



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MÉXICO**

---



**FACULTAD DE ECONOMÍA**

**“ECONOMÍA DINÁMICA CAÓTICA EN EL TIPO DE CAMBIO PESO-  
DÓLAR, UN ANÁLISIS PARA MÉXICO: 2000-2015”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**LICENCIADO EN ECONOMÍA**

**PRESENTA:**

**CEJUDO GUTIERREZ JUAN  
GALLARDO CRUZ ADRIÁN**

**ASESOR:**

**Dr. EN A. OSWALDO GARCÍA SALGADO**

**REVISORES:**

**M. EN E. JUVENAL ROJAS MERCED  
M. EN E. ELIAS EDUARDO GUTIÉRREZ ALVA**

**TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO**

**SEPTIEMBRE 2017**

# Contenido

Introducción.....	5
CAPITULO 1 .....	11
MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN A LA LITERATURA .....	11
1.1. Marco Histórico.....	12
1.1.2. Mercantilismo .....	13
1.1.2.1. Gerard Malynes .....	13
1.1.3. Fisiócratas.....	14
1.1.3.1. Richard Cantillon.....	14
1.1.3.2. David Hume.....	15
1.1.4. Clásicos .....	16
1.1.4.1. Adam Smith.....	16
1.1.4.2. David Ricardo .....	16
1.1.4.3. John Wicksell .....	17
1.1.5. Karl Marx.....	18
1.1.6. John Maynard Keynes .....	19
1.1.7. Neoclásicos.....	20
1.1.7.1. Gustav Cassel .....	20
1.1.7.2. John Gustav Knut Wicksell .....	20
1.1.7.3. Irving Fisher.....	21
1.1.8. Sistema Bretton Woods.....	22
1.1.8.1. Jacques Rueff.....	23
1.1.8.2. Rudi Dornbusch.....	23
1.1.9. Modelos de equilibrio de cartera.....	24
1.2. Marco Referencial .....	26
1.2.1. <i>The efficacy of intervention in a chaotic foreign exchange market: an empirical study in INR-USD exchange rate series.</i> .....	26
1.2.2. <i>Testing Chaos and Nonlinearities in T-Bill Rates</i> .....	27
1.2.3. <i>Financial Crisis Dynamics: Attempt To Define a Market Instability Indicator</i> 28	
1.2.4. <i>Nonlinear Time-Series Analysis of the Greek Exchange-Rate Market.</i> 29	
1.2.5. <i>Volatility, Heterogeneous Agents and Chaos</i> .....	30
1.2.6. <i>Caos en el Mercado de Commodities</i> .....	31
1.2.7. <i>Is There Chaos In The World Economy? A Nonparametric Test Using Consistent Standard Errors</i> .....	32
1.2.8. <i>La Anticipación de las Crisis (Una Aplicación Del Enfoque Del Caos)</i> 33	
1.2.9. <i>Comportamiento Caótico En Los Mercados Bursátiles Latinoamericanos Utilizando Visual Recurrence Analysis</i> .....	35

1.2.10.	<b>Análisis del Índice General De La Bolsa De Valores De Colombia Y Sus Rendimientos Desde La Teoría Del Caos, 2001-2011</b>	37
<b>CAPÍTULO 2</b>		<b>39</b>
2.1.	<b>Introducción</b>	40
2.2.	<b>El Modelo de Lorenz</b>	41
2.3.	<b>Caracterización del movimiento caótico</b>	44
2.3.1.	<b>Exponente de Lyapunov</b>	45
2.3.1.1	<b>Definición formal</b>	45
2.3.2.	<b>Atractores caóticos</b>	47
2.3.2.1.	<b>Definiciones</b>	48
2.3.3.	<b>Prueba BDS</b>	49
2.3.1.1	<b>Definición</b>	50
2.3.4.	<b>Análisis R/S</b>	52
2.3.1	<b>Análisis Espectral</b>	55
2.3.1.1	<b>Ventanas</b>	59
2.3.1.1.1	<b>Ventana Bartlett</b>	59
2.3.1.1.2	<b>Ventana Hann</b>	59
2.3.1.1.3	<b>Ventana Hamming</b>	60
2.3.1.1.4	<b>Ventana Blackman</b>	61
2.3.2	<b>Dimensión Fractal</b>	61
<b>CAPITULO 3</b>		<b>64</b>
3.1.	<b>Introducción: Análisis de Variables Macroeconómicas para explicar el tipo de cambio Peso-Dólar 2000-2015</b>	65
3.2.	<b>Comportamiento del tipo de cambio 2000-2015</b>	67
3.3.	<b>Variables Nacionales</b>	69
3.3.1.	<b>Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE) de México</b>	69
3.3.2.	<b>Masa monetaria más líquida de México (M1)</b>	72
3.3.3.	<b>Reservas Internacionales de México</b>	75
3.3.4.	<b>Producto Interno Bruto (PIB) de México</b>	78
3.3.5.	<b>Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) de México, inflación mensual, índice general y por objeto de gasto</b>	81
3.3.6.	<b>Índice de Precios Y Cotizaciones (IPC) de México</b>	84
3.4.	<b>Variables Internacionales</b>	86
3.4.1.	<b>PIB de Estados Unidos</b>	86
3.4.2.	<b>Tasa de Interés de Referencia de Estados Unidos (T-BILL)</b>	88
3.4.3.	<b>Precio del Petróleo Mezcla Mexicana</b>	92
3.4.4.	<b>Precio del Petróleo West Texas Intermediate</b>	95

3.4.5.	Tasa de interés de referencia London InterBank Offered Rate (LIBOR) perteneciente al mercado monetario londinense.....	98
<b>CAPÍTULO 4</b>	.....	<b>101</b>
4.1	<b>Introducción</b> .....	102
4.2	<b>Analizando el Tipo de Cambio desde la perspectiva econométrica</b> 103	
4.2.1	<b>Comportamiento de la serie cuando se analiza con un modelo simple de regresión lineal</b> .....	103
4.2.	<b>Modelo de regresión lineal con rezagos y análisis de corrección de error</b>	109
4.3.1.	<b>Modelo de regresión lineal con cuatro rezagos</b> .....	110
4.3.2.	<b>Modelo de corrección de error</b> .....	117
4.4.	<b>Patrones caóticos de Lorenz</b> .....	129
4.4.1.	<b>Patrones Caóticos en las variables explicativas</b> .....	129
4.4.2.	<b>Exponente de Hurst</b> .....	136
4.4.3.	<b>Análisis Espectral</b> .....	139
4.4.4.	<b>Periodograma</b> .....	141
4.4.4.1.	<b>Test de Whittle y Fisher para periodicidades ocultas</b> .....	153
4.4.4.2.	<b>Test Grafico de señal de Bartlett</b> .....	155
4.4.5.	<b>Test BDS</b> .....	156
4.4.6.	<b>Gráfico de Recurrencia</b> .....	158
<b>Conclusiones</b> .....		<b>162</b>
<b>Bibliografía</b> .....		<b>165</b>

## Introducción

Un tema del cual siempre se trata en el área de economía, es el análisis del tipo de cambio (para el presente trabajo toda vez que se hable de tipo de cambio se referirá a peso mexicano y Dólar Estadounidense); es analizado en diferentes plataformas informativas como diarios, televisión, radio o en internet, así como en revistas especializadas en campos financieros y económicos. Informando como el peso mexicano ha ganado o perdido terreno respecto al dólar estadounidense.

Lo anterior significa que es una variable macroeconómica de gran importancia. Tanto a nivel gubernamental como empresarial el mercado cambiario influye en la toma de decisiones que sin lugar a duda tarde o temprano tiene una repercusión en la vida diaria de los mexicanos, es por ello que, el análisis de esta variable macroeconómica se vuelve vital para la correcta toma de decisiones en el ámbito público y privado.

Históricamente el mercado cambiario se ha convertido en uno de los mercados más importantes a nivel mundial, aunque en un mundo tan globalizado, se ha convertido en un mecanismo de transmisión para las grandes crisis económicas.

De acuerdo con Ibarra (2004), con los avances tecnológicos se han incrementado las oportunidades para que los agentes especulen con los movimientos de los tipos de cambio; por lo anterior, es difícil encontrar un modelo de estimación que permita pronosticar los valores y el comportamiento futuro para el mercado cambiario mexicano.

Lo anterior se vuelve necesario debido al papel tan importante que desempeña el tipo de cambio tanto a nivel macroeconómico como microeconómico, por lo cual es necesario mencionar que un tipo de cambio depreciado puede ser generador de inflación, debido a que los consumidores tendrán que pagar un precio más elevado por los bienes que consumen, esta situación afecta el nivel de renta

real de los individuos dentro de la economía y, por lo tanto, el nivel de bienestar será menor, aumentando con ello los niveles de pobreza dentro de la economía.

El estudio de la determinación y el comportamiento del tipo de cambio resulta de gran importancia porque tienen grandes implicaciones dentro de la planeación financiera de una cantidad importante de empresas cuyas operaciones dependen en gran medida de las importaciones y cuyas transacciones son realizadas principalmente en dólares estadounidenses.

Así mismo el tipo de cambio juega un rol importante en la política económica del país, especialmente la política monetaria y la política de gasto público.

En cuanto a la política monetaria conlleva decisiones llevadas a cabo por el Banco Central, que afectan a la Oferta Monetaria. Existen dos tipos la Expansiva y la Restrictiva, en caso de una mala política económica se podría generar un sobreendeudamiento, o podría generar contracción en el crecimiento económico e incluso inflación o deflación.

En los mercados internacionales durante los últimos años se ha observado una gran volatilidad, por lo que muchas monedas han sido afectadas, resultando la moneda mexicana afectada comparándose con el dólar estadounidense, lo anterior, ha motivado el interés por detectar nuevas variables de las hasta ahora planteadas en diversos modelos económicos.

Este interés no sólo se basa en detectar las nuevas variables, además tiene la intención de utilizar una nueva metodología que permita detectar el porqué de la gran volatilidad del mercado cambiario que influye en las decisiones de los agentes y que particularmente genera incertidumbre con enfoque en la economía mexicana.

Por tanto, es necesario revisar metodologías alternativas que permitan analizar el tipo de cambio, bajo enfoques teóricos poco trabajados, como es el caso de la teoría del caos de Lorenz, que permita analizarlo bajo un enfoque lleno de volatilidad para el caso de México.

Por lo tanto, los objetivos que se pretendieron alcanzar en este trabajo de investigación son:

- Detectar un patrón caótico el cual influya en la determinación de los valores de la serie del tipo de cambio peso/dólar fundamentada en la Teoría del Caos de Lorenz.
- Realizar un modelo econométrico que explique el comportamiento para la serie del tipo de cambio peso/dólar a través de la denominada economía dinámica caótica
- Determinar las variables que afecten en mayor medida las fluctuaciones para la serie del tipo de cambio peso/dólar a través de la Teoría del Caos de Lorenz.

Una vez planteados los objetivos, se llegaron a determinar las siguientes Hipótesis:

#### HIPÓTESIS PRINCIPAL:

H<sub>p</sub>: Existe un modelo para el tipo de cambio que se explica a través de la teoría del caos

#### HIPÓTESIS SECUNDARIAS

H<sub>s1</sub>: Existen variables económicas que afectan en mayor medida el valor del tipo de cambio.

H<sub>s2</sub>: Existe un patrón que determina el tipo de cambio a través de la teoría del caos.

Se adopta una metodología hasta ahora muy poco utilizada empíricamente denominada en el campo de la economía dinámica como “Teoría del Caos” la cual

advierte que, en determinados sistemas físicos, la evolución temporal es tremendamente compleja y depende dramáticamente de las condiciones iniciales hasta el punto de que no se pueda predecir con seguridad la evolución real del sistema” (Gómez, 2015) con la firme intención de mejorar las formas de pronosticar los valores de una variable tan importante como lo es el tipo de cambio.

La metodología que siguió en este trabajo se considera que tiene un enfoque cuantitativo debido a que intenta determinar las variables que afectan en la determinación del tipo de cambio de México.

Debido a que tiene un enfoque cuantitativo necesariamente se utiliza el método deductivo que va de lo general a lo particular, donde lo general en la investigación es el mercado de divisas y lo particular es el tipo de cambio de México respecto al dólar estadounidense.

Con relación a los medios utilizados, se realiza una investigación de tipo documental debido principalmente a que se recupera información contenida básicamente en artículos científicos al considerar tesis de maestría y doctorales para el enfoque teórico; y para el enfoque empírico se consideró apoyarse en consultar sitios web tales como Banxico, INEGI, *Bureau Economic Resources* y el Banco Central Europeo.

En lo referente a la finalidad de la investigación, esta es una investigación empírica, debido a que se aplica la Teoría del Caos de Edward Lorenz en la investigación del comportamiento del tipo de cambio. De acuerdo al nivel de conocimiento será explicativo, debido a que se determinan nuevas variables para determinar el tipo de cambio y determinar si existe caos dentro de la serie de dicha variable.



En lo referente a la temporalidad, esta es de tipo transversal o sincrónica ya que se analizará el fenómeno para el periodo 2000-2015, con series históricas que tienen una periodicidad mensual.

Para poder analizar este trabajo de investigación se consideró una base de datos para analizar el tipo de cambio caso mexicano, las variables tomadas en cuenta en el presente trabajo son:

- Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE).
- México masa monetaria más líquida (MÉXM1).
- Reservas internacionales de México (MEXRESERVAS).
- Producto Interno Bruto de Estados Unidos de América (EUAPIB).
- Producto Interno Bruto de México (MEXPIB).
- Tasa de Referencia de Estados Unidos de América (EUATREFERENCIA).
- Índice Nacional de Precios al Consumidor de México (INPC).
- Índice de Precios y Cotizaciones de México (IPC).
- Precio del Petróleo Mezcla Mexicana (PMEZCLA).
- Precio del Oro (PORO).
- Precio del petróleo West Texas Intermediate (PWTI).
- Tasa de referencia LIBOR (TLIBOR).

Las cuales fueron obtenidas del INEGI, Banco Mundial y BANXICO.

Una vez que se tienen las bases de datos se aseguró que tuviesen la misma periodicidad (mensual) y posteriormente se procede a realizar un análisis econométrico, considerando herramientas numéricas, econométricas entre otras (rezagos, logaritmos naturales, cointegración, etc.). Para encontrar las variables que expliquen el comportamiento de tipo de cambio caso mexicano peso-dólar.

Posteriormente se realiza un modelo de cointegración utilizando las variables más significativas obtenidas de un gran número de modelos probados con las variables, además se realizaron análisis de regresión con seis rezagos para cada variable.

Una vez realizado el proceso anterior, se utilizan algunas herramientas usadas dentro de la literatura referente a la teoría del caos las cuales permiten saber si la serie del tipo de cambio muestra un comportamiento caótico. Dentro de las

herramientas utilizadas en el presente trabajo de tesis se encuentra en el análisis R/S, la estimación del periodograma, el análisis BDS y el uso de un gráfico de recurrencia.

Una vez encontradas las variables se realiza un análisis con la teoría del caos desarrollada por Lorenz aplicada a la economía mexicana

Este trabajo está estructurado en cuatro secciones o capítulos.

Dentro del Capítulo 1 de este trabajo plantea y delimita el problema que fundamenta la investigación, además de justificar la problemática generada por las inestabilidades del tipo de cambio, partiendo de la revisión y contextualización bibliográfica. En resumen se analizan los ejes teóricos que dieron origen a la comprensión del comportamiento de los tipos de cambio, así como una revisión de estudios recientes basados en artículos científicos que han analizado el tipo de cambio bajo diferentes perspectivas incluyendo la teoría del caos.

El capítulo 2 se realiza una breve explicación sobre la teoría del caos y como se aplica dentro del campo de la economía y las finanzas.

Continuando con los apartados, en el capítulo 3 se realiza un breve análisis sobre las principales variables que pudiesen afectar el tipo de cambio y descubrir comportamientos del mismo respecto al dólar estadounidense, además se explica que efecto tienen estas en la economía.

Como antepenúltimo apartado, siendo este el capítulo 4 se realizó el estudio empírico sobre el comportamiento del tipo de cambio peso/dólar pretendiendo utilizar la teoría del caos para diversas variables macroeconómicas que pudiesen afectar a esta relación monetaria, soportando primeramente este estudio en la realización de modelos econométricos para definir las variables de mayor impacto a esta relación monetaria, para posteriormente comprobar si existen patrones caóticos en algunas de las variables de análisis.

Por último en el apartado cinco se aprecian las conclusiones de esta investigación en la que se describe brevemente si se pudieron comprobar las hipótesis planteadas en la investigación.

**CAPITULO 1**  
**MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN A LA**  
**LITERATURA**

El presente capítulo tiene como objetivo dar al lector un contexto sobre el tipo de cambio a través del análisis de las escuelas del pensamiento económico y sobre como concebían la determinación del valor de una moneda frente a otra, así como los efectos que generaba dentro de las economías.

La segunda parte de este capítulo permitirá al lector conocer como se ha aplicado la teoría del caos dentro del campo de la ciencia económica, así como el tipo de herramientas y métodos empleados para su correcta aplicación.

## **1.1. Marco Histórico**

De acuerdo con (Eichengreen, 1996) las monedas acuñadas con metales preciosos han servido de dinero desde tiempos inmemoriales, la plata fue el dinero predominante durante la Edad Media y la Edad Moderna, pero no fue el único metal utilizado, por ejemplo; el Gobierno sueco estableció un patrón cobre en el año de 1625.

Durante el Siglo XIX, en muchos países se permitía la acuñación y la circulación simultanea de monedas de oro y monedas de plata, a esto se le conocía como el patrón bimetálico, estos países servían como nexo entre los países que utilizaban por separado el patrón oro y el patrón plata.

### **1.1.1. Escuela de Salamanca**

La hipótesis de la paridad del poder adquisitivo conocida como la PPA representa el modelo más sencillo de determinación del tipo de cambio, durante el siglo XVI la Escuela de Salamanca a quien es atribuido dicho modelo, estuvo constituida por un grupo de teólogos y juristas cuyo principal interés era el comercio exterior (dentro de este grupo destacó Azpilcueta en 1556) formularon y desarrollaron la primera versión de dicho modelo.

Este modelo en su versión absoluta indica que cuanto mayor sea el nivel de precios nacional en relación al nivel de precios extranjeros mayor deberá ser el tipo de cambio, lo anterior indica que se requeriría un tipo de cambio relativamente depreciado para mantener el poder adquisitivo de la moneda nacional.

### **1.1.2. Mercantilismo**

La escuela económica conocida como mercantilista existió durante los años de 1500 a 1776 aproximadamente aunque tuvo variaciones en las diversas economías europeas. Esta escuela tuvo su origen después de que las comunidades feudales comenzaron a mostrar un crecimiento gradual, durante dicha etapa el comercio floreció dentro de cada estado-nación lo cual representó el aumento del uso del dinero.

#### **1.1.2.1. Gerard Malynes**

Este autor fue uno de los grandes pensadores económicos que desarrollaron dentro de la etapa conocida como mercantilismo alguna noción sobre la determinación de precios de los bienes dentro de las economías. Él generó la idea mercantilista de que una mayor cantidad de dinero dentro de un país aumentaría los precios y estimularía los negocios.

Esta noción fue desarrollada debido a que observó que una abundancia de dinero, generalmente hacía que todas las cosas se apreciaran y que la escasez del dinero dentro de la economía regularmente generaba que los bienes disminuyeran su valor.

Además dentro de su planteamiento mencionaba que si el dinero escaseaba, la circulación de bienes dentro de la economía disminuía aun cuando existiera un gran nivel de bienes; y en caso contrario, si el dinero era abundante el comercio se incrementaba, aun cuando las existencias de los bienes fueran escasos y el precio de los mismos fuera más elevado.

### **1.1.3. Fisiócratas**

Dentro de la escuela del pensamiento fisiócrata David Hume y Richard Cantillon, aceptan la teoría de la cantidad de dinero de John Locke la cual menciona que el nivel de precios de una nación es determinado por la cantidad de dinero disponible, dadas la velocidad del dinero y la cantidad de producción.

#### **1.1.3.1. Richard Cantillon**

Dirigiéndose a la creencia mercantilista de que la intervención monetaria podría originar una balanza comercial más favorable, Cantillon desarrolló un mecanismo de flujo de dinero en efectivo antecediendo las futuras teorías del equilibrio monetario internacional. Sugirió que en países con una gran cantidad de dinero en circulación, los precios aumentarían y, por lo tanto, la economía sería menos competitiva en relación a otros países con una escasez relativa de dinero.

Por lo tanto, Cantillon también estableció que los aumentos en la oferta de dinero, independientemente de la fuente, producen aumentos en el nivel de precios y, por lo tanto, reduce la competitividad de la industria de una nación en particular en relación con otra nación con precios más bajos.

Sin embargo, Cantillon no creyó que los mercados internacionales tendieran al equilibrio y, en su lugar, sugirió que el gobierno podría acaparar efectivo para evitar el aumento de precios y la pérdida de la competitividad. Cantillon observó dos efectos distintos que los aumentos en la oferta monetaria podían generar sobre los tipos de interés.

Así, si el nuevo dinero pasaba a las manos de los prestamistas, se aumentaba la oferta de fondos destinados a los préstamos, lo que contribuía a reducir las tasas de interés. Pero si el dinero era gastado, provocaría un estímulo en la producción de los sectores que ven incrementada su demanda, lo que podría

llevar a que los agentes aumentaran la demanda de préstamos, y ello provocaría la subida de las tasas de interés.

### **1.1.3.2. David Hume**

La mayor contribución realizada como economista fue lo que desde entonces se conoce como el mecanismo del flujo de precio efectivo (o en metálico). Contrario al pensamiento que tenían los demás pensadores mercantilistas, Hume no creía en la idea de la acumulación de metales.

Hume manifestó que los cambios en el nivel de precios en un inicio quedarían atrás de los cambios en el nivel de dinero. Durante un tiempo, el incremento en el dinero incrementaría los gastos, la producción y el empleo en la economía. Pero estas variaciones en el largo plazo la entrada de flujo de dinero sería por completo absorbido como un incremento en el nivel de precios.

De igual manera, una disminución en la oferta monetaria de la economía reduciría los gastos, la producción y el empleo antes de que disminuyera el nivel general de precios. El pensamiento de Hume refería que la razón de la depreciación de la libra en relación con otras monedas, radicaba en la necesidad de Inglaterra de tener una mayor cantidad de divisas las cuales financiaran sus importaciones, por medio de sus ventas al extranjero.

Además Hume mencionaba que la escasez de divisas incrementaría los precios; es decir, que se incrementará el precio en libras de las divisas, lo cual significa que la libra se depreciaba mientras que las demás monedas se apreciaban. Lo anterior, significaba de acuerdo con Hume, que los bienes ingleses eran más baratos para otras naciones y, en consecuencia, las exportaciones inglesas aumentarían. Y debido a que los bienes extranjeros tenían un costo más elevado, Inglaterra disminuiría sus importaciones.

Además David Hume en su obra "*Of the Balance of Trade*" mencionó que cuando las tasas de cambio entre las monedas de las naciones están en libertad de fluctuar, un desequilibrio del comercio tendía a corregirse solo. Lo anterior significa que si un país importaba más de lo que exportaba, en el largo plazo experimentaría una disminución en el valor de su moneda en relación con las monedas de otros países.

#### **1.1.4. Clásicos**

##### **1.1.4.1. Adam Smith**

Al igual que, Cantillon, Adam Smith hacía una diferencia entre el precio intrínseco o natural de los bienes y su precio de mercado en el corto plazo. Dentro de su pensamiento creía que la oferta y la demanda a corto plazo de un bien no eran factores que determinaban los precios, lo que llamaba valores de intercambio, sino que causan fluctuaciones en los precios de mercado alrededor de los precios o valores naturales de los bienes.

Pero más relacionado a lo referente a esta tesis, Smith diferenciaba el precio real de un bien y su precio en dinero, o dicho de otra manera el precio nominal del bien, dentro de su razonamiento, Smith indicaba que las variaciones positivas del dinero dentro de las sociedades lograban que el precio en dinero de los productos y recursos incrementará.

##### **1.1.4.2. David Ricardo**

Debido a que Ricardo realizaba operaciones en el Banco de Inglaterra, comenzó a reflexionar sobre las implicaciones que generaba la moneda dentro de las operaciones e realizaba. Dentro de este razonamiento el cual es conocido como el *problema de la moneda* reafirmó la teoría de la cantidad de dinero, cuyo tema había sido tratado con anterioridad por Locke, Hume y Smith.



De acuerdo con Ricardo, el banco emitía un exceso de moneda debido a que ya no se encontraba controlado por el requerimiento de pagar oro a demanda. La impresión y los préstamos de billetes eran operaciones rentables que ayudaban a financiar los gastos del gobierno, pero que difícilmente conducía a precios estables para el oro o los bienes (Brue & Grant, 2009).

Pero según el razonamiento de Ricardo, el problema no era el elevado precio del oro, sino el valor bajo de la libra esterlina, en una manera más digerible, ahora era necesaria una cantidad mayor de libras para comprar una onza de oro, por lo anterior, Ricardo sugería un regreso al patrón oro, debido a que si el precio del oro aumentaba en el mercado, la moneda elevaría su valor por oro en el banco al precio de las casas de moneda.

