

*Análisis Financiero de los Determinantes de la tasa de cambio en Colombia:  
perspectiva desde la Identificación de Sistemas Lineales*



Elaborado por: Sebastián Ávila Berrío

José Miguel Bedoya Londoño

Asesora: Olga Lucía Quintero Montoya

2017

## Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos de la investigación .....</b>	<b>11</b>
2.1	Objetivo principal .....	11
2.1.1	Objetivos específicos .....	12
<b>3</b>	<b>El análisis financiero y los modelos lineales.....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>El mercado de divisas y la identificación de sistemas .....</b>	<b>16</b>
4.1	El mercado de divisas .....	17
4.2	Análisis fundamental y análisis técnico .....	19
4.2.1	Análisis fundamental.....	19
4.2.2	Análisis técnico.....	20
4.3	Identificación de sistemas lineales.....	21
4.4	Estructuras del modelo.....	24
4.5	Test de causalidad de Granger .....	28
<b>5</b>	<b>Estado del arte de los determinantes de la TRM .....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>38</b>
6.1	Planificación experimental.....	38
6.1.1	Período I: desde 27 de septiembre de 1999 hasta el 19 de marzo 2003.....	40
6.1.2	Período II: desde 20 de marzo de 2003 hasta 22 de agosto 2007.....	44
6.1.3	Período III: desde 23 de agosto 2007 hasta 26 de junio de 2014.....	45
6.1.4	Período IV: desde 27 de junio de 2014 hasta 31 de marzo 2017.....	47
6.2	Los datos .....	48
6.2.1	Período I.....	52
6.2.2	Período II.....	53
6.2.3	Período III.....	54
6.2.4	Período IV.....	56
6.3	Modelos lineales .....	57
6.3.1	Período I.....	58
6.3.2	Período II.....	64
6.3.3	Período III.....	71
6.3.4	Período IV.....	77
6.4	Análisis de los resultados.....	84
<b>7</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>90</b>
	<b>Referencias.....</b>	<b>93</b>

---

## **Tablas**

Tabla 1. Períodos TRM .....	40
Tabla 2. Variables identificadas.....	49
Tabla 3. Variables con información no disponible .....	50
Tabla 4. Modelos ARX Período I.....	59
Tabla 5. Modelos ARMAX Período I.....	61
Tabla 6. Modelos OE y BJ Período I.....	63
Tabla 7. Modelos ARX Período II.....	65
Tabla 8. Modelos ARMAX Período II .....	67
Tabla 9. Modelos OE y BJ Período II.....	69
Tabla 10. Modelos ARX Período III .....	71
Tabla 11. Modelos ARMAX – Período III.....	73
Tabla 12. Modelos OE y BJ Período III .....	75
Tabla 13. Modelos ARX Período IV .....	77
Tabla 14. Modelos ARMAX – Período IV .....	79
Tabla 15. Modelos OE y BJ Período IV .....	83

## Figuras

Figura 1. Proceso identificación de sistemas .....	15
Figura 2. Identificación de sistemas.....	22
Figura 3. Períodos TRM .....	39
Figura 4. TRM - Período I.....	41
Figura 5. TRM - Período II.....	45
Figura 6. TRM - Período III .....	46
Figura 7. TRM - Período IV .....	48
Figura 8. Curvas de linealidad variables altamente correlacionadas .....	51
Figura 9. Curva de linealidad variables - Período II .....	54
Figura 10. Curva de linealidad variables - Período III.....	56
Figura 11. Modelos ARX Período I .....	59
Figura 12. Comportamiento de los residuos – Modelos ARX Período I.....	60
Figura 13. Modelos ARMAX – Período I .....	61
Figura 14. Comportamiento de los residuos – Modelos ARMAX – Período I .....	62
Figura 15. Modelos OE y BJ – Período I.....	63
Figura 16. Comportamiento de los residuos – Modelos OE y BJ - Período I .....	64
Figura 17. Modelos ARX Período II.....	65
Figura 18. Comportamiento de los residuos – Modelos ARX Período II .....	66
Figura 19. Modelos ARMAX Período II .....	67
Figura 20. Comportamiento de los residuos – Modelos ARMAX – Período II .....	68
Figura 21. Modelos OE y BJ Período II .....	70
Figura 22. Comportamiento de los residuos – Modelos OE y BJ - Período II.....	70
Figura 23. Modelos ARX Período III.....	72
Figura 24. Comportamiento de los residuos – Modelos ARX Período III .....	72
Figura 25. Modelos ARMAX – Período III.....	74
Figura 26. Comportamiento de los residuos – Modelos ARMAX Período III.....	74
Figura 27. Modelos OE y BJ Período III .....	76
Figura 28. Comportamiento de los residuos – Modelos OE y BJ - Período III.....	76
Figura 29. Modelos ARX Período IV.....	78
Figura 30. Comportamiento de los residuos – Modelos ARX Período IV .....	78
Figura 31. Modelos ARMAX – Período IV .....	80
Figura 32. Comportamiento de los residuos – Modelos ARMAX Período IV.....	80
Figura 33. Modelos ARIMAX – Período IV .....	81
Figura 34. Comportamiento de los residuos – Modelos ARIMAX Período IV.....	82
Figura 35. Modelos OE y BJ Período IV.....	83
Figura 36. Comportamiento de los residuos – Modelos OE y BJ - Período IV.....	84
Figura 37. Modelos ARMAX1110 - Período IV .....	89

---

## **Ecuaciones**

Ecuación 1.....	24
Ecuación 2.....	25
Ecuación 3.....	25
Ecuación 4.....	25
Ecuación 5.....	25
Ecuación 6.....	26
Ecuación 7.....	26
Ecuación 8.....	26
Ecuación 9.....	27
Ecuación 10.....	27
Ecuación 11.....	27
Ecuación 12.....	27
Ecuación 13.....	27
Ecuación 14.....	29
Ecuación 15.....	29
Ecuación 16.....	29
Ecuación 17.....	29
Ecuación 18.....	29
Ecuación 19.....	29
Ecuación 20.....	30
Ecuación 21.....	58

## **Resumen**

Este trabajo presenta un análisis financiero de los determinantes de la tasa de cambio en Colombia (TRM), desde la perspectiva de la Identificación de Sistemas, entre septiembre de 1999 y marzo de 2017. Se realiza una exploración de la literatura más reciente disponible para identificar las variables más importantes que afectan el comportamiento de la TRM. A través del proceso de la identificación de sistemas se construyen modelos lineales para explicar y predecir el comportamiento de la TRM, explorando algunas de las estructuras más comúnmente encontradas en la econometría financiera (ARX, ARMAX, Box Jenkins y Output Error). Finalmente, se realiza un análisis de los resultados obtenidos y una comparación de los modelos construidos, evidenciando resultados estables para un mejor entendimiento de esta variable. Adicionalmente, se realiza un experimento con el fin de disminuir la incertidumbre de la TRM, a través de la clasificación de eventos importantes (noticias), puesto que la experiencia indica que pueden ser determinantes de la TRM, los cuales no es posible recoger a través del análisis de series de tiempo, logrando establecer las bases para un trabajo futuro.

**Palabras claves:** Tasa de cambio, Identificación de sistemas, Análisis Financiero, Modelos lineales.

## **Abstract**

This paper presents a financial analysis of the variables that determines the exchange rate in Colombia (TRM) from The System Identification perspective, between September 1999 and March 2017. An exploration of the recent literature is made to identify the most important variables that affect the TRM's behavior. Through The System Identification process linear models are built to estimate and predict the TRM's behavior and explore some of the most commonly used structures in financial econometrics models (ARX, ARMAX, Box Jenkins and Output Error). Finally, an analysis of the results obtained and a comparison of the constructed models are made, showing good results for a better understanding of this variable. Additionally, an extra experiment is carried out in order to reduce the TRM's uncertainty, using a classification of important events (news), given that the experience indicates these events are important to explain the TRM's behavior, which are not possible to collect through time series analysis, establishing the basis for future work.

**Key words:** Exchange rate, System identification, Financial Analysis, Linear models.

## **1 Introducción**

La tasa de cambio es una de las variables más importantes dentro de una economía. De acuerdo con Alonso & Cabrera (2004), ésta determina el precio de los productos colombianos en las diferentes monedas extranjeras y, de igual forma, el valor de todos los bienes del resto del mundo; esta variable es uno de los determinantes del flujo de bienes, servicios y capitales entre un país y el resto del mundo. Para el caso colombiano es el Dólar americano, dado que es la divisa de referencia en el país.

La forma como se determina la tasa de cambio nominal en Colombia en los últimos 50 años ha pasado de ser fijada por la máxima autoridad monetaria del país, el Banco de la República, por un largo período de tiempo, a un sistema en el que el precio es definido por la oferta y la demanda, lo que se ha denominado tipo de cambio flexible (Alonso & Cabrera, 2004).

Por consiguiente, en los últimos años la economía mundial ha experimentado algunos choques que han impactado directamente la tasa de cambio colombiana y han hecho evidente la dificultad de predecir los movimientos de esta variable. En 2008 la crisis financiera internacional hipotecaria, la quiebra del banco estadounidense Lehman Brothers y la entrada de EEUU en un período de recesión: entre 2009 y 2010, la subida de los precios del petróleo y la caída de las tasas de interés en EEUU; e igualmente, en 2014 los signos de recuperación de la economía estadounidense, el aumento de la inversión extranjera en Colombia, la caída del precio del petróleo en 2016, entre otros factores, han impactado el precio de la divisa.

Todos estos factores generan incertidumbre al momento de predecir la tasa de cambio y hace que el análisis fundamental y técnico no sean herramientas suficientes para entender la dinámica de esta variable; la dinámica del mercado, el comportamiento de otras variables, los choques de oferta y demanda que diariamente se presentan, o eventos importantes que afectan de alguna forma el orden mundial, incluso eventos de la naturaleza que impactan la economía, etc., son factores que deben tenerse en cuenta. Actualmente no existen herramientas que cubran todos estos elementos y puedan recoger toda la información necesaria para que las decisiones tomadas por los diferentes agentes que intervienen en el mercado se traduzcan en beneficios.

Adicionalmente, uno de los principales problemas para predecir el precio de la TRM (Tasa Representativa del Mercado) del peso colombiano está en la gran cantidad de factores y variables que pueden influir en su precio, de esto parte la motivación de buscar nuevas alternativas o complementos a las técnicas existentes para predecir el precio de ésta.

Por lo anterior, diferentes autores han intentado analizar los determinantes de la tasa de cambio a través de los años, utilizando diferentes enfoques; (Lega, Murcia & Vásquez, 2007), (Arbeláez & Steiner, 2009) y (Secretaría Distrital de Desarrollo Económico, 2010) centran su análisis en la volatilidad de la variable. (Azañero, 2012), (Murcia & Rojas, 2013) y (Antoun & Trespalacios, 2015) incorporan en su análisis de corto plazo, análisis de microestructura de mercados. En cuanto al análisis de la capacidad predictiva de la variable, se encuentran (Patiño & Alonso, 2005) y (Franco, Gómez & Ramírez, 2007). (Gaviria & Sierra, 2003) aportan elementos teóricos y

---

empíricos orientados a la explicación de los determinantes de la tasa de cambio nominal en Colombia.

Otras metodologías que han sido utilizadas para la predicción de este tipo de variables han sido exploradas por otros autores, a través de modelos de inteligencia artificial caja negra, como las redes neuronales, cuyos resultados han sido satisfactorios, teniendo en cuenta el poder predictivo de éstas, como el realizado por (Arrieta, Torres & Velásquez, 2009), o el modelo explorado por (Correa & Montoya, 2012) en Aplicación del modelo ANFIS para predicción de series de tiempo, donde se incluyen análisis de redes adaptativas de sistemas de inferencia difusos. Sin embargo, estos modelos de inteligencia artificial, al ser modelos de caja negra, no permiten reflejar una estructura interpretable que permita analizar las relaciones entre las variables y su salida, y su apoyo en la toma de decisiones está restringida a las posibles simulaciones de escenarios y no a consideraciones que puedan llevarse a un nivel de estrategia.

Por otra parte, para la determinación de la tasa de cambio, cabe resaltar el análisis fundamental y el análisis técnico, que por mucho tiempo han sido las técnicas más utilizadas para pronosticar el comportamiento de los activos financieros, usualmente con el fin de buscar beneficios económicos por parte de los agentes del mercado.

Por un lado, el análisis fundamental es un método que evalúa la situación financiera del mercado, tomando en cuenta los factores, tanto macroeconómicos como microeconómicos, para establecer el precio de los activos financieros y predecir su valor futuro (Lui & Mole, 1998).

El análisis técnico, por otro lado, estudia directamente el comportamiento histórico de los activos financieros con el fin de predecir su precio futuro. Este método podría resumirse en tres supuestos: el primero es que el precio de los activos financieros recoge toda la información, el segundo es el movimiento del mercado por tendencias y el último es acerca de la repetición de la historia; bajo estos supuestos, el análisis técnico busca pronosticar el precio futuro de los activos.

Por lo tanto, para lograr el objeto del trabajo de Maestría en Administración Financiera, el enfoque de esta investigación se basa en encontrar una alternativa viable mediante un estudio financiero, teniendo en cuenta la complementación de los análisis fundamental y técnico, para determinar las variables de la tasa de cambio en Colombia, con la identificación de Sistemas Lineales, permitiendo así una toma de decisiones acertada en la predicción de los movimientos de los activos financieros, para la obtención de beneficios económicos.

Este trabajo está organizado en 7 secciones, incluyendo esta introducción y los objetivos planteados; en la sección 3 se aborda el tema del análisis financiero y los modelos lineales y será el escenario para explicar la metodología para la solución de los objetivos planteados en la sección 2. La sección 4 abordará el marco teórico alrededor del mercado de divisas y la identificación de sistemas lineales. La quinta parte de esta tesis se centrará en la exploración de la literatura, en la que se pretende extraer todas las variables determinantes de la TRM que se han identificado en los trabajos recientes, lo cual servirá como exploración del estado del arte. Finalmente, en las secciones 6 y 7, se presentarán los resultados de la investigación desde la perspectiva de la identificación de sistemas lineales y sus resultados, para luego cerrar con las conclusiones que

---

llevarán a trabajos futuros en la temática, reuniendo para ello conceptos desde la administración financiera en combinación con análisis matemáticos.

## **2 Objetivos de la investigación**

Frecuentemente existe la incertidumbre de cómo predecir los movimientos de los activos financieros para obtener un beneficio económico, y para esto los análisis técnico y fundamental no son suficientes para entender la dinámica de una variable como la TRM; elementos como la tendencia diaria del mercado, el movimiento de otras variables importantes tanto internas como externas, choques de oferta y demanda que están incluidos en anuncios económicos de los diferentes países, con los que existe una relación o eventos importantes que afectan de alguna forma el orden mundial, y eventos naturales que impacten la economía, entre otros, son factores que se deben tener en cuenta a diario y, de esta manera, recoger toda la información necesaria para evitar que las decisiones que se tomen se traduzcan en utilidades y no en pérdidas económicas. A continuación presentamos los objetivos de este trabajo de tesis, que permitirán avanzar en el entendimiento y capacidad de toma de decisiones en ambientes reales, como las mesas de dinero que operan en el sistema financiero colombiano.

### **2.1 Objetivo principal**

Realizar una comparación de modelos que permita entender, justificar, formalizar y conceptualizar las dinámicas subyacentes de la tasa representativa del mercado en Colombia, utilizando métodos originados en la identificación de sistemas lineales, que son ampliamente aplicados en la

econometría, con el fin de evidenciar cuál puede ser la mejor alternativa, que apoyados en un análisis financiero basado en la experiencia, sea útil para la toma de decisiones.

### **2.1.1 Objetivos específicos**

- a. Realizar una exploración de la literatura existente mediante un estado del arte (sección 5), con el fin de identificar las variables más importantes que influyen en el comportamiento de la tasa de cambio en Colombia.
- b. Recopilar y pre procesar, desde las diferentes fuentes de información, las series de tiempo de cada variable identificada en el estado del arte, mediante una planificación experimental (sección 6.1).
- c. Evaluar el comportamiento y significancia de las variables identificadas como determinantes de la tasa de cambio para Colombia. A partir de una serie de datos que lo comprueban (sección 6.2).
- d. Construir modelos lineales que permitan asociar las variables determinantes de la TRM con su comportamiento desde 1999 hasta 2017 (sección 6.3).

## **3 El análisis financiero y los modelos lineales**

Para el logro del objetivo principal y objetivos específicos propuestos, este trabajo incluirá modelos lineales con apoyo en técnicas de análisis de datos e información, con el fin de comprender fenómenos y estructuras que, con el conocimiento financiero, puedan ser validados. Como valor agregado se tiene el uso de aspectos metodológicos y teóricos de la identificación de

sistemas y la modelación experimental (Söderström & Stoica, 2001), los cuales formalizan los análisis previos de datos e información, rescatando elementos de juicio para la construcción de los modelos. Adicionalmente, se realiza la construcción de los modelos lineales desde su base teórica y no en un esquema de usuario con softwares tradicionales, sino que se aprehenden capacidades de desarrollo de modelos desde su estructura lógica, que si bien fueron implementados en Matlab, pueden ser programados en cualquier software libre como Python, que pueda permitir su interfaz en escenarios de toma de decisiones, como las mesas de dinero.

Cabe resaltar que dentro de esta investigación, no se busca explorar modelos basados en estructuras ARCH y GARCH, ampliamente utilizados, teniendo en cuenta que están diseñados específicamente para modelar y predecir varianzas condicionales, lo que podría ser más útil para escenarios y para el análisis de riesgo en activos financieros; tampoco harán parte del análisis los modelos de inteligencia artificial caja negra, que, aunque proporcionan elementos predictivos importantes, no pueden reflejar una estructura útil que permita analizar las relaciones entre las variables de entrada y su salida.

Para cumplir con el objetivo del análisis propuesto, se realizará una exploración de la literatura reciente disponible, desarrollada alrededor de los determinantes de la tasa de cambio en Colombia y las formas de medir y predecir su comportamiento, para identificar las variables más importantes; una vez identificadas dichas variables, a través de herramientas de información como Bloomberg y/o las series estadísticas publicadas por el Banco de la República, se construirá una base de datos que las contenga a todas, durante el período que comprende el inicio del régimen de tipo de cambio

flexible en el país, que fue a finales de septiembre de 1999, hasta finalizado el primer trimestre del año 2017, período que corresponde al régimen vigente en Colombia.

También es importante incluir elementos de los análisis técnico y fundamental, para evaluar las variables identificadas, con la finalidad de encontrar los determinantes de la tasa de cambio y, de esta forma, depurar la base de datos para tener una selección de las variables más relevantes y así realizar una explicación de su comportamiento.

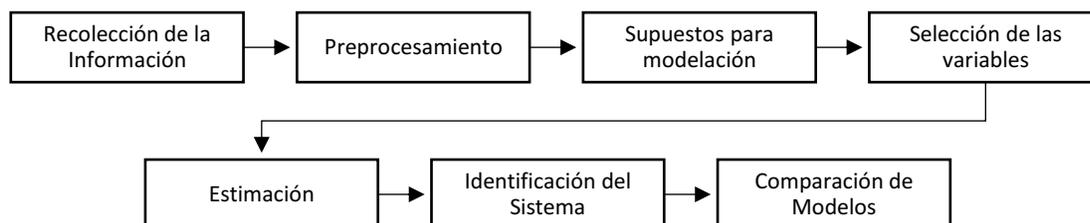
En cuanto a la variable objetivo (TRM), es relevante realizar un análisis sobre la condición flotante, con el fin de evidenciar en qué puntos de la serie existen choques de oferta y demanda, que no están siendo absorbidos por las variables que determinan su comportamiento.

Igualmente, se analizará qué tan pertinente puede ser dividir la serie en períodos más cortos, con el fin de facilitar el análisis para el modelo final; todo esto desde la perspectiva de la identificación de sistemas lineales, para esto se utilizará como base el libro *System Identification* (Söderström & Stoica, 2001) y el apoyo curricular de la denominada Modelación Experimental de los programas de Ingeniería Matemática y Maestría en Matemática Aplicada de la Universidad EAFIT, muy trabajada dentro del Grupo de Investigación en Modelado Matemático<sup>1</sup>. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra el proceso a utilizar en este trabajo.

---

<sup>1</sup> <http://envivo.eafit.edu.co/EnvivoEafit/?p=26928>

**Figura 1.** Proceso identificación de sistemas



Fuente: Elaboración propia, a partir de Söderström & Stoica (2001).

Posteriormente, una vez identificado el sistema, se construirán modelos matemáticos con las variables seleccionadas y se evaluará qué modelo es el más acertado para la predicción de la variable en diferentes períodos de tiempo y, de esta forma, elegir cuál puede ser una buena alternativa o herramienta de apoyo para la toma de decisiones.

Además, se presentarán conclusiones que llevarán a trabajos futuros en la temática, reuniendo para ello conceptos desde la administración financiera en combinación con análisis matemáticos.

