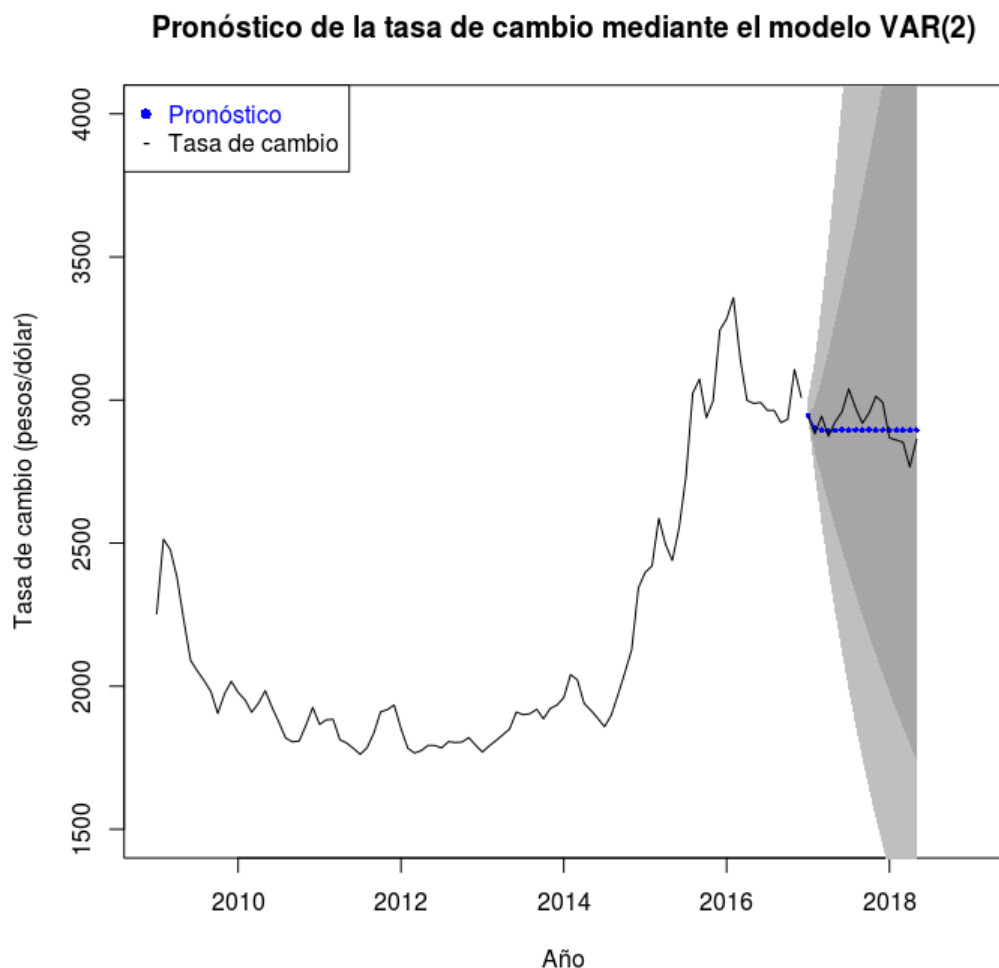


Figura 4-10: Pronóstico de la tasa de cambio entre enero de 2017 hasta mayo de 2018 (17 meses). Las áreas grises representan las bandas de confianza del 68% y 95%.

4.2.4. Pronóstico

Mediante el modelo VAR de la ecuación 4-4, se realizó el pronóstico de la tasa de cambio. Para los 12 primeros meses de la muestra *out-sample* (desde enero de 2017 hasta diciembre de 2017) se obtuvo un error cuadrático medio (RMSE) igual a 71 pesos/dólar y error medio absoluto (MAE) igual a 58 pesos/dólar. Para el periodo completo (hasta mayo de 2018) el error disminuyó ligeramente, se obtuvo $RMSE = 70$ pesos/dólar y $MAE = 57$ pesos/dólar.