Cada emisión de billetes se cancelaría automáticamente debido al flujo de papel hacia el banco, con ello, la restauración del estándar del oro permitiría controlar la inflación. Por ello Ricardo insistió que la onza de oro era capaz de comprar la misma cantidad de bienes que se compraban con anterioridad, pero los billetes lo cuales representaban al oro al precio de paridad de la casa de moneda, comprarían una cantidad menor de bienes, debido a que la inflación era en términos del dinero.

#### **1.1.4.3. John Wicksell**

Temía que la creciente producción y la existencia de oro inflarían la moneda, lo cual provocaría que las tasas interés bajaran y por lo tanto, los precios subieran. Por ello, este autor argumentaba que los países tendrían que suspender la acuñación de oro y que los países del mundo tendrían que adoptar un estándar de papel moneda internacional.

### 1.1.5. Karl Marx

Karl Marx fue uno de los principales críticos a los teóricos de la denominada escuela clásica, dentro de su pensamiento trataba de evidenciar que el capitalismo como sistema económico, tenía diversas contradicciones que lo llevarían a desaparecer. Marx también planteaba que existiría una revolución social dentro de los países capitalistas avanzados y aconsejaba que los trabajadores en el mundo tenían que unirse para acelerar el proceso.

Marx no fue un pensador que ahondara demasiado sobre cuestiones monetarias, aunque dentro de su “Teoría del valor trabajo” realizó un razonamiento que podría ser aplicado a la determinación de los tipos de cambio dentro de las economías.

Creía que el mercado determinaba los precios, los cuales están basados en el costo implícito del trabajo. Mencionaba que un bien como el oro, se convertía en un equivalente universal que reflejaba todos los valores.

Dentro de su razonamiento ejemplificaba que un abrigo se intercambiaría por dos onzas de oro, debido a que ambos requerían la misma cantidad de tiempo de trabajo socialmente necesario en su producción. Si se acuñan dos onzas de oro en dos libras monetarias, entonces el abrigo tendría un valor de dos libras.

Además creía que las variaciones temporales de la oferta y la demanda harían que los precios fueran diferentes a los valores reales de cada bien, pero que dicha variación de los precios permitiría que se compensaran unos a otros y se redujeran los precios promedio que reflejen los valores de los bienes (Brue & Grant, 2009).

### 1.1.6. John Maynard Keynes

Durante el discurso realizado por John Maynard Keynes en la presentación del memorándum presentado al *Committee on Industry and Trade*, Keynes realizó un análisis de las condiciones actuales de la economía británica en 1925 y también remarcó las dificultades ocasionadas por la apreciación de la libra esterlina al decidir el gobierno el regreso del patrón oro a la paridad de la guerra.

El Banco de Inglaterra fijó el tipo de cambio de la libra a un nivel que entrañaba una fuerte apreciación nominal de dicha divisa. El tipo de cambio real, la variable relevante que determina la competitividad del sector exportador, aún se apreció más porque los costes laborales y los precios de otros bienes y servicios protegidos crecían en el Reino Unido más rápidamente que en los otros países industrializados. Como consecuencia de esta pérdida de competitividad se deterioró la industria exportadora y se originó un elevado déficit comercial.

A fin de defender el tipo de cambio fijo, el Banco de Inglaterra introdujo restricciones a las salidas de capital y subió los tipos de interés para atraer capitales exteriores y financiar así el déficit por cuenta corriente. Esta política, sin embargo, no era sostenible a largo plazo porque se sustentaba en un crecimiento del endeudamiento exterior que antes o después sería inviable.

La política económica adecuada sería aumentar la competitividad del sector exportador y reducir así el déficit por cuenta corriente. La competitividad aumenta cuando se deprecia el tipo de cambio nominal <sup>1</sup>y/o cuando los costes del sector exportador nacional crecen menos que los costes correspondientes en otros países (si no se aprecia el tipo de cambio).

---

<sup>1</sup> Siempre y cuando no aumente el diferencial entre el crecimiento de los costes en el país y en el resto del mundo

## **1.1.7. Neoclásicos**

### **1.1.7.1. Gustav Cassel**

El Sueco Gustav Cassel aportó al desarrollo de la teoría de determinación del tipo de cambio nominal con la teoría de paridad de poder de compra en su “*The World's Monetary Policies*” (1921). Según dicha teoría el tipo de cambio nominal se ajustaría rápidamente para que los precios de los mismos bienes, en diversas partes del mundo, tengan un mismo precio si se expresa en una misma moneda.

Dicha teoría fue una extensión de la teoría del precio único que fue duramente cuestionada en los años posteriores.

### **1.1.7.2. John Gustav Knut Wicksell**

John Wicksell realizó aportaciones muy importantes a la economía monetaria, dentro de los avances logrados destaca el análisis del papel de la tasa de interés para lograr un nivel de precios de equilibrio o para generar movimientos inflacionarios o deflacionarios acumulativos dentro de las economías, además reconoció el potencial del gobierno y de los bancos centrales para estabilizar el nivel de precios.

De acuerdo con Brue & Grant (2009, pp 305) Wicksell temía que la creciente producción y las existencias de oro inflaran la moneda, lo que haría que las tasas de interés bajaran y los precios subieran. Por consiguiente, se deberá suspender la libre acuñación de oro y el mundo debería pasar a un estándar de papel moneda internacional. Ese estándar por lo común se considera como un medio para satisfacer una creciente escasez de oro, pero también para corregir una superabundancia”.

Además Wicksell dentro de su pensamiento señalaba que la obligación de cada banco sería regular su tasa de interés en relación con otros países, con el fin de equilibrar el saldo de la balanza comercial, así como también la estabilización del nivel de precios a nivel mundial.

### **1.1.7.3. Irving Fisher**

Dentro de la forma modificada y ampliada de la antigua teoría cuantitativa del dinero señalaba cinco factores determinantes del poder adquisitivo del dinero, o del nivel de precios: la cantidad de moneda en circulación, la velocidad de circulación, el volumen de los depósitos bancarios sujetos a una verificación, su velocidad de circulación y el volumen del comercio.

Fisher creía que habría que abandonar las monedas de oro, y sólo utilizar certificados de oro, dentro de su pensamiento aseguraba que una inundación de oro cuya naturaleza fuera interna o externa los certificados de oro provocaría un aumento en el precio, de acuerdo con la teoría cuantitativa del dinero.

Por lo tanto, la disminución de los precios del oro reduciría la oferta de certificados de oro por dos razones, en primer lugar, se desalentarían los depósitos de oro en el gobierno. En segundo lugar, las personas cambiarían su papel moneda por oro, en consecuencia la reduciría el circulante de dinero y los precios disminuirían, pero si como opción alternativa, el oro se exportara, los precios bajarían a medida que el dinero en circulación disminuyera, así el incremento del precio del oro invertiría el flujo de salida y, en consecuencia, el nivel de precios se restauraría a su nivel anterior.

Para estabilizar el poder adquisitivo del dólar se requería que la comisión monetaria comprara valores cuando el índice estuviera debajo de la paridad oficial y los vendiera cuando estuviera arriba. Hasta este momento el familiar mecanismo de

las operaciones de mercado abierto del Sistema de la Reserva Federal sería un sustituto para las variaciones en el precio del oro que Fisher había aconsejado con anterioridad<sup>2</sup>.

### **1.1.8. Sistema Bretton Woods**

A partir de la implementación del Sistema de Bretton Woods, se consiguió una gran estabilidad de los tipos de cambio, además con este sistema se lograron incrementar los niveles de comercio y la inversión internacional. Dentro de este sistema los tipos de cambio fijos se volvieron ajustables en determinadas condiciones, además se implementaron controles para limitar los movimientos internacionales de capitales y se creó el Fondo Monetario Internacional.

La década de 1920, como primer periodo del siglo XX en que se dejó que los tipos de cambio fluctuaran libremente, tuvo una profunda repercusión en la manera en que se percibían los mecanismos monetarios. Los tipos fluctuantes fueron acusados de su inestabilidad y de su susceptibilidad a la especulación desestabilizadora, es decir, de su tendencia a ser perturbados por ventas y compras especulativas que no estaban relacionadas con variables económicas fundamentales (Eichengreen, 1996).

El patrón oro fue dominante durante mucho tiempo, a pesar de diversas situaciones fue un medio que utilizaron los bancos centrales para controlar los niveles de especulación en los que se veían envueltos los agentes en los mercados, además, para los bancos centrales representó una medida para recuperar su hegemonía y mantener una política económica más estable.

De acuerdo con Eichengreen (1996) la desaparición del Sistema Monetario de Bretton Woods en 1973 marcó una línea divisoria, debido a que transformó los asuntos monetarios internacionales. Dicha transición fue una consecuencia del

---

<sup>2</sup> Estados Unidos ya se había apartado del estándar del oro cuando comenzó a abogar por su plan del "100 por ciento de dinero" y no estaba a favor de volver a él.

aumento de la movilidad internacional del capital, pues en el sistema de Bretton Woods los controles de capitales habían aislado en alguna medida de las presiones de la balanza de pagos a los Gobiernos los cuales sentían la necesidad dedicar la política monetaria a alcanzar otros objetivos.

#### **1.1.8.1. Jacques Rueff**

El economista francés Jacques Rueff (1972) predijo que la caída de las paridades provocaría la liquidación de las reservas de divisas y una lucha deflacionista por el oro como la que había agravado la gran depresión, pero el problema de la década de 1970 no fue la inflación, sino más bien la deflación como temía Rueff.

#### **1.1.8.2. Rudi Dornbusch**

El modelo de determinación del tipo de cambio también conocido como “modelo monetario de precios rígidos” de Dornbusch(1976), hacía referencia a que el tipo de cambio sobrepasaría su nivel de equilibrio en el largo plazo si variaban las tasas de inflación y de crecimiento del dinero; y esto fue lo que ocurrió cuando Alemania y Japón abandonaron su política basada en la existencia de un objetivo de tipo de cambio, como consecuencia de ello el dólar se apreció en un 29% en términos nominales entre 1980 y 1982.

Durante las tres últimas tres décadas, se han realizado diversas investigaciones que permitan pronosticar el tipo de cambio, pero se han encontrado con un débil relación empírica entre el tipo de cambio y sus variables fundamentales, lo anterior ha sido llamado por (Obstfield & Rogoff, 2000) como “el misterio de la desconexión del tipo de cambio”.

La desaparición del Sistema de Bretton Woods en el año de 1973 transformó los asuntos en materia monetaria, incluso más que la reconstrucción del patrón oro durante el año de 1925 o que el restablecimiento de la convertibilidad en el año de 1958.

A partir de que los bancos centrales y los gobiernos tomaron conciencia de la existencia de un instrumento que acabó conociéndose con el nombre de política monetaria, la estabilidad del tipo de cambio había sido el objetivo primordial al que ésta iba encaminada. La política monetaria se empleaba para fijar el tipo de cambio, salvo durante los periodos excepcionales y limitados de guerra, reconstrucción y depresión. Durante el año de 1973, la política monetaria cortó amarras y permitió la fluctuación de los tipos de cambio (Eichengreen, 1996 pág. 193)

### **1.1.9. Modelos de equilibrio de cartera**

A diferencia de los modelos monetarios, los modelos de equilibrio de cartera no se basan en el supuesto de que los activos nacionales y extranjeros son sustitutos perfectos.

De acuerdo con Sosvilla (2011) dentro de este tipo de modelos la existencia de riesgo cambiario, las diferencias existentes dentro de la valoración del riesgo político y de solvencia los cuales se encuentran asociados con los activos financieros relacionados en diferentes monedas, la presencia de controles de capital, o la existencia de información imperfecta sobre los activos extranjeros, podrían ser el origen de esta sustituibilidad imperfecta.

El modelo básico descrito por Branson, Halttunen y Massson entre los años 1976-1979 establece que los residentes de un determinado país pueden asignar su riqueza financiera ( $W$ ) en tres tipos de activos financieros: dinero nacional ( $M$ ), bonos nacionales ( $B$ ) y/o bonos extranjeros ( $A$ ). De acuerdo a esta versión el dinero no generará ningún tipo de rendimiento, mientras que los bonos generarán rendimientos nominales  $i$  e  $i^*$  respectivamente.

El modelo supone que los activos nacionales ( $M$  y  $B$ ) son detentados únicamente por los residentes nacionales, mientras que los residentes extranjeros



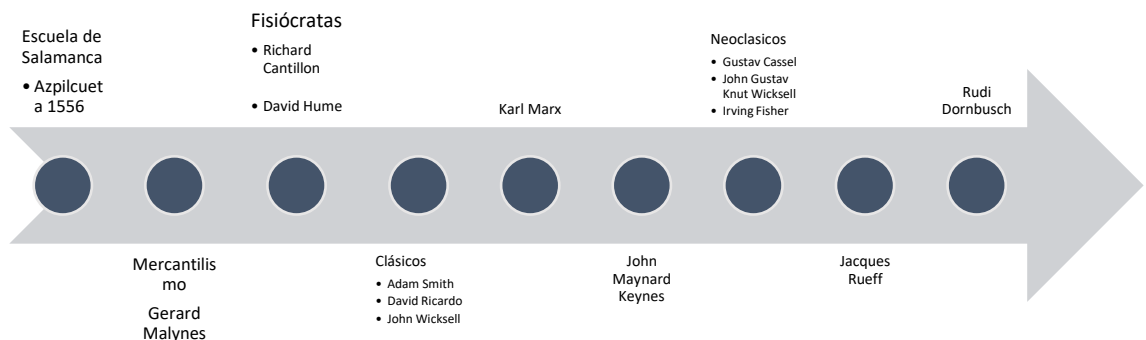
sólo mantienen activos extranjeros<sup>3</sup>. Por último, los stocks de M, B y A en manos de residentes nacionales se suponen dados en cada momento del tiempo.

En resumen el modelo el tipo de cambio ajusta el valor de los activos financieros en las carteras de inversores nacionales al nivel considerado óptimo por los agentes, dados las tasas de interés y los stocks de activos.

Para finalizar esta sección se presenta un cronograma de las principales teorías Monetarias analizadas:

**Figura 1.1**

**Línea del tiempo de las escuelas económicas que explican la determinación del precio de una moneda.**



*Fuente: Elaboración propia*

Hasta aquí se ha mostrado un acercamiento hacia el pensamiento de las escuelas económicas y su concepción sobre la determinación del precio de una moneda

<sup>3</sup> Ello implica que no haya efectos de valoración de la riqueza extranjera sobre el tipo de cambio.

respecto a las demás, así como su influencia dentro de los cambios presentados por diversas variables en las economías.

Lo cual permite conocer la gran importancia del estudio de los tipos de cambio, un tema que sin lugar a dudas, ha tenido un lugar en el estudio de los grandes economistas a lo largo de la historia y que con el paso del tiempo toma gran importancia para conocer y entender el sistema económico actual.

## **1.2. Marco Referencial**

Para analizar estudios recientes sobre la economía dinámica caótica y el tipo de cambio en el ámbito académico y de investigación se revisaron diez trabajos enfocados a casos similares en este trabajo.

### ***1.2.1. The efficacy of intervention in a chaotic foreign exchange market: an empirical study in INR-USD exchange rate series.***

Para iniciar con el estudio realizado por Sen & Chakrabarti (2014) cuya investigación consistió en la creación de un modelo que explicara la tasa de cambio de la rupia respecto al valor del dólar.

En dicho modelo se considera que la intervención del banco central es de hecho ineficaz en un mercado inherentemente caótico, por lo tanto, la ineficacia de la intervención en el mercado de divisas podría ser explicada en términos de su dinámica intrínseca.

Las variables empíricas para este estudio son el cambio porcentual en la reserva total de divisas, el cambio porcentual en la tasa de interés interna y el cambio porcentual en la tasa de cambio. Por tasa de interés interna, se considera la

tasa *call*<sup>4</sup>. Para los datos del tipo de cambio, la tasa de punto medio, un promedio de la oferta y demanda se utilice.

El modelo GARCH se emplea con el cambio mensual de tasa de interés interna y el cambio mensual de las reservas de divisas como variables explicativas en la ecuación de la varianza. Además dentro del estudio se realiza la prueba del exponente de Lyapunov cuya utilidad está centrada en la detección de caos en una serie de tiempo determinada, y la prueba para la serie rupia-dólar resulta de naturaleza caótica.

Los autores concluyeron que no sólo el cambio de la tasa de interés y de las reservas, no tienen impacto en la volatilidad del tipo de cambio, sino también que no existe transmisión de la volatilidad de estas dos variables a la tasa de cambio, es decir, la volatilidad de la serie Rupia-Dólar es endógena naturalmente, lo anterior indica que las intervenciones no son eficaces en la reducción de la volatilidad para la serie rupia-dólar.

### **1.2.2. Testing Chaos and Nonlinearities in T-Bill Rates**

Larraine (1991) hace referencia a las técnicas no lineales utilizadas en el análisis de las letras del Tesoro de EE.UU. De acuerdo con la hipótesis de la caminata aleatoria, los valores pasados en letras del Tesoro (representada por las tasas de interés de los T-Bills) siguen un proceso de *martingala*<sup>5</sup>.

Dentro de su análisis el autor emplea algunas técnicas para detectar si la serie es caótica, dentro de estos análisis incluye el análisis de fractales cuyo análisis permite medir la irregularidad o aspereza de líneas o curvas, planos y volúmenes, además utiliza un diagrama de bifurcación, dicho diagrama muestra todas las posibles soluciones a un sistema dinámico no lineal y por último, utiliza los

---

<sup>4</sup> Tasa que pagan los bancos por tomar préstamos entre entidades financieras a tasa fija a 7 días en el mercado interbancario.

<sup>5</sup> Los resultados pasados no deben contener información útil para la determinación de valores futuros; la mejor predicción posible de retornos pasados es la de ningún cambio.

denominados “*Probability Ridges*” en los cuales en un diagrama de bifurcación, la rayas oscuras que marcan los límites superior e inferior, lo cubre en el diagrama como forma de "S", representan valores de  $r$ , con altas probabilidades de ocurrencia.

En su estudio utiliza una solución para el precio actual de los T-Bills, cuyo valor futuro depende de los mismos, el autor utiliza como variables explicativas el valor presente y el valor con un rezago.

El autor concluye que los mercados no son caracterizados por una caminata aleatoria, pero gracias a las diversas pruebas aplicadas a la serie de los T-Bills, los resultados apuntan a la posible existencia de caos dentro de la serie. Además la no linealidad de la serie y los resultados obtenidos por el diagrama de bifurcación y el comportamiento violento que resulta de ello, de acuerdo con el autor, puede coexistir con una estructura macroeconómica fundamental.

### ***1.2.3. Financial Crisis Dynamics: Attempt To Define a Market Instability Indicator***

El estudio realizado por Choi & Douady (2012) tuvo como finalidad detectar la hiperreacción de los agentes del mercado a los cambios dentro de la economía, analizando la crisis hipotecaria del 2007-2009 la cual estuvo inmersa en un contagio de riesgo, que de acuerdo a los autores, es descrito por el efecto mariposa.

El estudio tiene un marco teórico sustentado en los estudios de Minsky (1992) quien analizó el impacto de la deuda en el comportamiento del sistema, llegando a la “*hipótesis de la inestabilidad financiera*”, Benhabib et al. (2006) estudió el ciclo de negocios multisectorial, encontrando que el modelo de tres sectores tiene un alto mecanismo de propagación.

Además del estudio de Caccioli et al. (2009) quien encontró que la proliferación incontrolada de instrumentos financieros erosiona la estabilidad sistémica y lidera el mercado a un estado crítico susceptible con correlaciones

mejoradas, a esto pueden agregarse los modelos de agentes de Hommes (2008) y Helbing (2010) que dan un resumen de cómo la complejidad contribuye a la aparición de los riesgos sistémicos en los sistemas socioeconómicos.

La metodología utilizada fue un modelo de agentes para determinar el impacto de las acciones asumidas por cada uno de los participantes en el mercado, a fin de determinar el impacto sobre las acciones de los demás agentes.

Los autores concluyen que cuando se produce una crisis la parte dinámica domina la parte aleatoria de las leyes económicas. Además, el indicador de la inestabilidad del mercado definido como el radio espectral de una matriz Jacobiana reducida, indica que cuanto mayor sea el valor, más inestable será el mercado.

Por ello, mencionan que las acciones para incentivar como la flexibilización, la política fiscal y los programas industriales deben ser cuidadosamente guiados y dirigidos a la vista de sus efectos a largo plazo, a fin de no ser engañados por una recuperación aparente que es justo el lado ascendente de la oscilación.

#### ***1.2.4. Nonlinear Time-Series Analysis of the Greek Exchange-Rate Market***

Andreou, Pavidis y Karitinos (2000), tiene por objeto analizar cuatro monedas extranjeras contra el dracma griego, las cuales incluyen, el dólar de EE.UU. (USD), el marco alemán (DM), el franco francés (FF) y la libra esterlina (BP) utilizando la teoría del caos y el análisis R/S el cual proporciona evidencia de fractalidad.

La investigación está fundamentada en trabajos como el de Peters (1994) quien llegó a la conclusión de que las monedas son procesos de Hurst con memoria infinita, Gencay (1998) también mostró que los modelos GARCH son inferiores a los modelos paramétricos para fines de predicción de las tasas de cambio FX.

Crato y De Lima (1994) mostraron que las volatilidades no son procesos de memoria a corto plazo y pruebas biespectrales Hinich y Patterson (1985); Ashley y Patterson (1989); Brock y Malliaris (1989) proporcionaron evidencia con los modelos GARCH de la inconsistencia de la dependencia de los rendimientos de los activos.

Los datos cubren un período de 11 años, a partir del 1 de enero de 1985 hasta el 31 de diciembre de 1995, lo cual consiste en 2,660 observaciones diarias. En el análisis se utilizaron técnicas no lineales y dinámica caótica, para reducir sustancialmente no estacionariedad, los conjuntos de datos se transformaron en las primeras diferencias de los logaritmos naturales de cada serie.

La aplicación de la prueba Brock, Dechert y Scheinkman (BDS) “es un test con poder para detectar estructura no lineal, tanto determinista como estocástica” mostró que la no linealidad es un fuerte síntoma de las cuatro series de datos. La serie DM y FF exhibió ciclos verdaderos, que corresponden aproximadamente de un año de duración, mientras que los ciclos en el USD y la serie BP demostraron ser simplemente artefactos estadísticos. La única inconsistencia se obtuvo de la prueba realizada con el exponente Lyapunov, lo que sugiere que los cuatro conjuntos de datos son consistentes con una explicación determinista, sin embargo; se muestra que esta prueba no es adecuada para distinguir entre las especificaciones aleatorias y caóticas.

### **1.2.5. Volatility, Heterogeneous Agents and Chaos**

*Gomes (2005)* realizó un análisis sobre como los agentes económicos conducen a generar un comportamiento caótico en las variables económicas agregadas, el autor explica que las condiciones bajo las cuales la heterogeneidad implica cambios significativos en los patrones evolutivos de las variables económicas estará identificado y se desarrollará un sencillo ejemplo del comportamiento heterogéneo

que describe una configuración en la que los consumidores pueden elegir entre dos oportunidades de inversión .

Su marco teórico está fundamentado en los estudios de *Hommes* (1997, 1998), donde las expectativas heterogéneas están vinculadas a un sistema de expectativas adaptativas y la racionalidad limitada sirve como hilo conductor, Romer (2000 ) quien pone de relieve la importancia de las emociones en la toma de decisiones, Gabaix y Laibson (2004 ) proponen un análisis exhaustivo del proceso de toma de decisiones, prestando especial atención a los esfuerzos que se asocian con los costos y beneficios al elegir alguna opción en particular y Kahneman (2003 ) quien explica que la intuición influye la mayoría de veces al tomar una decisión de lo que lo haría una investigación exhaustiva.

La conclusión es que en una economía donde los agentes pueden elegir entre aplicar sus ahorros en activos de riesgo o, alternativamente, los activos libres de riesgo, y no hay racionalidad limitada, la tasa de crecimiento del consumo agregado mostrará un comportamiento caótico que es imposible predecir en el momento inicial.

La racionalidad limitada y el comportamiento de elección tienen la intención de añadir un elemento de inercia a las decisiones, lo que está presente en muchas de las decisiones económicas que toman los individuos.

#### **1.2.6. Caos en el Mercado de Commodities (Redalyc 2010. Christian Espinosa Méndez)**

Espinosa (2010) con su artículo publicado en la Revista Redalyc, el cual habla sobre el caos en el mercado de commodities en el que analiza el periodo 2006-2007, hace referencia a la inestabilidad de precios como el petróleo, cobre, oro, entre otros.

El autor aplicó una serie de herramientas utilizadas en la teoría del caos para entender la dinámica de la evolución de los rendimientos de *commodities* y corroborar la existencia de un comportamiento caótico. En dicho análisis notó que las series tenían apariencias similares en diferentes escalas de tiempo, lo que lo llevo a descubrir la existencia de fractales dentro de las series analizadas.

En su investigación llega a la conclusión “La implicación teórica de estos hallazgos radica en el hecho que, a diferencia de la hipótesis de mercados eficientes, la información (o nueva información) que se agrega a la serie de precios de commodities (cambios en la oferta y demanda del commodity, anuncio de aumento o disminución de inventarios, modificación en la estructura de costos de producción, entre otros) no es exogena sino que endógena.