Respecto a los objetivos secundarios serán resueltos en las diferentes secciones del trabajo, así:

La sección 0 será el escenario para la exploración de la literatura, con la que se pretende identificar las variables más importantes para entender el comportamiento de la TRM y, de igual forma, mostrar el estado del arte del tema central de esta investigación. Los numerales 0 y 0 recogerán la información y explicación de las series de tiempo recopiladas desde la perspectiva del análisis fundamental, además del pre procesamiento de las mismas; esta sección servirá igualmente para entender y finalmente seleccionar las variables más relevantes y significativas que serán incluidas

dentro de la estimación del sistema. En la sección 0 se agruparán los modelos a construir y su comparación. El análisis de los resultados y la elección del modelo que más se ajuste para la toma de decisiones, será desarrollado en la sección 6.4.

A continuación se presenta una breve reseña del marco teórico en el que se centra esta investigación, abordando los temas macro más importantes a los que se hace referencia; estos son el mercado de divisas colombiano y la identificación de sistemas utilizada como complemento al análisis fundamental y técnico.

#### **4 El mercado de divisas y la identificación de sistemas**

Entender el comportamiento de los activos financieros que se encuentran en la economía y la relación que existe entre ellos será siempre un tema importante de estudio y, de igual manera, las múltiples herramientas para la predicción del comportamiento de estos activos, enmarcadas en el análisis técnico y fundamental, que son utilizadas día a día por las organizaciones y agentes que componen los diversos mercados.

Más aun, a lo largo de la historia, modelos estadísticos y matemáticos han sido utilizados como apoyo para entender el comportamiento de la economía y las variables que la componen. En el caso de este trabajo, se pretende tomar una variable, la tasa de cambio en Colombia, que hace parte del mercado de divisas, y encontrar a través del uso de estos modelos, una forma de explicar su comportamiento para lograr una predicción.

---

Por lo anterior, el componente de “Identificación de Sistemas” ampliamente usado en teoría de control, es el elemento diferenciador de este trabajo, dado que se apropia como herramienta, y sus componentes metodológicos contribuyen al análisis fundamental y técnico en la solución al problema planteado.

#### **4.1 El mercado de divisas**

Las divisas son el grupo de monedas extranjeras que se utilizan en un país para la realización de actividades o transacciones a nivel internacional. El mercado de divisas es el intercambio, la venta y la compra de monedas extranjeras. Al ser un mercado, el precio de las divisas está determinado por la oferta y la demanda que existan sobre ellas (Subgerencia Cultural del Banco de la República, 2015).

En Colombia el mercado de divisas es el espacio donde se negocian todas las monedas diferentes al peso colombiano. La Resolución Externa N°8 (2000), establece que el mercado de divisas se bifurca en un mercado cambiario o regulado y en un mercado libre; de igual forma, la Ley 9 de 1991 establece que el mercado cambiario es conformado por las operaciones donde se transan divisas a través de los intermediarios del mercado cambiario (IMC), autorizados a través de cuentas de compensación o las divisas que se canalicen voluntariamente por el mismo; por otra parte, el mercado libre comprende todas las demás operaciones que no se hacen a través del mercado regulado. Las importaciones, exportaciones, endeudamiento externo, inversiones de capital del exterior en el país, inversiones de capital colombiano en el exterior, inversiones financieras en títulos o activos del exterior, avales y garantías en moneda extranjera y operaciones de derivados

---

son las operaciones obligatoriamente canalizables a través del mercado cambiario (Antoun & Trespalacios, 2015) .

La tasa de cambio, conocida como la tasa representativa del mercado (TRM), se calcula diariamente como el promedio ponderado de todas las operaciones de compra y venta de divisas, realizadas a través del mercado oficial.

Por ende, en el mercado colombiano los actores se distribuyen en Intermediarios del mercado Cambiario (IMC), el Estado y los inversionistas (personas naturales y jurídicas). En cuanto al primer grupo en la Resolución Externa N°8 (2000), se especifica que el grupo de IMC está conformado por los bancos comerciales, los bancos hipotecarios, las corporaciones financieras, las compañías de financiamiento, la Financiera de Desarrollo Nacional S.A., el Banco de Comercio Exterior de Colombia S.A. (Bancoldex), las cooperativas financieras, las sociedades comisionistas de bolsa y las sociedades de intermediación cambiaria y servicios financieros especiales.

Por otro lado, el sistema transaccional por el que se realizan todas las operaciones cambiarias realizadas por los IMC para cualquier tipo de cambio (contado o derivados), según la Resolución Externa N°4 (2009), es el SET-FX (Antoun & Trespalacios, 2015).

El Sistema Electrónico de Transacciones e Información del mercado de divisas SET-FX, administrado por Integrados FX S.A., es un mecanismo electrónico a través del cual las entidades afiliadas pueden mediante estaciones de trabajo conectadas a una red computacional, en sesiones de negociación, ingresar ofertas y demandas, cotizar y/o celebrar entre ellas las operaciones,

contratos y transacciones propias a su régimen legal en el mercado cambiario. (Bolsa de Valores de Colombia, 2017, p. 1).

Adicional a esto, los mercados administrados por SET-FX son: el Dólar Spot, que es transacción con modalidad de contado; Next Day a 1 y 2 días, que son transacciones que se hacen con plazo de cumplimiento de uno o dos días; y Mercado Forward, que son las transacciones que se hacen con un plazo mayor a tres días, que normalmente son plazos de 30, 60, 90, 180 y 360 días, de acuerdo a lo pactado.

## **4.2 Análisis fundamental y análisis técnico**

El análisis fundamental y el análisis técnico han sido los métodos más utilizados para definir el comportamiento de los activos financieros, identificando los factores determinantes y pronosticando posibilidades de proceder.

### **4.2.1 Análisis fundamental**

El análisis fundamental busca evaluar cuál será el precio de un activo en su futuro, fundamentado en el estudio de ciertos factores macro y micro que afectan la cotización de éste. Dentro de éstos, se encarga de estudiar el desempeño del entorno y actividades de las cuales depende el activo, tales como: crecimiento del sector, riesgos y balances generales, entre otras variables existentes que puedan afectarlo (Lawrence, 1997).

El uso de este método involucra factores de diversa índole que pueden afectar potencialmente la oferta y demanda de acciones. Algunos son:

- Económicos: en éstos se incluyen todas las variables macroeconómicas y microeconómicas que afectan el activo, por ejemplo, el PIB, la inflación, las tasas de interés, los precios del petróleo.
- Políticos: igualmente se incluyen elementos macroeconómicos de carácter político, como la regulación interna y externa de los países, los conflictos diplomáticos, entre otros.
- Psicológicos: en este elemento se pueden incluir la especulación, las expectativas de los inversionistas y la incertidumbre.

Según Gelfenstein (2015), con el análisis fundamental se determinan los puntos fuertes y débiles de la empresa, como por ejemplo: la solidez financiera (peso del patrimonio neto dentro del pasivo), la liquidez (si la empresa dispone de los fondos suficientes para ir atendiendo sus pagos), los gastos (viendo si la empresa es cada vez más eficiente y viene reduciendo sus gastos o si, por el contrario, sus gastos están descontrolados), la rentabilidad (sobre volumen de venta, sobre fondos propios, etc.)

A partir del comportamiento de los conceptos anteriores, se estima el comportamiento futuro de los beneficios, lo que determinará la posible evolución de la acción. Si los beneficios van a crecer, incluso más que la media del sector, lo lógico es que la acción se vaya revalorizando, mientras que si los beneficios están estancados o disminuyen, la cotización irá cayendo (Gelfenstein, 2015).

#### **4.2.2 Análisis técnico**

En el análisis técnico los precios de los activos financieros se mueven por tendencias generadas por las expectativas cambiantes de los inversores, en respuesta a diferentes factores, por lo tanto a través del comportamiento histórico de los activos, busca predecir su futuro (Lawrence, 1997).

Este método podría resumirse en tres supuestos: el primero de ellos es que el precio de los activos financieros recoge toda la información, el segundo es que el mercado se mueve por tendencias y por último que la historia se repite, bajo estos supuestos el análisis técnico busca pronosticar el precio futuro de los activos.

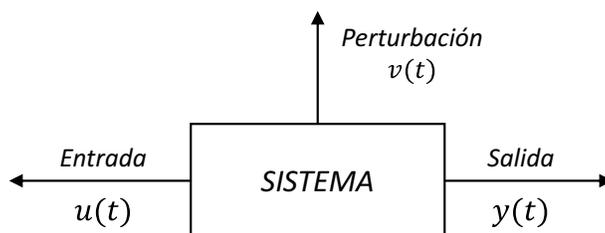
Además, el análisis técnico trata de anticipar los cambios de tendencia: si la acción está subiendo busca determinar en qué momento esta subida va a terminar y va a comenzar la caída, y viceversa. El análisis técnico utiliza charts (figuras de la evolución de la cotización) y diversos indicadores estadísticos que analizan las tendencias de los valores (Gelfenstein, 2015).

#### **4.3 Identificación de sistemas lineales**

La identificación de sistemas es el área de la modelación matemática y teoría de sistemas de control a partir de datos experimentales. Es un método ampliamente utilizado en muchas áreas, como la econometría, en el control y la ingeniería de sistemas; los métodos de identificación de sistemas se utilizan para obtener modelos apropiados para el diseño de algoritmos de predicción o la simulación. En aplicaciones de procesamiento de señales (como en comunicaciones, ingeniería geofísica e ingeniería mecánica), los modelos obtenidos por identificación de sistemas se utilizan para análisis espectral, detección de fallos, reconocimiento de patrones, filtrado adaptativo, predicción lineal y otros propósitos. Las técnicas de identificación de sistemas también se utilizan con éxito en campos técnicos como la biología, las ciencias ambientales y la econometría para desarrollar modelos que incrementen el conocimiento científico sobre el objeto identificado, o para la predicción y el control (Söderström & Stoica, 2001).

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Söderström & Stoica, 2001) muestra cómo funciona teóricamente la identificación de sistemas. El sistema es manejado por las variables de entrada  $u(t)$  y las perturbaciones  $v(t)$ ; el usuario puede controlar  $u(t)$  pero no  $v(t)$ , en algunas aplicaciones de procesamiento de datos, las entradas pueden estar ausentes; las señales de salida  $y(t)$  son variables que brindan información útil sobre el sistema.

**Figura 2.** Identificación de sistemas



Fuente: Elaboración propia, a partir de Söderström & Stoica (2001).

Los tipos de modelos según (Söderström & Stoica, 2001) son los siguientes:

- Modelos mentales, intuitivos o verbales: este tipo de modelo es el usado cuando se conduce un automóvil (al girar el volante el automóvil gira, al presionar el freno disminuye la velocidad, etc.).
- Figuras y tablas.
- Modelos matemáticos: referente a modelos y ecuaciones diferenciales. Estos modelos son adecuados para el análisis, la predicción y el diseño de sistemas dinámicos, reguladores y filtros.

---

Modelización matemática e identificación de sistemas (Söderström & Stoica, 2001)

Los modelos matemáticos de sistemas dinámicos son útiles en muchas áreas y aplicaciones.

Básicamente, hay dos formas de construir modelos matemáticos:

- Modelado matemático. Este es un enfoque analítico. Las leyes básicas de la física (como las leyes de Newton y las divisiones de equilibrio se utilizan para describir el comportamiento dinámico de un fenómeno o proceso).
- Identificación del sistema. Este es un enfoque experimental en donde se realizan algunas pruebas en el sistema; un modelo que se ajusta a datos registrados, asignando valores numéricos adecuados a sus parámetros.

Para la aplicación de la identificación del sistema, se realiza un experimento de utilización de algún tipo de señal de entrada, como un paso, una señal aleatoria, etc.; y observando su entrada y salida durante un intervalo de tiempo. Estas señales normalmente se registran en un almacenamiento masivo de la computadora para el procesamiento de información posterior. Luego se trata de ajustar un modelo paramétrico del proceso de las entradas y las salidas. El primer paso es determinar cierta forma de aproximación del modelo (por lo general, una ecuación de diferencia lineal de una orden). Como segundo paso, se usa algún método basado en estadísticas, para estimar los parámetros desconocidos del modelo (como los coeficientes en la ecuación diferencial). Por último, el modelo obtenido es entonces probado para ver si se debe considerar una estructura apropiada del sistema (Söderström & Stoica, 2001).

#### **4.4 Estructuras del modelo**

Posteriormente de determinar la aproximación del modelo y de usar un método basado en estadísticas, para estimar los parámetros desconocidos de dicho modelo, un siguiente paso importante en el procedimiento de la identificación de sistemas, es la selección de un conjunto posible de modelos para el proceso y la perturbación, considerando una estructura apropiada del sistema (Vélez S., 2016).

Para éstos las estructuras utilizadas, según Vélez S., son las siguientes (se usará la nomenclatura utilizada por el autor) donde,

- $u(t)$ : entradas del sistema
- $y(t)$ : salidas del sistema
- $e(t)$ : valor perturbación
- $(q)$  es el operador de retraso
- $A(q^{-1})$ ,  $B(q^{-1})$ ,  $C(q^{-1})$  y  $D(q^{-1})$ , son polinomios con respecto al operador de desplazamiento hacia atrás  $(q^{-1})$
- $\varepsilon(t)$ : error del modelo, error de predicción o residuo

-ARX: AutoRegressive models with eXogenous variables (Modelos autorregresivos con variables exógenas). En esta estructura se aplica el método de mínimos cuadrados, es útil si hay una buena relación entre ruido y señal. En esta estructura no se modela la perturbación.

#### **Ecuación 1**

$$y(t) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) + \frac{1}{A(q^{-1})} e(t)$$

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na} \quad B(q^{-1}) = b_1 q^{-1} + \dots + b_{nb} q^{-nb}$$

La estructura ARX también se puede realizar de forma regresiva:

**Ecuación 2**

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{na} y(t-na) = b_1 u(t-1) + \dots + b_{nb} u(t-nb) + e(t)$$

$$y(t) = \phi^T(t)\Theta + e(t) = \Theta^T \phi(t) + e(t)$$

**Ecuación 3**

$$\phi(t) = [-y(t-1) \dots -y(t-na) \quad u(t-1) \dots u(t-nb)]^T$$

$$\Theta = [a_1 \dots a_{na} \quad b_1 \dots b_{nb}]^T$$

-ARMAX: Viene de las siglas AutoRegressive Moving Average models (Modelos autorregresivos de media móvil con variable exógena). Es útil si la perturbación actúa por el canal de entrada.

**Ecuación 4**

$$y(t) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) + \frac{C(q^{-1})}{A(q^{-1})} e(t)$$

$$C(q^{-1}) = 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{nc} q^{-nc}$$

-ARMA: AutoRegressive Moving Average models (Modelos autorregresivos de media móvil), utilizado para series de tiempo.

**Ecuación 5**

$$y(t) = \frac{C(q^{-1})}{A(q^{-1})} e(t)$$

-AR: Para series de tiempo.

**Ecuación 6**

$$y(t) = \frac{1}{A(q^{-1})} e(t)$$

-MA: También usado para series de tiempo.

**Ecuación 7**

$$y(t) = C(q^{-1})e(t)$$

-Box-Jenkins: Se aplica a los modelos ARMA y ARIMA.

**Ecuación 8**

$$y(t) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) + \frac{C(q^{-1})}{D(q^{-1})} e(t)$$

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + \frac{A(q^{-1})C(q^{-1})}{D(q^{-1})} e(t)$$

$$y(t) + a_1 y(t - 1) + \dots + a_{na} y(t - na) = b_1 u(t - 1) + \dots + b_{nb} u(t - nb) + \varepsilon(t)$$

$$\hat{\varepsilon}(t) = y(t) - \hat{y}(t) = A(q^{-1})y(t) - B(q^{-1})u(t)$$

$\varepsilon(t)$  – Error del modelo, error de predicción o residuo

-ARIMA: Viene de las siglas Autoregressive Integrated Moving Average (Modelo autorregresivo integrado de media móvil), para series de tiempo.

**Ecuación 9**

$$y(t) = \frac{C(q^{-1})}{(1 - q^{-1}) A(q^{-1})} e(t)$$

-FIR: (Finite Impulse Response). Sirve para el procesamiento de señales.

**Ecuación 10**

$$y(t) = B(q^{-1}) u(t) + e(t)$$

-OE: (Output Error). Son modelos de ruido que no contienen la dinámica del proceso, los cuales se adicionan a la salida. No se modela la perturbación.

**Ecuación 11**

$$y(t) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) + e(t)$$

-ARARX:

**Ecuación 12**

$$y(t) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) + \frac{1}{A(q^{-1}) D(q^{-1})} e(t)$$

$$D(q^{-1}) = 1 + d_1 q^{-1} + \dots + d_{nd} q^{-nd}$$

-ARARX como una estructura ARX

**Ecuación 13**

$$y(t) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) + \frac{1}{A(q^{-1}) D(q^{-1})} e(t) = \frac{B(q^{-1}) D(q^{-1})}{A(q^{-1}) D(q^{-1})} u(t) + \frac{1}{A(q^{-1}) D(q^{-1})} e(t)$$

$$y(t) = \frac{B_1(q^{-1})}{A_1(q^{-1})} u(t) + \frac{1}{A_1(q^{-1})} e(t)$$

#### **4.5 Test de causalidad de Granger**

Granger en 1969 fue el primero en proponer un test de causalidad, en donde afirma que si una variable retardada está correlacionada con valores futuros de otra variable, se dice que “una variable es causa de la otra”, pero no sólo por esto existe causalidad, ya que es posible que una variable retardada se correlacione espuriamente con otra variable sólo porque es un indicador adelantado y no porque exista verdaderamente causalidad, por lo tanto se puede decir que la variable retardada no Granger causa a la otra (Montero, 2013).

Oxley & Greasley (1998) defienden que el test puede realizarse en dos versiones, igualmente para este caso también se respetará la nomenclatura utilizada por los autores, donde:

- $x_t$ : es el modelo utilizado para la primera variable
- $y_t$ : es el modelo utilizado para la segunda variable
- $u_t$  y  $v_t$ : corresponden a los residuos estimados de los modelos para  $x_t$  e  $y_t$  respectivamente.
- $m, n, q$  y  $r$ : son los retrasos que se estimen necesarios (generalmente se utilizan entre 1 y 5).
- $\alpha$  y  $\beta$ : son los parámetros estimados de los modelos  $x_t$  e  $y_t$  respectivamente.

1- Si las variables están cointegradas y no son estacionarias, debido a la súper consistencia de la estimación, se puede correr el siguiente modelo con las variables en estado:

**Ecuación 14**

$$x_t = \alpha + \sum_{i=1}^m \beta_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^n \gamma_j y_{t-j} + u_t$$

**Ecuación 15**

$$y_t = a + \sum_{i=1}^q b_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^r C_j X_{t-j} + v_t$$

Otro contraste alternativo es construir dos regresiones auxiliares restringidas (se llaman restringidas porque suponemos que un grupo de parámetros son cero, lo que equivale a eliminar las variables de la ecuación), en la forma:

**Ecuación 16**

$$x_t = \alpha + \sum_{i=1}^m \beta_i X_{t-i} + u_t$$

**Ecuación 17**

$$y_t = a + \sum_{i=1}^q b_i Y_{t-i} + v_t$$

2- Para testar la causalidad de series temporales no estacionarias pero cointegradas en el corto plazo, es comprobar si existe causalidad en el sentido de Granger entre las variables en diferencias, pero dada la no estacionariedad de las series, dicha correlación ha de ser corregida mediante el modelo de corrección de errores. Mediante los siguientes modelos:

**Ecuación 18**

$$\Delta x_t = \alpha + \sum_{i=1}^m \beta_i \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^n \gamma_j \Delta y_{t-j} + \delta \text{ECM}_{t-1} + u_t$$

**Ecuación 19**

$$\Delta y_t = a + \sum_{i=1}^q b_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{j=1}^r C_j \Delta X_{t-j} + d \text{ECM}_{t-1} + v_t$$

Donde  $\Delta$  representa la primera diferencia de la variable y donde ECMt es el mecanismo de corrección de errores, es decir, los residuos estimados de la ecuación:

**Ecuación 20**

$$y_t = a' + b'^{xt} + u_t$$

Este test se incluye en el análisis de las variables, dentro de los supuestos de modelación, de acuerdo a la identificación de sistemas (ver Figura 1), con el fin de evaluar la significancia de cada una de las variables dentro de las estructuras a evaluar; así únicamente se incluirán variables que muestren causalidad Granger con la TRM en cada uno de los períodos.

## **5 Estado del arte de los determinantes de la TRM**

En los últimos 50 años, Colombia abarca tres regímenes cambiarios diferentes:

- El primero establecido desde 1967 a 1991, caracterizado por un tipo de cambio fijo, que se ajustaba diariamente a la diferencia entre la inflación interna y externa, con el fin de mantener la paridad del poder adquisitivo, a través de un régimen de minidevaluaciones conocido como Crawling Peg.