4.3. Discusión de resultados

La pregunta de investigación del presente trabajo es: **¿El sentimiento del mercado reflejado en las búsquedas de Internet pueden conducir a pronosticar la tasa de cambio peso dólar?**. De acuerdo a los estudios realizados por otros investigadores como Malkiel (1973); Meese y Rogoff (1983); Rowland y cols. (2003) ésta pregunta de investigación debe responderse de manera relativa de acuerdo al pronóstico obtenido por el modelo caminata aleatoria. Por lo cual se realiza el modelo ARIMA(0,1,0) (ver sección 2.2.1) y se obtiene que si la variación de la tasa de cambio se comporta de manera aleatoria:

$$\Delta \ln(TRM) = \epsilon(0, 0.001135),$$

el BIC es igual -370.13 y el pronóstico de la tasa de cambio en los próximos 12 meses tiene los siguientes errores:

$$RMSE = 75\text{pesos/dolar}, \quad MAE = 64\text{pesos/dolar}$$

los cuales son mayores a los obtenidos por el modelo ARIMAX o VAR. En seguida se muestra la tabla comparativa de los resultados del pronóstico de cada modelo:

Modelo	RMSE (12 meses)	RMSE (17 meses)	MAE (12 meses)	MAE (17 meses)
Caminata aleatoria	75	112	64	94
ARIMAX	63	77	50	62
VAR	71	70	58	57

Tabla 4-1: Síntesis de los resultados de pronóstico de la tasa de cambio en la muestra *out-sample* para 12 meses y 24 meses. Las unidades son pesos/dólar.

De acuerdo a esta evidencia, la tasa de cambio peso dólar no es un mercado eficiente. Por tanto se puede argumentar que el sentimiento de mercado definido en el trabajo conducen a pronosticar la tasa de cambio peso dólar. Sin embargo no lo hace como lo desearía un inversor o un analista del estado. Sería muy interesante si la variación del sentimiento del mercado causara la variación de la tasa de cambio un mes posterior, de manera que los usuarios de esta herramienta lograrían mejorar la evaluación de la salud económica del país con información a bajo costo, como también aquellos interesados en recuperar su portafolio de inversión para tener ventaja competitiva. El modelo VAR presentado, deja en claro que este resultado no fue posible mediante la metodología presentada, **la variación del índice de sentimiento del mercado no causa que la tasa de cambio cambie**, pero si en sentido contrario, la variación de la tasa de cambio ocasiona que los agentes interesados por el cambio de la moneda extranjera modifiquen su conducta en la red, lo cual podría aplicarse para aplicaciones con fines comerciales.

Esta relación es reflejada en el modelo ARIMAX, donde se observa que la tendencia lineal entre ambas variables (la variación de la tasa de cambio y la variación del índice de sentimiento del mercado) es baja pero significativa, es decir, cuando un valor cambia el otro se ajusta en el transcurso del mes. Los errores que tienen los agentes del mercado en su pronóstico (“mala experiencia”) queda en la “memoria” colectiva de los agentes, de la cual se transmite el 7% al siguiente mes.

Finalmente, es importante resaltar que el modelo ARIMAX resultó ser el mejor para pronosticar la tasa de cambio, pero el modelo VAR el mejor para explicar el fenómeno.

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

- La variación de la tasa de cambio causa que varíe el índice de sentimiento del mercado reflejado en el interés por las búsquedas en Internet, pero no en sentido contrario.
- Además, para pronosticar la tasa de cambio usando el índice de sentimiento del mercado se recomienda realizarlo usando tiempos contemporáneos (sin rezago).
- Los modelos realizados en el trabajo pronostican la tasa de cambio mejor que una caminata aleatoria, además a corto plazo, el mejor modelo de pronóstico es el ARIMAX usando como variable regresora el índice de sentimiento del mercado sin rezago.
- De acuerdo al análisis de causalidad, se recomienda aplicar el pronóstico del sentimiento del mercado usando la relación dinámica con la tasa de cambio del dólar para fines comerciales.
- De acuerdo al alcance del trabajo sólo se incluyó el término “dólar” como estimador del índice de sentimiento del mercado. Para un trabajo posterior se recomienda incluir más términos de búsqueda que puedan impactar la tasa de cambio, tomando como referencia la metodología aquí planteada.