Por lo tanto, el desafío ya no consiste en dar una explicación estadística, o de otro tipo, a variables estocásticas que ayudan a mejorar el pronóstico de la evolución futura de dichas series, sino que radica en descubrir la dinámica de cada uno de estos mercados. Desde el punto de vista práctico, justifica la búsqueda de técnicas predictivas a la hora de invertir en commodities, al menos en el corto plazo.”

Este autor considera que al menos en el corto plazo es muy importante un análisis predictivo para la inversión en commodities, y que estos son afectados en mayor proporción por factores internos que externos, y por lo tanto, encontrar patrones en el comportamiento de dichas variables.

**1.2.7. Is There Chaos In The World Economy? A Nonparametric Test Using Consistent Standard Errors. (Ebsco 2003. Mototsugu Shintani Y Oliver Linton).**

Shintani y Linton (2003) se enfocan en hacer pruebas formales de caos en sistemas conocidos como ruido blanco, que se basa en los errores estándar, y resalta la idea



del enfoque en las fluctuaciones del ciclo económico más que en la tendencia, sin embargo, estos resultados habrá que tomarlos con cuidado, pues no son determinantes.

Dentro de su análisis encontró que se requiere para el análisis la estacionalidad de los datos y se necesita realizar un análisis cíclico. Por esta razón él autor recomienda utilizar parámetros no lineales y aplicar el filtro de Hodrick-Prescott (HP) y un método lineal clásico.

Explica que el precio de las acciones en si no tienen dinámica caótica, pues estas pueden ser explicadas o predichas por diferentes métodos, sino que más bien la desviación de una expectativa racional fundamental tomada del precio de una acción es la que tiene una dinámica caótica posiblemente derivadas de las creencias heterogéneas.

En general realiza un análisis no paramétrico del exponente de Lyapunov, lo que permitió comparar dos visiones alternativas, el ciclo exógeno tradicional y enfoques endógenos caóticos.

Sorprendentemente, en muchos casos, las estimaciones de exponentes de Lyapunov fueron negativos, aunque con frecuencia cercana a cero, y la positividad del exponente fue rechazado de manera significativa en el sentido estadístico.

#### **1.2.8. La Anticipación de las Crisis (Una Aplicación Del Enfoque Del Caos) (Ebsco 2007. Manuel Guzmán Hennessey)**

Guzman (2007) revisa la posibilidad de existencia de la teoría del caos en el contexto de las dinámicas de crisis, esto haciendo uso de herramientas filosóficas y pensamiento cognitivo. El autor afirma que el propósito de su ensayo es responder a la pregunta ¿Cuál es, en realidad, la esencia y el origen del Caos, y cómo pueden

aplicarse sus enfoques en una sociedad que necesita superar sus crisis y aprender a moverse en contextos turbulentos?

El autor hace hincapié en que hay un aumento en la complejidad del mundo y esta lleva a un entorno cada vez más caótico, en el que las innovaciones tecnológicas se entremezclan con el excesivo uso de recursos naturales.

Por tanto, los individuos están obligados a desarrollar una adaptación rápida que les permita anticiparse a los acontecimientos venideros. Hablar del pensamiento circular uniforme ya no es lo mejor, pues las cosas ya no son tan estables como en el pasado, es hora de contemplar el pensamiento circular no uniforme, que trae cambios repentinos no contemplados y que afectan en diferentes medidas.

El autor afirma que *“La noción del caos proviene de la imaginación de algunos matemáticos que descubren que la matemática clásica tiene limitaciones, y se dan a la tarea de inventar una nueva; se inspiran en los descubrimientos de la nueva física, especialmente los relacionados con las micropartículas, de manera que es a la nueva física a quien corresponde la real maternidad del caos; el descubrimiento de las fuerzas subatómicas dispara las investigaciones hacía un mundo infinitamente pequeño, donde se mueven las fuerzas del caos.”*

La afirmación es contundente, aunque deja cosas abiertas, pues en caso que los principios físicos cambien o estén sujetos a supuestos descontrolan el estudio, pues entonces cada científico podría realizar el mismo experimento y encontrar resultados diferentes.

El autor afirma que el caos está presente en todo, se está cambiando el modo en como el hombre mira el mundo. El antiguo interés de los científicos por considerar, controlar y predecir el funcionamiento de las partes ha quedado superado por un interés nuevo, el de entender a fondo la manera en que se mueve

la imprevisible totalidad de los hechos, cosa que posiblemente sea menos exacta pero proporciona un mayor mundo de interrogantes y de posibles soluciones.

### **1.2.9. Comportamiento Caótico En Los Mercados Bursátiles Latinoamericanos Utilizando Visual Recurrence Analysis (Ebsco 2007, Christian Espinosa Mendez)**

Espinosa (2007) analiza la existencia de un comportamiento caótico en las series de retornos de los índices accionarios: Índice de Precio Selectivo de Acciones (IPSA) correspondiente a Chile, Índice Bursátil de Argentina (MERVAL), Bolsa de Valores del Estado de São Paulo (BOVESPA) e Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) correspondiente a México.

Espinosa (2007) empleó Visual Recurrence Analysis y concluyó que el mercado bursátil es un claro ejemplo de la economía dinámica caótica, y posiblemente lo más abordado cuando se habla de este tema, además de que se enfoca en países latinos, cuando otros autores se enfocan en Estados Unidos de América, Canadá, o Europa.

Dentro de lo que son las finanzas hay muchos enfoques para analizarlas, pero sin duda el más utilizado es el análisis fundamental, sin embargo según Espinosa (2007) resalta que “a este tipo de análisis le faltan piezas y el resultado, habitualmente, es subjetivo y criticado, y las causas claves de las subidas y bajadas en dichos precios suelen ser desconocidas o indescifrables”.

Dentro de lo que encontró al analizar las variables fue la no normalidad de las series, dato interesante, pues la mayoría de las investigaciones tienen como requisito que las series cumplan ciertos supuestos de normalidad, cosa que en la realidad no pasa muy a menudo, después de comprobar la no normalidad utilizó el Visual Recurrence Analysis (VRA), basándose en la definición de gráfico de recurrencia de Eckmann, Kamphorst y Ruelle (1987) y en el RQA de Zbilut y Webber (1992) para analizar series de tiempo financieras.

Dentro de sus resultados encontró que “Claramente, se observa una señal de determinismo en el atractor de Lorenz (más estructurado) a diferencia de la serie aleatoria (mas uniforme). Además, se detecta la presencia de líneas horizontales que denotan la existencia de orbitas periódicas inestables. En la práctica, la construcción de los gráficos de recurrencia requiere obtener la dimensión de inmersión y el tiempo de retardo.”

Este resultado da una pauta que para series no lineales es de utilidad utilizar el atractor de Lorenz que detecta orbitas periódicas inestables.

Luego de analizar las series de los índices accionarios IPSA, Merval, BOVESPA e IPC y emplear distintas técnicas y métodos como Análisis gráfico, análisis de recurrencia y entropía de espacio temporal se encuentra evidencia a favor de la hipótesis de que los mercados bursátiles latinoamericanos se comportan de forma caótica.

Además, se confirma que las series de retornos de índices bursátiles latinoamericanos no se comportan de forma lineal ni normal. Evidenciar este comportamiento en series financieras justifica que bancos de inversiones, administradoras de fondos de pensiones, Hedge Funds y otros inversionistas busquen técnicas y modelos, basados en este nuevo paradigma, que les permitan obtener una mayor eficiencia en la administración de sus portafolios.

A esto se añade que es un método más preciso para hacer portafolios de inversión que el portafolio de Markowitz, pues este es un modelo estático, y no contempla movimientos bruscos en el comportamiento de las variables bursátiles.

**1.2.10. Análisis del Índice General De La Bolsa De Valores De Colombia Y Sus Rendimientos Desde La Teoría Del Caos, 2001-2011 (Tesis Universidad De Medellín 2012. Hermilson Velásquez Ceballos Y Jorge Humberto Restrepo Restrepo)**

Velásquez (2012) presenta un enfoque alternativo para el análisis de las series de tiempo en mercados financieros, cuyos fundamentos consideran la posible existencia de características de objetos fractales y estructuras caóticas en ellas.

Hace enfoque en que la economía dinámica caótica está tomando fuerza y que cada vez se utiliza en una mayor cantidad de estudios económicos, pues existen patrones que son incontrolables, y que no pueden analizarse bajo enfoques determinísticos, en su estudio se hace uso de fractales, los cuales son aplicables a las formas geométricas generadas por procesos de repetición o iteración, pues considera que aún dentro del comportamiento caótico existen patrones que se repiten, claro estos patrones se manejan en el largo plazo, por eso es conveniente trabajar con series de tiempo largas.

En su investigación considera que las variables tienen las siguientes características:

- a) Tienen ausencia de normalidad
- b) La no linealidad de las series
- c) Autosimilitud: esta hace referencia a los fractales en la que en el largo plazo se crean patrones similares.

Una vez confirmado lo anterior y al usar los fractales asegura que es más exacta la manera de medir el riesgo que la varianza del activo.

La importancia de este estudio resalta cuando las propiedades de autosimilitud, persistencia y caos sin mencionar la no linealidad, permiten que los fractales y la teoría del caos incorporen herramientas en las finanzas, para crear

estrategias de inversión. Además muestra que los comportamientos aleatorios pueden ser considerados como caos, pero que si se analiza desde esta perspectiva proporcionan una mejor comprensión del comportamiento de variables financieras.

Hasta este punto se han presentado algunos estudios relacionados con la teoría del caos y su aplicación dentro de la ciencia económica, es importante destacar que es solo un acercamiento a una gran variedad de estudios relacionados con el tema y que además existe un limitado número de aplicaciones a las economías latinoamericanas.

## **CAPÍTULO 2**

# **LA TEORÍA DEL CAOS Y LOS SISTEMAS DINÁMICOS EN LA ECONOMÍA Y LAS FINANZAS**

Este capítulo tiene como propósito desarrollar un primer acercamiento sobre la temática de esta investigación, que son los conceptos claves de la teoría del caos. Dentro de este se describe la importancia de la Teoría del caos realizada en el campo de la economía.

En primera instancia se realizará una breve descripción de la Teoría del Caos planteada por Lorenz, considerado como el padre de esta teoría, y mencionando algunas herramientas matemáticas y estadísticas para su detección, tales como el exponente de Lyapunov, además de conceptos como atractores caóticos, la prueba BDS, análisis R/S, así como el análisis espectral, la dimensión fractal y el uso de ventanas; que son conceptos fundamentales para esta teoría.

## 2.1. Introducción

El caos en la economía ha sido empleado en la rama macroeconómica, dentro de esta rama de la economía se ha aplicado la teoría del caos a los sistemas determinísticos no lineales. Un grupo de investigadores entre los que se incluyen Benhabib y Nishimura (1979), han desarrollado un gran número de ejemplos sobre modelos económicos determinísticos que podrían generar fluctuaciones no periódicas.

Dentro del campo de las finanzas, se crearon algunos modelos que tratan de explicar el comportamiento caótico de los tipos de cambio. Un ejemplo, es el siguiente:

$$S_t = X_t S_{t-1}^\alpha S_{t-2}^\beta \quad (2.1)$$

donde;  $S_t$  representa el tipo de cambio en el tiempo  $t$ ,  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros del sistema. El modelo fue creado por Grauwe, Dewatcher y Embrechts (1993).



El principal problema que se ha enfrentado la ciencia económica al aplicar la teoría del caos es una consecuencia directa de algunos problemas relacionados con la aplicación de las técnicas a los datos económicos.

Se presenta un modelo caótico para explicar la volatilidad del tipo de cambio, utilizando la teoría del caos como herramienta fundamental para la explicación de dichas volatilidades.

## 2.2. El Modelo de Lorenz

Este sistema fue encontrado por Edward Lorenz en el año de 1963, este sistema fue principalmente desarrollado porque Lorenz tenía la intención de predecir el clima. Pero los resultados que obtuvo no fueron precisamente los deseados, sin embargo; su estudio aportó mucha información a las matemáticas, ya que fue el primer sistema tridimensional autónomo en el cual se encontró un atractor caótico, este atractor actualmente es conocido como “La Mariposa de Lorenz”.

El trabajo de Lorenz permaneció ignorado durante más de una década, hasta que se reconoció su importancia durante el “boom” de la nueva ciencia interdisciplinaria del caos determinista la cual se generó a partir de las cada vez más rápidas y poderosas computadoras. La importancia de los fractales “*el lugar donde vive el caos*” fue también intuido por Poincaré a través de la intrincada distribución de puntos estables e inestables en el espacio de fases de un sistema hamiltoniano.

El sistema de Lorenz está dado por el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma y - \sigma x \\ \dot{y} &= rx - y - zx \\ \dot{z} &= xy - bz\end{aligned}\tag{2.2}$$

donde;  $x, y$  i  $z$  son componentes de Fourier de los campos de velocidad y temperatura, y  $r, b$  y  $\sigma$  son parámetros positivos que caracterizan propiedades físicas del fluido.

El llamado “efecto mariposa” fue el resultado del análisis de Lorenz. Dicho paradigma contiene la esencia de los fenómenos caracterizados por el caos, primero, la dependencia sensitiva de las condiciones iniciales y segundo, el factor que predice la situación futura de los sistemas caóticos.

La manifestación del caos puede ser encontrada en cualquier parte del mundo real, por ejemplo: la evolución del clima, las epidemias, la propagación de una avalancha, los latidos del corazón, etcétera. Tomando en cuenta que la mayoría de los sistemas dinámicos en el mundo no son lineales<sup>6</sup>

La localización de los equilibrios y el análisis de su estabilidad lineal es bastante fácil, en él se encuentran los siguientes equilibrios:

$$x = y = z = 0 \quad \text{para todo } r$$

Y los puntos que llamaremos  $C$  y  $C^l$ :

$$x = y = \pm\sqrt{b(r-1)}$$

$$z = r - 1$$

Que existen para  $r > 1$ . A  $r = 1$  hay una bifurcación *pitchfork*<sup>7</sup> de la solución nula a las soluciones  $C$  y  $C^l$ , ubicadas simétricamente con respecto al eje  $z$ .

El análisis de estabilidad lineal muestra que la solución nula es estable si  $r < 1$  e inestable si  $r > 1$ , con dos autovalores negativos y uno positivo, así que es un punto de ensilladura tridimensional. Los puntos  $C$  y  $C^l$ , a su vez, resultan ser estables para  $r > 1$  hasta que se alcanza cierto valor  $r_c$  (si  $\sigma > b + 1$ , si no se mantienen estables siempre) y son inestables para  $r > r_c$ .

Donde son inestables,  $C$  y  $C^l$  tienen dos auto valores complejos conjugados con parte real positiva, mientras que el tercer auto valor es real y negativo, de manera que las trayectorias se acercan a los equilibrios en una dirección, pero se alejan en forma espiral a lo largo de una variedad inestable de dimensión 2.

---

<sup>6</sup> Condición básica para la existencia del caos

<sup>7</sup> Es un tipo particular de bifurcación local. Es habitual en sistemas dotados de alguna simetría. Al igual que las bifurcaciones de Hopf, las bifurcaciones pitchfork pueden ser supercríticas o subcríticas.

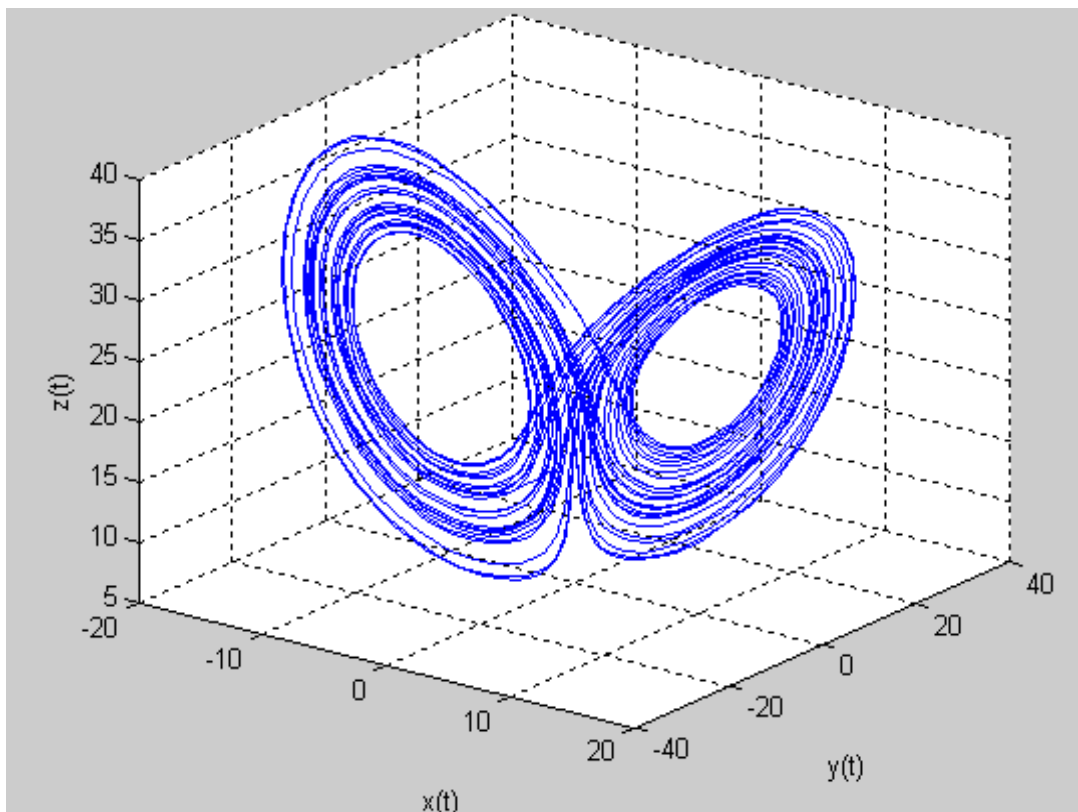
En resumen, puede decirse que cuando  $r > r_c$  se tiene que:

- Ningún punto de equilibrio es estable.
- Todas las orbitas se acercan desde el infinito.
- El volumen se encoge.
- Ningún atractor tiene volumen finito.
- Ninguna orbita es cuasi periódica.

Los experimentos numéricos muestran que van a un atractor extraño, con una dimensión fractal  $2 < D < 3$ , con aspecto de producto cartesiano entre un plano y un conjunto de Cantor. En la figura 2.2-1 se puede visualizar como una órbita da algunas vueltas alrededor de  $C$ , seguidas de algunas vueltas alrededor de  $C^l$ , y así sucesivamente.

**Figura 2.2-1**

**Proyección de una órbita caótica del sistema de Lorenz**



*Fuente: Sorin (2014)*

De hecho, el atractor caótico existe no solo para  $r > r_c$ , sino que aparece para  $r_1 < r < r_c$ . En este rango, el atractor caótico coexiste con los atractores  $C$  y  $C^l$ .

Si se hace oscilar  $r$  cuasi estáticamente en un intervalo que incluya a  $r_1$  y a  $r_c$ , se observa una histéresis. Además, se observa que el atractor extraño aparece a  $r = r_1$ , sin estar asociado a la desestabilización de otro atractor. Por tanto existen varias diferencias con el caso del mapeo logístico. Sin embargo, existe una similitud que vale la pena mencionar.

Para argumentar que el atractor del sistema no es periódico, Lorenz examinó el comportamiento de los máximos sucesivos de las trayectorias en la dirección  $z$ . Es una manera de reducir la dinámica continua y tridimensional del sistema completo, a la de un mapeo unidimensional, de manera similar a lo que se hace con el mapeo de Poincaré.

De acuerdo con Sorin (2014) la teoría del caos demuestra que incluso los sistemas dinámicos más simples pueden exhibir en algún momento un comportamiento muy complejo. Si la variación de los tipos de cambio es causada debido a la naturaleza caótica del sistema, esto debe conducir al hecho de que las influencias más pequeñas deben tener el efecto de una no linealidad sobre los tipos de cambio, exactamente lo que sucede en la realidad.

### **2.3. Caracterización del movimiento caótico**

De acuerdo con Ibarra (2004) las técnicas utilizadas para el análisis del caos pueden agruparse en dos conjuntos: aquellas que utilizan la noción del movimiento browniano como base de su construcción (como el análisis  $R/S$ , el estadístico  $BDS$  y el análisis espectral), y aquellas que parten directamente de la noción del caos (como los exponentes de Lyapunov y la dimensión fractal).

### 2.3.1. Exponente de Lyapunov

Un indicador general de la presencia de caos en un sistema dinámico, es el máximo exponente de Lyapunov. Este da una medida de la tasa media de divergencia exponencial de orbitas cercanas, es decir que, ofrece una medida de la tasa exponencial media de la divergencia o convergencia exponencial de trayectorias cercanas en el espacio de fase.

La divergencia o convergencia exponencial de las orbitas implica la perdida de la predictibilidad del sistema, es importante recalcar que la presencia de al menos un exponente positivo de Lyapunov indica que el sistema es caótico, con la magnitud del exponente reflejando la escala temporal, en la cual la dinámica se hace impredecible.

Como se mencionó anteriormente, el concepto de divergencia o convergencia no se encuentra excluido de la teoría del caos. El exponente de Lyapunov analiza un comportamiento más específico sobre la teoría del caos, su sensibilidad a las condiciones iniciales.

#### 2.3.1.1 Definición formal

Comenzando por definir el sistema dinámico como:

$$\dot{x} = f(x) \tag{2.3}$$

donde  $\dot{x}$  representa la derivada temporal de  $x$  y cuya solución puede indicarse como  $f^t(x)$ . Además, es necesario considerar dos supuestos iniciales cercanos en el espacio de fase  $x_0$  y  $x_0 + \delta x_0$ , donde  $\delta x_0$  es una pequeña perturbación de  $x_0$ .

Después de pasar un tiempo  $t$ , la solución para las condiciones iniciales queda  $f^t(x_0)$  y  $f^t(x_0 + \delta x_0)$ . Utilizando la órbita descrita por la solución con condición inicial  $x_0$  como referencia, la separación de trayectorias se define como  $\Delta f^t = f^t(x_0 + \delta x_0) - f^t(x_0)$ , la cual estará en función del tiempo e indicará, ej. si diverge, que el sistema es inestable.

Para el caso particular de una órbita caótica la función  $\Delta f^t$  variará erráticamente con el tiempo, por ello, es necesario introducir la tasa media exponencial de divergencia del parto de trayectorias, lo anterior se define como:

$$\lambda = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \ln \left| \frac{\Delta f^t}{\delta x_0} \right| \quad (2.4)$$

Donde  $\lambda$  se define como exponente de Lyapunov y se asume que  $\delta x_0 \rightarrow 0$ . Linealizando  $f^t$ , se satisface:

$$\Delta f^t = f^t(x_0 + \delta x_0) - f^t(x_0) \quad (2.5)$$

$$\Delta f^t = D_{x_0} f^t x_0 * \delta x_0$$

La expresión del exponente de Lyapunov puede escribirse como:

$$\lambda = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \ln \frac{|D_{x_0} f^t x_0 * \delta x_0|}{|\delta x_0|} \quad (2.6)$$

En general, un sistema dinámico en un espacio de fase  $n$  – dimensional posee un espectro con  $n$  exponentes de Lyapunov, uno por cada dirección del espacio de

fase. Además, puede demostrarse que si  $F(x)$  es suave, el límite existe y es igual al máximo exponente de Lyapunov.

Es importante notar que cualquier separación inicial  $\delta x_0$  contiene, en general, algún componente en la dirección asociada con el máximo exponente de Lyapunov y debido al crecimiento exponencial de este último, el efecto de los otros exponentes se verá atenuado hasta desvanecerse con el tiempo.

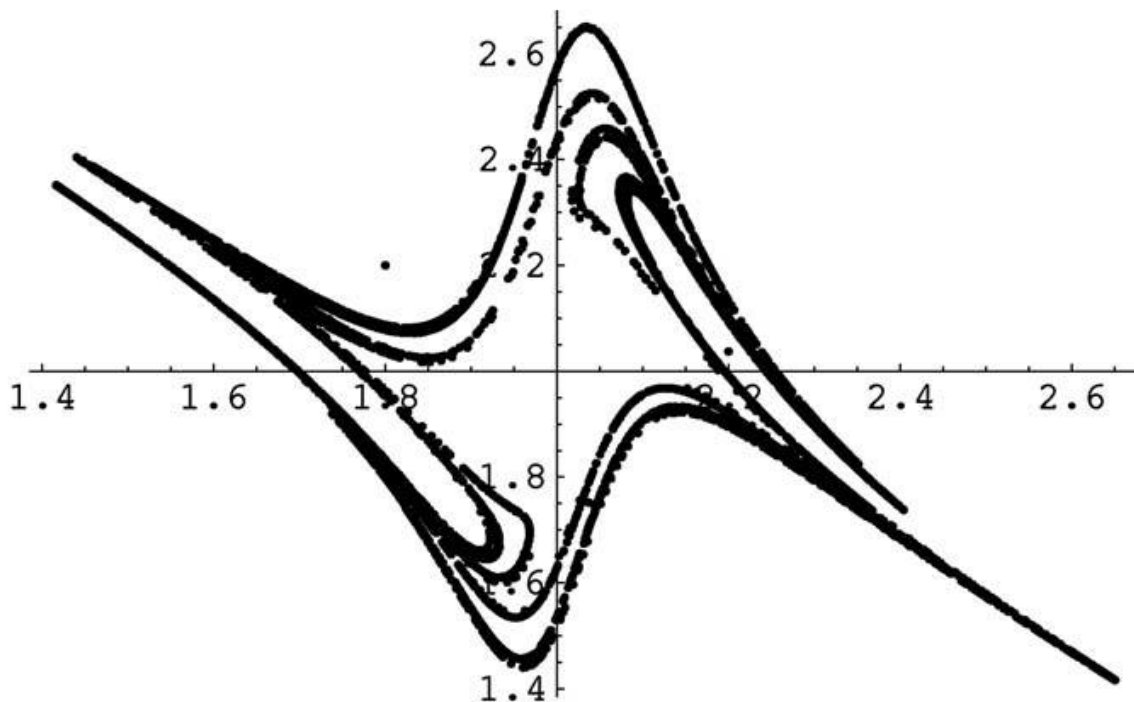
### **2.3.2. Atractores caóticos**

Como se mencionó en los apartados anteriores, existe el atractor caótico de las series, cuyo valor es mayor a cero. Las características más importantes de estos atractores caóticos son:

- Un atractor caótico contiene una órbita caótica.
- Un atractor caótico atrae un conjunto de condiciones iniciales de medida no nula.