-El segundo régimen que inició en 1991 y que estuvo en vigencia hasta enero de 1994, estuvo caracterizado por la fluctuación de la tasa de cambio al interior de una banda implícita, cuyo piso correspondió al descuento máximo (12.5%) sobre el precio de redención de los certificados de cambio; siendo estos “títulos denominados en dólares, emitidos por el Banco de la República y

con un plazo máximo de 90 días. Su rendimiento equivale a la devaluación durante el período de vigencia. Pueden ser adquiridos en la bolsa y, en caso necesario, vendidos en ésta o redimidos directamente en el Emisor durante su vigencia. No existe cuantía mínima para invertir. Alternativa muy utilizada por las empresas que desean protegerse del riesgo cambiario” (Revista Semana, 1999, p. 22). A partir de enero de 1994 se adoptó el sistema de Crawling Bands (Alonso, Cárdenas & Bernal, 1997).

-El tercer régimen inició el 25 de septiembre de 1999, cuando se decidió adoptar el tipo de cambio flexible, que consiste en la libre flotación de la tasa sin ningún tipo de piso o techo. Con este nuevo régimen, lo que se pretende es que la oferta y la demanda sean las encargadas de determinar la tasa de cambio en cualquier momento. Sin embargo, dejar flotar libremente la tasa de cambio puede implicar graves desequilibrios macroeconómicos, ya que no siempre el país lograría reaccionar eficazmente ante choques externos, es por esto, que para el caso colombiano, a partir del 2002 el régimen cambiario corresponde al de flotación sucia, que se caracteriza por darle a la entidad encargada, que es el Banco de la República, la oportunidad de intervenir en el mercado cuando lo crea indispensable, siguiendo una serie de reglas previamente establecidas (Alonso & Cabrera, 2004).

Cabe señalar, que este último régimen cambiario lleva cerca de dos décadas de vigencia en Colombia, y alrededor de esto se ha desarrollado bastante literatura en cuanto a técnicas y análisis, para entender el comportamiento de la tasa de cambio (TRM).

Para esto, Gaviria & Sierra (2003) aportan elementos teóricos y empíricos orientados a la explicación de los determinantes de la tasa de cambio nominal en Colombia. Mediante un modelo de corrección de errores establecen una relación de largo plazo entre la tasa de cambio nominal (TCN) y el comportamiento de variables reales, producto interno bruto doméstico (PIB) y foráneo (GNP), y monetarias, oferta monetaria doméstica (M) y foránea (MF) y tasa de interés doméstico (DTF).

Adicionalmente, Patiño & Alonso (2005), en su trabajo *Determinantes de la Tasa de Cambio Nominal en Colombia: Evaluación de pronósticos*, analizan la capacidad de predicción de cuatro modelos de tasa de cambio nominal para Colombia, durante el período 1984–2004, en el cual evalúan el poder predictivo de cada modelo, concluyendo que el más acertado es el camino aleatorio.

Asimismo, Franco, Gómez & Ramírez (2007), exponen las características relevantes de los diversos modelos que se han desarrollado a través de la historia, para explicar el comportamiento que presenta la tasa de cambio nominal. Realizan una aplicación empírica del modelo de precios rígidos de determinación de la tasa de cambio para la economía colombiana, mediante la técnica econométrica de cointegración. En éste concluyen que los resultados son consistentes con el modelo de precios rígidos en dos sentidos: el primero se fundamenta en el hecho de que las variables objeto de análisis están cointegradas, es decir, presentan una relación estable de largo plazo, tal y como lo establece el marco teórico, además dichas variables son parte fundamental del vector de cointegración, según se deduce de los resultados de las pruebas de exclusión.

Igualmente, en el estudio alrededor de los determinantes de la tasa de cambio en Colombia, realizado por Secretaría Distrital de Desarrollo Económico (2010), titulado *Determinantes de la TRM, Análisis de las Fuentes de Oferta y Demanda en el Mercado de Divisas*, se pueden encontrar algunas de las variables que se usan para explicar el comportamiento tendencial de la TRM y los principales determinantes de su volatilidad.

Además, el trabajo *La tasa de cambio nominal: una aproximación desde la oferta y la demanda de divisas*, realiza un modelo teórico siguiendo la metodología keynesiana de la demanda de dinero. Diferencia entre los determinantes de corto y de largo plazo (Montoya, 2011).

De igual manera, Azañero (2012) en *Dinámica del Tipo de Cambio: Una Aproximación desde la Teoría de la Micro Estructura del Mercado*, analiza algunos de los determinantes del tipo de cambio, para el caso peruano, a partir de modelos básicos de microestructura de mercado.

A la par, Montoya (2013) estudia el problema de la determinación del tipo de cambio en Colombia, basado en dos trabajos anteriores, y utiliza el modelo keynesiano de demanda de dinero e introduce la intervención del Banco de la República en el mercado de divisas, como variable explicativa. El trabajo concluye que la variable de intervención no es significativa como determinante del tipo de cambio.

Otros autores como Murcia & Rojas (2013), analizan los resultados de una encuesta de microestructura dirigida a los agentes del mercado cambiario y se consideran las variables de microestructura analizadas en su modelo y los determinantes calificados con los mayores puntajes,

---

teniendo en cuenta la cobertura y la legitimidad de la información, publicada por el Banco de la República, en *Determinantes de la tasa de cambio en Colombia: un enfoque de microestructura de mercados*. Este trabajo aporta elementos muy importantes en la identificación de las variables más relevantes y las clasifica en dos grupos: de corto plazo y las de mediano y largo plazo.

También Antoun & Trespalacios (2015), presentan una investigación acerca de los determinantes que afectan el tipo de cambio nominal entre peso colombiano y dólar. Realizan un estudio histórico del comportamiento de la divisa, la caracterización del mercado para entender su funcionamiento, los actores que participan y el producto que se transa. Este trabajo busca relacionar algunos choques importantes de oferta y demanda con la tasa de cambio, sin embargo, no se incluyen como variables para determinar el comportamiento de la tasa de cambio. La coyuntura local e internacional fue considerada como una variable representativa para determinar el comportamiento del tipo de cambio en Colombia; llegaron a esta conclusión después de analizar el comportamiento histórico del tipo de cambio peso-dólar entre 1907 y 2014, y los principales acontecimientos que tuvieron lugar en Colombia y en el Mundo en dicho período de tiempo. En 2001 se adoptó en Colombia el régimen de tipo de cambio flotante; algunos de los acontecimientos más relevantes para Antoun & Trespalacios (2015), son: el fin de los diálogos de paz en Colombia en 2002, crisis financiera internacional hipotecaria en 2008, signos de recuperación económica en EEUU en 2014, reducción del 60% del precio del petróleo.

Luego de esta breve reseña de los trabajos explorados, y con el fin de dar solución al primer objetivo específico referente a la identificación de las variables más importantes, que influyen en

el comportamiento de la tasa de cambio en Colombia, mediante la exploración teórica, se puede deducir que los determinantes de la tasa de cambio se pueden agrupar en dos grandes grupos: los de corto y los de mediano y largo plazo.

El primer grupo está compuesto por aquellos determinantes que hacen parte de lo que se denomina microestructura del mercado, tema ampliamente explorado por (Azañero, 2012), (Murcia & Rojas, 2013) y (Antoun & Trespalacios, 2015), de los cuales se rescatan como determinantes:

- Liquidez (LIQUIDEZ): entendida como la diferencia entre el precio más alto de compra y más bajo de venta del dólar diariamente en el mercado. A mayor liquidez en el mercado, menor la diferencia.
- Profundidad (PROFUNDIDAD): la cantidad total de órdenes de compra y venta diarias en el mercado.
- Volumen (TRM VOL): cantidad total de dólares negociados diariamente.
- Posición Propia (PP): exposición cambiaria definida como la diferencia entre los activos y pasivos denominados en moneda extranjera.
- Posición Propia de Contado (PPC): diferencia entre los activos y pasivos denominados en moneda extranjera, excluyendo las operaciones de derivados y algunas inversiones.
- Posición Bruta de Apalancamiento (PBA): suma de los derechos y obligaciones en las operaciones a término y de futuro, operaciones de contado y contingencias por opciones.

Y en el segundo grupo, que son los determinantes a mediano y largo plazo, se encuentran las variables fundamentales de la economía:

- 
- Precio de Commodities (Petróleo): se eligen como variables a incluir tanto el WTI y BRENT teniendo en cuenta que son los dos indicadores más reconocidos.
  - PIB Nacional (PIB COL): Producto Interno Bruto de Colombia.
  - PIB Estados Unidos (PIB EEUU): Producto Interno Bruto de Estados Unidos.
  - Tasas de Interés locales: se eligen tasas de referencia como la DTF, la tasa de Colocación y la tasa de intervención del Banco de la República (DTF, I COLOC COL, INTERÉS COL respectivamente).
  - Tasas de interés del exterior: se tiene en cuenta la tasa de intervención de la reserva federal de Estados Unidos (INTERÉS EEUU).
  - La balanza en Cuenta Corriente (CTA CTE COL): entendida como la diferencia entre nivel de ahorro e inversión de la economía.
  - Nivel de precios local (IPC COL): que representa la inflación en Colombia.
  - Nivel de precios Extranjero (IPC EEUU): representado en la inflación de Estados Unidos.
  - Otras monedas de la región (LACI): se toma como referencia el índice LACI que es un índice que recoge el comportamiento del dólar en Latinoamérica.
  - Índice del Dólar (DXY): es un índice que promedia el dólar americano con las principales monedas del mundo, con la información provista por alrededor de 500 bancos (Banco de la República, 2014).
  - Euro (USDEUR): moneda legal de la comunidad económica europea.
  - Los bonos del tesoro americano (T10Y y T5Y): considerados como activos refugio ante el incremento en la percepción del riesgo Internacional.

- El Índice VIX (VIX): que mide las expectativas del mercado en cuanto a la volatilidad del mercado.
- Los Índices bursátiles de la Bolsa de valores de Colombia: se eligen como variables el COLCAP y el IGBC.
- La Oferta monetaria tanto interna como externa (M1 COL y M1 EEUU).
- La inversión extranjera directa (IED).

En total, se determinaron 28 variables para ser utilizadas en la identificación del sistema; con dichas variables se busca construir modelos lineales que puedan brindar elementos concretos útiles para la toma de decisiones, por parte de los agentes del mercado, que día a día se enfrentan a la incertidumbre de la tasa de cambio en Colombia.

De igual manera, la exploración de la literatura ha sido de utilidad para evidenciar que aún no existe un modelo lo suficientemente amplio para capturar y explicar la dinámica de la TRM, por esto es que a través de la identificación de sistemas lineales se pretende cerrar esta brecha y encontrar al menos un modelo que logre capturar la complejidad de la variable objetivo, para agregar una serie de elementos que, apoyados en un análisis financiero basado en la experiencia, sean útiles para la toma de decisiones.

---

## 6 Resultados

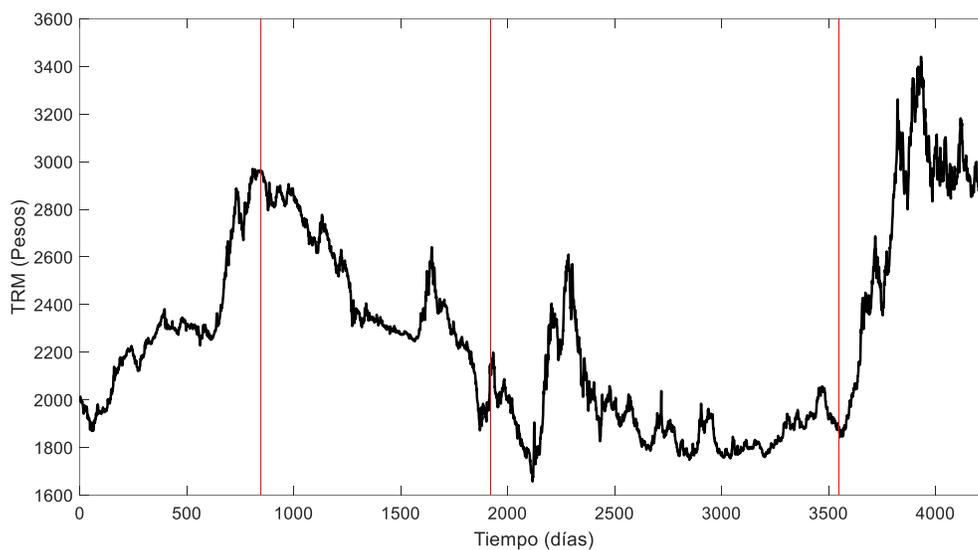
### 6.1 Planificación experimental

Antes de iniciar con el proceso de identificación de sistemas para la TRM, utilizando como referencia el esquema planteado en la Figura 1, se pretende determinar si a partir de las variables identificadas en el estado del arte, es posible explicar el comportamiento de la tasa de cambio en Colombia, incluyendo también el análisis financiero.

Iniciando por un análisis visual de la serie de tiempo para la variable objetivo (TRM), de manera cualitativa, se pueden identificar claramente cuatro tendencias: entre 1999 y 2003 es creciente, decreciente entre 2003 y 2008, lateral y con algunas perturbaciones importantes entre 2008 y 2014 y, por último, creciente nuevamente a partir de 2014. Algunos cambios en la tendencia pueden ser explicados por eventos importantes que se registraron en esos años y el efecto directo que tuvieron sobre la variable objetivo. Es necesario validar que estos períodos cumplen con características propias de estacionalidad o distribución.

Tomando en cuenta lo anterior, es importante dividir la serie de tiempo en cuatro períodos como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, por medio de barras rojas verticales.

**Figura 3. Períodos TRM**



Fuente: Elaboración propia, en MATLAB con datos de Banco de la República (2017).

Luego de realizar la exploración de la literatura se pudo recoger información para 38 variables, que se describen en la Tabla 1 y se dispone de información entre el 27 de septiembre de 1999 y el 31 de marzo de 2017.

La elección del período completo de análisis coincide con el inicio de la etapa de libre flotación del dólar, adoptado por el Banco de la República el 25 de septiembre de 1999. Los datos recopilados corresponden a los días hábiles en los que se transa la divisa en el mercado colombiano, lo que equivale a 4.203 observaciones para cada una de las variables identificadas.

**Tabla 1.** Períodos TRM

<b>Período</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones</b>
I	Desde 27 de septiembre de 1999 hasta el 19 de marzo 2003	846
II	Desde 20 de marzo de 2003 hasta 22 de agosto 2007	1.074
III	Desde 23 de agosto 2007 hasta 26 de junio de 2014	1.628
IV	Desde 27 de junio de 2014 hasta 31 de marzo 2017	655

Fuente: Elaboración propia, con información de Banco de la República (2017).

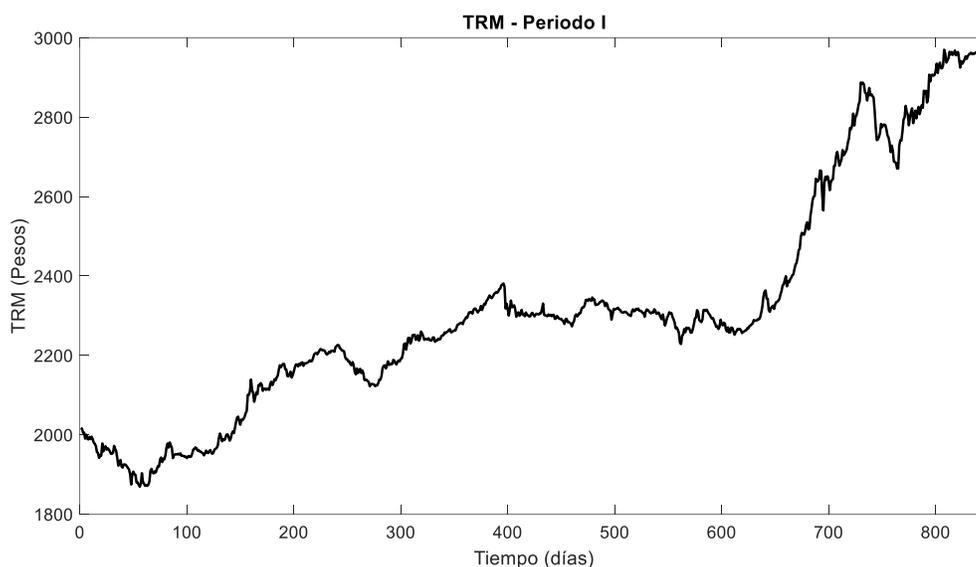
A continuación se aborda cada período por separado y se realiza un análisis fundamental de cada uno, describiendo los eventos económicos y políticos más importantes que marcaron cada período, explicado desde la perspectiva de la TRM y los posibles efectos que estos acontecimientos pudieron tener sobre esta variable.

### **6.1.1 Período I: desde 27 de septiembre de 1999 hasta el 19 de marzo 2003**

La serie de la TRM se caracteriza por una tendencia ascendente durante todo el período, y coincide con el inicio del régimen que actualmente funciona en Colombia, de libre flotación de la tasa de cambio, esto se da en los últimos años de la administración del presidente Andrés Pastrana Arango y el inicio de la presidencia de Álvaro Uribe Vélez en 2002.

Fue un período marcado por el rompimiento del proceso de paz entre el gobierno de Colombia y la guerrilla de las FARC, ocurrido en Febrero de 2002, la elección del presidente Álvaro Uribe Vélez en Mayo de 2002, y el fortalecimiento de las relaciones comerciales con el gobierno de Venezuela durante el año 2003. Se puede observar en la Figura 4:

**Figura 4. TRM - Período I**



Fuente: Elaboración propia en MATLAB con datos de Banco de la República (2017).

En esta época, la economía local atravesaba por un ciclo económico desfavorable en términos de crecimiento económico (-4.2% en 1999 según cifras del Banco Mundial), explicado por la disminución del crédito interno, el aumento del desempleo, el deterioro de las cuentas estatales, y el aumento de la cartera vencida; no obstante, las exportaciones se mantuvieron, gracias a los precios del petróleo y al dinamismo del sector cafetero.

Según los resúmenes macroeconómicos de los informes de cifras y gestión de la DIAN, finalizando la década de los 90, el gobierno colombiano obtuvo recursos del Fondo Monetario Internacional y de otras entidades multilaterales, con el objetivo de recuperar la economía a partir del año 2000.

Adicionalmente, a pesar que para el año 2000 algunos indicadores macroeconómicos como el PIB, la inflación y la tasa de cambio mejoraron, en el año 2002 y a principios de 2003, el crecimiento económico se desaceleró, explicado por la disminución de la demanda de Estados Unidos por los productos nacionales, el bajo crecimiento del crédito interno y la disminución de la demanda interna. Estos dos años estuvieron marcados por la finalización del proceso de paz, la intensificación del conflicto armado, por el período electoral, además se presentó un cambio significativo en la composición de la balanza comercial, con una disminución de las ventas nacionales en el exterior. La economía colombiana estuvo acompañada de un entorno internacional complicado, caracterizado por la caída de los precios internacionales del petróleo y el café.

También cabe señalar que, la junta directiva del Banco de la República, en su informe al Congreso de la República del año 2000, dejó flotar la tasa de cambio a finales de Septiembre de 1999, debido a que el anterior régimen era insostenible en el tiempo, explicado por los desequilibrios macroeconómicos, insuficiente financiamiento externo, incertidumbre asociada a la crisis financiera internacional y a la pérdida de credibilidad del sistema cambiario anterior.

Según la JDBR (Junta Directiva del Banco de la República), el momento para permitir la libre flotación de la tasa de cambio fue el más adecuado, y así lo demuestra su estabilidad desde que se adoptó el nuevo régimen hasta el mes de Marzo del año 2000. Colombia no fue el único país latinoamericano en adoptar el régimen de libre flotación, también lo hicieron Chile, Brasil y Ecuador.

Así mismo, la balanza de pagos en el año 1999 presentó un balance deficitario de US\$1,252 m (1.5% del PIB), las exportaciones de bienes crecieron 6.3% gracias al dinamismo del sector petrolero. Las exportaciones de café, oro y carbón presentaron caídas durante 1999, debido a la disminución en los precios internacionales y el menor crecimiento de las economías vecinas.

Luego, en el año 2000, la TRM se caracterizó por una tendencia a la devaluación, debido a los anuncios del financiamiento externo público, las privatizaciones, el entorno político y los precios de los bienes de exportación. El mercado cambiario se dinamizó gracias a la flexibilización por parte de la JDBR, al permitir la participación de un número mayor de agentes locales y extranjeros, además de autorizar a las sociedades comisionistas de bolsa para actuar como intermediarios del mercado cambiario. Las operaciones de cobertura se liberaron y se permitió a los residentes de Colombia realizar operaciones de derivados financieros peso-dólar.

Al finalizar el año 2001, la tasa representativa del mercado marcó una tendencia devaluacionista en el primer semestre del año y revaluacionista en el segundo semestre, debido al incremento de la oferta de divisas de los principales agentes del mercado cambiario y las operaciones cambiarias realizadas por el sector real de la economía.