Bibliografía

- Banco de la República (banco central de Colombia). (2018). *Tasa de cambio del peso colombiano (TRM)*. Descargado de <http://www.banrep.gov.co/es/trm>
- Beveridge, S., y Nelson, C. R. (1981, 1). A new approach to decomposition of economic time series into permanent and transitory components with particular attention to measurement of the 'business cycle'. *Journal of Monetary Economics*, 7(2), 151–174. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304393281900404?via%3Dihub> doi: 10.1016/0304-3932(81)90040-4
- Box, G., y Jenkins, G. (1970). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden-Day.
- Bulut, L. (2017). Google Trends and the forecasting performance of exchange rate models. *Journal of Forecasting*, 37(3), 303–315. Descargado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/for.2500> doi: 10.1002/for.2500
- Choi, H., y Varian, H. (2012). Predicting the Present with Google Trends. *The Economic Record*, 88, 2–9. doi: 10.1111/j.1475-4932.2012.00809.x
- Dickey, D. A., y Fuller, W. A. (1979, 6). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427–431. Descargado de <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531> doi: 10.1080/01621459.1979.10482531
- Fama, E. F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383–417. Descargado de <http://www.jstor.org/stable/2325486>
- Google Trends. (2018). *dolar - Explorar - Google Trends*. Descargado de <https://trends.google.es/trends/explore?date=2009-01-01%202018-03-31&geo=C0&q=dolar>
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, 37(3), 424–438. Descargado de <http://www.jstor.org/stable/1912791> doi: 10.2307/1912791
- Hydman, R. J. (2010). *The ARIMAX model muddle*. Descargado de <https://robjhyndman.com/hyndsight/arimax/>
- Lamont, O. (1995). *Do Shortages cause inflation?* Descargado de <http://www.nber.org/>

[papers/w5402.pdf](#)

- Malkiel, B. G. (1973). *A Random Walk Down Wall Street Including A Life-Cycle Guide To Personal Investing*. New York: W. W. Norton & Company, Inc.
- Mankiw, N. G. (2012). *Principios de economía* (6a ed.). Cengage Learning. Descargado de <http://latinoamerica.cengage.com>
- Meese, R. A., y Rogoff, K. (1983). Empirical exchange rate models of the seventies. Do they fit out of sample? *Journal of International Economics*, 14, 3–24. doi: 10.1016/0022-1996(83)90017-X
- Molodtsova, T., y Papell, D. H. (2009, 4). Out-of-sample exchange rate predictability with Taylor rule fundamentals. *Journal of International Economics*, 77(2), 167–180. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002219968390017X> doi: [https://doi.org/10.1016/0022-1996\(83\)90017-X](https://doi.org/10.1016/0022-1996(83)90017-X)
- Phillips, P. C. B., y Perron, P. (1988). Testing for a Unit Root in Time Series Regression. *Biometrika*, 75(2), 335–346. Descargado de <http://www.jstor.org/stable/2336182> doi: 10.2307/2336182
- Rowland, P. (2003). *Forecasting the USD/COP Exchange Rate: A Random Walk with a Variable Drift* (Inf. Téc.). Bogotá: Banco de la República.
- Rowland, P., Arango, L. E., Gómez, J., Melo, L. F., Oliveros, H., Posada, C. E., ... Vargas, H. (2003). *Uncovered Interest Parity and the USD/COP Exchange Rate* (Inf. Téc.). Banco de la República. Descargado de <http://www.banrep.gov.co/docum/ftp/borra227.pdf>
- Said, S. E., y Dickey, D. A. (1984, 12). Testing for unit roots in autoregressive-moving average models of unknown order. *Biometrika*, 71(3), 599–607. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1093/biomet/71.3.599>
- Suhoy, T. (2009). *Query Indices and 2008 Downturn: Israeli Data* (Inf. Téc.). Jerusalem, Israel: Research Department, Bank of Israel. Descargado de <https://www.boi.org.il/deptdata/mehkar/papers/dp0906e.pdf>