Además, un atractor caótico debe ser un  $\omega$ - límite. Esto permite descartar todo comportamiento transitorio al partir de condiciones iniciales que no estén sobre el atractor.

## Representación de un atractor caótico



*Fuente: Guegàn (2009)*

### 2.3.2.1. Definiciones

Sea  $\{f^n(x_0)\}$  una órbita caótica. Si  $x_0 \in \omega(x_0)$ , entonces  $\omega(x_0)$  se llama un conjunto caótico. En otras palabras, un conjunto caótico es el  $\omega$ -límite de una órbita caótica que está contenida en su propio  $\omega$ -límite.

Un atractor es un  $\omega$ -límite que atrae un conjunto de condiciones iniciales cuya medida en el espacio de fases es no nula, y que constituye la cuenca del atractor. Finalmente, un atractor caótico es un conjunto caótico que es también un atractor<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> No todo conjunto caótico es un atractor caótico



### 2.3.3. Prueba BDS

Es un método no paramétrico basado en la función de correlación desarrollada por Grassberger-Procaccia en el año de 1983, esta prueba analiza la dependencia y la estructura no lineal en las series de tiempo.

La prueba BDS incorpora el análisis de dimensiones, pero supone que el tiempo de retardo es igual. Por lo anterior, diversos autores como Barnett et al. (1997) y Matilla-García et al. (2004) citados en Fagiini (2014) han empleado diversos métodos para obtener una buena dimensión de correlación.

Por la gran cantidad de problemas con los que se han encontrado diversos autores, la prueba BDS no es considerada para ser una prueba directa para detectar el caos en las series de tiempo, más bien, es utilizada como un tipo de herramienta que permite conocer el tipo de dependencia existente en las series de tiempo después de eliminar la dependencia no lineal de los datos.

La hipótesis nula de la prueba BDS, es que la variable para la cual se realiza el análisis se distribuye de manera independiente e idénticamente.

Hsieh (1991) citado en Fagiini (2014) demostró que la prueba BDS puede detectar cuatro tipos de comportamientos no independientes y no distribuidos idénticamente, derivado de la no estacionariedad de las series de tiempo, un sistema lineal estocástico (tal como los procesos ARMA), un sistema estocástico no lineal (por ejemplo, procesos ARCH/GARCH), o un sistema determinista no lineal, lo que podría ofrecer caos de orden inferior.

Brock et al. (1991) citado en Fagiini (2014) mostró como las estadísticas de la prueba BDS se aproximan correctamente en muestras finitas, si cumplen con las siguientes características:

- Si el número de observaciones (N) es mayor de 500.
- Si  $\epsilon$  se encuentra entre  $\theta 0.5$  y  $\theta 2$ , donde  $\theta$  es la desviación estándar.
- La dimensión de incrustación  $m$  es menor que  $N/200$ .

### 2.3.1.1 Definición

Supóngase una serie de tiempo  $x_t$  para  $t = 1, 2, 3, \dots, T$ , a partir de esta se crea una serie de vectores  $m$  dimensionales, a modo de que  $m$  representa la dimensión de inserción. La función de correlación se calcula empleado la fórmula:

$$C_m(\epsilon) = \frac{1}{T(T-1)} \sum_{i,j=1}^r Z(\epsilon - |x_i^m - x_j^m|) \quad (2.7)$$

donde  $Z$  es la función de Heaviside que toma un valor igual a 1 si

$$\epsilon - |x_i^m - x_j^m| > 0 \text{ o el valor de } 0 \text{ si } \epsilon - |x_i^m - x_j^m| < 0.$$

Si se toma como hipótesis nula que los valores de la serie se distribuyen idéntica e independientemente (i.i.d) se cumple que:

$$C_m(\epsilon) = C_1(\epsilon)^m \text{ cuando } T \rightarrow 0$$

Se puede demostrar que  $C_m(\epsilon) = C_1(\epsilon)^m$  sigue una distribución normal con media igual a 0 y varianza:

$$\sigma_m^2(\epsilon) = 4 \left( K^m + 2 \sum_{j=1}^{m-1} K^{m-j} C^{2j} + (m-1)^2 C^{2m} - m^2 K C^{2m-2} \right) \quad (2.8)$$

donde  $C = C(\epsilon)$  se puede estimar en manera consistente como  $C_1(\epsilon)$  y  $K = K(\epsilon)$  que puede ser estimado mediante la siguiente función:

$$K(\epsilon) = \frac{6}{T_m(T_m - 1)(T_m - 2)} \sum_{t < s < r} h_{\epsilon}(x_t, x_s, x_r) \quad (2.9)$$

En la que

$$h_{\epsilon}(x_t, x_s, x_r) = \frac{1}{3} [Z(x_t, x_s)Z(x_t, x_r) + Z(x_t, x_r)Z(x_r, x_s) + Z(x_s, x_t)Z(x_t, x_r)]$$

$$Y \quad T_m = T - (m - 1)$$

El estadístico BDS se define como:

$$W_m(\epsilon) = T^{\frac{1}{2}}(C_m(\epsilon) - C_1(\epsilon)^m) / \sigma_m(\epsilon) \quad (2.10)$$

Los resultados obtenidos de este estadístico se contrastan con una tabla elaborada por Brock, Dechert y Scheinkman. Si el estadístico es mayor al contraste de tablas, entonces se puede rechazar la hipótesis nula de que los elementos de la serie temporal están idéntica e independientemente distribuidos.

Brock, Hsieh y LeBaron (1991) citados en Ibarra, (2004) proponen la utilización de un instrumento que permite detectar el cambio estructural, el llamado gráfico de recurrencia. En este gráfico, los ejes representan la longitud temporal de la serie a estudiar.

Para la construcción de dicho gráfico, en primer lugar, se sugiere la construcción de vectores utilizando el método de reconstrucción de un atractor extraño, haciendo  $\tau = 1$ . Como segundo paso, se construyen dos vectores a partir de la forma anterior, los cuales serán nombrados como  $x_t^m$  y  $x_s^m$  siendo  $m$  la dimensión de inserción.

A partir del paso anterior, se calcula la distancia entre vectores  $d(x_t^m, x_s^m)$  y se dibuja un punto en el gráfico si dicha distancia es mayor que  $\epsilon$ , una distancia mínima arbitraria, mientras que si por el contrario la distancia es menor o igual a  $\epsilon$  no se dibujará ningún punto.

A partir de los resultados obtenidos, es posible realizar el análisis, en caso de que se distinguen zonas claras significará que puntos distantes ocurren en un periodo de tiempo corto.

La no obtención de un gráfico uniforme implica la violación de la hipótesis de i.i.d. y la existencia de cambio estructural. Los cambios de zonas claras a oscuras sugieren un fuerte cambio en la dinámica del sistema, es decir, zonas cuadradas oscurecidas alrededor de la diagonal corresponderán a períodos de estabilidad y escasa volatilidad. El paso de una zona oscura a una clara vendrá dado por un cambio en la dinámica entre períodos de baja volatilidad y la llegada de  $n$  períodos con mayor volatilidad (Ibarra, 2004).

#### **2.3.4. Análisis R/S**

Este análisis permite conocer la existencia o no de memoria en las series temporales. Lo anterior, se realiza mediante el cálculo del exponente de Hurst ( $H$ )<sup>5</sup>, dicho estadístico permite conocer si la serie sigue un comportamiento de tipo browniano ordinario, o en caso contrario la serie presentará memoria.

El análisis R/S está basado en la determinación del rango ajustado  $R(n)$ , el cual es el equivalente a la distancia recorrida por el sistema en una unidad de tiempo  $n$ . Este rango es normalizado en el sentido de que debe cumplir con media igual a 0 y debe expresarse en términos de la desviación típica R/S.

Para el cálculo de este estadístico, es necesario en primer lugar, dividir la serie de tiempo de tamaño  $N$ , en  $V$  intervalos de longitud  $n$ . Lo anterior significa que  $Vn = N$ . Denominando a cada intervalo como  $I_v$  con  $v = 1, 2, \dots, V$  cada elemento del intervalo se denominará como  $N_{k,v}$  con  $k = 1, 2, \dots, n$ . A partir de esto se calcula la media de cada elemento de los subintervalos de longitud  $n$  obteniendo  $v$  medias calculadas de acuerdo a:

$$m_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{k,v} \quad (2.11)$$

Como segundo paso, es necesario calcular las desviaciones acumuladas con respecto a la media en cada subintervalo:

$$X_{k,v} = \sum_{i=1}^k (N_{i,v} - m_v) \quad \text{para } k = 1, 2, \dots, n$$

En tercer lugar, se define un rango para cada subintervalo  $R_{Iv}$  como la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de  $X_{k,v}$ :

$$R_{Iv} = \max(X_{k,v}) - \min(X_{k,v})$$

A partir del cálculo de la diferencia entre el máximo y el mínimo, se calcula la desviación típica muestral para cada subintervalo  $I_v$ :

$$s_{Iv} = \left[ \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (N_{k,v} - m_v)^2 \right]^{1/2} \quad (2.12)$$

Como quinto paso se divide cada rango por la desviación típica y con ello se obtiene  $R/S$  para los intervalos de longitud  $n$ :

$$(R/S)_n = \frac{1}{V} \sum_{v=1}^v (R_{Iv}/S_{Iv}) \quad (2.13)$$

A partir del último cálculo se aumenta la longitud del intervalo hasta el siguiente valor que verifique que  $N/n$  sea un número entero y se repite todo el proceso desde el paso número 1 para todos los valores posibles de  $n$ .

Una vez realizado todo el proceso se realiza una regresión con  $\log(n)$  como variable independiente y  $\log(R/S)_n$  como variable dependiente. La pendiente de esta regresión será el valor de  $H$  buscado.

De acuerdo con Mandelbrot (1972) citado en Ibarra (2004), una de las propiedades más relevantes del análisis R/S es que se presenta como un análisis robusto para la detección de ciclos. La búsqueda de ciclos ha sido una constante en el estudio económico. Mediante la metodología del análisis R/S es posible detectar ciclos no periódicos cuyo período sea mayor o igual que el periodo muestral y con ello será posible conocer la duración aproximada de los ciclos.

A partir del estadístico  $V$  es posible conocer la duración aproximada de dichos ciclos, mediante la implementación de la siguiente fórmula, la cual define al estadístico  $V$ :

$$V_n = \frac{(R/S)_n}{\sqrt{n}} \quad (2.14)$$

Graficando la función  $\log(n)$  como variable independiente y el estadístico  $V$  como variable dependiente se observará alguno de los siguientes resultados:

- Si el proceso es un movimiento browniano ordinario, es decir  $H = 1/2$ , el gráfico será una línea horizontal.
- Si el proceso es un movimiento browniano fraccional persistente, es decir,  $H > 1/2$ , se visualizará una línea creciente.
- Si el proceso es un movimiento browniano fraccional anti persistente, es decir,  $H < 1/2$ , el gráfico será una línea decreciente.

Del análisis anterior puede concluirse que en caso que exista un comportamiento cíclico, la pendiente cambiará cuando termine la longitud del ciclo, por lo que es posible conocer la longitud media del ciclo.

Para corroborar que el exponente de Hurst ( $H$ ) sea significativamente distinto a  $1/2$ , se recomienda realizar la conocida prueba  $t$  de Student para parámetros de regresión.

### **2.3.1 Análisis Espectral**

El análisis espectral dentro del campo de la economía ha servido como herramienta para el análisis principalmente de variables macroeconómicas, pero esto no implica que el análisis espectral sea utilizado como una herramienta para predecir los valores futuros de dichas variables, sino que simplemente es utilizada como ayuda para pronosticar e inspeccionar los fenómenos cíclicos de una serie de tiempo.

Dentro de la ciencia económica el estudio de las series económicas, es realizado mediante diversas herramientas matemáticas y estadísticas, pero es posible analizarlas también a partir de otro método, el análisis de frecuencias, también conocido como análisis espectral.

El análisis espectral se refiere a la teoría y técnica que permite descomponer una señal o serie de tiempo (luminosa, sonora, sensorial, económica, etc.) en componentes senoidales<sup>9</sup> de diferentes frecuencias y amplitudes. En el análisis espectral importa menos la forma específica de la serie a lo largo del tiempo y más la identificación de las ondas senoidales presentes.

En el caso de la ciencia económica no es posible utilizar la transformada de Fourier<sup>10</sup> debido a que las series económicas en la mayoría de los casos son series discretas, por ello lo más conveniente es no utilizar la transformada de Fourier para analizar dichas series.

Es necesario considerar que las observaciones de las series económicas son el resultado de un modelo armónico, así como de variables aleatorias que permanecen constantes a través de todo el proceso y de un término completamente aleatorio que está relacionado con lo anterior. La siguiente expresión muestra en términos matemáticos lo mencionado con anterioridad:

$$X_t = \sum_{i=1}^k A_i \cos(\omega_i t + \phi_i) + \varepsilon_t \quad (2.15)$$

---

<sup>9</sup> La curva que representa gráficamente la función seno y también a dicha función en sí.

<sup>10</sup> Transformación matemática empleada para transformar señales entre el dominio del tiempo (o espacial) y el dominio de la frecuencia, que tiene muchas aplicaciones en la física y la ingeniería.



donde  $\phi_i$  se define como las variables aleatorias que permanecen constantes, y  $\varepsilon_t$  es el resultado de un proceso aleatorio. Por lo que la tarea consiste en calcular el valor de  $k, A_i (i = 1, \dots, n), \omega_i (i = 1, \dots, n)$  y  $\sigma_\varepsilon^2$  con la finalidad de poder obtener el periodograma de la serie. Para realizar dichas estimaciones, es necesario en primer lugar conocer la frecuencia de la serie. La frecuencia de la serie se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$I_p = \frac{2}{N} \left| \sum_{t=1}^N X_t e^{-i\omega t} \right|^2 \quad (2.16)$$

donde  $\omega_i = 2\pi\rho_i/N$ , contra  $\rho_i$  donde  $0 \leq \rho_i \leq [N/2]$  ( $N/2$  si  $N$  es par y  $(N-1)/2$  es impar) e  $I_p$  es el periodo. Dicho resultado se gráfica, el pico más elevado que se observe en la gráfica se tomará como el valor de  $K$ . Para probar que la estimación de  $K$  se realizó de manera correcta se utiliza el estadístico:

$$g = \frac{\max(I_p)}{\sum_{p=1}^{[N/2]} I_p} \quad (2.17)$$

Dicho estadístico fue realizado por Fisher (1929), dicho estadístico se contrasta con el valor del estadístico  $z$  de una distribución normal  $(0,1)$ . La regla de decisión consiste en rechazar la hipótesis nula sobre un componente periódico en  $X_t$ , si la  $g$  calculada excede el valor de  $z$  de tablas con un nivel de significancia de  $(100\alpha)\%$ . Una vez verificada la estimación de  $K$ , se procede a estimar las variables anteriores. Por lo que primero se estima:

$$\hat{A}_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N X_t \cos \omega_i t \quad (2.18)$$

$$\widehat{B}_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N X_t \sin \omega_i t$$

A partir de esto, se estiman los datos finales expresados por:

$$\begin{aligned} A(\omega_p) &= \sqrt{\frac{N}{2}} \widehat{A}_i \\ B(\omega_p) &= \sqrt{\frac{N}{2}} \widehat{B}_i \end{aligned} \tag{2.19}$$

Posteriormente se estima:

$$\widehat{\sigma}_\varepsilon^2 = \frac{1}{N - 2K} \sum_{t=1}^N \left\{ X_t - \sum_{i=1}^K (\widehat{A} \cos \omega_i t + \widehat{B} \sin \omega_i t) \right\}^2 \tag{2.20}$$

Y, por último:

$$E[I_p] = \frac{N}{2} A_p^2 + 2\sigma_\varepsilon^2 \tag{2.21}$$

El valor esperado se grafica contra  $\omega_p$ , donde  $\omega_p = \omega_i$  la cual se conoce como el periodograma el cual muestra la periodicidad o cuasi periodicidad de la serie.

Una manera de interpretar la gráfica realizada es a partir del cálculo de un valor T el cual está dado por  $T = 2\pi/\omega$ , donde  $\omega$  pertenece al  $\omega_p$  del máximo pico graficado.

### 2.3.1.1 Ventanas

La utilización de las ventanas dentro del análisis espectral, cambia el espectro en frecuencia de una señal, en este caso se aplicará para la serie de tiempo del tipo de cambio peso-dólar comprendida entre los años 2000-2015.

#### 2.3.1.1.1 Ventana Bartlett

La ventana Bartlett es usada con frecuencia en el análisis y el procesamiento de señales para evitar las discontinuidades al principio y al final de los bloques analizados. En este caso, el número de muestras debe ser impar.

Esta ventana tiene un comportamiento temporal semejante al de un pulso triangular. Esta ventana se caracteriza por el número impar de muestras,  $N$ . Su ecuación es la siguiente:

$$\omega_{Bartlett}; N(n) = \sum_{i=0}^{N-1} \left( \frac{N-1}{2} - \left| t - \frac{N-1}{2} \right| \right) \delta(n-1)$$

#### 2.3.1.1.2 Ventana Hann

La ventana que se estudia a continuación lleva el nombre de Julius von Hann y se le suele denominar también ventana de coseno elevado. La ventana Hann es usada con frecuencia en el análisis y el procesamiento de señales para evitar las discontinuidades al principio y al final de los bloques analizados. En este caso, el número de muestras debe ser impar.

Esta ventana tiene un comportamiento temporal de medio ciclo de una señal cosenoidal y normalizado en amplitud a la unidad. Esta ventana se caracteriza por el número impar de muestras  $N$ . Su ecuación es la siguiente:

$$\omega_{Hann;N}(n) = \sum_{l=0}^{N-1} \left[ a_0 - a_1 \cos \frac{2\pi l}{N-1} \right] \delta(n-1)$$

donde:

$$a_0 = 0.5$$

$$a_1 = 0.5$$

### 2.3.1.1.3 Ventana Hamming

La ventana que se estudia a continuación lleva el nombre de Richard Hamming y se le suele denominar también ventana de coseno elevado. Esta ventana tiene un comportamiento temporal de medio ciclo de una señal cosenoidal y normalizado en amplitud a la unidad. Esta ventana se caracteriza por el argumento  $N$  impar. Su ecuación es la siguiente y genera  $N$  muestras:

$$h_{Hamming;N}(n) = \sum_{l=0}^{N-1} \left[ a_0 - a_1 \cos \frac{2\pi l}{N-1} \right] \delta(n-1)$$

donde:

$$a_0 = 0.53836$$

$$a_1 = 0.46164$$

#### 2.3.1.1.4 Ventana Blackman

Esta ventana tiene un comportamiento temporal definido por una serie trigonométrica de Fourier para aproximarse mejor a un espectro que carece de altas frecuencias. Esta ventana se caracteriza por el argumento  $N$  impar. Su ecuación es la siguiente y genera  $N$  muestras:

$$h_{Blackman;N}(N) = \sum_{l=0}^{N-1} \left[ a_0 - a_1 \cos \frac{2\pi l}{N-1} + a_2 \cos \frac{4\pi l}{N-1} \right] \delta(n-1)$$

donde:

$$a_0 = 0.42$$

$$a_1 = 0.5$$

$$a_2 = 0.08$$

#### 2.3.2 Dimensión Fractal

Un atractor caótico es caracterizado por la existencia de la dimensión fractal, por ello una condición necesaria para poder señalar a un sistema caótico es la existencia o posesión de una dimensión pequeña. El método más utilizado o común para el cálculo de la dimensión fractal es la dimensión de correlación, aunque ello no significa que sea el único método.

Para el cálculo de la dimensión de correlación es necesario en primer lugar calcular la integral de correlación, así como la pendiente del logaritmo de dicha función respecto al logaritmo de  $r$  que es la separación considerada. La integral de correlación puede ser calculada reconstruyendo el atractor.

Esta prueba guarda una gran similitud con el estadístico BDS, ya que la correlación entre los vectores puede medirse como la probabilidad de que un par de puntos del atractor se encuentren a una distancia  $r$  uno del otro, de forma que:

$$C_m(r) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j=1}^N Z(r - |x_i^m - x_j^m|) \quad (2.22)$$

donde  $Z(x)$  es la función de Heaviside,  $N$  es el número de observaciones,  $r$  es la distancia y  $C_m(r)$  la integral de correlación para una dimensión de inserción  $m$ . La distancia  $r$  y la integral de correlación  $C_m(r)$  presentan la siguiente relación:

$$C_m(r) = ar^{D_c}$$

donde  $D_c$  se define como la dimensión de correlación.

Si la dimensión de correlación crece con  $m$ , es decir, la dimensión de inserción, el proceso será estocástico y será independiente de  $m$ , el proceso será determinístico.

La relación señalada con anterioridad permite calcular la dimensión de correlación de la pendiente del  $\log(C_m)$  respecto al  $\log(r)$ .

Hasta aquí se ha hecho una descripción sobre la teoría del caos y las herramientas estadísticas y matemáticas que son empleadas dentro de su análisis, especialmente enfocado en el campo de la economía y las finanzas, pretendiendo describir los elementos básicos de esta teoría, así como los procesos mediante los cuales se puede realizar su análisis y su estudio.

En el siguiente capítulo se analizan las variables macroeconómicas que influyen en el comportamiento del tipo de cambio peso-dólar. En la primera parte del

capítulo se analizan las variables macroeconómicas de México, y en la segunda parte se analizan algunas variables internacionales que desempeñan un papel importante dentro de la determinación del tipo de cambio peso-dólar.

Estas variables fueron seleccionadas mediante la realización de un modelo econométrico, cuyos resultados serán mostrados en el capítulo 4 de este trabajo de tesis, la función principal del capítulo siguiente es la de llevar la teoría a un caso empírico, específicamente para el tipo de cambio peso-dólar y las variables que juegan un papel importante en la determinación de sus valores.

## **CAPITULO 3**

# **ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO Y SU COMPORTAMIENTO**

## **CASO: MÉXICO**



### **3.1. Introducción: Análisis de Variables Macroeconómicas para explicar el tipo de cambio Peso-Dólar 2000-2015**

El presente capítulo tiene como finalidad realizar un análisis durante el periodo 2000-2015 de las variables seleccionadas para realizar el modelo econométrico de la serie del tipo de cambio peso-dólar.

En primer lugar, se realiza un análisis de las variables nacionales que afectan el tipo de cambio, en la segunda parte de este capítulo se muestra el análisis de las variables que se determinan en los mercados internacionales y que afectan el comportamiento de la serie del tipo de cambio.

El capítulo tiene como intención mostrar la posible influencia de cada variable seleccionada sobre el comportamiento de la serie del tipo de cambio peso-dólar.

#### **3.1.1. Variables macroeconómicas de estudio.**

La política económica monetaria, menciona que existe una gran cantidad de variables que son fundamentales para conocer el comportamiento de una moneda dentro de un país. En esta, se mencionan variables internas y externas, por ello en este apartado se considerarán dos tipos de variables: Variables Nacionales y Variables Internacionales.

En la tabla 3.1 se muestran las variables que fueron consideradas en ella, se presenta su clasificación de acuerdo al tipo de variable y su subclasificación, además de su nomenclatura para este estudio.

**Tabla 3. 1****Variables a analizar**

<i>Variable</i>	<i>Tipo</i>	<i>Subtipo</i>	<i>Medida</i>	
<b>Macroeconómicas</b>	<b>Internas</b>	Tipo de Cambio peso-dólar	Pesos/Dólar	
		Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE)	%	
		Masa monetaria más líquida (M1)	Millones de pesos	
		Reservas Internacionales	Millones de Dólares	
		Producto Interno Bruto (PIB)	Millones de Dólares	
		Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC)	%	
		Índice de Precios y Cotizaciones	Puntos	
		Precio Mezcla Mexicana	Dólares	
		Producto Interno Bruto Estados Unidos de América	Miles de Millones de Dólares	
		<b>Externas</b>	Tasa de Referencia Estados Unidos (T-Bill)	%
			Precio Internacional del Oro	Dólares
			Precio del petróleo West Texas Intermediate (WTI)	Dólares
			Tasa Libor	%
			Precio Mezcla Mexicana	Dólares

*Fuente: Elaboración propia de los autores*

### 3.2. Comportamiento del tipo de cambio 2000-2015

“La política cambiaria es responsabilidad de la Comisión de Cambios, la cual está integrada por funcionarios de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHyCP) y el Banco de México. A finales de 1994, dicha Comisión acordó que el tipo de cambio fuera determinado libremente por las fuerzas del mercado (tipo de cambio flexible o flotante). Los indicadores y las operaciones más frecuentemente requeridas por los analistas del mercado cambiario.” (BANXICO, MERCADO CAMBIARIO (TIPOS DE CAMBIO), 2016).