Finalmente, las operaciones de cobertura de los fondos de pensiones, el aumento de las remesas de los trabajadores colombianos en el exterior, la política de reducción de tasas de interés de Estados Unidos y la participación de las casa de cambio en el mercado de los IMC, generó un aumento en la oferta de divisas para el período de Enero a Abril del año 2002, lo que creó un impacto revaluacionista. A partir de mayo la TRM inició un período devaluacionista, debido al

---

aumento de la demanda de recursos del sector real para inversiones en el exterior, la disminución de oferta de dólares a futuro de los fondos de pensiones y la inestabilidad política de la región (Banco de la República, 2000).

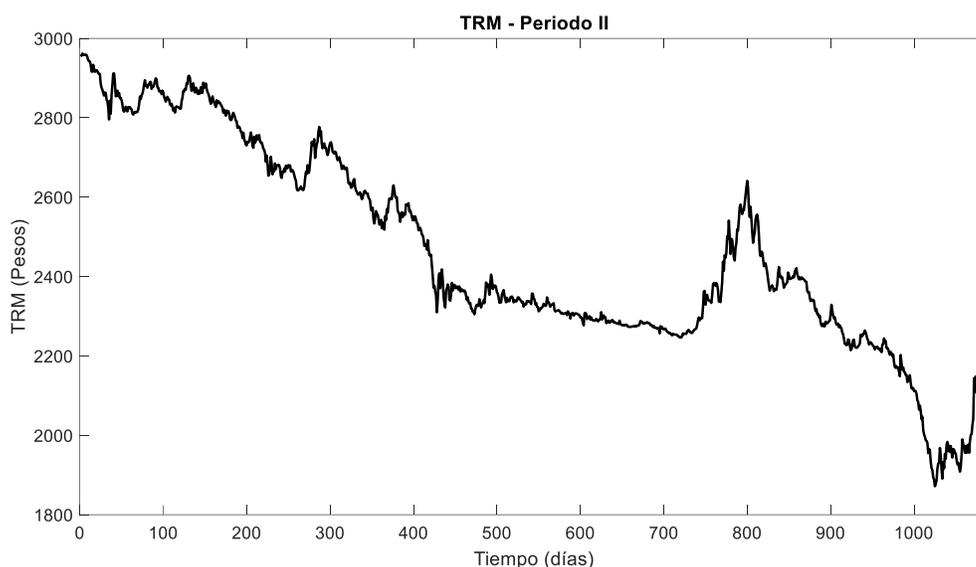
### **6.1.2 Período II: desde 20 de marzo de 2003 hasta 22 de agosto 2007**

Caracterizado por una tendencia bajista en la TRM, debido al aumento de las remesas de colombianos en el exterior, el incremento de la inversión extranjera directa, explicada por la seguridad jurídica y la política de seguridad democrática del entonces presidente Álvaro Uribe Vélez.

Para este período el ciclo económico estuvo marcado por altos crecimientos económicos históricos, del 6.8% para el año 2006 y superior al 7% en 2007, gracias al dinamismo de los sectores construcción, comunicaciones, comercio e industria manufacturera. Aumento de las reservas internacionales, fortalecimiento de la balanza comercial y los términos de intercambio con la zona andina, debido al mejoramiento de las economías de países como Venezuela y Ecuador.

Este período fue dinámico para las exportaciones, gracias al comportamiento del sector minero y cafetero. Puede verse en la Figura 5.

**Figura 5. TRM - Período II**



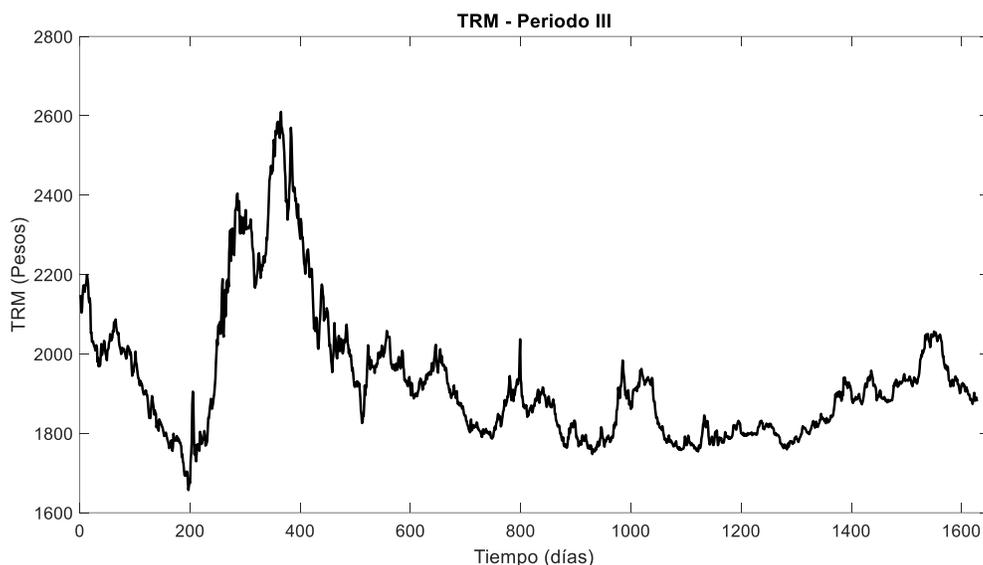
Fuente: Elaboración propia en MATLAB con datos de Banco de la República (2017).

### **6.1.3 Período III: desde 23 de agosto 2007 hasta 26 de junio de 2014**

En el año 2007 se presentó una apreciación real del peso colombiano debido al mejoramiento del sector productivo, las remesas de trabajadores colombianos en el exterior, el incremento de la inversión extranjera directa y las menores primas de riesgo país.

Después, para el año 2008, el peso colombiano se depreció respecto al dólar, debido a mejoras en los términos de intercambio gracias al comportamiento de los principales productos de exportación como el café, petróleo y carbón. El grado de confianza del país generó dinamismo en los flujos de inversión extranjera y esto puede verse en la Figura 6.

**Figura 6.** TRM - Período III



Fuente: Elaboración propia en MATLAB con datos de Banco de la República (2017).

Adicionalmente, las condiciones del entorno internacional se presentaron desfavorables, debido a la crisis del sector financiero en Estados Unidos, así como la crisis hipotecaria y las menores expectativas de crecimiento de países industrializados como Japón, Rusia y la comunidad europea. La crisis diplomática de Colombia con sus vecinos, Venezuela y Ecuador, generó impactos negativos en la balanza comercial y en el crecimiento económico, para ese año la economía colombiana presentó desaceleración y se situó en el 2.5%.

En los años siguientes, el precio del petróleo se fortaleció y llegó a máximos históricos de más de 100 USD por barril, generando “estabilidad” en el comportamiento de la tasa de cambio.

#### **6.1.4 Período IV: desde 27 de junio de 2014 hasta 31 de marzo 2017**

Período en el que predomina la coyuntura internacional, la recuperación de la economía de los Estados Unidos y la desaceleración en otros países, se vio reflejada en el fortalecimiento del dólar frente a las demás economías, desarrolladas y emergentes. En 2014 se observó una depreciación, por ejemplo, del yen de 13,6%, del euro de 13,5% y de la libra esterlina de 6% frente al dólar de los Estados Unidos. Por el lado de la economía latinoamericana todas las monedas se depreciaron: el peso argentino 31,2%; el peso colombiano 24,2%; el peso chileno 15,3%; el peso mexicano 12,7%; el real brasilero 12,6%, y el sol peruano 6,9%. Durante 2014 el Banco de la República realizó compras en el mercado cambiario por 4.057,6 millones de dólares mediante el mecanismo de subastas de compra directa, bajo el programa de compra de reservas internacionales. Al cierre del año las reservas internacionales brutas alcanzaron 47.328,1 millones de dólares (Banco de la República, 2015); la caída del precio del petróleo a niveles inferiores de 50 USD por barril, entre 2015 y 2016, la desaceleración de las economías de los principales socios comerciales y el incremento del costo del financiamiento externo, debido al aumento de la prima de riesgo país.

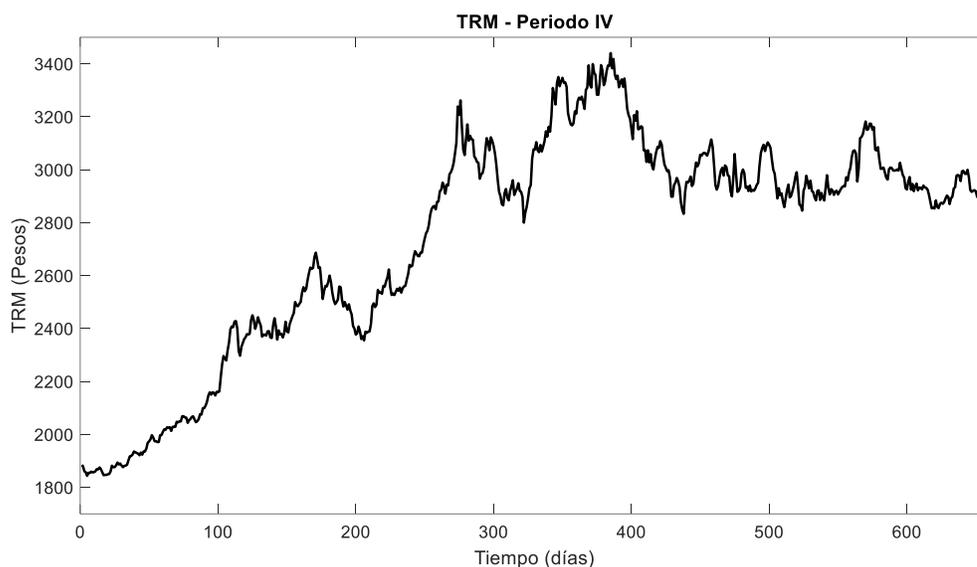
En cuanto al ámbito interno, se presentaron factores desfavorables como el fenómeno del Niño en 2015 y 2016, y paro camionero en junio y julio de 2016.

Asimismo, en lo que va de 2017, el dólar estadounidense se ha debilitado frente a las principales monedas y frente a las de países emergentes, principalmente por los anuncios del recién electo presidente de los Estados Unidos, Donald Trump, en materia económica y política, que hacen más

cerrada a esta economía y generan la depreciación de su moneda (Banco de la República, 2017).

Ver Figura 7.

**Figura 7.** TRM - Período IV



Fuente: Elaboración propia en MATLAB con datos de Banco de la República (2017).

## 6.2 Los datos

De la exploración teórica, se identificaron 28 determinantes del comportamiento de la TRM, que se dividen en dos grupos: determinantes de corto plazo y fundamentales económicos (mediano y largo plazo).

Como determinantes de corto plazo, se encuentran todas las variables relacionadas con los elementos de microestructura del mercado cambiario: volumen, liquidez, profundidad, etc. Y por el lado de los fundamentales económicos o de mediano y largo plazo, la cuenta corriente (entendida

como la diferencia entre nivel de ahorro e inversión de la economía), las tasas de interés (interna y externa), términos de intercambio (precio del petróleo), niveles de precios (inflación Colombia e inflación Estados Unidos), los agregados monetarios, el producto interno bruto, etc. (Murcia & Rojas, 2013).

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se describen las variables identificadas, la periodicidad de la base de datos y la fecha de inicio de cada una. La fecha final del período de análisis es el 31 de marzo de 2017.

**Tabla 2.** Variables identificadas

<b>Nom</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>NOMBRE VARIABLE</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Fecha Inicio</b>	<b>Fecha Fin</b>
u1	TRM VOL	Volumen Negociado TRM	Diaria	27/03/2007	31/03/2017
u2	LIQUIDEZ	Liquidez	Diaria	27/09/1999	31/03/2017
u3	PROFUNDIDAD	Sumatoria de órdenes de venta y compra	Diaria	27/09/1999	31/03/2017
u4	PP	Posición Propia	Diaria	27/09/1999	31/03/2017
u5	PPC	Posición Propia de Contado	Diaria	7/11/2000	31/03/2017
u6	PBA	Posición Bruta de Apalancamiento	Diaria	29/05/2007	31/03/2017
u7	WTI	Precio del Petróleo WTI	Diaria	27/09/1999	31/03/2017
u8	BRENT	Precio del Petróleo BRENT	Diaria	27/09/1999	31/03/2017
u9	CTA CTE COL	Saldo en Dólares de la Cuenta Corriente Colombia	Trimestral	31/03/2000	31/03/2017
u10	IPC COL	Inflación Colombia	Mensual	27/09/1999	31/03/2017
u11	INTERÉS COL	Tasa de Interés Colombia	Mensual	27/09/1999	31/03/2017
u12	IPC EEUU	Inflación Estados Unidos	Mensual	27/09/1999	31/03/2017
u13	DXY	Índice DXY	Diaria	27/09/1999	31/03/2017
u14	INTERÉS EEUU	Tasa de Interés Estados Unidos	Mensual	27/09/1999	31/03/2017
u15	LACI	Índice LACI	Diaria	27/09/1999	31/03/2017
u16	USDEUR	Precio Dólar - Euro	Diaria	27/09/1999	31/03/2017
u17	T10y	Tasa Bonos del tesoro EEUU 10 Años	Diaria	27/09/1999	31/03/2017
u18	T5y	Tasa Bonos del tesoro EEUU 5 Años	Diaria	27/09/1999	31/03/2017
u19	VIX	Índice VIX	Diaria	27/09/1999	31/03/2017
u20	COLCAP	Índice COLCAP	Diaria	15/07/2002	31/03/2017
u21	PIB EEUU	PIB Estados Unidos	Trimestral	27/09/1999	31/03/2017
u22	PIB COL	PIB Colombia	Trimestral	27/09/1999	31/03/2017
u23	M1 COL	Agregado Monetario M1 Colombia	Semanal	27/09/1999	31/03/2017

u24	M1 EEUU	Agregado Monetario M1 Estados Unidos	Semanal	27/09/1999	31/03/2017
u25	IGBC	Índice General de la Bolsa de Colombia	Diaria	3/07/2001	31/03/2017
u26	IED	Inversión Extranjera Directa	Trimestral	27/09/1999	31/03/2017
u27	DTF COL	Tasa de Interés DTF	Semanal	27/09/1999	31/03/2017
u28	I COLOC COL	Tasa de Interés de Colocación	Mensual	27/09/1999	31/03/2017

Fuente: Elaboración propia, con información de Banco de la República (2017).

Conjuntamente, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las variables que sólo están disponibles en fechas posteriores al período de análisis elegido. Estas variables sólo serán tenidas en cuenta en los períodos en los que se cuente con la información completa, con el fin de evitar introducir ruidos innecesarios al modelo mediante la manipulación de los datos.

**Tabla 3.** Variables con información no disponible

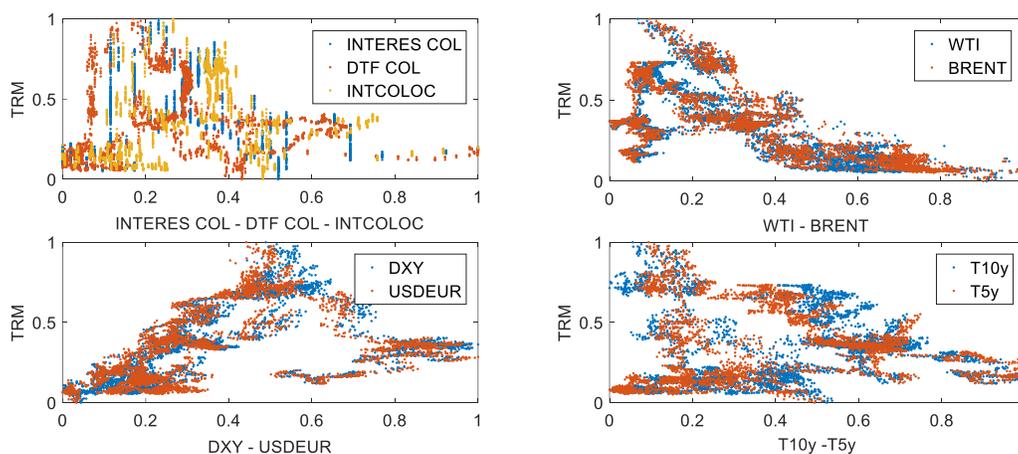
Nom	Variable	Periodicidad	Obs. no Disponibles	% Serie
u1	TRM VOL	Diaria	1825	43.4%
u9	CTA CTE COL	Trimestral	125	3%
u20	COLCAP	Diaria	676	16.1%
u25	IGBC	Diaria	425	10.1%
u5	PPC	Diaria	269	6.4%
u6	PBA	Diaria	1865	44.4%

Fuente: Elaboración propia, con información de Banco de la República (2017).

De las variables con información completa se puede evidenciar, luego de un análisis de correlación, que algunas variables están altamente correlacionadas entre sí (superior al 90%), este es el caso de las variables identificadas como petróleo (u7 y u8), tasas de interés en Colombia (u11, u27 y u28), Índices de Divisas (u13 y u16) y las variables de los Bonos del Tesoro Americano (u17 y u18).

Por lo tanto, el análisis de curvas de linealidad, en el que se evalúa el comportamiento de variables altamente correlacionadas contra la variable de salida, trabajadas de forma estandarizada con el fin de facilitar el entendimiento, se puede evidenciar que las variables asociadas al Petróleo (u7 y u8), por ejemplo, tienen un comportamiento muy similar, indicando de esta forma que una variable puede explicar adecuadamente a otra, ya que afecta de igual manera la variable de salida (TRM). En la Figura 8 se pueden observar las curvas de linealidad de algunas de las variables altamente correlacionadas en relación con la variable objetivo.

**Figura 8.** Curvas de linealidad variables altamente correlacionadas



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Por lo anterior, únicamente se tendrán en cuenta las variables u7, u13, u17 y u11 y se descartarán las variables u8, u16, u18, u27 y u28, dejando el conjunto de variables de entrada en 23.

A continuación se realiza un análisis por separado de los períodos, en el cual se tendrá en cuenta un análisis de correlación para las variables que aplicarían en cada uno y el test de causalidad de

Granger, para encontrar la significancia de las variables candidatas a ser incluidas en los diferentes modelos, y así decidir qué variables pueden ser incluidas en las estructuras que se evaluarán más adelante.

### **6.2.1 Período I**

El análisis de este período se realiza con 845 observaciones, con 23 variables identificadas en la exploración teórica, de las cuales sólo se consideran 13 para esta etapa, debido a que las variables con observaciones no disponibles presentadas en la Tabla 3, serán eliminadas para evitar ruidos adicionales o efectos negativos con la experimentación de los datos. De acuerdo al estadístico Jarque-Bera, las series no se distribuyen de forma normal, exceptuando el u7. Las distribuciones de las 13 variables son leptocurticas con sesgos heterogéneos.

Por otra parte, a través de un análisis de correlación y causalidad, realizado a través de la “Prueba de Causalidad de Granger”, se eliminan para este período cuatro (4) variables, las cuales son:

- u11: tasa de interés de referencia en Colombia.
- u15: índice que reúne el comportamiento de las monedas latinoamericanas.
- u23: agregado monetario en Colombia.
- u5: posición propia.

Dichas variables tienen una alta correlación con la variable objetivo (exceptuando la variable u5), sin embargo la prueba de causalidad de Granger muestra para los cuatro casos, que la hipótesis nula de no Granger causalidad con la TRM, no se puede rechazar con un nivel de confianza del 95%.

Cabe resaltar, que variables como  $u_{13}$ ,  $u_{26}$  y  $u_7$ , que representan el índice del dólar con relación a las monedas más importantes, la inversión extranjera directa y el precio del petróleo, respectivamente, y que en la literatura muestran gran importancia con la variable objetivo, tienen correlaciones muy bajas con respecto a la variable de la TRM. Por ejemplo, la variable  $u_7$  históricamente ha mostrado una relación inversa muy alta con el nivel del dólar en Colombia, sin embargo, para estos primeros años del régimen de tipo de cambio flexible, no muestra la misma relación, de esto es importante destacar que la división de la serie en períodos más cortos para realizar el análisis es de mucha utilidad.

### **6.2.2 Período II**

El análisis para este período incluye 1.074 observaciones para todas las variables seleccionadas, y sólo se tendrán en cuenta 16 de las 23 identificadas, al igual que en el período (I), se excluyen las variables que no cuentan con la información completa:

- $u_1$ : volumen diario negociado en el mercado.
- $u_6$ : posición bruta de apalancamiento.

De acuerdo al estadístico Jarque-Bera, las series no se distribuyen de forma normal. Las distribuciones de las 16 variables son leptocurticas y en su mayoría presentan sesgos positivos.

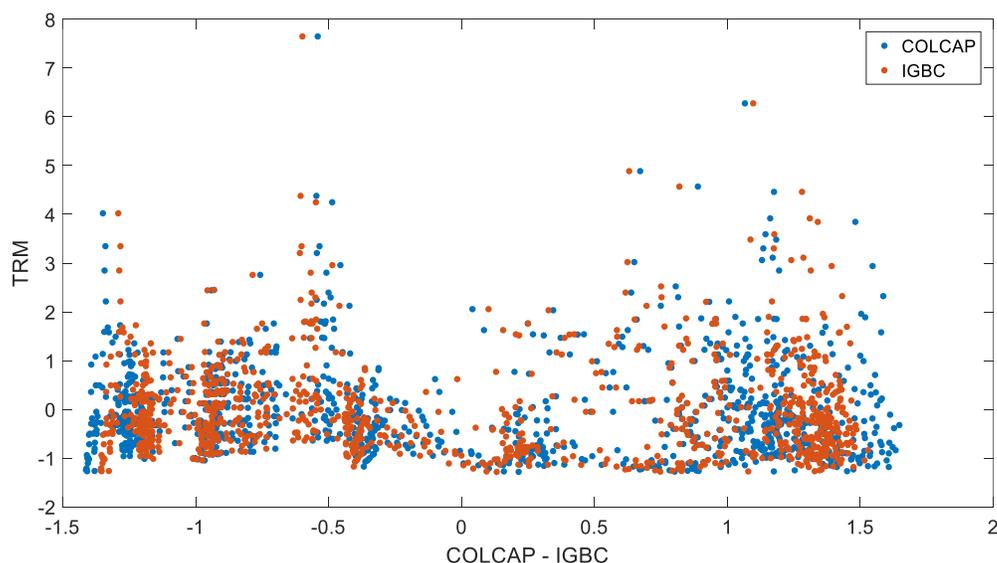
Adicionalmente, en el análisis de causalidad realizado, se identificaron que cuatro (4) variables pueden ser descartadas, dado que no cuentan con una fuerte correlación o no cuentan con la información relevante para descartar la prueba de causalidad de Granger, en este caso fueron:

- $u_{15}$ : índice que reúne el comportamiento de las monedas latinoamericanas.

- u22: producto interno bruto de Colombia.
- u21: producto interno bruto de Estados Unidos.
- u19: índice que refleja la volatilidad implícita de las opciones sobre el S&P 500.

Por otro lado, a través del análisis de correlación, se identificó una alta correlación positiva de 0.9972 entre el u25 y el u20, que son los índices de referencia para el mercado accionario en Colombia. Al analizar la curva de linealidad (Figura 9), se puede observar que influyen sobre la variable de la TRM de forma similar, por lo que no es necesario incluir ambas en el modelo, entonces se elige la variable u20, teniendo en cuenta que actualmente es el índice de referencia de los diferentes agentes en el mercado.

**Figura 9.** Curva de linealidad variables - Período II



Fuente: Elaboración propia, 2017.

### **6.2.3 Período III**

Este período inicia el 22 de agosto de 2008 y tiene la mayor cantidad de información, 1.628 observaciones; donde se identificaron 23 variables en la literatura, las cuales cuentan con la información completa, sin embargo, únicamente se incluyen 18 variables.

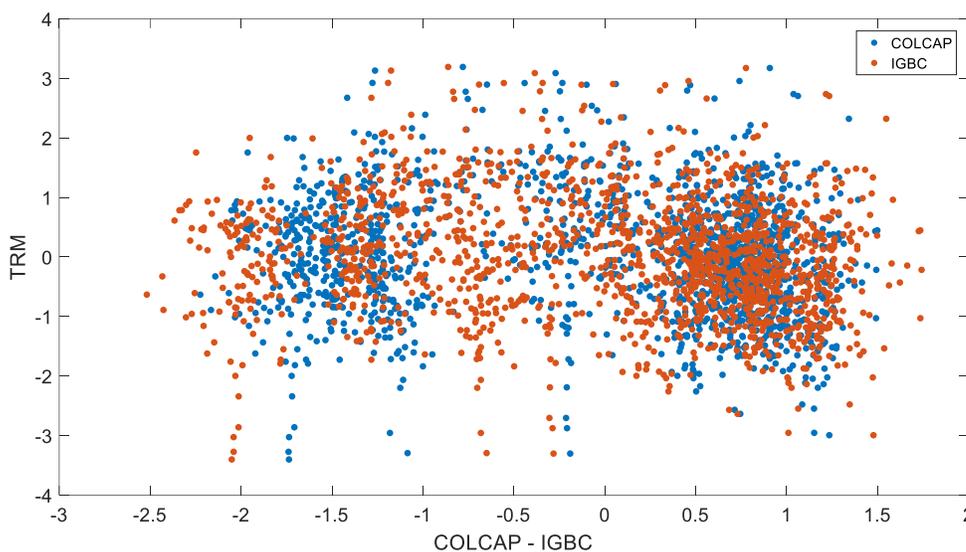
De acuerdo al estadístico Jarque-Bera las series no se distribuyen de forma normal, exceptuando el u13. Las distribuciones de las 18 variables son leptocurticas y en su mayoría presentan sesgos positivos.

Además, la prueba de causalidad de Granger sirvió para identificar 4 variables que no tienen relación en este lapso de tiempo con la variable de salida (TRM):

- u10: inflación en Colombia.
- u15: índice que reúne el comportamiento de las monedas latinoamericanas.
- u2: representa la diferencia entre la tasa más alta de compra y la tasa más baja de venta del mercado de dólar en Colombia.
- u19: índice que refleja la volatilidad implícita de las opciones sobre el S&P 500.

Al igual que en el período anterior (período II), en la Figura 10 se puede observar que las variables u20 e u25 tienen una alta correlación positiva de 0.9806; y luego de realizar la curva de linealidad entre ambas variables, se puede afirmar que las dos generan el mismo efecto sobre la variable de salida (TRM), por lo que no es necesario incluirlas a ambas en el modelo; por esta razón sólo se incluirá u20 como variable, tanto para este período como para el período IV, teniendo en cuenta que en el mercado actualmente se toma el índice u20 como referencia.

**Figura 10.** Curva de linealidad variables - Período III



Fuente: Elaboración propia, 2017.

#### **6.2.4 Período IV**

Para el último período se cuenta con 656 observaciones y se han elegido 18 variables de entrada de las 23 identificadas.

De acuerdo al estadístico Jarque-Bera, las series no siguen una distribución normal, exceptuando la u3. Las distribuciones de las 18 variables son leptocurticas y en su mayoría presentan sesgos positivos.

La prueba de causalidad de Granger muestra que 5 variables en este período no Granger causan la variable de salida (TRM), estas son:

- u20: índice COLCAP

- u13: índice del dólar con respecto a las monedas más importantes.
- u25: índice general de la bolsa de valores de Colombia.
- u22: inflación Estados Unidos.
- u5: posición Propia de Contado.

En este período se destaca la alta correlación positiva entre las variables u7 y u15 de 0.8733, teniendo en cuenta que la variable u15 representa el comportamiento del dólar en Latinoamérica, por lo que se esperaría que la relación fuera inversa, al igual como se da entre petróleo y el Dólar en Colombia, representado por la variable objetivo (TRM) o el índice del Dólar con respecto a las monedas más fuertes del mundo (u13).

### **6.3 Modelos lineales**

Para la construcción de los modelos lineales, se utilizará el System Identification Toolbox de Matlab versión R2016a. A través de esta herramienta, se pueden realizar las simulaciones para 4 de las estructuras planteadas anteriormente y en las cuales estará enfocado este trabajo, teniendo en cuenta que son las estructuras que mejor se adaptan a series de dominio temporal.

- ARX y ARX con Ruido (ARIX)
- ARMAX y ARMAX con Ruido (ARIMAX)
- BJ y BJ con Ruido
- OE

Con el fin de tener un mejor manejo de las series de tiempo para cada período y tener información estandarizada, se utiliza el método de normalización:

**Ecuación 21**

$$x' = \frac{x_i - \min}{\max - \min}$$

Donde:

- $x'$ : es el valor de la variable  $x$  normalizado
- $x_i$ : es el valor de cada una de las observaciones
- $\min$ : es el valor mínimo de la variable  $x$  para el período evaluado
- $\max$ : es el valor máximo de la variable  $x$  para el período evaluado

De esta forma se logra que todas las variables estén dentro del rango (0 - 1)

### **6.3.1 Período I**

- Modelos ARX

La primera estructura que se considera es un ARX, estructura autorregresiva con entrada exógena, los modelos planteados muestran un ajuste superior al 95%, tanto para los datos de estimación como de validación, sin embargo, del comportamiento de los residuales y la autocorrelación se obtienen variaciones significativas en los niveles de confianza (99%), lo que indica que se debe cambiar la estructura agregando ceros o verificando el retardo.

De esta manera, al aumentar o eliminar el retardo, se generan cambios significativos en el nivel de significancia y aumenta la incertidumbre del modelo. El paso a seguir es cambiar el número de ceros para la estimación.

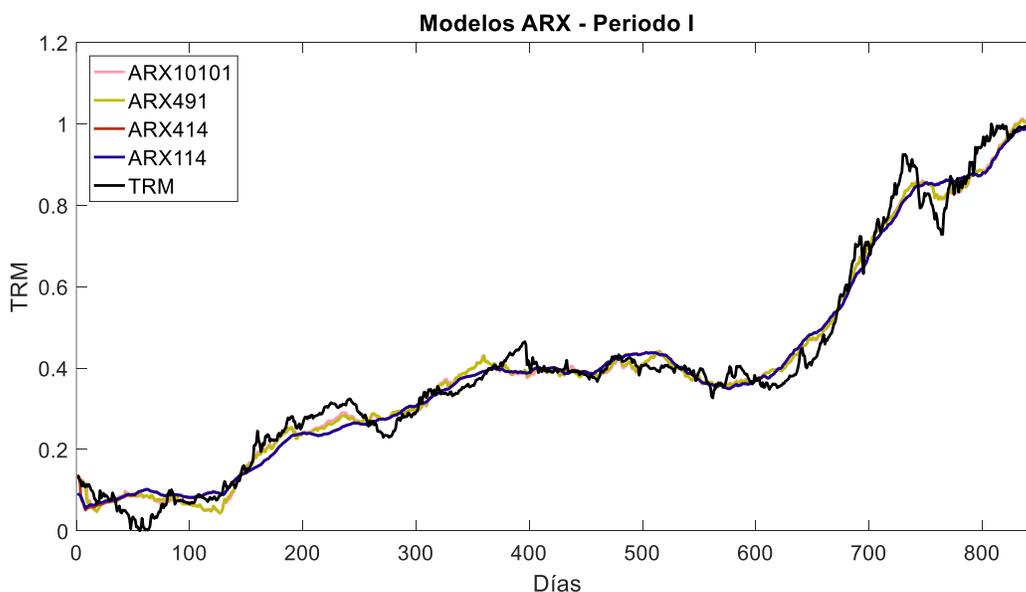
Las estructuras de orden cero fueron las que mejor comportamiento mostraron, sin embargo, sólo hasta el rezago 10 (ARX10101) se puede evidenciar el mejor ajuste para esta estructura, que no es muy acorde a la realidad de la variable que se está analizando (TRM).

**Tabla 4.** Modelos ARX Período I

<b>Modelo</b>	<b>MSE</b>	<b>FPE</b>	<b>Ajuste</b>
ARX114	0.0001035	0.0001073	96.03%
ARX414	0.0010200	0.0001073	96.06%
ARX491	0.0000878	0.0001197	96.34%
ARX10101	0.0000859	0.0001229	96.38%

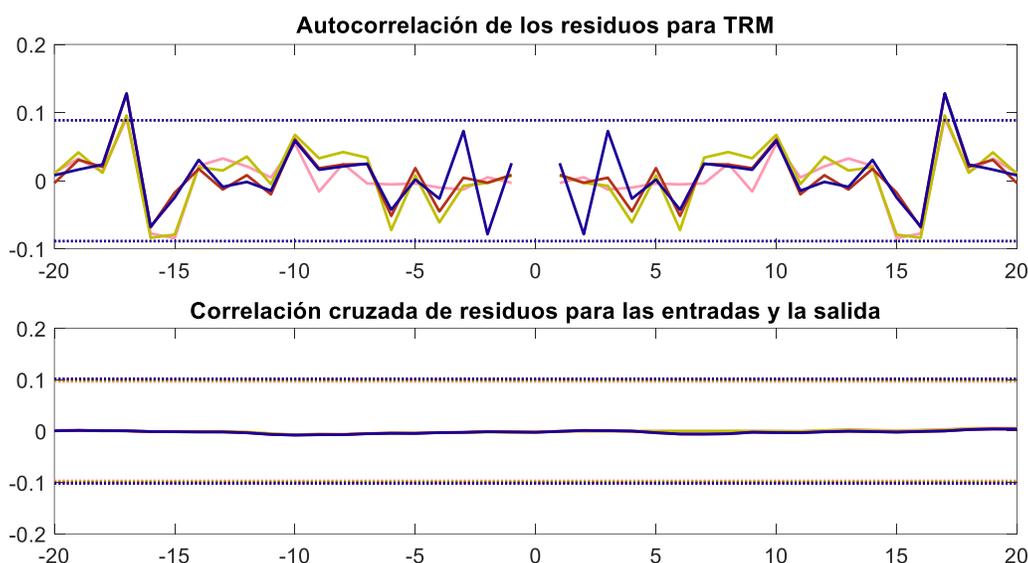
Fuente: Elaboración propia datos de Banco de la República (2017).

**Figura 11.** Modelos ARX Período I



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 12.** Comportamiento de los residuos – Modelos ARX Período I



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Con el fin de mejorar las soluciones dadas de la estructura ARX, se considera la inclusión de la media móvil (MA), para agregar un impulso de respuesta infinita al impulso que corresponde a la estructura ARMAX. Al realizar este cambio, el comportamiento de la autocorrelación entre residuos mejora, como se muestra en el Figura 14.

Adicionalmente, al incluir el factor de integración, el ajuste del modelo no muestra mejoría en su ajuste, por lo que no se consideran estructuras con este ruido en el período I.

- Modelos ARMAX

De estas estructuras cabe resaltar que al incluir el factor de media móvil, se puede observar que el ajuste del modelo mejora considerablemente y el efecto se reduce a 5 días (ARMAX5551 y

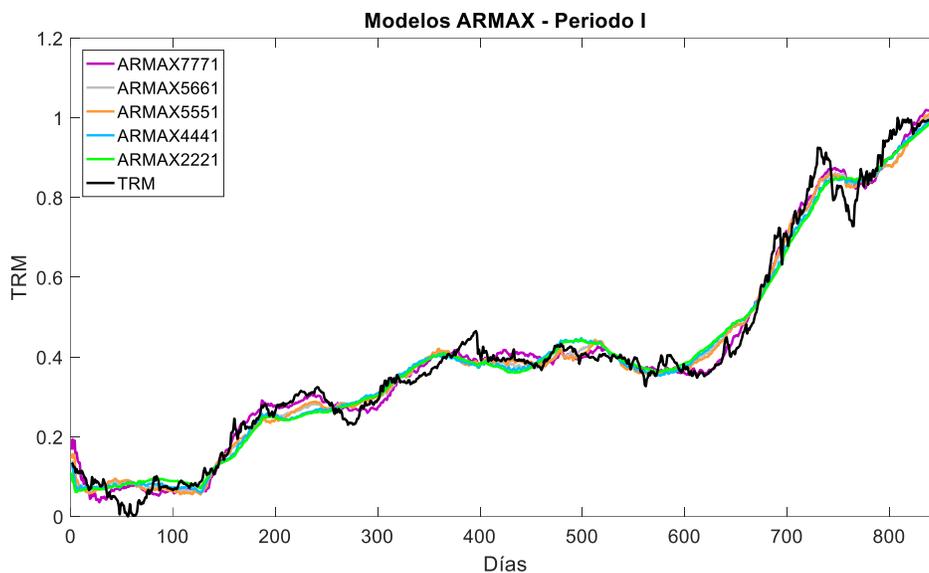
ARMAX5661), de igual forma, que con los modelos ARX, al considerar la estructura con factor de integración (ARIMAX) el ajuste del modelo no muestra mejoría.

**Tabla 5.** Modelos ARMAX Período I

<b>Modelo</b>	<b>MSE</b>	<b>FPE</b>	<b>Ajuste</b>
ARMAX2221	0.0001005	0.0001084	96.09%
ARMAX4441	0.0000952	0.0001107	96.19%
ARMAX5551	0.0000933	0.0001128	96.23%
ARMAX5661	0.0000920	0.0011530	96.26%
ARMAX7771	0.0000799	0.0001043	96.51%

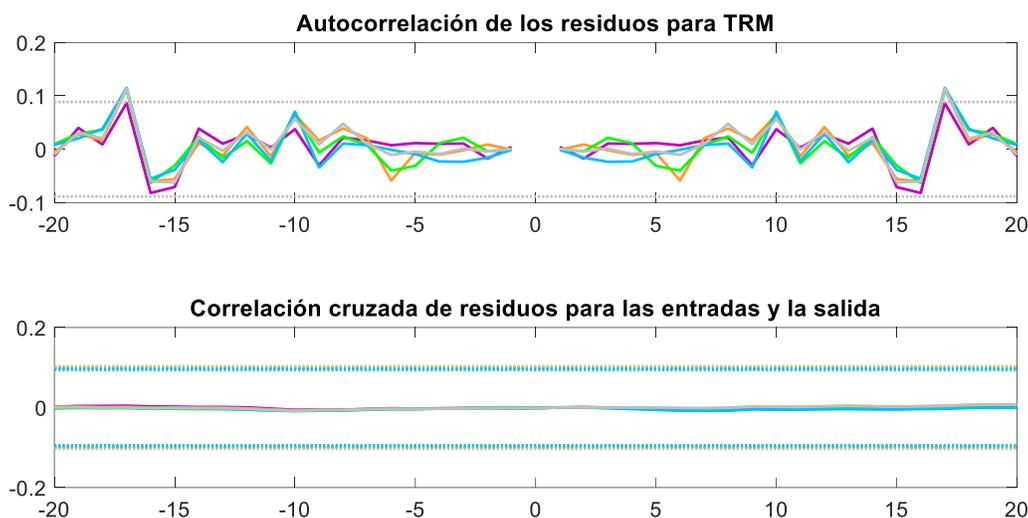
Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 13.** Modelos ARMAX Período I



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 14.** Comportamiento de los residuos – Modelos ARMAX Período I



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Modelos OE y BJ

Las estructuras Output Error (OE) no muestran un buen comportamiento al momento de estimar y validar el comportamiento de la TRM, como se pudo observar con las estructuras ARX y ARMAX. Para estos modelos el mejor resultado se obtuvo con el modelo OE911 con un ajuste de 87.76%, sin embargo, el término de error (MSE) es muy alto en comparación con las demás estructuras ya mencionadas y el comportamiento de los residuos no es apropiado.

Las estructuras OE no muestran un buen comportamiento al incluir una perturbación que es directamente un ruido blanco, es decir, que la perturbación no está filtrada, lo que genera que el ajuste de los modelos no tenga las propiedades adecuadas.

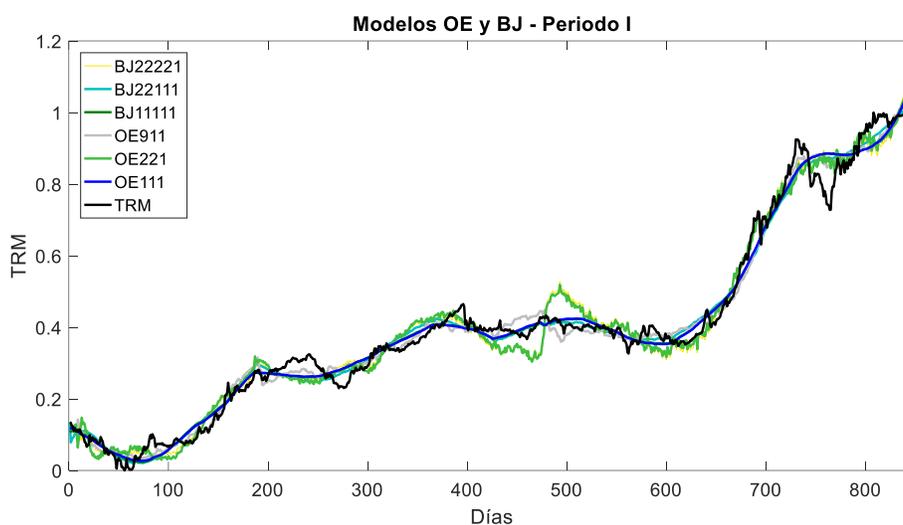
En cuanto a la estructura Box Jenkins, se obtuvo un mejor comportamiento, sin embargo en ningún escenario superan los ajustes obtenidos en las estructuras ARX y ARMAX. En este caso el mejor modelo fue BJ22110, donde se da un ajuste del 96.01% y un muy buen comportamiento de los residuos.