**Figura 3.1**

**Gráfica Serie mensual del Tipo de Cambio FIX peso-dólar 2000-2015**



*Fuente: Elaboración propia con base del INEGI (2016)*

El tipo de cambio peso – dólar ha tenido un comportamiento ascendente en el sentido que cada vez son más pesos los que hay que pagar para obtener un dólar, este comportamiento también muestra lo inestable que es la economía, pues

“(…) Se ha estimado que el nivel acumulado de depreciación del peso mexicano frente al dólar se incrementó de manera considerable durante los años de 2008 y 2009, periodo de la crisis económica mundial.” (Díaz Carreño & Vergara González, Tipo de cambio e Inflación en México: Comportamiento y expectativas para 2012, 2011, pág. 9).

Es evidente que el peso perdió frente al dólar de manera considerable en este periodo de la llamada crisis financiera, y que al verse afectada la economía de Estados Unidos de América era cuestión de tiempo para que México fuese afectado, pero no hay que descuidar sucesos que ocurrieron en los demás periodos tales como en 2011 donde de acuerdo con (Díaz Carreño & Vergara González, 2011, pág. 9) posterior a la crisis mundial y sobre todo en los últimos años, el nivel de depreciación de la moneda mexicana llegó a ubicarse entre 9.0 y 10.0%. En los últimos meses de 2011 dicha depreciación había alcanzado más del 9.0%. Lo anterior implicaría que el tipo de cambio nominal de un nivel de 13.75 registrado en diciembre de 2011, mantiene una depreciación acumulada de 11.32%, con lo que el tipo de cambio nominal debería ser de 12.19 pesos por dólar.”

Además de la crisis de 2008-2009 el otro periodo donde se depreció en gran medida la moneda mexicana fue durante el periodo comprendido entre los años 2014 y 2015, dentro del cuarto trimestre de 2015 el tipo de cambio interbancario promedió 16.77 pesos por dólar (ppd) alcanzando un valor de 17.21 ppd el 31 de diciembre (-1.6%) respecto al cierre de septiembre (16.93 ppd), el peso mexicano promedió 17.075 ppd en diciembre de 2015.

El Banco de México, a través del Anuncio de la Comisión de Cambios, realizó las siguientes modificaciones en las medidas tomadas para reducir la probabilidad de eventos que pudiesen desestabilizar el funcionamiento del mercado cambiario nacional, tomando en cuenta el nivel de las reservas internacionales más la Línea de Crédito Flexible contratada con el Fondo Monetario Internacional por cerca de 70 mil millones de dólares:

- A partir del 23 de noviembre de 2015, se suspendieron las subastas diarias sin precio mínimo por 200 millones de dólares (mdd) y se extendió el plazo de vigencia para las subastas diarias con precio mínimo, las cuales continuaron hasta el 29 de enero de 2016.
- “Banxico convocó subastas de dólares suplementarias con precio mínimo, por un monto total adicional de 200 mdd. El precio mínimo de asignación para estas subastas fue equivalente al tipo de cambio FIX determinado el día hábil inmediato anterior incrementado en 1.5 por ciento.” (Centro de Estudios de Finanzas Públicas, 2016).

### **3.3. Variables Nacionales**

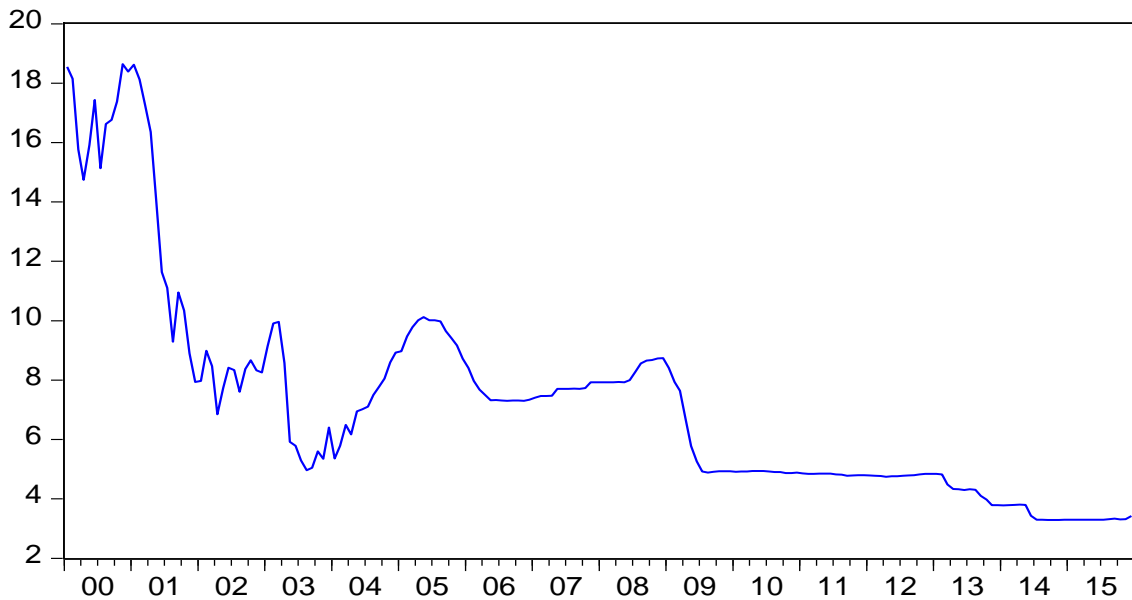
#### **3.3.1. Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE) de México**

“La Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE) es una tasa representativa de las operaciones de crédito entre bancos. La TIIE es calculada diariamente (para plazos 28, 91 y 182 días) por el Banco de México con base en cotizaciones presentadas por las instituciones bancarias mediante un mecanismo diseñado para reflejar las condiciones del mercado de dinero en moneda nacional. La TIIE se utiliza como referencia para diversos instrumentos y productos financieros, tales como tarjetas de crédito.” (BANXICO, 2016).

En la figura 3.2 se muestra la gráfica de la TIIE a 28 días, la cual comprende el periodo analizado en este trabajo, es decir, el periodo comprendido entre los años 2000-2015.

**Figura 3.2**

**Gráfica Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio a 28 días por ciento anual 2000-2015**



*Fuente: Elaboración propia con base en Banco de México (2016)*

Banxico (2016) La tasa de interés interbancaria de equilibrio (TIIE) se determina por el Banco de México con base en cotizaciones presentadas por las instituciones de crédito, teniendo como fecha de inicio la publicación en el Diario Oficial de la Federación. El procedimiento de cálculo de dicha tasa se establece en el Título Tercero, Capítulo IV, de la Circular 3/2012 emitida por emitida por el Banco de México y el Diario Oficial de la Federación del 23 de Marzo de 1995.

La tasa de interés interbancaria promedio (TIIP) a 28 días se empezó a calcular en enero de 1993, conforme a la Circular 1996/93 del Banco de México y dejó de ser publicada el 31 de diciembre del 2001 de acuerdo con lo establecido en el Diario Oficial de la Federación del 23 de marzo de 1995.

La TIIE fue considerada para este análisis pues de ella dependen aspectos muy importantes en la economía tales como la inversión productiva, aunque muchos

economistas debaten esto, pues esta variable siempre está sujeta a las leyes del mercado y a las expectativas de empresarios.

Así que a menudo se producen movimientos sobre esta variable por parte del Banco de México, elevarla atrae inversión pero genera deuda y bajarla reduce la inversión pero no genera mucha deuda, además en la mayoría de los países la tasa de interés de referencia tiene una tendencia hacia la baja, pero aun así países emergentes como en este caso es México, normalmente mantienen su tasa de referencia en niveles por encima de los países desarrollados, debido a la necesidad de atraer inversión mediante una tasa de interés más atractiva.

La TIIE tiene un comportamiento predominante hacia la baja, aunque este fenómeno se vuelve más estable a partir del año 2009, esta tendencia se da pues se quiere evitar mayores niveles de deuda de la que sea necesaria en el mediano y corto plazo, así como estimular el consumo dentro de la economía, además para muchos inversionistas una tasa de interés de referencia demasiado alta suele generar un mayor nivel de incertidumbre dentro del público inversionista, esto indirectamente favorece el incremento de inversión extranjera en el país, claro está que también depende de otras variables algunas que no son controlables pues dependen de los mercados internacionales.

De acuerdo con (Perea Quezada, 2011), algunas de las políticas que tuvieron impacto dentro de la economía mexicana fueron:

- La industria maquiladora generó empleo en el país y aportó 109 095.3 millones de dólares.
- La deuda externa total disminuyó en 10 878.7 millones de dólares.
- Al disminuir la deuda externa, el servicio de la deuda lo hizo también, generando un ahorro de 3, 796 millones de dólares.

- La banca de desarrollo redujo su cartera vencida al 27.2% de la existente al principio del sexenio.
- El crecimiento anual de la población había descendido drásticamente a menos de la mitad en los últimos 20 años, sin embargo, aún está por encima del crecimiento de la población mundial no obstante la emigración.
- El control de la inflación y la afluencia de dólares de los inversionistas extranjeros, las maquiladoras y las transferencias de los emigrantes, mantuvo un tipo de cambio en equilibrio, no obstante, el déficit creciente de la industria no maquiladora.

Después del 2009 tal vez lo más relevante ocurrió durante el año 2014 donde:

La TIIE a plazo de 28 días que se fija diariamente, ligó 3 días de mínimos históricos. De acuerdo con cifras de Banxico, el referente para calcular el promedio del costo del dinero en México se desplomó.

Los siguientes ajustes a la baja iniciaron inmediatamente después de que Banxico comunicara al mercado su decisión de recortar la tasa de referencia en el país a un nivel sin precedente de 3.0 por ciento.

“Aunque el costo del dinero no baja en automático, la prevalencia de un referente en mínimo histórico debería ser factor para que los créditos bajen con el tiempo.” (Sandoval, 2014).

### **3.3.2. Masa monetaria más líquida de México (M1)**

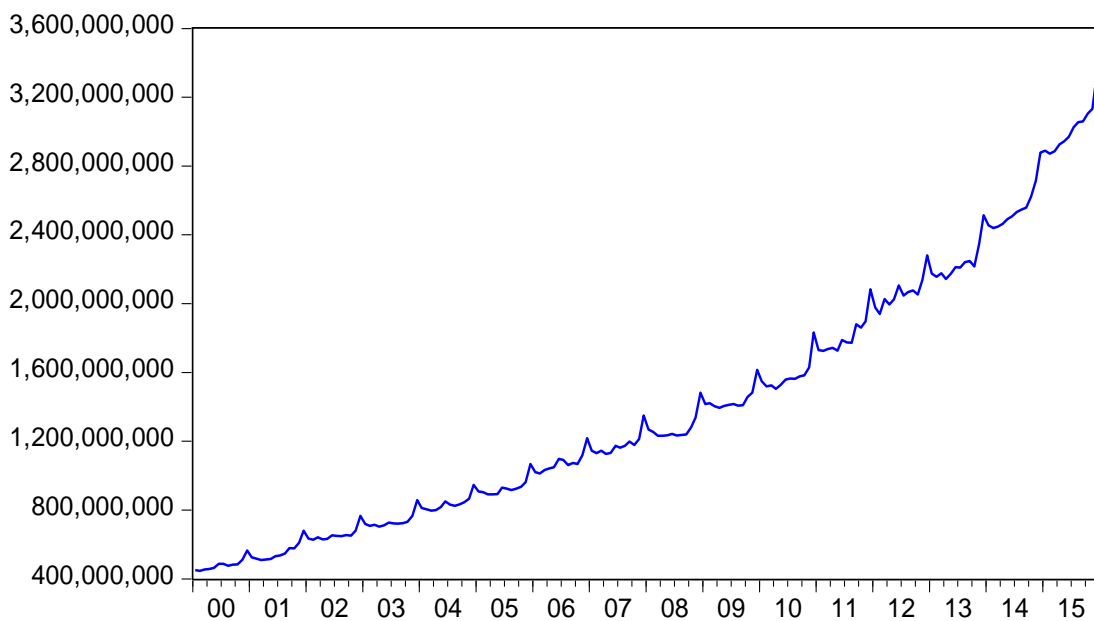
“El M1 es la definición de oferta monetaria más líquida, ya que incluye el efectivo en manos del público (EMP), que es una parte del dinero legal, más el



dinero depositado en cuentas bancarias a la vista, también llamadas cuentas corrientes. Es el agregado más líquido porque incluye monedas y billetes, así como el dinero que es depositado en cuentas que pueden transferirse para hacer pagos de manera inmediata y sin costo. Estas cuentas no devengan interés alguno al depositante, pero, a cambio, sabe que puede ir a retirar su dinero o hacer uso de él de manera inmediata. Así, cuando se realiza una transferencia, se paga con una tarjeta de débito o domiciliamos un pago, se hace uso de este tipo de dinero.” (Castañeda, 2013).

**Figura 3.3**

**Gráfica Masa monetaria más líquida de México (M1) millones de pesos serie mensual 2000-2015**



*Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016)*

Se observa que el M1 tiene una tendencia alcista, esto es un comportamiento normal en las economías, las razones por las que aumenta la masa monetaria son variadas, entre ellas están el incremento de la población, las remesas que se reciben, la tasa de interés, etc.

El incremento de la masa monetaria en un país debe tenerse bajo estricto cuidado, pues, aunque su aumento es normal en la economía un incremento de más provoca efectos inflacionarios y deprecia la moneda, por el lado contrario un decremento de esta o un aumento por debajo de lo que requiere la economía provocaría un efecto deflacionario, que normalmente vendría acompañado de disminuciones en la producción y desencadenaría en la generación de desempleo.

Analizando más detenidamente INEGI (2016), la masa monetaria, en el año 2015 al cierre del mes de abril, la base monetaria creció 16.3% anual, ubicándose en 1,046.3 millones de pesos (mdp), debido -en parte- al incremento en la demanda de dinero por parte del público, y por otra parte asociado al efecto temporal que se presenta ante la intensificación de las campañas electorales. Asimismo, el agregado monetario M1 se expandió 15.2%, frente al dato previo de 14.3%.”

El incremento de la oferta monetaria (imprimir más billetes y acuñar monedas) tiene un efecto positivo directo sobre el nivel de precios dentro de la economía.

La inflación (el incremento del nivel general de precios de los bienes y servicios que afecta el valor nominal del dinero) es producida por diferentes movimientos en la economía entre ellos el incrementarse la oferta monetaria esto genera una mayor cantidad de dinero disponible para adquirir los mismos bienes y servicios puesto que su oferta permanece invariable, por ello el dinero pierde valor real. Un efecto clásico de la ley de la oferta y la demanda.

Cuando se incrementa la oferta monetaria el valor nominal del dinero permanece inalterado, pero no así el valor real del mismo, puesto que ante el incremento de los precios se adquieren menos bienes y servicios. Es lo que se conoce como pérdida del poder adquisitivo del dinero.

Dado que el valor real del dinero si es afectado al incrementarse M1 “(...) para que el incremento de la oferta monetaria no tenga efecto sobre la inflación, ese incremento debe corresponder al aumento en la oferta de bienes y servicios, o lo que es lo mismo, la impresión de dinero debe obedecer a una necesidad puntual originada en el aumento de la producción y dinamismo económico, y no como una decisión sin bases reales que lleva a incrementar la cantidad de dinero circulante de forma artificial con el objetivo de incrementar el consumo vía endeudamiento, puesto que el destino final de ese dinero adicional e “imaginario” es colocarlo en el mercado mediante concesión de créditos, toda vez que al no existir oferta nueva de bienes y servicios no se puede intercambiar por estos”. (Ramos Francia, Noriega, & Rodríguez Pérez, 2015).

Esto dentro de la teoría puesto que existen muchos factores que en una circunstancia especial logran que el resultado no sea el previsto, y de allí la necesidad de que la política monetaria vaya de la mano con la política económica, con lo cual se busca mitigar o evitar los efectos que serían evidentes y lograr lo que en la teoría no sería posible.

Durante este periodo se observa claramente el incremento de la masa monetaria más líquida M1, el impacto sobre el tipo de cambio será analizado posteriormente; pero como hasta aquí se ha mostrado, el impacto sobre el nivel de precios puede ser un antecedente a las afectaciones sobre el valor tipo de cambio.

### **3.3.3. Reservas Internacionales de México**

“Las reservas internacionales son activos financieros que el banco central invierte en el exterior y que pueden ser fácilmente convertidos en medios de pago. Por esto último, su característica principal es la liquidez; es decir, la capacidad de los activos que la integran para liquidar, de manera expedita, obligaciones de pago fuera de nuestro país. En el caso de México, estos activos son propiedad del Banco de México y de acuerdo con el artículo 18 de la Ley que rige a este Instituto Central, el

objetivo de contar con una reserva internacional es el de coadyuvar a la estabilidad del poder adquisitivo de la moneda nacional.” (BANXICO, RESERVAS INTERNACIONALES, 2016)

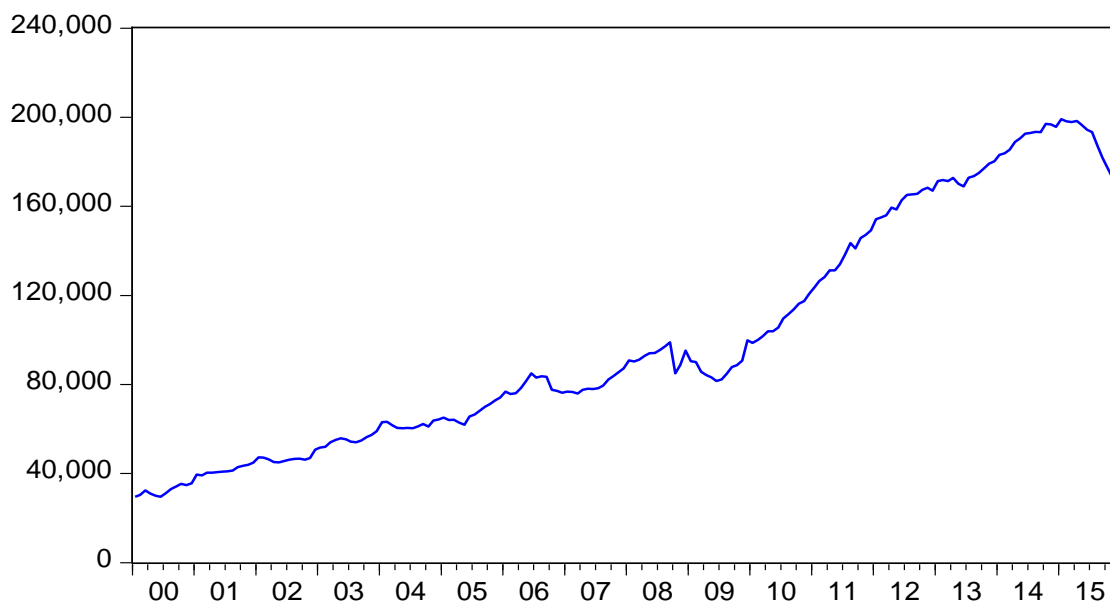
La principal fuente de acumulación de reservas internacionales son las exportaciones petroleras netas, es decir, de las compras netas de divisas que realiza el Banco de México a PEMEX.

Durante el mes de marzo de 2003, se definió un mecanismo cuyo objetivo era reducir el ritmo de acumulación de las reservas internacionales. Este mecanismo consistió en la subasta diaria de una cantidad fija de dólares.

En la figura 3.4 se muestra la gráfica que corresponde a las Reservas Internacionales mostrada en su periodicidad mensual, en ella se observa un incremento considerable durante el periodo analizado. Es importante destacar dos periodos dentro de los cuáles existió una disminución considerable de las reservas internacionales.

En primer lugar, la mayor caída registrada fue equivalente al 14.05% durante el mes de octubre del 2008, cuando iniciaron las intervenciones por parte de Banxico en el mercado cambiario, con el objetivo de evitar depreciaciones significativas para la moneda mexicana.

**Figura 3.4**  
**Reservas Internacionales de México millones de dólares serie mensual 2000-2015**



*Fuente: Elaboración propia con base en datos de Banxico (2016)*

En segundo lugar, a partir del mes de septiembre del año 2014 se dio el inicio de una tendencia negativa en la acumulación de reservas internacionales, ello derivado principalmente del difícil entorno relacionado al precio del petróleo en los mercados internacionales y cuya situación afectó de manera directa a las reservas internacionales, derivado de menores ingresos por la caída del precio del petróleo.

Las reservas funcionan como un colchón de ahorros que se tienen guardados para hacer frente a contingencias imprevistas. Es conocido que el peso mexicano no es una moneda de reserva como el dólar estadounidense o el mismo euro, así que tener reservas de estas monedas además de metales preciosos genera un ambiente propicio para interceder a fin de mantener la estabilidad de la moneda mexicana.

Es claro que México ha tenido preocupación por sus reservas y año con año las ha aumentado, y lo que maneja en reservas tenía la siguiente relación hasta el 2014: “en reservas de oro es de alrededor de 123.3 toneladas, equivalente a 5,214.81 millones de dólares al cierre de julio de este año, de acuerdo con sus informes. Dicha cifra, si se le compara con la tenencia a septiembre del 2012, cuando alcanzó un monto máximo histórico de 124.9 toneladas, representa una caída de 26.9 %.

La actual posición del metal precioso por parte de Banxico es apenas 2.7% de las reservas internacionales, que suman 190,337 mdd al cierre del mes de agosto del 2014 (Jiménez, 2014).

La mayor posición de oro a nivel mundial la mantiene Estados Unidos, con 8,133.5 toneladas, que implica 72% de sus reservas internacionales, seguido por Alemania, con 3,387.1 toneladas, que implica 68% de sus reservas, y Francia, con 2,451.8 toneladas, que comprende 65% de sus reservas internacionales (Jiménez, 2014).

China e India, que son las naciones con la mayor demanda, mantienen en posición 1,054.1 toneladas de oro, lo cual representa 1% de sus reservas y 557.7 toneladas, que resulta 7% de sus reservas internacionales, respectivamente, al cierre de junio del 2014, según datos del Consejo Mundial del Oro (CMO).” (Jiménez, 2014).

De acuerdo con datos de Banxico (2016), el saldo de la reserva en el ejercicio obedeció a la baja en los activos ante la compra de divisas por parte del Gobierno Federal, que ascendió a 62 millones de dólares; así como a las pérdidas de 208 millones de dólares por la implementación de operaciones de mercado abierto y de 189 millones consecuencia de la revaluación de activos internacionales.

#### **3.3.4. Producto Interno Bruto (PIB) de México**

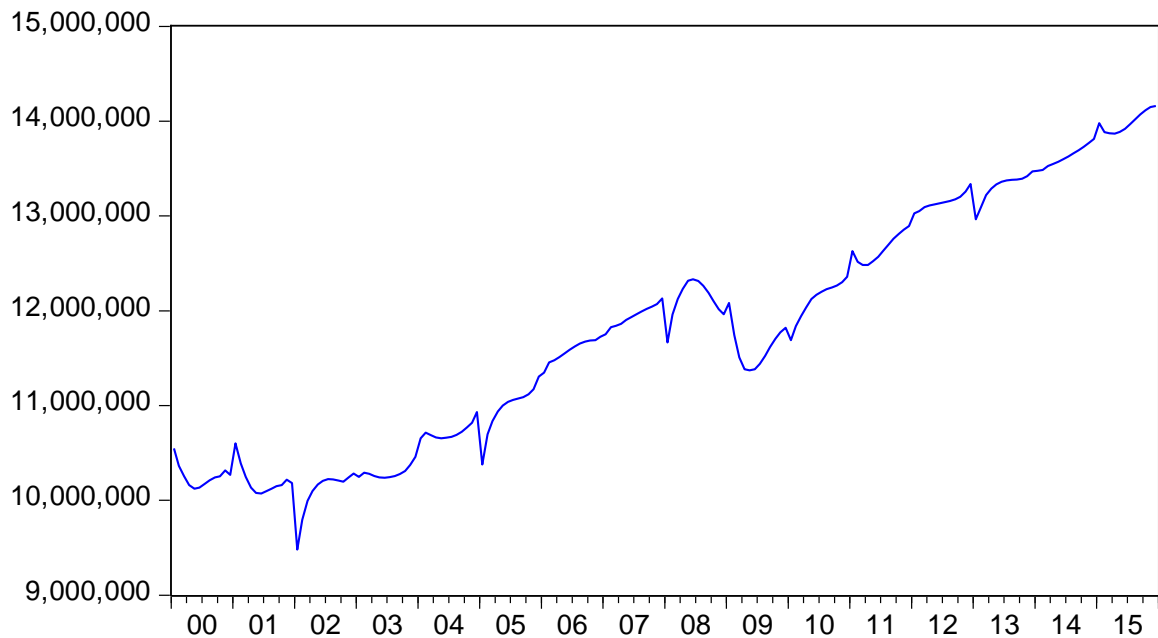
“El Producto Interno Bruto (PIB) es el valor de todos los bienes y servicios finales producidos en una economía generalmente contabilizada en un año. Los bienes y servicios finales son aquellos que no se usan como insumos en la producción de otros bienes y servicios, sino que los compra el usuario final. El PIB es usado frecuentemente como una medida del bienestar material de una sociedad. Eso motiva que políticamente se usen las cifras de crecimiento económico del PIB como

un indicador de que las políticas económicas aplicadas son positivas.” (laeconomia.com, 2012)

En la gráfica 3.5 se muestra la gráfica del PIB de México en su periodicidad mensual, dado que esta serie se representa trimestralmente y anualmente, se procedió a realizar interpolación exponencial a la serie trimestral y con ello se obtuvo la serie del PIB en su representación mensual.