**Tabla 6.** Modelos OE y BJ Período I

<b>Modelo</b>	<b>MSE</b>	<b>FPE</b>	<b>Ajuste</b>
OE111	0.0011150	0.0012230	86.97%
OE221	0.0016950	0.0020400	83.94%
OE911	0.0009832	0.0017950	87.76%
BJ11111	0.0001061	0.0001172	95.98%
BJ22110	0.0001043	0.0001194	96.01%
BJ22221	0.0001895	0.0002314	94.63%

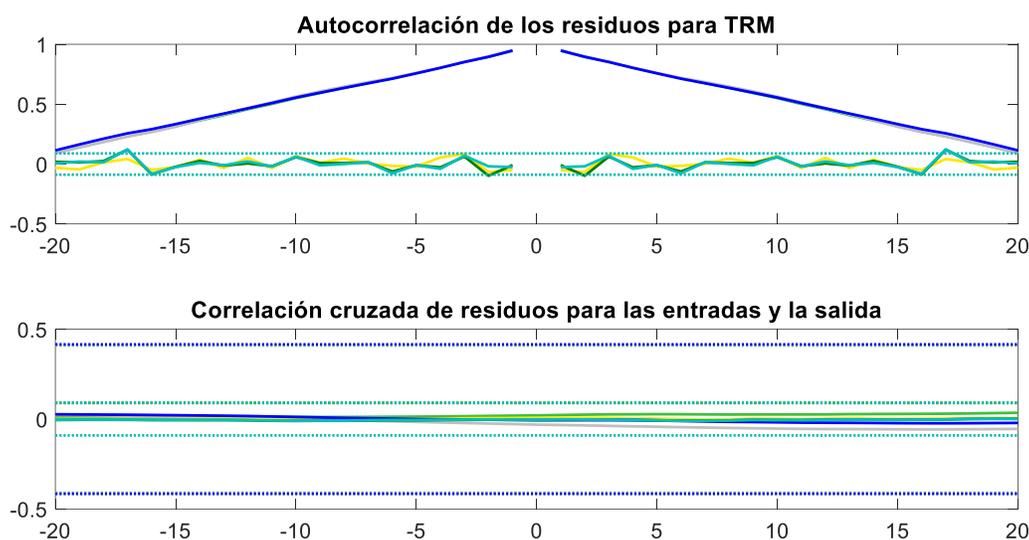
Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 15.** Modelos OE y BJ – Período I



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 16.** Comportamiento de los residuos – Modelos OE y BJ - Período I



Fuente: Elaboración propia, 2017.

### 6.3.2 Período II

#### - Modelos ARX

Al evaluar, para este período, las estructuras ARX que mostraron mejor ajuste y comportamiento de residuales en el período I, se puede evidenciar problemas en el comportamiento de los residuos y en el ajuste de los modelos en algunas de ellas, para el caso de la ARX114 y ARX414 en el período II, el ajuste disminuye a niveles inferiores del 95%, aumento del error cuadrático medio y el comportamiento de los residuales también muestra un comportamiento menos estable.

Las mejores estructuras evidenciadas para este período muestran ajustes inferiores, pero cercanos al 95% (ver Figura 17) y se evidencian los mejores resultados con estructuras diferentes a las

evaluadas para el período I. Cabe resaltar que estos primeros resultados demuestran que abordar el análisis de la serie de TRM por períodos separados es de gran importancia.

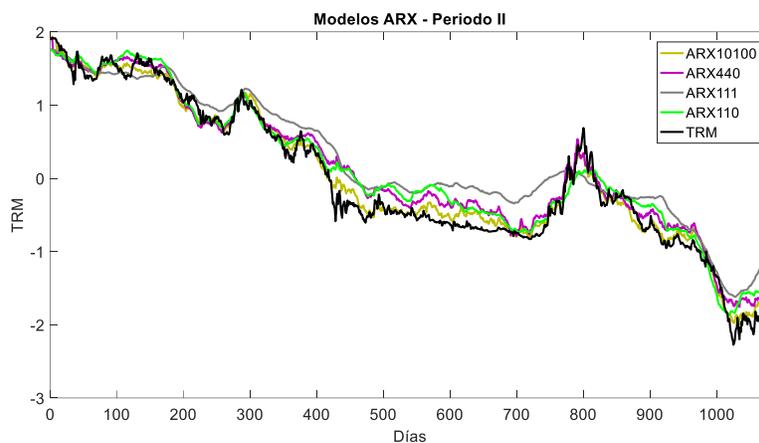
Igual que en el primer período, las estructuras que mejor comportamiento presentaron fueron las de orden cero y el mejor ajuste se logra con un número alto de rezagos, en este caso 10 (ARX10100). Este resultado sigue indicando que el precio del dólar hoy depende de lo ocurrido hace 10 días, lo que, nuevamente hace evidente la falta de coherencia del modelo con la dinámica real de la variable.

**Tabla 7.** Modelos ARX Período II

<b>Modelo</b>	<b>MSE</b>	<b>FPE</b>	<b>Ajuste</b>
ARX110	0.002397	0.002479	95.10%
ARX111	0.002568	0.002655	94.93%
ARX440	0.001927	0.002204	95.61%
ARX10100	0.001684	0.002362	95.89%

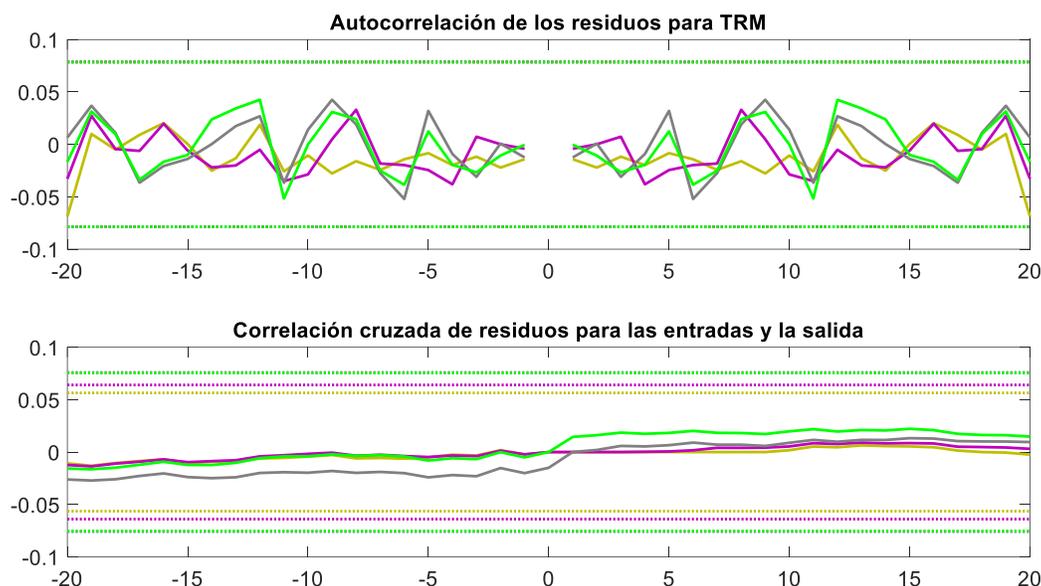
Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 17.** Modelos ARX Período II



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 18.** Comportamiento de los residuos – Modelos ARX Período II



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Modelos ARMAX

Al incluir la media móvil (MA) en los modelos para este período, no se evidencia una mejoría significativa en los ajustes respecto a los modelos ARX.

La estructura con mejor ajuste es de orden cero con un número medio de 5 rezagos (ARMAX 5551), lo que indica que un cambio en las entradas tiene un efecto en cinco días y un impulso de respuesta infinita, igualmente, de 5 días en la tasa representativa del mercado (TRM). Como en los demás resultados, vemos que la estructura que presenta el mejor ajuste no es la que refleja de mejor manera el comportamiento de la variable de salida.

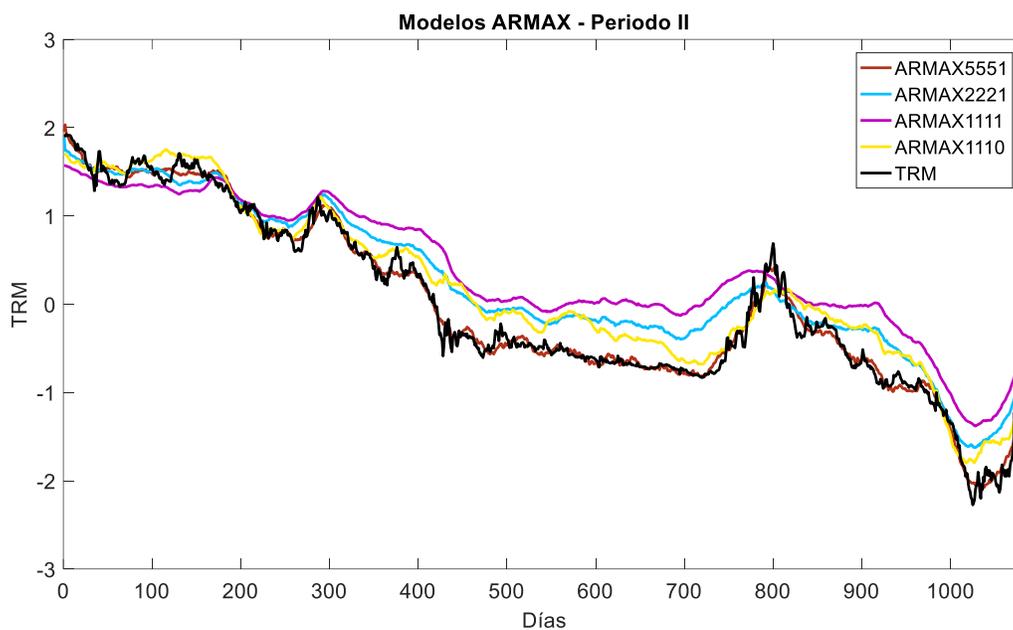
Cabe resaltar que para este período las estructuras ARIMAX, que incluyen el factor de integración no muestran buenos resultados, por lo que no serán incluidas en este período.

**Tabla 8.** Modelos ARMAX Período II

<i>Modelo</i>	<i>MSE</i>	<i>FPE</i>	<i>Ajuste</i>
ARMAX1110	0.002401	0.002487	95.10%
ARMAX1111	0.002569	0.002661	94.93%
ARMAX2221	0.002521	0.002706	94.98%
ARMAX5551	0.002120	0.002532	95.39%

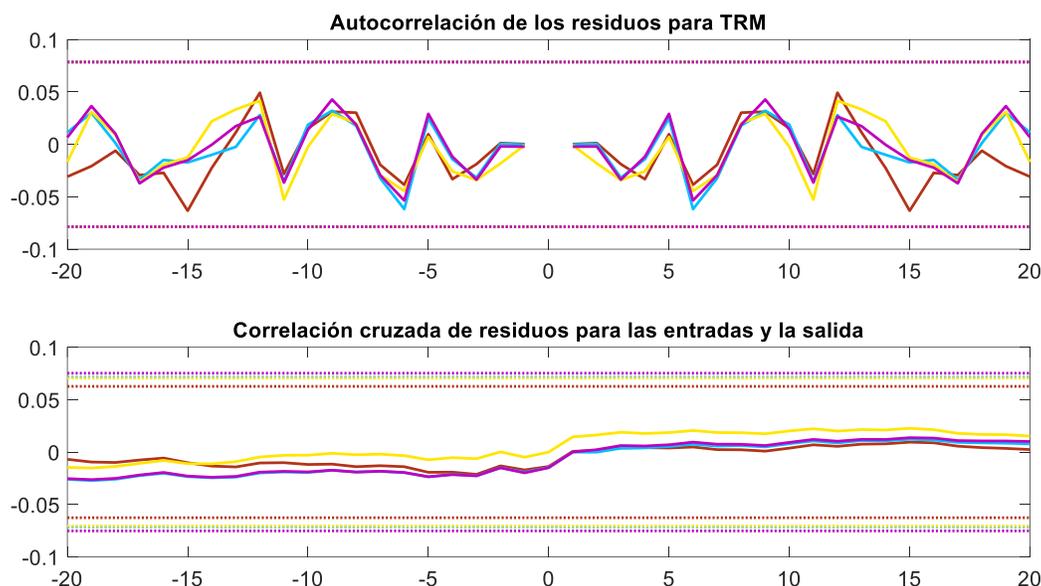
Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 19.** Modelos ARMAX Período II



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 20.** Comportamiento de los residuos – Modelos ARMAX Período II



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Modelos OE y BJ

Los ajustes de las estructuras Output Error (OE) en el período II son los más bajos de las estructuras evaluadas y disminuyeron respecto a los del período I, aunque el número de rezagos disminuyó significativamente de un período a otro (de 9 a 1); la variación negativa en el ajuste sirve para determinar que esta estructura no es la más adecuada para estimar y validar el comportamiento de la variable de salida; como se mencionó anteriormente, esto se debe a que el modelo incluye una perturbación ruido blanco. Para este período la estructura que resultó con el mejor ajuste fue OE121 con el 73.68%. El comportamiento de los residuos muestra problemas y el término de error es grande en comparación con los demás modelos.

Para el caso de la estructura Box Jenkins (BJ), el comportamiento continuo se presenta más ajustado al de las estructuras (OE), no obstante, los ajustes siguen siendo inferiores a los evidenciados en las estructuras ARX y ARMAX. Para el período II la estructura que obtuvo el mejor ajuste fue BJ11110, con buen comportamiento de los residuos. El valor del ajuste perdió significancia respecto a los obtenidos en el primer período, sin embargo, los valores de los residuos y de los retardos son coherentes con el comportamiento que la variable de salida muestra en el día a día. La estructura BJ pueden ser un buen candidato para entender la dinámica de la TRM, sin embargo, como se puede observar en la , 2017.

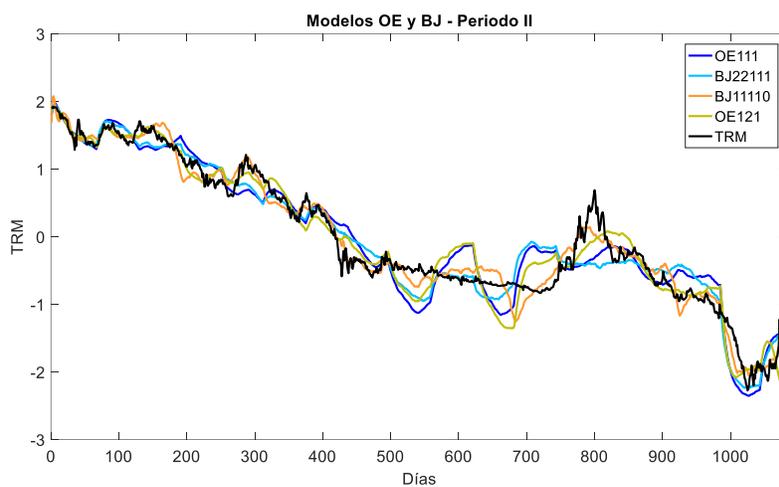
**Figura 21**, su capacidad predictiva no es la mejor.

**Tabla 9.** Modelos OE y BJ Período II

<i>Modelo</i>	<i>MSE</i>	<i>FPE</i>	<i>Ajuste</i>
OE121	0.069230	0.080380	73.68%
OE111	0.100300	0.109600	68.35%
BJ11110	0.005411	0.005765	92.64%
BJ22111	0.006187	0.006804	92.13%

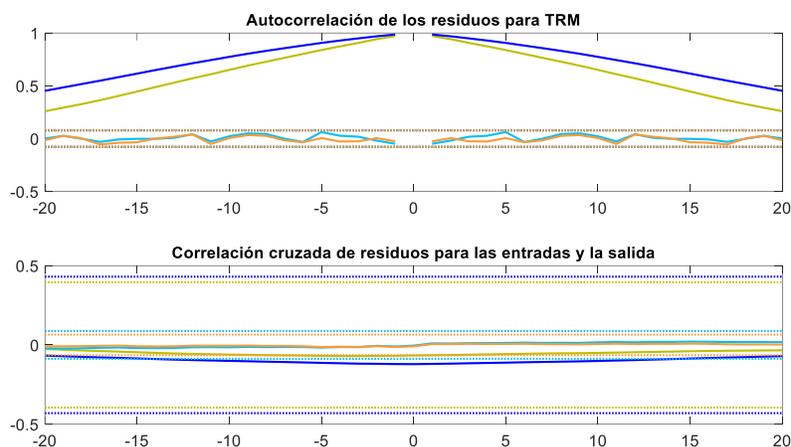
Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 21.** Modelos OE y BJ Período II



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 22.** Comportamiento de los residuos – Modelos OE y BJ - Período II



Fuente: Elaboración propia, 2017.

### 6.3.3 Período III

#### - Modelos ARX

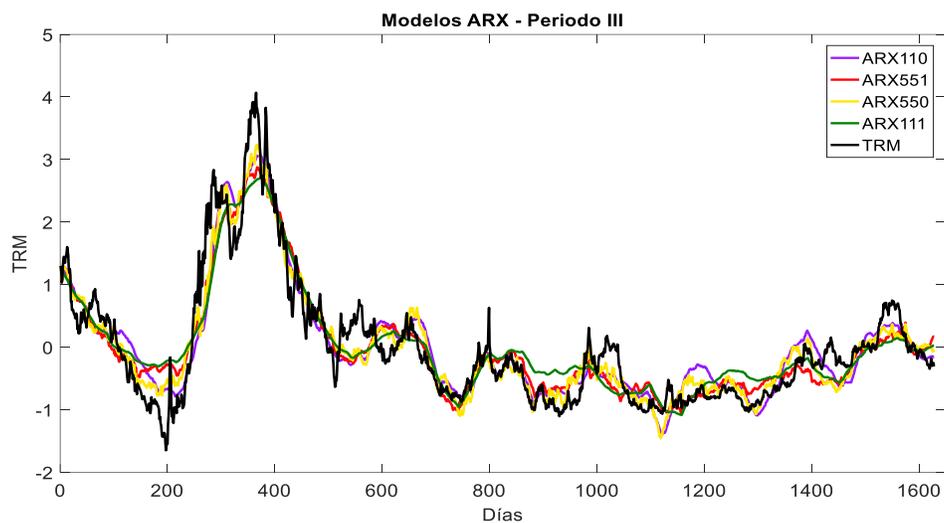
La estructura que presentó el mejor ajuste en este período fue (ARX 550) con un ajuste del 91.92%, el comportamiento de los residuos se presenta inadecuado para rezagos de número bajo, para el modelo ARX550 y ARX551 los residuales muestran un mejor comportamiento y el término de error mejora significativamente para la estructura que no incluye retardo. Se evidencia una disminución progresiva del ajuste para este modelo del período I al período III (96.38%, 95.89%, 91.92%) respectivamente. El número de rezagos disminuyó considerablemente de 10 a 5, pero sigue siendo un número muy alto y no refleja la realidad de la variable que se está analizando (TRM). En la sección 6.4 se analizan estos resultados desde el punto de vista del análisis fundamental, donde se puede encontrar la respuesta a estos comportamientos.

**Tabla 10. Modelos ARX Período III**

<b>Modelo</b>	<b>MSE</b>	<b>FPE</b>	<b>Ajuste</b>
ARX111	0.009089	0.009315	90.46%
ARX110	0.008781	0.009	90.63%
ARX551	0.008415	0.009517	90.82%
ARX550	0.006522	0.007376	91.92%

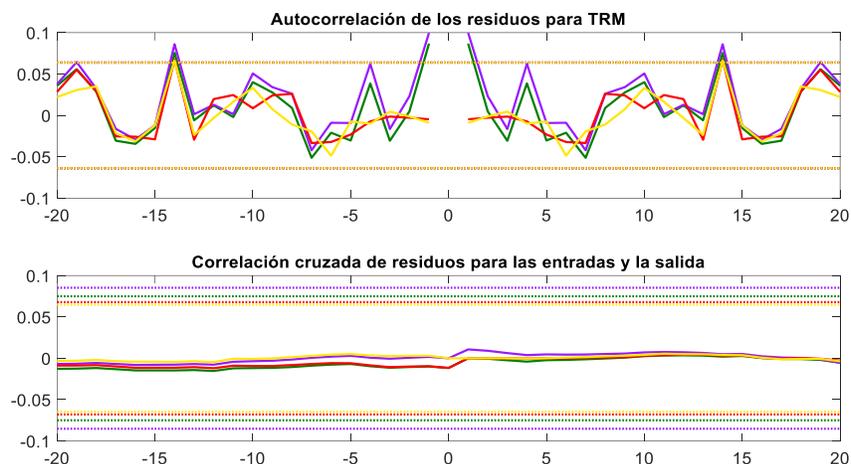
Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 23. Modelos ARX Período III**



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 24. Comportamiento de los residuos – Modelos ARX Período III**



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Modelos ARMAX

Como en la estructura ARX, el ajuste se hace menos conforme avanzan los períodos, para el período III el ajuste fue del 91.19% con 5 rezagos (ARMAX 5992), el número de rezagos sigue siendo muy alto y no explica de forma coherente el comportamiento de la variable de salida, ya que según el resultado para esta estructura, el precio del dólar de hoy depende de lo ocurrido hace 5 días.

El comportamiento de la autocorrelación entre los residuos es adecuado, sin embargo el (ARMAX 5551) se comporta de mejor manera, como se muestra en la Elaboración propia, 2017.

**Figura 26.**

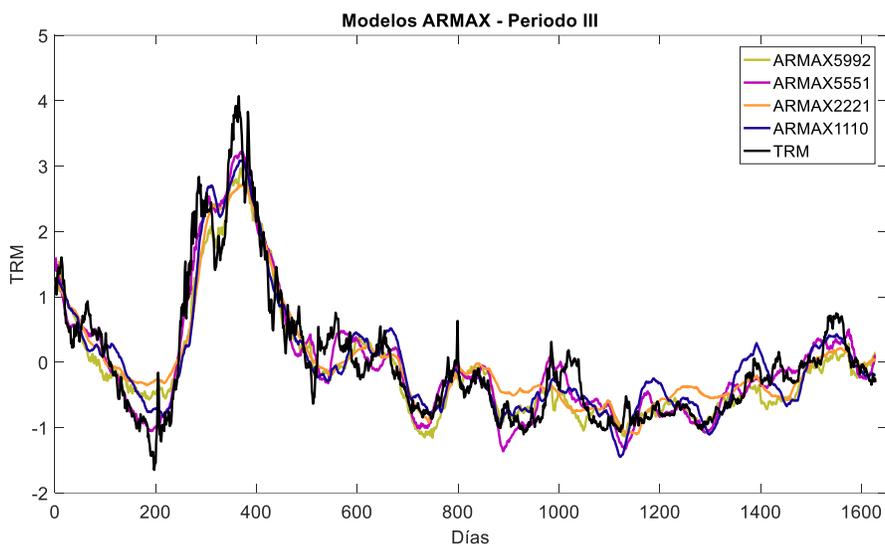
**Tabla 11.** Modelos ARMAX – Período III

<i>Modelo</i>	<i>MSE</i>	<i>FPE</i>	<i>Ajuste</i>
ARMAX1110	0.009619	0.009858	90.19%

ARMAX2221	0.008819	0.9286	90.61%
ARMAX5551	0.007958	0.009055	91.08%
ARMAX5992	0.007753	0.009741	91.19%

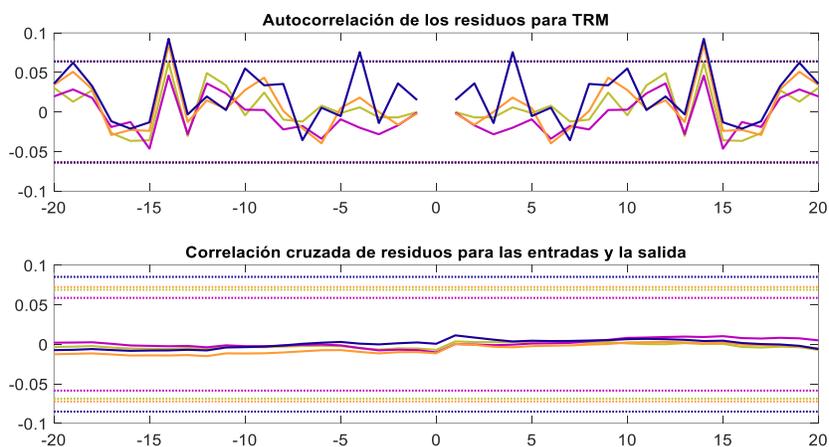
Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 25.** Modelos ARMAX – Período III



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 26.** Comportamiento de los residuos – Modelos ARMAX Período III



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Modelos OE y BJ

Los modelos OE presentan comportamientos muy erráticos con respecto a la variable de salida, lo que muestra poca capacidad de predicción con buenas propiedades estadísticas; en este período el mejor ajuste los presentó el (OE 101) con el 65.23%, el comportamiento de los residuos presenta problemas. Este resultado es lo suficientemente contundente para determinar que la estructura OE no se considerará para la validación en el período III.

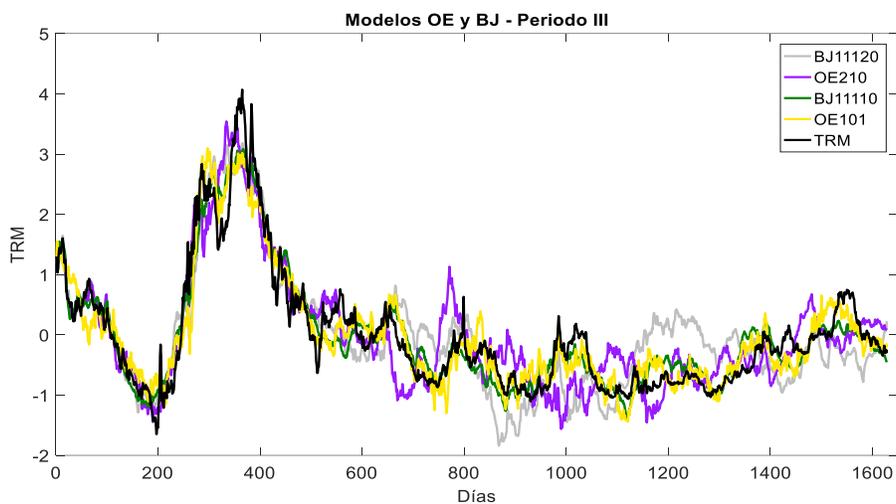
Como en las estructuras ARX y ARMAX, el valor del ajuste del modelo BJ en el período III es inferior al de los períodos I y II. Para este período el modelo con el mejor ajuste fue (BJ 11110), con un comportamiento de los residuos adecuado y el número de rezagos es coherente con el comportamiento de la variable de salida. El ajuste de este modelo es inferior al mostrado por los ARX y ARMAX en el mismo período.

**Tabla 12.** Modelos OE y BJ Período III

OE101	0.1208	0.1235	65.23%
OE210	1.985	2.121	0.00%
BJ11110	0.007832	0.008207	91.15%
BJ11120	0.009394	0.01006	90.30%

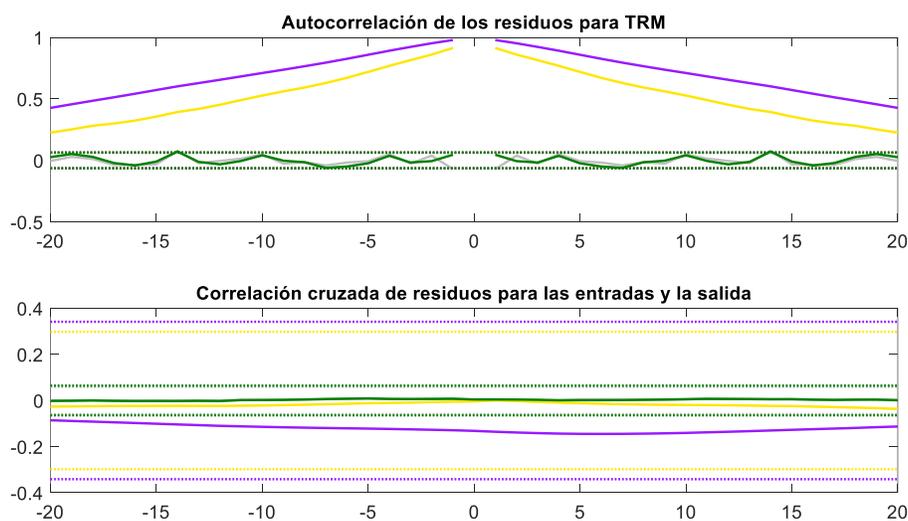
Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 27.** Modelos OE y BJ Período III



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 28.** Comportamiento de los residuos – Modelos OE y BJ - Período III



Fuente: Elaboración propia, 2017.

### 6.3.4 Período IV

- Modelos ARX

Para este período las mejores estructuras muestran ajustes entre 92% y 93% con un número bajo de rezagos (de 1 a 4) y con un comportamiento de los residuos correcto, en la medida que se aumentan los rezagos.

Al incluir el factor de integración para este período, no se evidencia un buen comportamiento de los residuos, sin embargo el ajuste del modelo empieza a mostrar una mejoría en el ajuste.

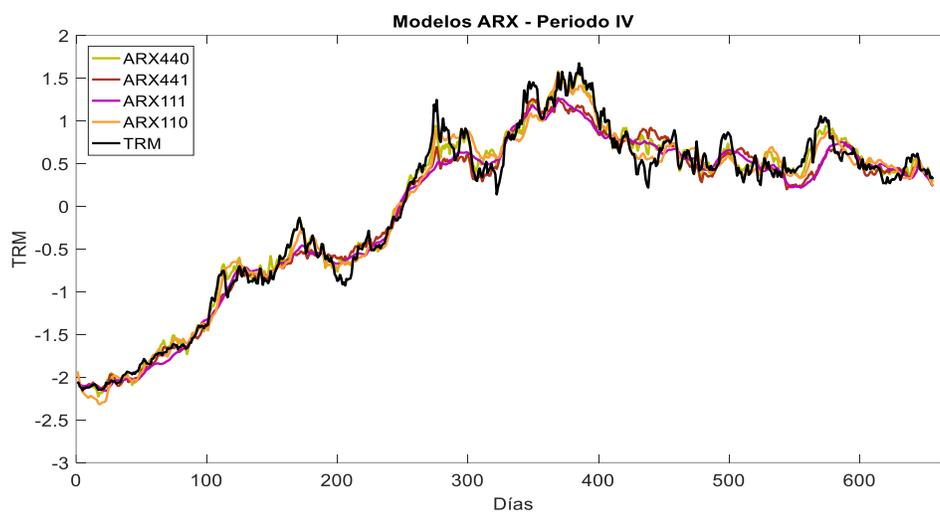
**Tabla 13.** Modelos ARX Período IV

<i>Modelo</i>	<i>MSE</i>	<i>FPE</i>	<i>Ajuste</i>
ARX110	0.00415	0.004411	93.55%
ARX111	0.005044	0.005361	92.89%
ARX441	0.004244	0.005423	93.48%

ARX440	0.002142	0.002737	95.37%
--------	----------	----------	--------

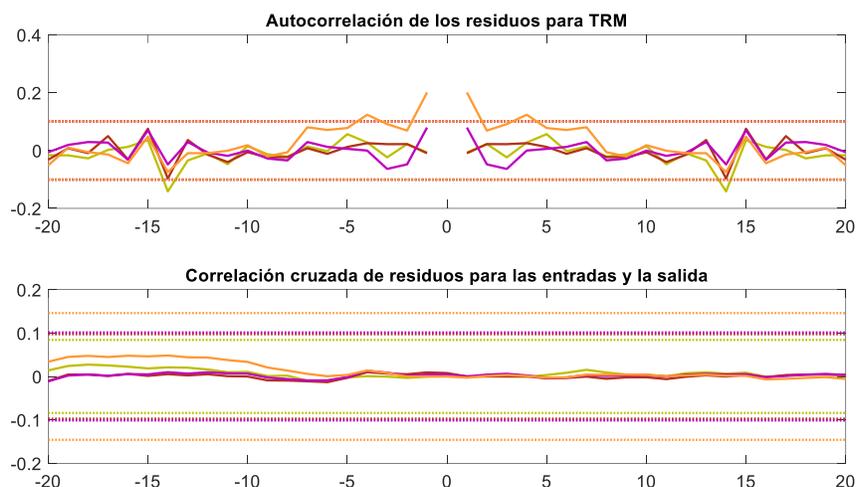
Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 29.** Modelos ARX Período IV



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 30.** Comportamiento de los residuos – Modelos ARX Período IV



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Para el siguiente grupo de estructuras que incluyen la media móvil, se considera el factor de integración para validar su comportamiento en el período IV.

- Modelos ARMAX y ARIMAX

Al considerar modelos incluyendo media móvil en este período, el ajuste mejora considerablemente logrando niveles obtenidos en el período inicial superiores al 95%, en este caso, el modelo con el mejor ajuste es ARMAX1110, como se puede observar en la Tabla 14. Los residuos muestran un buen comportamiento cuando se aumenta el número de rezagos, por lo que el modelo con el mejor ajuste no es necesariamente la mejor opción.

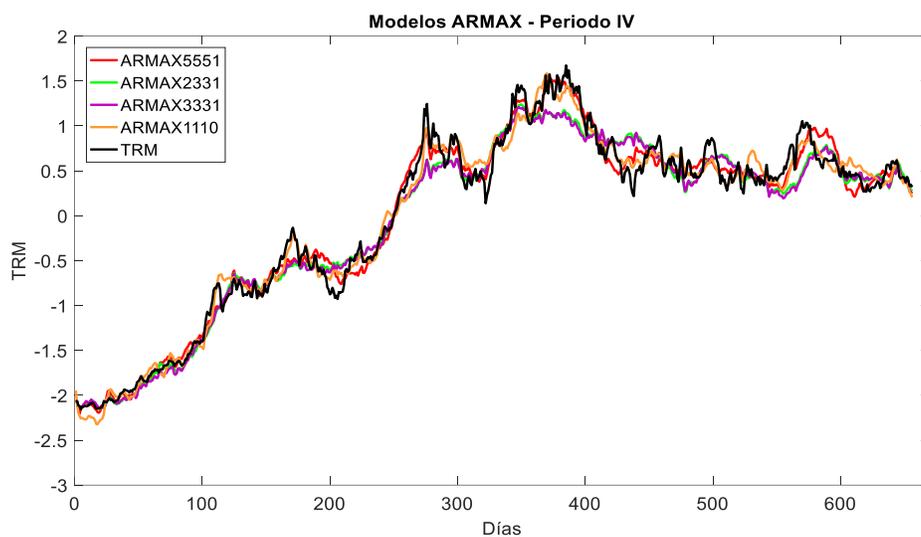
**Tabla 14.** Modelos ARMAX – Período IV

<b>Modelo</b>	<b>MSE</b>	<b>FPE</b>	<b>Ajuste</b>
ARMAX1110	0.004036	0.004303	96.64%

ARMAX3331	0.004036	0.004303	93.64%
ARMAX2331	0.004445	0.005373	93.33%
ARMAX5551	0.003788	0.005231	93.84%

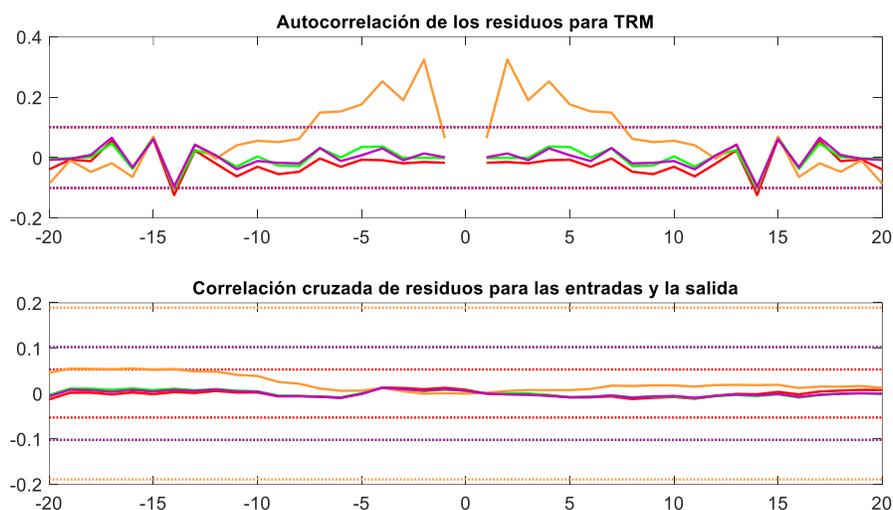
Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 31. Modelos ARMAX – Período IV**



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 32.** Comportamiento de los residuos – Modelos ARMAX Período IV

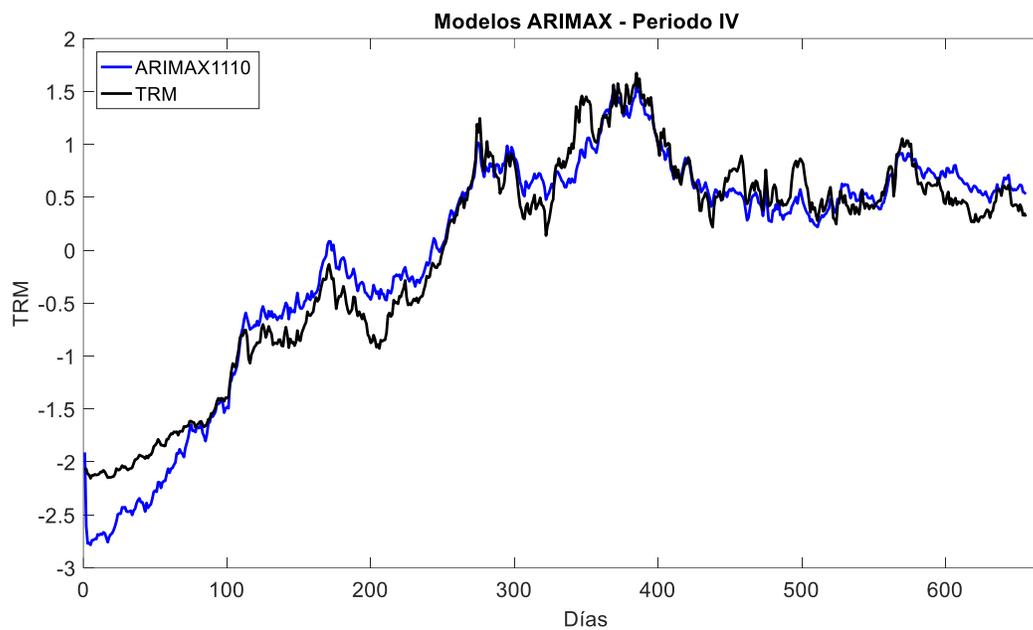


Fuente: Elaboración propia, 2017.

Las Figura 33 y Fuente: Elaboración propia, 2017.

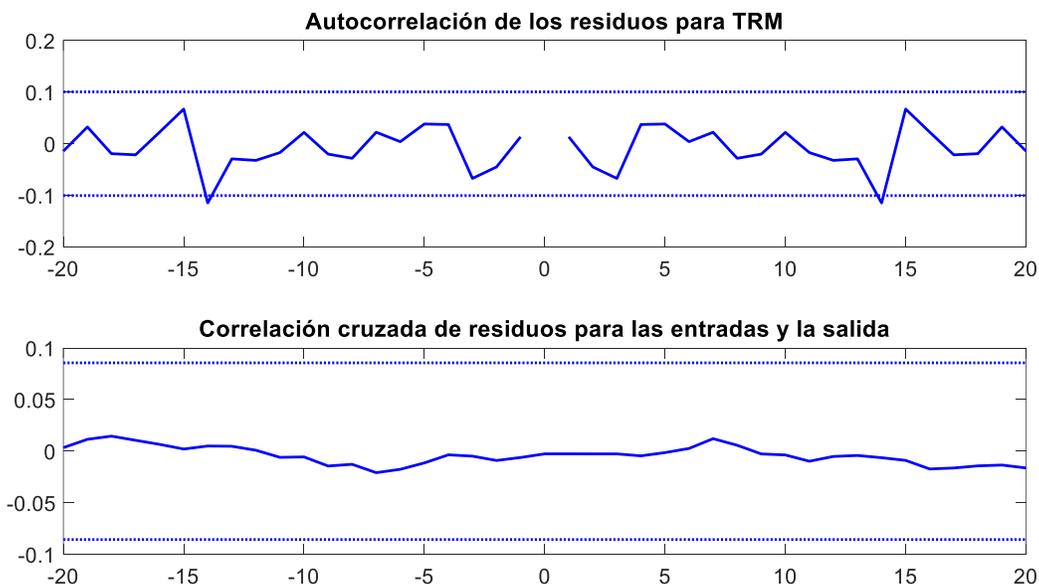
**Figura 34** muestran el comportamiento del modelo ARIMAX11110 con un ajuste del 94.54% y un error 0.002978, que lo hace una buena opción dentro de las demás estructuras evaluadas. El poder predictivo de esta estructura no es el más consistente, pues en la Figura 33 claramente se puede observar que el modelo a lo largo de la serie, sobreestima o subestima el valor de la variable de salida.

**Figura 33.** Modelos ARIMAX – Período IV



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 34.** Comportamiento de los residuos – Modelos ARIMAX Período IV



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Modelos OE y BJ

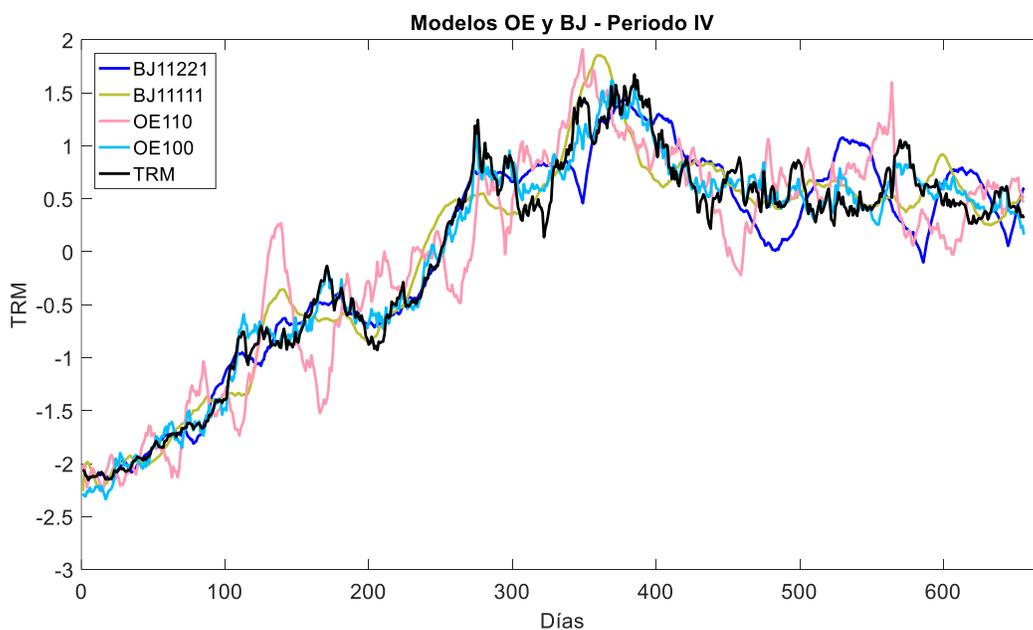
En la Tabla 15 se pueden evidenciar los ajustes y el error obtenido con las estructuras OE y BJ para este período, cabe anotar que en los modelos BJ muestran un buen comportamiento de los residuales y ajuste superiores al 90% para rezagos de número bajo (BJ11111), sin embargo, su poder predictivo no es el más adecuado para la toma de decisiones, lo que lo hace inviable para ser considerado, como se puede observar en la Figura 35.