**Figura 3.5**

**Gráfica Producto Interno Bruto de México, millones de dólares, serie mensual 2000-2015**



*Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016) “la serie original del INEGI se presenta de manera trimestral, pero para este análisis se convirtió en serie mensual utilizando el método matemático de Interpolación polinómica de Newton”.*

El PIB normalmente es asociado con lo que se conoce como bienestar social, y esto no es de lo más correcto, pues aun cuando muestra en términos generales que tanto crece o disminuye una economía no muestra la calidad de vida de la población. En el caso de México, existen dos extremos bastante marcados, tanto personas que viven en niveles de pobreza extrema como personas que entran en la lista de los más ricos del mundo.

(laeconomia.com, 2012) Algunos de los puntos por los que no se debe tomar el PIB como sinónimo de bienestar social son:

- No considera productos de auto-consumo, como ciertos cultivos como maíz jitomate, frijol, arroz, etc.
- Le resulta imposible medir la economía informal.
- No es un buen indicador de distribución de riqueza.
- No se distinguen cambios de precios por mejora de un servicio.
- No contempla servicios sociales o prácticas, así como acciones altruistas.
- No contempla activos y pasivos públicos.
- No tiene manera de medir los estragos de fenómenos naturales tales como sequias, inundaciones, tormentas, terremotos, etc.

Un análisis sobre el PIB de México y su comportamiento durante el periodo de análisis es el siguiente:

“El crecimiento del PIB con Fox aumento al 2.13% y con Calderón al 1.86%. Las razones son evidentes, crisis económicas, una en cada sexenio, pero contrario a lo usual, ninguno de los presidentes en turno fue el directo responsable de ellas, Fox le tocó lidiar uno de los primeros efectos de la globalización, la crisis del Real brasileño en 2000, el efecto del ataque terrorista 9/11 en Nueva York y la crisis argentina (El Corralito) en 2001, y finalmente a Calderón le tocó la peor de las crisis en 2009, importada originalmente de los Estados Unidos, se extendió al mundo entero, pero principalmente a Europa. Los efectos de estas 3 crisis, se aprecian en la gráfica con caídas del PIB. El período de Peña Nieto no ha concluido, se encuentra a la mitad del camino con un resultado de crecimiento escaso, pero al menos positivo, del 6.26% global y una media geométrica anual de 2.05%. Graves problemas tendrán que sortear la presente administración gubernamental, para entregar buenos resultados al final del período.” Citado en (Botello, 2016).

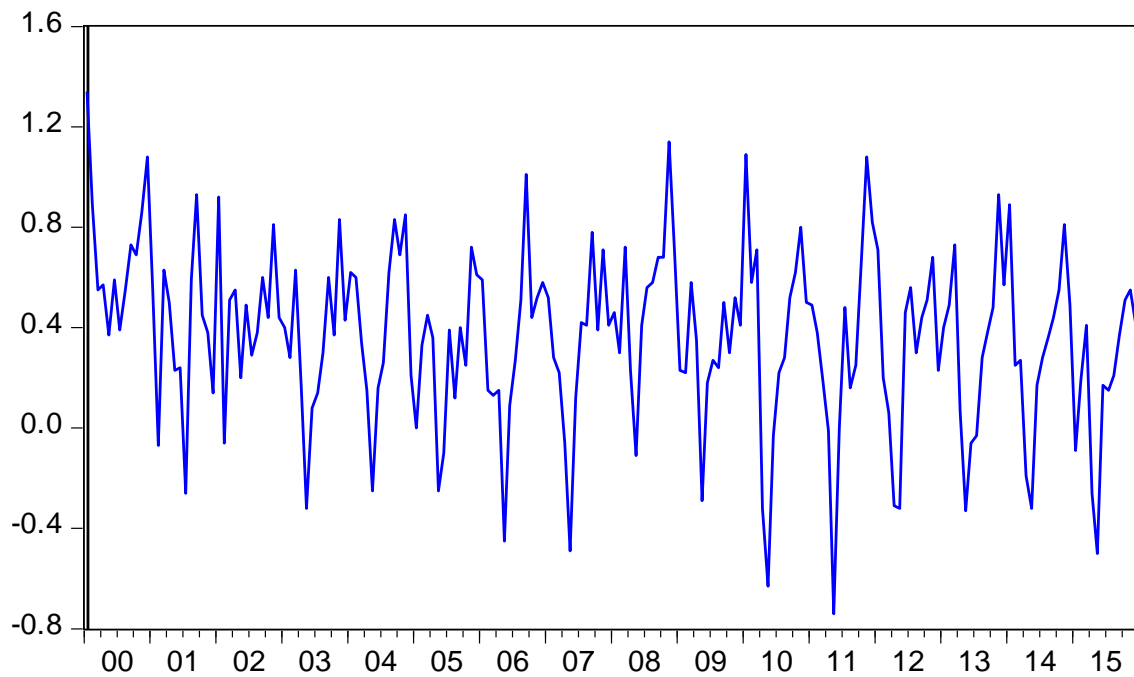


### **3.3.5. Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) de México, inflación mensual, índice general y por objeto de gasto**

“La inflación es el aumento sostenido y generalizado de los precios de los bienes y servicios de una economía a lo largo del tiempo. Con el propósito de medir la inflación se desarrolló el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC). El INPC es un indicador económico que se emplea recurrentemente, cuya finalidad es la de medir a través del tiempo la variación de los precios de una canasta fija de bienes y servicios representativa del consumo de los hogares. Acorde con la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de abril de 2008, desde 15 de julio de 2011 el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) tiene la facultad exclusiva de elaborar y publicar los índices nacionales de precios.” (BANXICO, 2016).

#### **Figura 3.6**

***Gráfica Índice Nacional de Precios al Consumidor de México  
inflación mensual 2000-2015, índice general y por objeto de  
gasto***



*Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016)*

Es un indicador que muestra la variación que tienen los precios de los bienes y servicios más consumidos por las familias mexicanas entre distintos periodos de tiempo. Esto se utiliza como un aproximado a la inflación según INEGI (2016) y en México se considera esta tasa de crecimiento como la medida oficial de la inflación.

“Los bienes y servicios considerados en el INPC actualmente se agrupan en ocho categorías y 315 tipos de productos genéricos, estos representan la estructura y los principales gastos de las familias en México, que se obtienen a partir de la Encuesta Nacional de Ingreso Gasto de los Hogares (ENIGH). Este indicador debe actualizarse cada que ocurre un cambio importante en el patrón de consumo de las familias. Con la finalidad de mantener la representatividad de este indicador Banxico con la participación del INEGI, realizará la actualización de la canasta representativa y la estructura de ponderaciones para la elaboración del nuevo INPC. La estructura de ponderadores o “pesos” para el año base se calcula a partir de qué y cuánto gastan las familias en diferentes rubros.” (MIDE, 2011).

Se puede apreciar que el comportamiento del INPC siempre es volátil, está en constante movimiento, esto es en parte porque a pesar de que es la medida oficial de la inflación, no es la inflación como tal, los 315 productos que contempla no son suficientes para medir el impacto de la inflación, dado que incluye los bienes y servicios más consumidos es necesario analizarlos. “A partir de 2002 el Banco de México tiene el objetivo de alcanzar una inflación anual de 3.0% con un intervalo de variación de  $\pm 1.0\%$ . Sin embargo, en los últimos años la inflación se ha visto severamente afectada, principalmente por choques de oferta, tanto nacionales como internacionales, así como por inclemencias temporales que han incidido fuertemente en el aumento general de precios en el país. En el periodo 2000-2015 la inflación general mostró un comportamiento descendente, por ejemplo, para el año 2000 esta fue de 9.5%, en tanto que para 2002, ya con el régimen de objetivos de inflación, alcanzó 5.7%, una reducción de 40.1%.

La economía mexicana se mostró relativamente resistente durante la desaceleración económica de los Estados Unidos (EE.UU.) en 2001-2002, y en contraste con periodos anteriores, la inflación permaneció en niveles moderados. El año de 2004 es relevante en materia de inflación puesto que ésta se mantuvo por arriba de 5.0% debido principalmente a la disminución en la oferta de algunos bienes agropecuarios como el jitomate a consecuencia del mal tiempo que afectó a la Florida (EE.UU.), el aumento en los precios de los combustibles y en los precios de la carne de res y pollo después de la prohibición temporal de las importaciones de estos productos provenientes de los EE.UU. como respuesta a los brotes de la enfermedad de las vacas locas y gripe aviar en ese país (OECD, 2006).

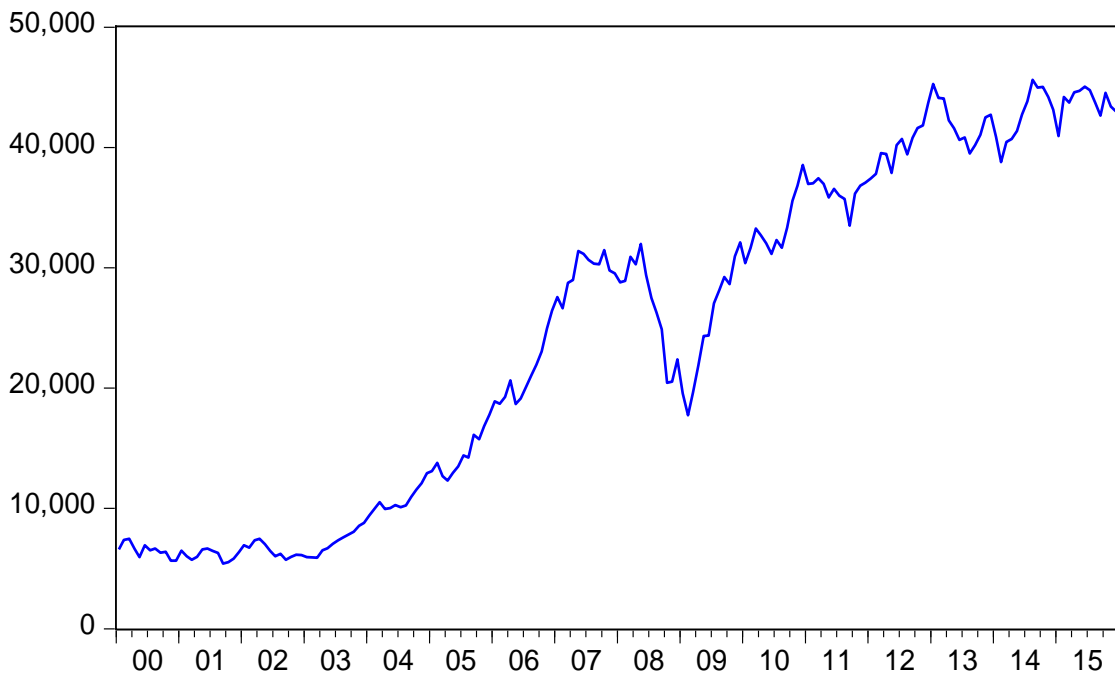
La tendencia a la baja de la inflación se observó hasta el año 2007 registrando una cifra de 3.9%, no obstante a partir de 2008 se mostró un comportamiento a la alza, en promedio ese año la inflación fue de 6.5%, claramente por encima del intervalo de variabilidad establecido por Banxico y a consecuencia de la agudización de la crisis económica mundial de 2008-2009, así como de diversos choques de oferta, especialmente el incremento en el precio de los alimentos, metales y energéticos en el mercado internacional.” (Díaz Carreño, 2013, pág. 45).

### 3.3.6. Índice de Precios Y Cotizaciones (IPC) de México

El índice de Precios y Cotizaciones (IPC) es el principal indicador de la Bolsa Mexicana de Valores, éste indica de manera general que rendimiento y comportamiento ha tenido el mercado bursátil. Se basa en las fluctuaciones que han tenido los precios de empresas que cotizan en bolsa.

**Figura 3.7**

**Gráfica del Índice de Precios Y Cotizaciones de México serie mensual 2000-2015 medida en puntos**



*Fuente: Elaboración propia con base en datos de Banxico 2016*

El PC es elaborado diariamente por la Bolsa Mexicana de Valores con base en los resultados de la sesión cotidiana, y tomando como referencia las 35 emisoras principales de los distintos sectores de la economía.

“La lista de las emisoras que forman el IPC de la Bolsa Mexicana de Valores en 2016 está compuesta por: América Móvil, Fomento Económico Mexicano, Grupo Televisa, Grupo Financiero Banorte, Wal-Mart de México, Grupo

México, Cemex, Alfa, Grupo Financiero Inbursa, Coca-Cola Femsa, Grupo Financiero Santander, Grupo Bimbo, Kimberly-Clark de México, Grupo Aeroport-B, Gruma, Mexichem...” (Rankia, 2016).

En la figura 3.7 se muestra como el comportamiento del IPC tiene tendencia hacia el alza, lo que indica que las acciones de la muestra del IPC han incrementado su valor a lo largo de los 15 años de estudio (no necesariamente en todos los casos, cada caso tendría que estudiarse de manera particular), lo que es un buen indicio, pues para los inversionistas puede significar la generación de utilidades por medio de sus inversiones dentro de la bolsa, aunque también existieron periodos de perdida, sobre todo durante el año 2008, pero esto es justificable debido a la crisis inmobiliaria ocurrida en la economía estadounidense, durante este periodo las bolsas de todo el mundo fueron arrastradas por dicho suceso.

El IPC alcanzó un nivel de 31, 975 puntos durante el mes de mayo del 2008 para posteriormente llegar a un mínimo de 16,868.66 puntos durante el mes de febrero del 2009. A finales del 2008 e inicios del 2009, el IPC de la Bolsa Mexicana de Valores se situó en el nivel más bajo a lo largo de la crisis más importante de los últimos tiempos.

A partir de ese momento el IPC inició un periodo de recuperación a través de un periodo de mayor estabilidad el cuál se vio reflejado en rendimientos superiores al 100% tales son los casos de las emisoras ELEKTRA y AUTLAN. (Rankia, 2016).

Diversos analistas tales como Vallarino, director de análisis y estrategia de Grupo Financiero Interacciones pronosticó que el IPC cerraría el año 2014 en un nivel promedio de 45, 000 puntos, en tanto que para el año 2015, el índice rondaría un nivel promedio de 50, 600 puntos, aunque en realidad esto no sucedió pues el IPC se encontró cercano a los 43, 000 puntos. (Rankia, 2016).

### 3.4. Variables Internacionales

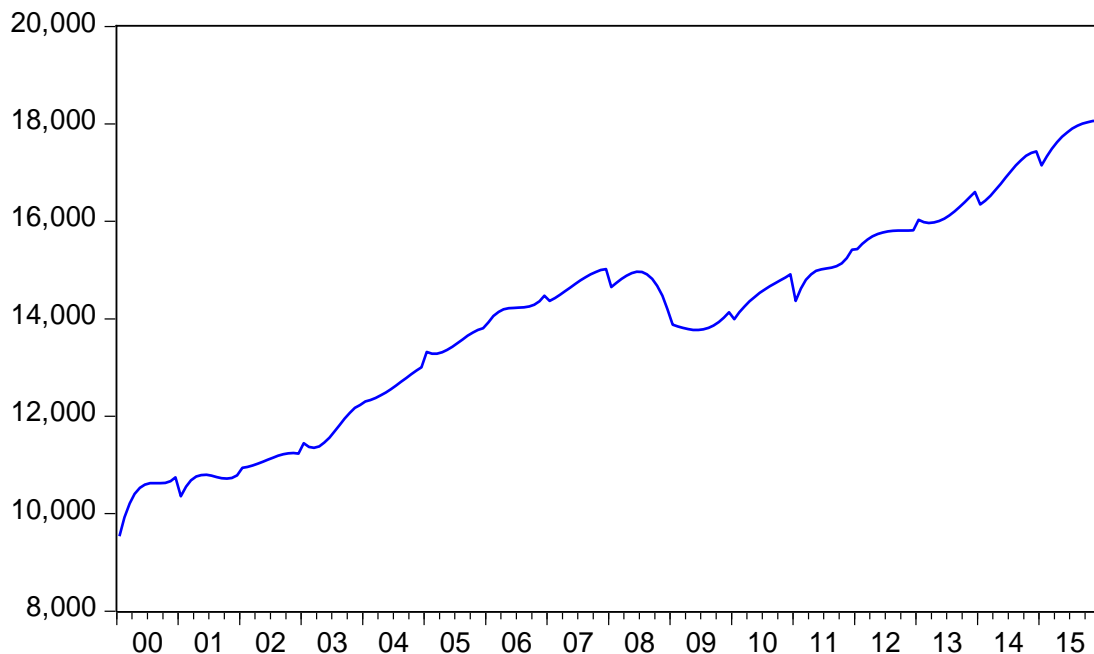
#### 3.4.1. PIB de Estados Unidos

En inglés se conoce con las siglas *Gross Domestic Product (GDP)*. Es el valor monetario total de los bienes y servicios producidos dentro de las fronteras de los Estados Unidos, independientemente de quién posee los activos o la nacionalidad de la mano de obra utilizada en la producción de ese producto.” (EFXTO, 2016).

La gráfica 3.8 muestra la gráfica correspondiente al PIB de E.E.U.U. entre los años 2000 y 2015, en ella es posible apreciar un comportamiento bastante similar al mostrado por el PIB de México, esto es debido a la alta dependencia de la economía mexicana de la economía estadounidense, además es reflejo de la demanda del principal socio comercial de nuestro país por los productos mexicanos.

**Figura 3.8**

**Gráfica Producto Interno Bruto de Estados Unidos en miles de millones de dólares serie mensual 2000-2015**



*Fuente: Elaboración propia con base en datos del BEA (2016). “la serie original del BEA se presenta de manera trimestral, pero para este análisis se convirtió en serie mensual utilizando el método matemático de Interpolación polinómica de Newton”.*

La economía de E.E.U.U. es una de las más grandes e importantes en el Mundo y de la que más depende México. Pero esta economía en el 2008 fue la causante de la crisis financiera, debido al sector inmobiliario, particularmente a las hipotecas de tipo “*subprime*” o hipotecas basura. Como método de corrección de esta crisis se tomaron medidas de estímulo presupuestario y monetario (incentivan el consumo), y bajaron las tasas de interés para facilitar el crédito a las personas, por lo que se permitió la recuperación de la economía. (EFXTO, 2016).

La crisis financiera internacional provocó un aumento considerable de la tasa de desempleo en los E.E.U.U. la cual había disminuido a 5.3% en 2015. Sin embargo, esto no permite ver una baja de la tasa de participación en el mercado laboral, que fue del 62% a finales del 2015. Si se toman en cuenta a los trabajadores que dejaron el mercado laboral y los que se ven obligados a aceptar puestos en jornada parcial, la tasa de desempleo real sube a 10% (contra 8-10% antes de la crisis). (EFXTO, 2016).

Además, el crecimiento de los salarios ha sido bajo e insuficiente en los últimos años. Los niveles de desigualdad económica y social han aumentado desde principios de la década de 1980, alcanzando actualmente el punto más elevado desde hace un siglo. Durante el 2014, el número de ciudadanos americanos que disponían de un bien inmobiliario alcanzó su nivel más bajo desde 1995.

El sector agrícola americano es uno de los más grandes del mundo. Se caracteriza por su alta productividad y por el uso de tecnología moderna dentro de su proceso productivo. Estados Unidos es uno de los principales productores de maíz, soja, carne de res y algodón. El estado de California genera más del 12% de la producción agrícola total del país. Sin embargo, la agricultura representa únicamente 1,4% del PIB americano y emplea a 1,6% de la población activa.

E.E.U.U. es un país muy industrializado. El sector industrial representa 21% del PIB e incluye una gran variedad de actividades. Las más importantes son la fabricación de maquinaria eléctrica y electrónica, de productos químicos y maquinaria industrial, así como el sector agroalimentario y automotriz. También es líder mundial en el sector aeroespacial y en la industria farmacéutica.

La abundancia de recursos naturales ha convertido al país en líder en la producción de varios minerales y le permite mantener una producción diversificada. Así, es también el mayor productor mundial de gas natural líquido, aluminio, electricidad y energía nuclear, y el tercer productor mundial de petróleo, y desde hace varios años desarrolla la extracción a gran escala de gas de esquisto.

La economía americana se basa fundamentalmente en los servicios. El sector terciario representa más de tres cuartos del PIB y emplea a 81% de la mano de obra. (Santander, 2016)

### **3.4.2. Tasa de Interés de Referencia de Estados Unidos (T-BILL)**

“Cuando se habla del *interés estadounidense*, a menudo se hace referencia al Federal Funds Rate. La Federal Funds Rate es el interés que los bancos se cobran entre sí por préstamos a 1 día (overnight). Ese tipo básico estadounidense está determinado por el mercado y no se impone explícitamente por la FED<sup>11</sup>. Al retirar o añadir fondos a la oferta monetaria, la FED trata de alinear el Federal Funds Rate efectivo al tipo que pretende lograr. Cuando la política monetaria de la FED modifica el tipo básico, suele afectar a la altura del tipo de interés de diversos productos, tales como hipotecas, préstamos e intereses sobre ahorros.” (global-rates, 2016).

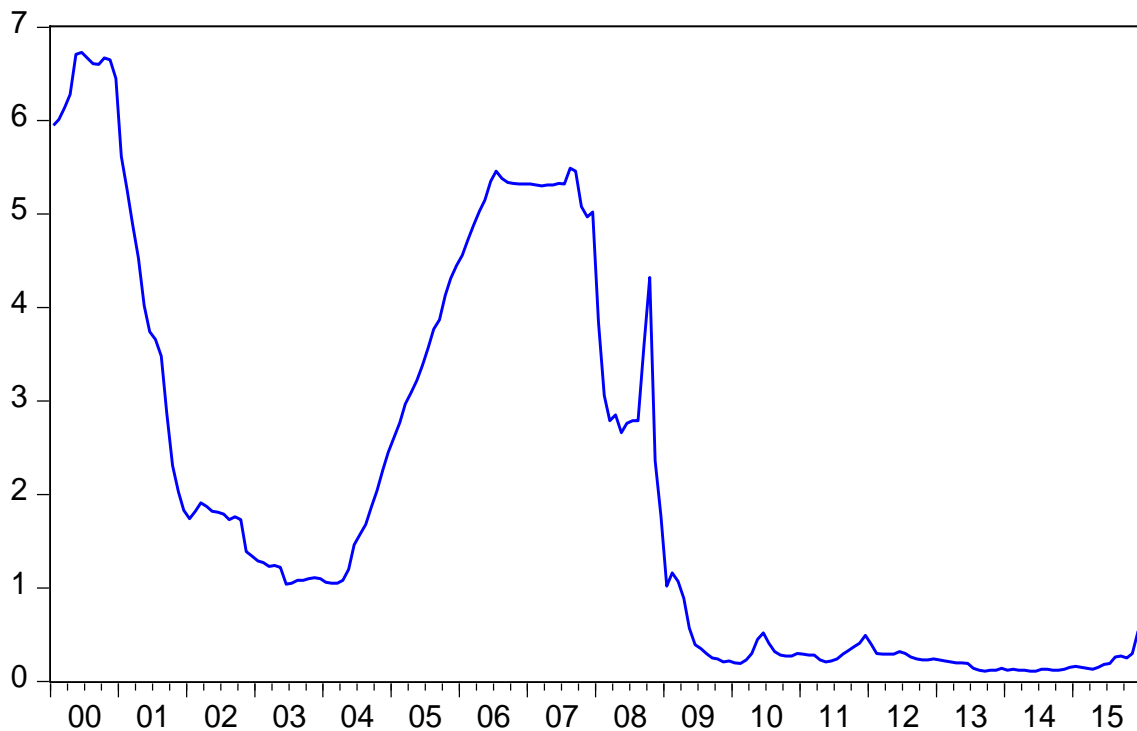
---

<sup>11</sup> Sistema de la Reserva Federal de Estados Unidos de América



**Figura 3.9**

**Gráfica Tasa de Referencia de E.E.U.U T-Bill porcentaje anualizado serie mensual 2000-2015**



*Fuente: Elaboración propia con base en datos del BEA (2016)*

Una estrategia común en los países desarrollados es el tener una tasa de referencia interbancaria en niveles muy bajos, dado que ellos prefieren evitar el endeudamiento y a diferencia de los países emergentes no requieren atraer a la inversión extranjera, cabe aclarar que esto no es necesariamente siempre aplicable, los países desarrollados también elevan su tasa de interés por diversos efectos económicos, pero generalmente está por debajo de la de las economías emergentes.

La economía estadounidense al inicio del siglo XXI manejaba una tasa de referencia que rondaba un nivel mayor al 6%, a partir del año 2001 la FED comenzó a realizar ajustes a la baja de la tasa de interés de referencia con la finalidad de estimular el crecimiento económico, tras los atentados del 11 de septiembre.