**Tabla 15.** Modelos OE y BJ Período IV

<b>Modelo</b>	<b>MSE</b>	<b>FPE</b>	<b>Ajuste</b>
OE100	0.01701	0.01797	86.95%
OE110	0.1907	0.2249	56.30%
BJ11111	5.45E-03	6.49E-03	92.61%
BJ11221	6.12E-03	8.19E-03	92.17%
BJ22111	5.43E-03	7.27E-03	92.63%

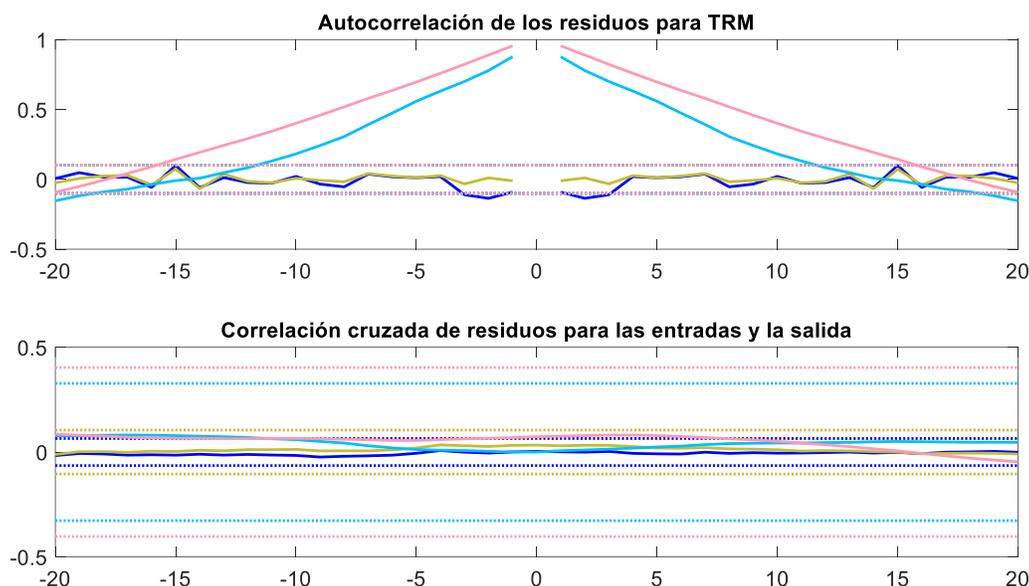
Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 35.** Modelos OE y BJ Período IV



Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Figura 36.** Comportamiento de los residuos – Modelos OE y BJ - Período IV



Fuente: Elaboración propia, 2017.

#### 6.4 Análisis de los resultados

En esta sección se pretende analizar los resultados de cada período y cada una de las estructuras evaluadas a la luz del análisis fundamental y, de esta forma, concluir sobre la investigación realizada.

Luego de analizar las estructuras, se pudo evidenciar que la mejor opción en cuanto al ajuste, el comportamiento de los residuos y validación (predicción), está en los modelos ARMAX; sin embargo, al considerar números altos de rezagos para entender el comportamiento de la TRM, se hace evidente que el modelo deja factores importantes de lado, que no están siendo explicados por las variables de entrada. Históricamente la TRM es una variable que muestra una fuerte y rápida

reacción a diferentes eventos, que no necesariamente están incluidos en los determinantes que se pudieron identificar en la literatura.

En este punto es donde entra en juego algo que se consideró inicialmente en esta investigación y que podría ser incorporado en futuros trabajos, que es la creación de una variable adicional con la capacidad de recoger esos eventos no medibles, que son determinantes de la TRM, como decisiones políticas, económicas, ambientales e incluso eventos de terrorismo, que como ya se mencionó, no están recogidos en las series de tiempo y que hacen que el poder predictivo de los modelos no sea consistente y estable en el tiempo.

Algunos claros ejemplos de esto pueden ser eventos tan relevantes como el atentado del 11 de septiembre de 2001, la elección de un presidente, ya sea local o internacional, el inicio de una guerra, o una crisis económica.

En la Figura 13 se pueden apreciar algunas brechas que los modelos no son capaces de considerar, al inicio del período I (entre el día 60 y 80) uno de estos eventos coincide con los diálogos de paz entre el gobierno de Colombia y la guerrilla de las FARC, durante el período presidencial de Andrés Pastrana; de igual forma, coincide con el inicio del siglo XXI, en el que se esperaban choques tecnológicos importantes por el llamado efecto Y2K, que finalmente no manifestó cambios. Esto hace evidente la dificultad de identificar cuál puede ser el o los fenómenos que más afectaron la variable en un momento determinado.

Las demás brechas pueden estar explicadas por los siguientes eventos en el contexto local e internacional: la elección del presidente Álvaro Uribe Vélez, la segunda elección consecutiva de

Hugo Chávez como presidente de Venezuela en julio del 2000, la caída del precio del euro a finales de Agosto del mismo año, tras la decisión del Banco Central Europeo de subir los tipos de interés, la elección del candidato republicano George W. Bush como Presidente de Estados Unidos de América, el 7 de noviembre del año 2000, las tensiones entre Estados Unidos e Irak, ante la negativa del entonces Presidente Saddam Hussein a las propuestas del consejo de seguridad de la ONU, para realizar más inspecciones en busca de armas de destrucción masiva, el 30 de noviembre del año 2000.

Volviendo a los modelos, en el ejercicio se pueden evidenciar algunos que, aunque no logran capturar la dinámica completa de la variable de salida, sí logran muy buenos ajustes y comportamiento de residuos adecuados; en el período IV, se pudo evidenciar la mejor estructura en cuanto a ajuste (96.64%), ARMAX1110 que se puede observar en la Figura 31. El comportamiento de los residuales es, sin embargo, el que más problemas presenta para este período.

El modelo con el menor término de error (MSE) fue la estructura ARMAX7771 que se dio en el período I; ésta llama mucho la atención, pues muestra un comportamiento muy bueno tanto en ajuste (el segundo mejor con 96.51%) como en residuos (ver Figura 14), sin embargo, como se mencionó en la sección anterior, la variable de salida muestra una dinámica muy diferente, pues la evidencia del mercado muestra que la variable reacciona muy rápidamente ante perturbaciones externas, máximo 3 días.

Aunque concluir por un único modelo no es lo más apropiado, teniendo en cuenta que ninguna estructura fue consistente en los cuatro períodos en cuanto a número de rezagos (polos y ceros), ajuste, comportamiento de residuos y término de error, la estructura ARMAX es sin duda la mejor alternativa, con rezagos bajos (entre 1 y 5) y de orden 0 o 1, para recurrir como apoyo a la toma de decisiones en el día a día del mercado.

En cuanto a los determinantes, durante la construcción de los modelos se pudo evidenciar que variables que se suponían muy importantes para la TRM, no mostraron tanta relevancia al abordar el análisis por períodos, este es el caso del índice que recoge el comportamiento del dólar en Latinoamérica (u15) que sólo fue tenido en cuenta en el período IV, los demás períodos no mostraron significancia para ser incluidos en el análisis; y el índice que mide las expectativas del mercado en cuanto a la volatilidad del mercado (u19) que hizo parte del análisis para los períodos I y IV.

Las únicas variables que fueron representativas e incluidas para el análisis en los 4 períodos fueron u3 (PROFUNDIDAD), u7 (WTI), u14 (INTERÉS EEUU), u17 (T10y), u24 (M1 EEUU) y u26 (IED); de éstas, cabe resaltar que petróleo (u7), que históricamente se ha analizado como un activo con una fuerte relación inversa con el dólar, en el primer período no muestra claramente esta relación, pues la correlación entre la variable u7 y la TRM es de tan sólo 0.2566.

Como complemento al análisis de resultados en esta investigación, se realizó un análisis adicional que incluye elementos no medibles como noticias o eventos de índole económica, política, naturales o terrorismo, que pueden afectar la dinámica de la TRM. Estos anuncios no están incluidos

en las variables seleccionadas de los períodos, pero en trabajos como (Murcia & Rojas, 2013), se evidenció que anuncios o noticias son considerados importantes para determinar el nivel de la TRM.

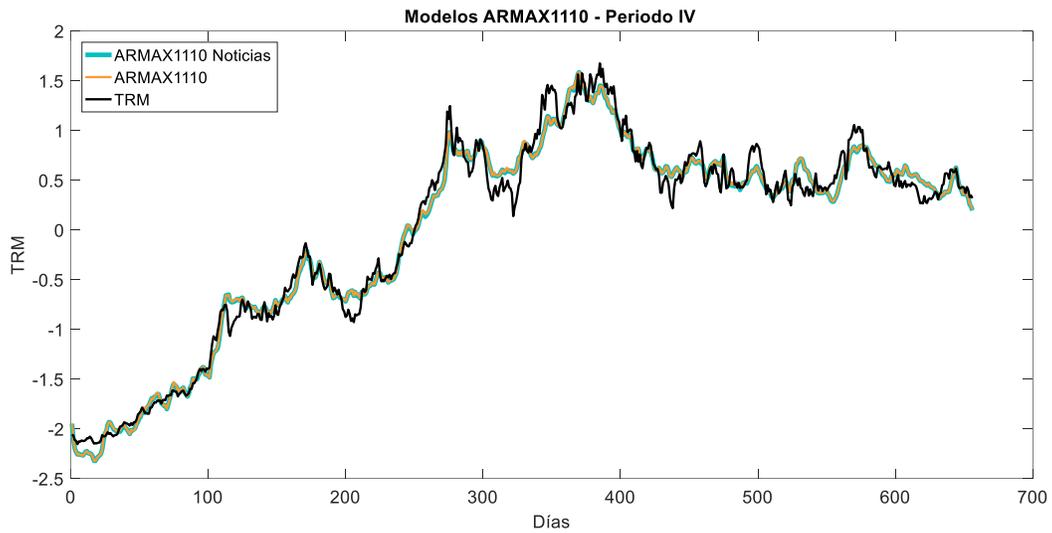
El enfoque que este trabajo buscó darle a estos fenómenos se realizó con variables dummy, independiente en cada una de las categorías, marcando con 1 en cada fecha si existe una noticia relevante, a criterio de los autores, y 0 para los períodos en los que no se evidenció una noticia relevante.

Aunque el experimento requiere de un análisis profundo y con una metodología formal para determinar la relevancia de las noticias o no, de igual forma, se procede a realizar la prueba con el objetivo de verificar si estos vectores dummies aportaban información al modelo, que pudiera ser de utilidad para cerrar las brechas que los modelos con mejor ajuste continúan presentando.

El modelo con mejor ajuste (96.64%) se evidenció en el período IV y corresponde a la estructura ARMAX1110 y este fue el escenario para la realización de la prueba con los vectores de noticias.

Los resultados muestran que la estructura al incluir todos los vectores como entradas para explicar la TRM, el modelo pierde ajuste, disminuyendo al 93.11%, sin mostrar evidencia de mejoría en el comportamiento de los residuales. Esto puede observarse en la Figura 37.

**Figura 37. Modelos ARMAX1110 - Período IV**



Fuente: Elaboración propia, 2017.

## **7 Conclusiones**

Esta investigación centró su análisis en tratar de comprender, desde un punto de vista alternativo, cómo la identificación de sistemas lineales, el comportamiento de la tasa de cambio en Colombia, que es una de las variables más importantes de la economía y los elementos que determinan su dinámica, en combinación con el análisis financiero, aportan elementos didácticos que facilitan su entendimiento. Adicionalmente, se evidencia que con la ayuda de estructuras lineales simples como ARX, ARMAX o BJ, ampliamente utilizadas en la econometría, es posible reunir los elementos para el entendimiento necesario de variables complejas.

Al igual que los trabajos consultados en la revisión de la literatura, es evidente que la cantidad de información que está recogida en la variable TRM hace que la incertidumbre al momento de estimar y predecir su comportamiento sea muy alto, por esto, al seguir el proceso descrito en la Figura 1 se demuestra que, abordar el análisis dividiendo la serie por períodos, se facilita el entendimiento de esta variable; este es un factor diferenciador de este trabajo frente a otros realizados alrededor de esos determinantes de la tasa de cambio, que se enfrentan a la variable, incluyendo un único período muy extenso, que puede contener perturbaciones que sus análisis no logran capturar.

Incluir variables de corto, mediano y largo plazo en los modelos explorados es igualmente un elemento diferenciador a rescatar de esta investigación, además de la descripción de los factores fundamentales que podrían explicar los tramos en los cuales la serie y el modelo no convergen. La descripción de estos factores puede ser útil para investigaciones futuras, cuyo objetivo sea obtener resultados con mejor ajuste y rezagos, que expliquen de mejor manera el comportamiento de la

---

variable de salida. Para el desarrollo de estos objetivos, la compilación masiva de noticias desde fuentes válidas, la clasificación y valoración de éstas y su incorporación como variable adicional en los modelos, serán fundamentales para obtener herramientas predictivas con menores márgenes de error y mayores niveles de confianza.

A lo largo del análisis no fue posible evidenciar un único modelo lineal capaz de predecir y estimar el comportamiento de la TRM a lo largo de toda la serie, sin embargo, es posible resaltar que los ajustes logrados con las estructuras evaluadas en esta investigación (ARX, ARMAX, BJ, OE, etc.), se puede lograr un entendimiento adecuado de la variable, sin que sea necesario recurrir a otras técnicas más complejas, como las que provee la inteligencia artificial o los modelos no lineales. Con el entendimiento adecuado de la variable, se pueden desarrollar algoritmos predictivos que permitan reducir al nivel de incertidumbre en la toma de decisiones relacionadas con la TRM.

El resultado de este trabajo será de utilidad para las diferentes áreas del Grupo Bancolombia encargadas de la generación y estructuración de nuevas herramientas, para buscar nuevas alternativas para utilizar en el mercado de divisas o para que sea utilizado como elemento en el mejoramiento de los actuales modelos predictivos con los que ya se cuenta.

Como un objetivo extra a la investigación realizada, este trabajo quiso aportar algún avance en cuanto a la búsqueda de un ajuste mayor al momento de estimar la TRM. Aunque el resultado del experimento realizado no es el esperado, no hay evidencia concluyente para que trabajos futuros no puedan abordar nuevamente el experimento, agregando elementos metodológicos que permitan una mejor clasificación de las noticias y logren capturar la dinámica que éstas aportan a esta

variable. Consideramos que el camino que se abre con este experimento, planteado de una manera simple para hacerlo ilustrativo, puede llegar a ser útil para disminuir la incertidumbre que contiene la tasa de Colombia y que las series de tiempo no pueden explicar.

---

## Referencias

- Alonso, C., Cárdenas, M., & Bernal, R. (1997). *La Tasa de Cambio en Colombia*. Bogotá: Tercer Mundo Editores.
- Alonso, J. C., & Cabrera, A. (Junio de 2004). La Tasa de Cambio Nominal en Colombia. *Apuntes de Economía*(2).
- Antoun, S. A., & Trespalacios, A. (2015). *Determinantes del comportamiento de la tasa de cambio nominal peso colombiano-dólar*. Medellín: Repositorio Institucional Universidad EAFIT, 9-18.
- Arbeláez, M., & Steiner, R. (2009). Volatilidad cambiaria en Colombia: Cuantificación y Determinantes. *Working Paper FEDESARROLLO*, 48(11).
- Arrieta, J. E., Torres, J. C., & Velásquez, H. (2009). *Predicción Del Comportamiento De La Acción De SURAMINV: Redes Neuronales Y Modelos Económicos*. Pachuca de Soto: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Azañero, J. (2012). *Dinámica del Tipo de Cambio: Una Aproximación desde la Teoría de la Micro Estructura del Mercado*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú.
- Banco de la República (Marzo de 2000). Informe de la Junta Directiva al Congreso de la República. Bogotá, Colombia.
- Banco de la República (Marzo de 2014). Informe de la Junta Directiva al Congreso de la República. Bogotá, Colombia.

Banco de la República (Mazo de 2015). Informe de la Junta Directiva al Congreso de la República.

Bogotá, Colombia.

Banco de la República (Marzo de 2017). Informe de la Junta Directiva al Congreso de la República.

Bogotá, Colombia.

Bolsa de Valores de Colombia (2017). *Mercado de Divisas*. Obtenido el 12 de septiembre de 2017 de

<https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Mercados/descripciongeneral/divisas>

Correa, J. G., & Montoya, L. M. (2012). *Aplicación Del Modelo Anfis Para Predicción De Series De*

*Tiempo*. (Grupo de Investigación SISCO, Fundación Universitaria Luis Amigó, Medellín,

Colombia).

Fayad, C., Fortich, R. C., & Vélez, I. (2009). Proyección De La Tasa De Cambio De Colombia Bajo

Condiciones De PPA: Evidencia Empírica Usando Var. *Estudios Gerenciales*, 25(113), 211-226.

Franco, H., Gómez, A., & Ramírez, A. (2007). Determinantes de la Tasa de Cambio Nominal:

Verificación Empírica del Modelo de Precios Rígidos en la Economía Colombiana, 1995:I–

2006:I. *Documentos de trabajo Economía y Finanzas*, 07(07).

Gaviria, M. A., & Sierra, H. A. (Diciembre de 2003). LOS DETERMINANTES DE LA TASA DE

CAMBIO NOMINAL (1990-2002). *Revista Académica e Institucional de la U.C.P.R*(63).

Gelfenstein, A. (2015). Introducción. *Análisis Técnico y Fundamental*, 1-2.

Lawrence, R. (1997). Using Neural Networks to Forecast Stock Market Prices. *Research Gate*, 1-21.

Lega, P. F., Murcia, A., & Vásquez, D. (2007). Volatilidad de la tasa de cambio nominal en Colombia y

su relación con algunas variables. *Borradores de Economía*(473), 1-28.

- Lui, Y., & Mole, D. (1998). The use of fundamental and technical analyses by foreign exchange dealers: Hong Kong evidence. *Journal of International Money and Finance*, 17, 535-545.
- Montero, R. (2013). Test de causalidad. *Documentos de Trabajo en Economía Aplicada*, Universidad de Granada. España.
- Montoya, J. (2011). La tasa de cambio nominal: una aproximación desde la oferta y la demanda de divisas. *Perfil de Coyuntura Económica*(17), 73-110.
- Montoya, J. (2013). Tasa de cambio nominal: un conjunto alternativo de determinantes bajo un modelo de oferta y demanda de divisas. *Perfil de Coyuntura Económica*(21), 63-91.
- Moreno, A. M. (2002). Determinantes del Tipo de Cambio Real en Colombia, un modelo Neokeynesiano. *Revista de Economía Institucional*, 4(7), 40-61.
- Murcia, A., & Rojas, D. (2013). Determinantes de la tasa de cambio en Colombia: un enfoque de microestructura de mercados. *Borradores de Economía*(789).
- Oxley, L., & Greasley, D. (1998). Vector autoregression, cointegration and causality: testing for causes of the British industrial revolution. *Applied Economics*. 30, 1387-1397.
- Patiño, C., & Alonso, J. (2005). *Determinantes de la Tasa de Cambio Nominal en Colombia: Evaluación de Pronósticos*. Cali: Universidad ICESI.
- Revista Semana (1999). *Valores Financieros. Certificados de Cambio*. Obtenido el 26 de Septiembre de 2017 de <http://www.semana.com>.

---

Secretaría Distrital de Desarrollo Económico (2010). Determinantes de la TRM análisis de las fuentes de oferta y demanda en el mercado de divisas. *Cuadernos de desarrollo económico*, 4.

Söderström, T., & Stoica, P. (2001). *System Identification*. Hemel Hempstead, UK: Patience Hall.

Subgerencia Cultural del Banco de la República (2015). *Mercado de divisas*. Obtenido el 10 de octubre de 2017 de

<http://admin.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/comunicacion/libro>

Vélez S., C. M. (2016). La perturbación como proceso estocástico. En *Introducción a la Identificación de Sistemas Dinámicos* (pp. 48-52). Medellín: Universidad EAFIT.