Los niveles tan bajos de la tasa de interés se mantuvieron hasta el mes de octubre del 2004 cuando se aumentó a un nivel del 2% para posteriormente alcanzar el nivel más alto del 5.46% durante el mes de junio de 2006. Estos niveles se mantuvieron hasta finales del año 2007 cuando se dio por iniciada la crisis hipotecaria.

La FED de vuelta utilizó la disminución de la tasa de interés con la finalidad de estimular el consumo, y con ello recuperar el crecimiento de la economía estadounidense. Durante el mes de abril de 2009 alcanzó niveles inferiores al 1%

Para el 2015 "luego de seis años de haber mantenido la tasa en su nivel mínimo histórico del 0.0%/0.25% - factor gravitante, junto a la política de "relajación monetaria", de la recuperación actual de la economía del país del norte post Gran Recesión 2008-2009- el "consenso" indica que el comienzo del endurecimiento de la política monetaria estaría próximo. La cuestión en debate sólo es "el cuándo y el cómo".

Respecto a ello, resulta de suma utilidad analizar las minutas de las reuniones de la FED. Dentro de las cuales, las principales observaciones respecto a las variables claves que sigue la FED son:

En el primer trimestre de 2015 la economía estadounidense había sufrido una leve desaceleración de su ritmo de crecimiento, debido no a factores estructurales

sino transitorios<sup>12</sup>. Sin embargo, la mayoría de los funcionarios participantes en la reunión estimaron que el nivel de actividad retomaría su tasa de expansión a lo largo del año

Finalmente, la inflación aún se mantiene por debajo del objetivo del 2%; en parte debido a la baja temporal de los precios de energía. En consecuencia, la mayoría de los participantes estimaron que -en el "mediano plazo"- la misma iría convergiendo hacia la tasa objetivo del 2%.

A partir de la interpretación de este diagnóstico, en la autoridad monetaria estadounidense se enfrentan dos posiciones. La primera de ellas corresponde a las llamadas "palomas", los cuales defienden una estrategia flexible que temen que (de apresurarse a subir la tasa) se aborte la actual recuperación. La contraparte, los denominados "halcones", sostienen la idea de que sería muy peligroso demorar la subida de la tasa de interés. (global-rates, 2016).

De acuerdo a estas posiciones encontradas, los "halcones" proponían que la modificación de la tasa se implementara a más tardar en junio de 2015, mientras que las palomas no fijaban un límite temporal, sino que sostenían que el inicio de la subida de la tasa de interés debería definirse en función de la marcha de la economía.

Por ahora, la posición mayoritaria de la entidad es esta última; esto es: no existe un sendero predeterminado de tiempo para iniciar el endurecimiento de la política monetaria, sino que será necesario ir avanzando reunión por reunión bajo un esquema "dato dependiente", en especial de la evolución de las variables macroeconómicas definidas como primordiales; esto es: crecimiento, nivel de empleo e inflación.

---

<sup>12</sup> Adversas condiciones climáticas, baja temporal de los precios de la energía y problemas en los puertos de exportación de la costa oeste, entre otros.

La FED comenzaría a subir las tasas sólo cuando el crecimiento se consolide, el nivel de ocupación (hoy en 5.4%) se aproxime a la tasa considerada como de pleno empleo (5% / 5.2%) y la inflación gradualmente se acerque al objetivo del 2%.

En consecuencia, para poder pronosticar el inicio del período de endurecimiento es necesario pronosticar cuándo se llegará a este escenario. En nuestra opinión, lo más probable es que el mismo se verifique no antes del cuarto trimestre. Si este fuera el caso, recién hacia fines de año podría esperarse una primera subida; debiendo advertirse que, una vez iniciado el proceso, el mismo será leve y gradual. En efecto, la teoría y la experiencia indican que -en caso contrario- podría repetirse el error que en gran medida provocó la Gran Recesión de los años 30 del siglo pasado. (Cané, 2015)

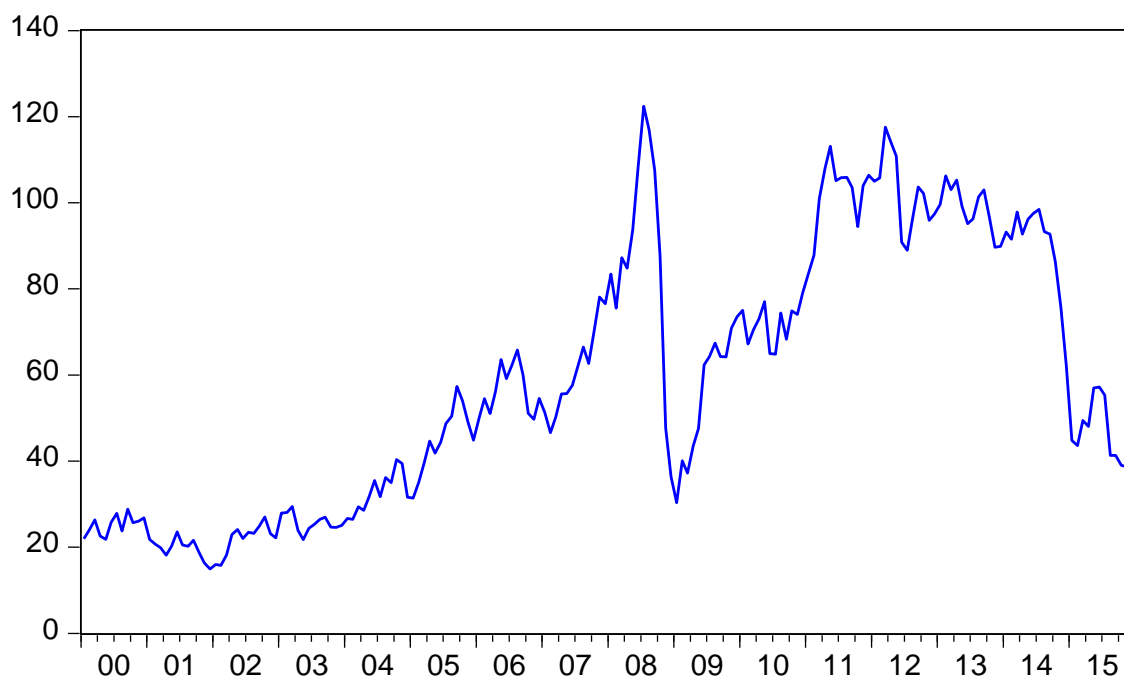
### **3.4.3. Precio del Petróleo Mezcla Mexicana**

México no es una economía que únicamente dependa del petróleo. A pesar de que hace varios años era considerado un país con una economía basada en el petróleo, la situación ya no es la misma, ya que México ha sido capaz de abrir y diversificar su economía.

En la figura 3.10 se muestra la gráfica que corresponde al precio de la mezcla mexicana durante el periodo 2000-2015 periodicidad mensual.

### **Figura 3.10**

**Gráfica Precio de la Mezcla Mexicana de Petróleo dólares por barril serie mensual 2000-2015**



*Fuente: Elaboración propia con base en Banxico 2016*

Las exportaciones solían representar menos del 10% del PIB a principios de los años noventa, hoy en día éstas significan casi un 30%. Por otra parte, 80% de las exportaciones mexicanas son en realidad manufacturas. De hecho, la producción de petróleo crudo y productos relacionados con el mismo sólo representan menos de 6.0% del PIB y las exportaciones de petróleo crudo representan únicamente 13% de las exportaciones totales.

La participación de los ingresos fiscales relacionados con el petróleo representa alrededor de 33% de los ingresos totales. Como resultado, las fluctuaciones de los precios del petróleo sí tienen un impacto en los ingresos fiscales de México. Sin embargo, existen tres mecanismos que han contribuido a atenuar el golpe de la volatilidad del precio del petróleo sobre la economía: (a) el programa de coberturas del gobierno; (b) el régimen cambiario de libre flotación de México; y (c) políticas de precios de la gasolina internas del país.

- a) Programa de coberturas del gobierno. Por más de 10 años el gobierno mexicano ha comprado coberturas (*i.e.* compra de derivados financieros) para

proteger los ingresos petroleros del país. Un equipo formado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHyCP) junto con el Banco de México utiliza los recursos del Fondo de Estabilización de los Ingresos Petroleros (FEIP) cada año para la compra de opciones (*puts*). Cabe destacar que la SHyCP ha ejercido las opciones una sola vez, en 2009. En este contexto, para el año fiscal 2014 el gobierno cubrió los ingresos relacionados con el petróleo en su totalidad en 85 dólares por barril, y para 2015, el Secretario de SHyCP Luis Videgaray, comentó que el gobierno ha asegurado un precio mínimo de 79 dólares por barril para los ingresos petroleros, el precio asumido en el presupuesto 2015.

- b) El régimen de tipo de cambio de libre flotación. Históricamente se ha observado que la relación entre el tipo de cambio (peso/dólar) y los precios del petróleo tienen una correlación negativa. Los precios del petróleo normalmente caen, al mismo tiempo que la divisa mexicana se deprecia frente al dólar. En este contexto, dado que los ingresos del gobierno que recibe de las exportaciones petroleras son expresados en pesos, una depreciación del peso ayuda a compensar parcialmente la caída en los precios del petróleo.
  
- c) Políticas domésticas en México sobre el precio de las gasolinas. Los precios domésticos de la gasolina son fijados por el gobierno. Además, Pemex importa alrededor del 50% del consumo doméstico de gasolina. Como resultado, cuando los precios domésticos están por arriba de los precios internacionales, el gobierno colecta impuestos. Por el contrario, cuando los precios internacionales están por encima de los nacionales, ello se vuelve un subsidio para el consumo de la gasolina. En este contexto, dada la alta y positiva correlación entre los precios del petróleo y de la gasolina, los precios domésticos actuales de la gasolina se encuentran por arriba de los precios internacionales, por lo que el gobierno está recibiendo mayores ingresos de la venta local de gasolina, lo que ayuda a atenuar el impacto de la caída de los precios del petróleo, tanto fiscalmente, como desde un punto de vista de la balanza comercial, en donde no necesariamente crece el déficit.

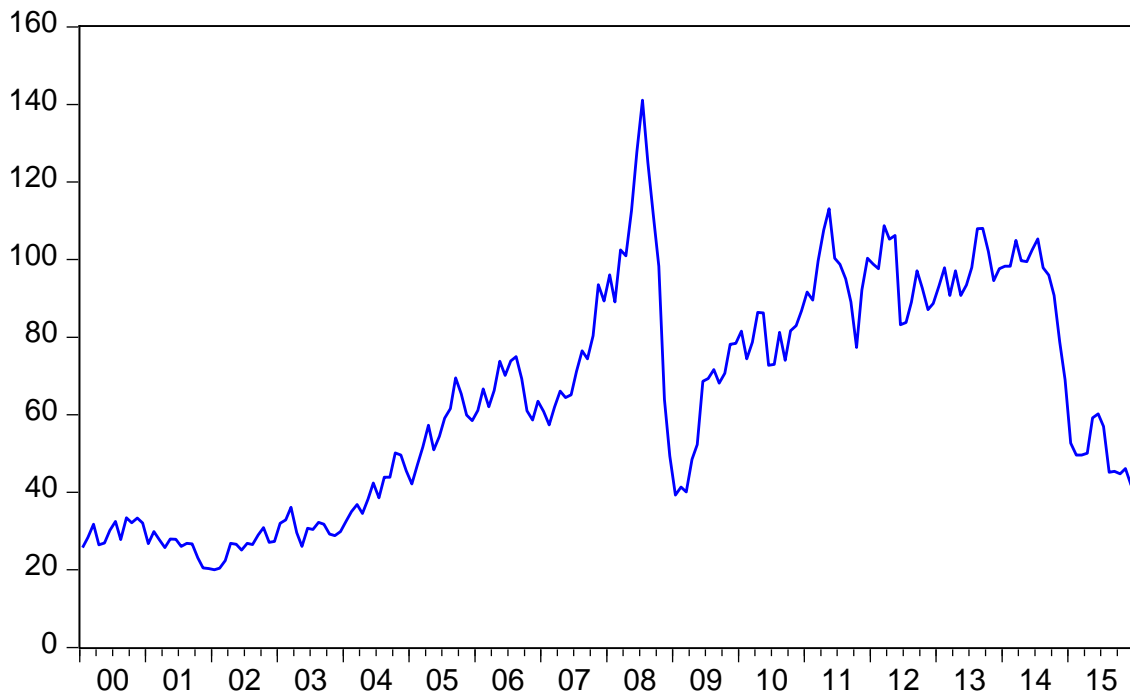
“En resumen, mientras que (a) sólo ayuda a mitigar las presiones a la baja de los precios, (b) y (c) realmente reducen la volatilidad derivada tanto del alza como de la baja de los precios. De esta manera, el gobierno es capaz de tomar ventaja de los precios que resulten más altos que lo esperado, mientras que los ingresos están protegidos de riesgos a la baja. Dado los factores comentados anteriormente, la economía mexicana está preparada para enfrentar menores precios del petróleo.” (Casillas, 2014).

#### **3.4.4. Precio del Petróleo West Texas Intermediate**

“El West Texas Intermediate, más generalmente representado por la sigla WTI, algunos agentes bursátiles lo llaman a veces Texas Light Sweet. En realidad, se trata de una clase de petróleo bruto que los economistas utilizan como valor estándar para determinar el precio del petróleo bruto como materia prima en los mercados de intercambio, en el marco de contratos a largo plazo. Esta cotización se realiza en el New York Mercantile Exchange, que es la bolsa principal de las materias primas mundiales.” (Invertir Pétroleo, 2016).

### **Figura 3.11**

**Gráfica Precio del petróleo West Texas Intermediate dólares por barril serie mensual 2000-2015**



*Elaboración propia con base en datos del BEA (2016)*

Se cuentan en los mercados internacionales tres grandes tipos de petróleo bruto que sirven de referencia al precio del petróleo en función de su zona de producción. Así pues, para el petróleo europeo, el Brent del mar del Norte es el que sirve de referencia, mientras que, para los países de la OPEP, el bruto de Dubái es el que se privilegia para determinar los precios.

“Una de las particularidades del petróleo bruto WTI es que es mucho menos pesado que el Brent. También se le llama Texas Light Sweet debido a su bajo contenido en sulfuro (0.24%), (Pétroleo, 2016) que lo convierte en realidad en un petróleo bruto suave. Desde el punto de vista técnico, el petróleo WTI tiene una densidad API de 39.6 y una densidad específica en torno a 0.827.” (Pétroleo, 2016).

La mayor parte del tiempo, el WTI se refina directamente en E.E.U.U. principalmente en el Midwest y cerca de la Costa del Golfo, por razones prácticas puesto que los centros de producción están cerca.



A lo largo del periodo de análisis es posible determinar periodos de gran volatilidad para el precio del WTI, durante el mes de abril del año 2000 el precio del petróleo tuvo un descenso del 16.7% su mayor caída durante este año.

Para el año 2001, se experimentó un periodo de constante disminución en los precios internacionales del petróleo, en particular el WTI registró su mayor caída durante el mes de enero debido principalmente a la amenaza de recesión de la economía estadounidense. Durante el mes de septiembre las bolsas de valores fueron afectadas debido al ataque terrorista realizado a las Torres Gemelas y al pentágono, situación que llevó a una nueva caída en los precios internacionales del petróleo.

El estallido de la Segunda Guerra de Libia provocó una nueva caída en los precios internacionales del petróleo, situación que se mantendría durante el año. A ello se sumaron las pruebas de misiles balísticos por Corea del Norte, además de la primera resolución de la ONU contra el programa nuclear iraní, a la tensión mundial se sumó un exceso de oferta de petróleo.

Durante la primera mitad del 2008, se reflejó un periodo alcista provocado principalmente por la amenaza de guerra entre dos grandes productores de petróleo, Irán e Israel. Durante este periodo el precio internacional del petróleo superó un alza de más del 50%.

La banca rota anunciada de *Lehman Brothers* durante el otoño de 2008, aunado a la menor demanda de combustible en Europa y el encarecimiento del dólar provocaron una nueva caída del precio del petróleo.

Durante los últimos años el precio internacional del petróleo se ha debilitado, a partir de 2011 se originó el temor a una nueva recesión global lo que desencadenó en un menor nivel de demanda global por el petróleo, las condiciones inestables

dentro de la economía europea y el debilitamiento de la economía estadounidense. Durante el año 2014 se inició otra pérdida en los precios del petróleo, la razón, la oferta global superó a la demanda.

La desaceleración del crecimiento económico en Asia y Europa, principalmente la demanda de petróleo en China se debilitó, además, el aumento en la producción de E.E.U.U. fueron los causantes de la elevada oferta a nivel mundial. A ello, es importante considerar la decisión de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) por no tomar medida alguna para disminuir la oferta de petróleo a nivel mundial.

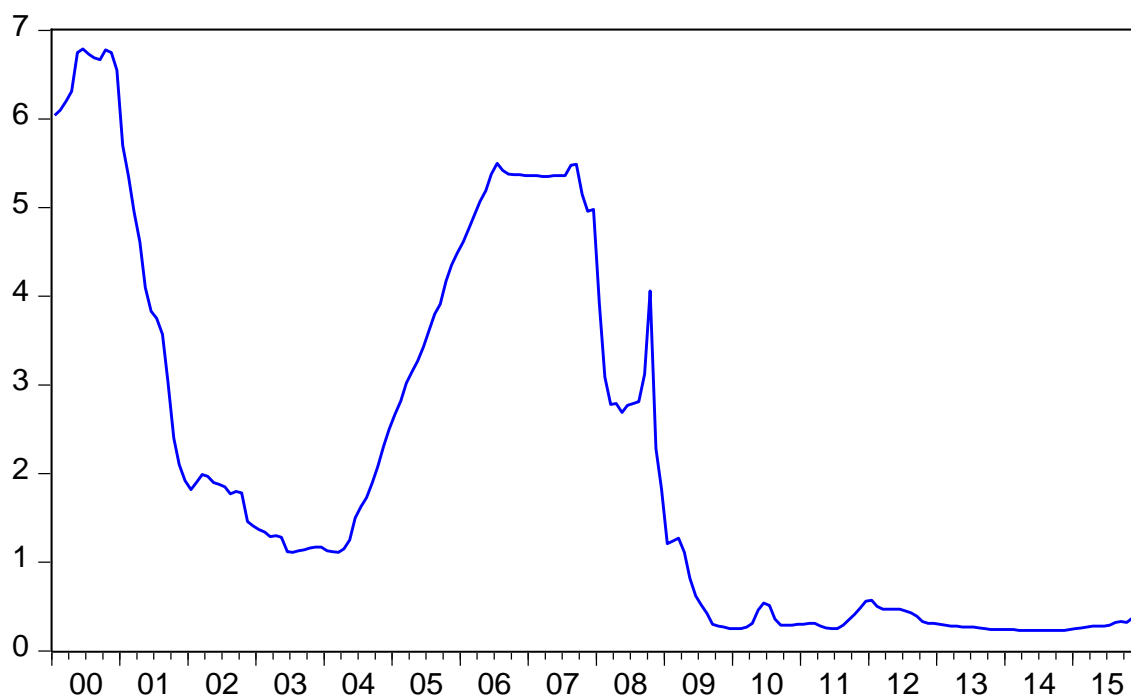
El FMI en su más reciente Panorama Económico Mundial bajó su previsión de crecimiento global a un 3.5% para 2015 y a un 3.7% para 2016, lo que implica una disminución de su pronóstico en 0.3 puntos porcentuales para ambos años.

#### **3.4.5. Tasa de interés de referencia London InterBank Offered Rate (LIBOR) perteneciente al mercado monetario londinense.**

“El término LIBOR es un acrónimo que se refiere al “London Interbank Offered Rate”, traducible como “tipo de interés interbancario del mercado de Londres”. Se llama así a la tasa de interés que usan los bancos como referencia para fijar el valor de diversos productos financieros. Algunos de ellos son: contratos futuros con interés a corto plazo, swaps de tasas de interés y de inflación, bonos de tasa flotante o hipotecas de tasa variable. Además, se utiliza como tasa de interés en los préstamos o fondos no asegurados entre bancos, tanto en el mercado monetario mayorista como en el interbancario. Su valor será menor mientras mayor fiabilidad tenga el banco. También es usada como referencia en el intercambio entre monedas, como: libra esterlina, dólar, euro o yen, entre otros. Esta tasa es relativamente comparable (existen matices) a la tasa “Federal Funds Rate” en E.E.U.U. o al “Euribor” en la Unión Europea.” (GERENCIE.COM, 2012).

**Figura 3.12**

**Gráfica Tasa de interés de Referencia LIBOR serie anualizada periodicidad mensual 2000-2015**



*Elaboración propia con base en datos de Global-Rates (2016)*

Cada día, aproximadamente media hora después de las 11:00 de la mañana (horario londinense), es publicada por la BBA (British Bankers Association). Sin embargo, dentro de esta asociación participan bancos que operan en más de cincuenta países, por lo que su influencia es internacional. Realmente es un promedio de la estimación que realizan los 16 bancos más importantes entre los contribuyentes, es decir, los que operan con un volumen de valores mayor.

Las tasas (sobre todo el LIBOR de seis meses) son muy fiables y reflejan con precisión las condiciones del mercado, no obstante, son variables a lo largo del día. De hecho, el LIBOR de seis meses, y el de tres, son utilizados como índice para conceder hipotecas en algunos países como el Reino Unido Y E.E.U.U.

A inicios del siglo XXI la tasa LIBOR se encontraba por encima de los 6 puntos porcentuales, pero a partir del año 2001 esta se redujo de manera gradual

debido a los temores por una recesión mundial y como medida para estimular el consumo y disminuir el costo del crédito.

A partir del mes de diciembre de 2001 y hasta el mes de septiembre de 2004, esta se mantuvo en niveles inferiores al 2%. Para posteriormente comenzar un periodo dentro del cual se elevaría hasta alcanzar su máximo nivel durante el mes de septiembre de 2007 siendo equivalente su valor máximo a 5.49%.

Hasta este punto se ha abordado el análisis de las variables macroeconómicas que se utilizarán para elaborar el análisis de la serie del tipo de cambio peso-dólar. En el siguiente capítulo se realizará un análisis mediante un modelo de corrección de error y la aplicación de la teoría del caos.

## **CAPÍTULO 4**

# **CASO EMPÍRICO DE LA TEORÍA DEL CAOS PARA EL TIPO DE CAMBIO PESO-DÓLAR**

Este capítulo tiene como objetivo abordar de manera empírica el tipo de cambio peso-dólar<sup>13</sup> realizando un análisis a través de la teoría del caos. En primera instancia se analiza bajo una perspectiva de un modelo de corrección de error, examinando los resultados y posteriormente con el comportamiento de patrones caóticos de Lorenz.

En esta apartado se pretenderá hallar las variables con un patrón<sup>14</sup>, para después ver el nivel explicativo que tengan dichas variables dentro del tipo de cambio y analizar qué tan parsimonioso e influyentes son los resultados en la economía.

Lo cual permitirá demostrar la hipótesis planteada en este trabajo sobre el comportamiento caótico en el tipo de cambio, así como mostrar un enfoque diferente a las técnicas ya planteadas para el análisis de variables macroeconómicas, especialmente del tipo de cambio.

#### **4.1 Introducción**

Antes de comenzar a realizar los análisis respectivos de esta investigación, se comenta que la estructura de este apartado se divide en tres secciones:

- La primera es el análisis del tipo de cambio bajo un enfoque econométrico, que tiene la finalidad de identificar cuáles son las variables con mayor impacto en el tipo de cambio, así como la relación, perturbaciones y nivel explicativo de estas.
- La segunda es un análisis de corrección de error que consiste en encontrar la relación existente entre las variables en el largo plazo.
- La tercera sección se refiere a un análisis bajo un enfoque de la teoría del caos, una vez determinadas las variables explicativas determinadas

---

<sup>13</sup> En esta tesis se entenderá el tipo de cambio como la relación de cambio entre el peso mexicano y el dólar estadounidense.

<sup>14</sup> Entendiéndose como patrón un elemento de una forma repetitiva según la teoría del caos, como sería un fractal, un ciclo, o una tendencia no lineal.

por al análisis econométrico se tratará de encontrar si existe o no un patrón caótico en las variables, y se analizará el impacto que tienen estas variables sobre el tipo de cambio.

**Figura 4.1**  
**Etapas de la estructura metodológica de la presente investigación**



*Fuente: Elaboración propia*

## **4.2 Analizando el Tipo de Cambio desde la perspectiva econométrica**

### **4.2.1 Comportamiento de la serie cuando se analiza con un modelo simple de regresión lineal**

La econometría es una herramienta que permite hacer modelos probabilísticos del comportamiento de una variable con respecto a otras variables, esta herramienta

puede ser utilizada para análisis de corte transversal (es decir, para un punto fijo en específico) o para series de tiempo, en la cual las variables son afectadas por el paso del tiempo.

Las variables que se utilizaron para hacer el análisis econométrico correspondiente fueron:

- Tipo de cambio (TIPODECAMBIO)
- Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE)
- M1 de México (MEXM1)
- Reservas internacionales de México (MEXRESERVAS)
- PIB de Estados Unidos (EUAPIB)
- PIB de México (MEXPIB)
- Tasa de referencia de Estados Unidos (T-Bill) o (EUATREFERENCIA)
- Índice Nacional De Precios al Consumidor De México (INPC)
- Índice de Precios Y Cotizaciones (IPC)
- Precio de Petróleo Mezcla Mexicana (PMEZCLA)
- Precio internacional del oro (PORO)
- Precio del Petróleo West Texas Intermediate (PWTI)
- Tasa Libor (TLIBOR)

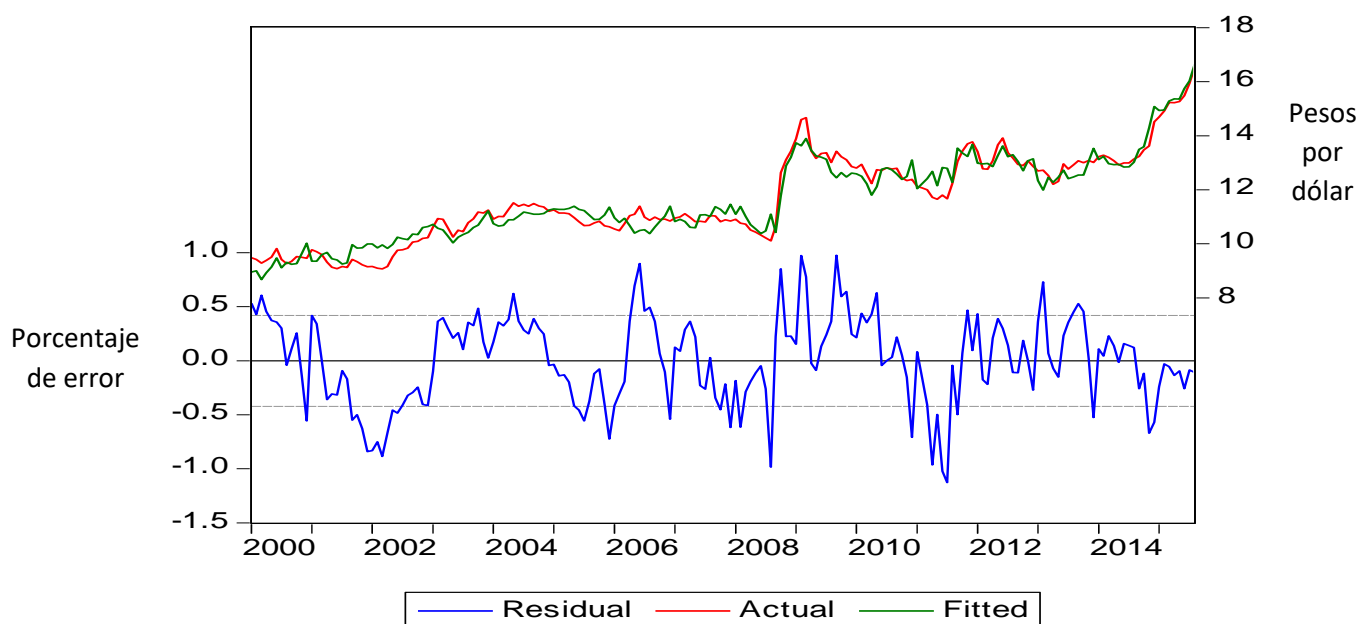
Una vez que fueron seleccionadas las variables a utilizar se realizará un modelo de regresión lineal simple, este sin modificar las variables, es decir, no se hicieron ajustes tales como linealizar las variables (uso de logaritmos) u otra clase de modificación en ellas. El único propósito de este análisis es el de saber que tanto explicaban el tipo de cambio las variables seleccionadas y observar el comportamiento de estas de manera general.

El resultado encontrado se encuentra en la figura 4.2:



Figura 4. 1

Gráfica del Tipo de cambio Peso-dólar que muestra el modelo de regresión lineal simple.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016), BANXICO (2016), GLOBAL-RATES (2016) y BEA (2016)

En la gráfica 4.2 la línea roja muestra los datos reales que se presentaron en el tipo de cambio, en la cual se aprecia que en general tiene una tendencia a la alza y se muestran perturbaciones en los años 2001, 2002, 2008, 2009, 2011 y 2015 principalmente, la línea verde son los datos estimados de nuestro modelo de regresión lineal simple sin ninguna ajuste, a simple vista se aprecia que simula muy de cerca los datos de la serie original (el modelo obtuvo un  $R^2 = 93.69\%$ ) pero dado que las variables no tienen ningún arreglo, además de mostrar que para algunos periodos los errores son superiores a la banda de error aceptado, no se puede utilizar este modelo para predicción.

Lo que si permite es tener en cuenta que en algunos periodos hubo más volatilidad en el tipo de cambio como lo es en el año 2008, en que la economía mundial fue afectada por la crisis inmobiliaria de E.E.U.U.

Los resultados estadísticos se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 4.1**

**Resultado del Modelo de regresión lineal simple de la corrida del comportamiento del tipo de cambio del periodo de 2000 a 2015 de manera mensual**

Dependent Variable: TIPODECAMBIO  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/19/16 Time: 01:31  
 Sample (adjusted): 2000M01 2015M08  
 Included observations: 188 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
TIIE	0.108204	0.025125	4.306723	0.0000
MEXM1	3.78E-09	4.50E-10	8.403829	0.0000
MEXRESERVAS	-4.87E-05	5.07E-06	-9.604387	0.0000
EUAPIB	0.000966	9.32E-05	10.35899	0.0000
MEXPIB	4.19E-08	1.25E-07	0.335101	0.7379
EUATREFERENCIA	-1.957541	0.545497	-3.588543	0.0004
INPC	0.239006	0.092233	2.591334	0.0104
IPC	-9.03E-05	1.33E-05	-6.771073	0.0000
PMEZCLA	0.017760	0.008954	1.983402	0.0489
PORO	0.001843	0.000249	7.416549	0.0000
PWTI	-0.032561	0.008202	-3.969873	0.0001
TLIBOR	1.710178	0.544807	3.139055	0.0020
C	-1.436342	1.352819	-1.061740	0.2898
R-squared	0.936934			

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 4.1 muestra que la probabilidad de que la variable no sea explicativa en su conjunto mostró que las variables están por debajo de 5%, lo que a priori muestra que estas son explicativas para la serie del tipo de cambio, aunque el PIB muestra una probabilidad elevada no es descartada aún dado que el PIB es una variable macroeconómica de alto impacto.

## 4.2.2 Modelo de regresión lineal con uso de logaritmos

Después realizar este análisis sobre las variables explicativas, se realizará la linealización de las variables (aplicación de logaritmo), esto se puede apreciar en la tabla 4.2 que muestra los siguientes resultados:

**Tabla 4.2**  
**Resultado del Modelo econométrico de la corrida del comportamiento del tipo de cambio con las variables linealizadas del periodo de 2000 a 2015 de manera mensual**

Dependent Variable: LNTIPODECAMBIO  
Method: Least Squares  
Date: 03/19/16 Time: 01:33  
Sample (adjusted): 2000M01 2015M08  
Included observations: 159 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNTIIE	0.111902	0.026911	4.158172	0.0001
LNMEM1	0.341627	0.080785	4.228839	0.0000
LNMEMRESERVAS	-0.382824	0.054963	-6.965130	0.0000
LNEMAPIB	1.390961	0.231256	6.014802	0.0000
LNEMPIB	-0.243065	0.132309	-1.837108	0.0682
LNEMREFERENCIA	-0.051733	0.030045	-1.721863	0.0872
LNINPC	0.002823	0.005850	0.482514	0.6302
LNIPC	-0.153199	0.029537	-5.186663	0.0000
LNEMEZCLA	0.025317	0.057666	0.439040	0.6613
LNPORO	0.190721	0.032595	5.851208	0.0000
LNPMWTI	-0.151553	0.062430	-2.427580	0.0164
LNLIBOR	0.001215	0.033023	0.036783	0.9707
C	-9.079864	1.969202	-4.610936	0.0000
R-squared	0.912966	Mean dependent var	2.440140	
Adjusted R-squared	0.905813	S.D. dependent var	0.138186	
S.E. of regression	0.042409	Akaike info criterion	-3.404680	
Sum squared resid	0.262586	Schwarz criterion	-3.153764	
Log likelihood	283.6721	Hannan-Quinn criter.	-3.302786	
F-statistic	127.6257	Durbin-Watson stat	0.514786	
Prob(F-statistic)	0.000000			

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 4.2 el modelo mostro resultados diferentes e interesantes con respecto a la tabla 4.1, uno de los cambios más sobresalientes fue el hecho de que

el  $R^2$  disminuyera, dado que resulto ser  $R^2 = 91.29\%$ , con respecto al modelo anterior que fue de  $R^2 = 93.69\%$ , esto llama la atención debido a que pareciera que explica en menor medida el tipo de cambio, pero si se considera que las probabilidades de que las variables no sean explicativas cambiaron con respecto al modelo anterior, por tanto ahora que el PIB si es significativo, pero variables como la Tasa LIBOR, el INPC y el Precio de la Mezcla Mexicana ya no resultan ser significativos.

Este análisis considera un periodo de 15 años ya que los economistas afirman que para análisis de mediano y largo plazo las variables en el tiempo actual (t) en modelos de regresión lineal no siempre muestran su verdadero impacto sobre el suceso analizado, pues la economía es reactiva, en otras palabras, lo que hoy ocurre afectará a la economía en periodos posteriores, y no necesariamente en el periodo actual. (GERENCIE.COM, 2012).

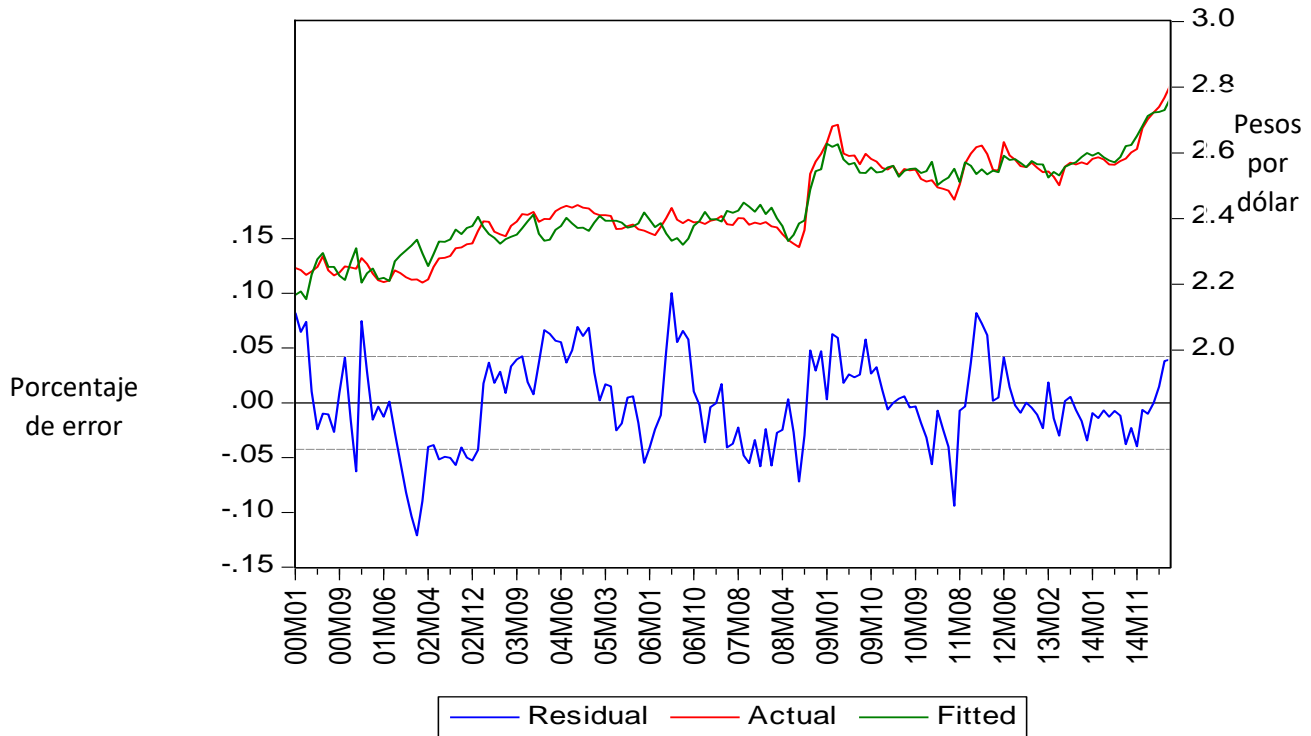
Un ejemplo de esto sería si se comprase un tóner de x marca que se fabrica en el extranjero, si hoy incrementa de valor la moneda extranjera con respecto a la moneda nacional, el precio del tóner en el periodo actual no se vería afectado, pues el tóner que se está vendiendo en este periodo es mercancía que aún exista en almacén comprada con el precio anterior, así que el incremento del precio se dará en periodos posteriores, pero no en el periodo actual.

Es por eso que los economistas recomiendan hacer el uso de rezagos en las variables, pues estos reflejan de mejor manera el impacto real que tienen sobre el suceso analizado, así que se optó por utilizar rezagos en el presente trabajo.

Antes de pasar al análisis con rezagos se observa cómo se comporta el nuevo modelo y la gráfica obtenida es la siguiente:

**Figura 4.3**

**Gráfica del Tipo de cambio que muestra el modelo de regresión lineal aplicando logaritmo a las variables.**



*Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016), BANXICO (2016), GLOBAL-RATES (2016) y BEA (2016)*

La figura 4.3 es el resultado del modelo de regresión lineal aplicando logaritmo a las variables para linealizarlas, con respecto al modelo anterior pareciera que es más estable en su conjunto, pero en periodos como el 2001, 2006, 2008 y 2011, los errores parecen más pronunciados, lo que podría explicarse debido a que las perturbaciones fueron ocasionadas por agentes externos de la economía.

#### **4.2. Modelo de regresión lineal con rezagos y análisis de corrección de error**

En este apartado se analizará en primera instancia un modelo de regresión lineal tomando en cuenta rezagos; debido a que la economía tiene en su mayoría de

ocasiones un comportamiento reactivo retardado, después se analizará la metodología de corrección de error que se enfoca en las perturbaciones o errores y trata de explicarlos con las variaciones de las variables explicativas.

Cabe aclarar que no se profundizará pues el fin es solamente mostrar cómo se analizan normalmente las variables macroeconómicas y las metodologías que se utilizan, así como los resultados que muestran, para después compararlos con los resultados de los patrones caóticos que se encuentren y determinar si existen o no variables que puedan explicar en su mayoría el tipo de cambio, así como saber si dichas variables son efectivas para estabilizarlo.

#### 4.3.1. Modelo de regresión lineal con cuatro rezagos

Como se mencionó anteriormente, la economía es reactiva, pero en la mayoría de casos no es instantánea la fluctuación, esto hace que se utilicen rezagos para ver como el comportamiento de las variables en periodos anteriores afecta el suceso del periodo presente en la economía, es por eso que se utilizan hasta cuatro rezagos y el resultado fue el siguiente:

**Tabla 4.3**

**Resultado del Modelo econométrico de la corrida del comportamiento del tipo de cambio con las variables linealizadas y añadiendo 4 rezagos del periodo de 2000 a 2015 de manera mensual**

Dependent Variable: LNTIPODECAMBIO  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/28/16 Time: 21:42  
 Sample (adjusted): 2000M05 2014M12  
 Included observations: 87 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-11.78831	6.814565	-1.729870	0.0977
LNTIPODECAMBIO(-1)	0.456338	0.268737	1.698081	0.1036
LNTIPODECAMBIO(-2)	0.260399	0.337610	0.771302	0.4487
LNTIPODECAMBIO(-3)	-0.093048	0.329009	-0.282814	0.7800
LNTIPODECAMBIO(-4)	0.293211	0.241993	1.211651	0.2385
LNTIIE	0.165506	0.103304	1.602133	0.1234

LNTIIE(-1)	-0.122460	0.079945	-1.531807	0.1398
LNTIIE(-2)	-0.097414	0.096480	-1.009682	0.3236
LNTIIE(-3)	-0.091413	0.074643	-1.224661	0.2337
LNTIIE(-4)	0.074579	0.059132	1.261218	0.2204
LNMEMX1	-0.138232	0.130296	-1.060913	0.3002
LNMEMX1(-1)	0.321272	0.321869	0.998146	0.3291
LNMEMX1(-2)	-0.046097	0.287347	-0.160423	0.8740
LNMEMX1(-3)	0.222684	0.230875	0.964521	0.3453
LNMEMX1(-4)	-0.159963	0.193436	-0.826958	0.4171
LNMEMXRESERVAS	-0.074385	0.187798	-0.396091	0.6959
LNMEMXRESERVAS(-1)	-0.187661	0.205278	-0.914179	0.3705
LNMEMXRESERVAS(-2)	0.412420	0.244412	1.687397	0.1057
LNMEMXRESERVAS(-3)	-0.350547	0.264778	-1.323929	0.1991
LNMEMXRESERVAS(-4)	-0.094361	0.178443	-0.528801	0.6022
LNEUAPIB	-0.482095	0.431254	-1.117893	0.2757
LNEUAPIB(-1)	0.595992	0.645776	0.922908	0.3661
LNEUAPIB(-2)	0.588134	0.727518	0.808412	0.4275
LNEUAPIB(-3)	-0.285821	0.868075	-0.329259	0.7451
LNEUAPIB(-4)	0.149864	0.603081	0.248498	0.8061
LNMEXPB	0.379520	0.286454	1.324892	0.1988
LNMEXPB(-1)	-0.219691	0.379818	-0.578410	0.5689
LNMEXPB(-2)	0.369273	0.318374	1.159874	0.2585
LNMEXPB(-3)	-0.298098	0.365839	-0.814835	0.4239
LNMEXPB(-4)	0.217013	0.381288	0.569158	0.5750
LNEUATREFERENCIA	0.071681	0.095393	0.751427	0.4604
LNEUATREFERENCIA(-1)	0.092671	0.086490	1.071462	0.2956
LNEUATREFERENCIA(-2)	-0.089595	0.096583	-0.927656	0.3637
LNEUATREFERENCIA(-3)	0.133012	0.122415	1.086561	0.2890
LNEUATREFERENCIA(-4)	-0.139164	0.105693	-1.316683	0.2015
LNINPC	0.002546	0.007719	0.329862	0.7446
LNINPC(-1)	-0.007496	0.010217	-0.733621	0.4709
LNINPC(-2)	-0.007359	0.011607	-0.633991	0.5326
LNINPC(-3)	0.008451	0.012228	0.691125	0.4967
LNINPC(-4)	0.013158	0.009578	1.373672	0.1834
LNIPC	-0.065798	0.097471	-0.675052	0.5067
LNIPC(-1)	-0.044238	0.105422	-0.419630	0.6788
LNIPC(-2)	-0.136605	0.104033	-1.313094	0.2027
LNIPC(-3)	-0.028230	0.110495	-0.255487	0.8007
LNIPC(-4)	0.074306	0.087233	0.851804	0.4035
LNPMEZCLA	0.055667	0.101213	0.549995	0.5879
LNPMEZCLA(-1)	-0.006329	0.121122	-0.052252	0.9588
LNPMEZCLA(-2)	0.013600	0.119279	0.114021	0.9103
LNPMEZCLA(-3)	0.153791	0.138859	1.107530	0.2800
LNPMEZCLA(-4)	-0.061908	0.120198	-0.515047	0.6117
LNPORO	0.165740	0.087333	1.897805	0.0709
LNPORO(-1)	-0.204065	0.109576	-1.862309	0.0760
LNPORO(-2)	0.063090	0.126936	0.497021	0.6241
LNPORO(-3)	0.059889	0.115644	0.517875	0.6097
LNPORO(-4)	-0.019870	0.106673	-0.186272	0.8539
LNPWTI	-0.161706	0.114151	-1.416593	0.1706
LNPWTI(-1)	-0.014796	0.144688	-0.102261	0.9195
LNPWTI(-2)	0.033865	0.146205	0.231626	0.8190
LNPWTI(-3)	-0.117475	0.171872	-0.683500	0.5014
LNPWTI(-4)	0.156566	0.143195	1.093376	0.2861
LNTLIBOR	0.062633	0.119578	0.523781	0.6057
LNTLIBOR(-1)	-0.174165	0.102395	-1.700910	0.1031
LNTLIBOR(-2)	0.043242	0.104785	0.412674	0.6838
LNTLIBOR(-3)	-0.118795	0.151458	-0.784342	0.4412
LNTLIBOR(-4)	0.126997	0.109701	1.157666	0.2594
R-squared	0.994031	Mean dependent var	2.442385	
Adjusted R-squared	0.976666	S.D. dependent var	0.124809	
S.E. of regression	0.019065	Akaike info criterion	-4.962534	

Sum squared resid	0.007996	Schwarz criterion	-3.120189
Log likelihood	280.8702	Hannan-Quinn criter.	-4.220678
F-statistic	57.24465	Durbin-Watson stat	1.580258
Prob(F-statistic)	0.000000		

*Fuente: Elaboración propia*

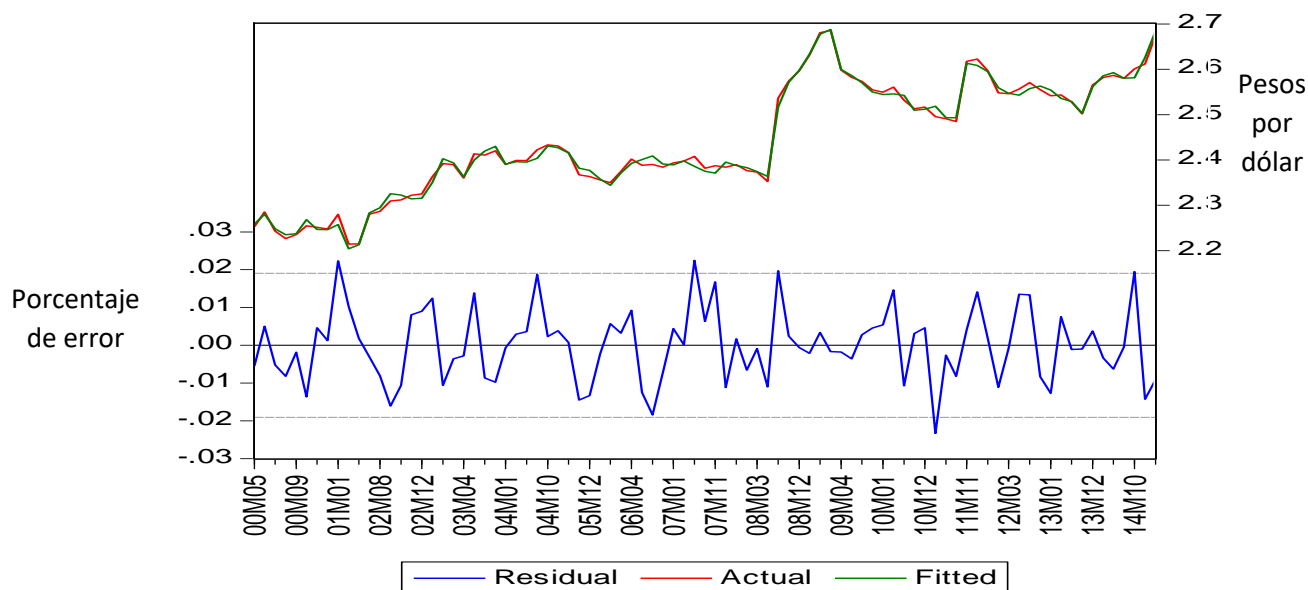
La tabla 4.3 muestra los resultados de un modelo de regresión lineal utilizando cuatro rezagos para todas las variables, en primera instancia llama la atención el  $R^2$  que es muy alto sobrepasando el 99%, sin embargo, en este modelo la probabilidad de que las variables no sean significativas es muy alta, lo que representa que algunas variables y/o rezagos no se tienen que tomar en cuenta para dicho modelo.

Aun cuando el nivel de ajuste fue muy elevado 99.4%, esto se puede apreciar en la figura 4.4, se eliminaron algunas variables y/o rezagos, en primera por la ya mencionada alta probabilidad y en segunda porque se trata de hacer un modelo parsimonioso, dado que tener un modelo de este tipo permitirá encontrar las variables que tienen más impacto sobre el tipo de cambio.

#### **Figura 4.4**

**Gráfica del Tipo de cambio que muestra el modelo de regresión lineal aplicando logaritmo y cuatro rezagos a las variables.**





Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016), BANXICO (2016), GLOBAL-RATES (2016) y BEA (2016)

Posteriormente se eliminaron algunas variables y rezagos hasta que todas las variables tuviesen una probabilidad menor al 5% y el resultado fue el siguiente:

**Tabla 4.4**  
**Resultado del Modelo econométrico de la corrida del comportamiento del tipo de cambio con las variables linealizadas eliminando rezagos no significativos del periodo 2000-2015 de manera mensual**

Dependent Variable: LNTIPODECAMBIO  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/19/16 Time: 02:42  
 Sample (adjusted): 2000M04 2015M10  
 Included observations: 187 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-3.092459	0.571895	-5.407394	0.0000
LNTIPODECAMBIO(-1)	0.812452	0.031883	25.48193	0.0000
LNTIIE	0.073316	0.023784	3.082596	0.0024
LNTIIE(-1)	-0.082496	0.023474	-3.514415	0.0006
LNEXM1(-1)	0.104200	0.036432	2.860085	0.0048

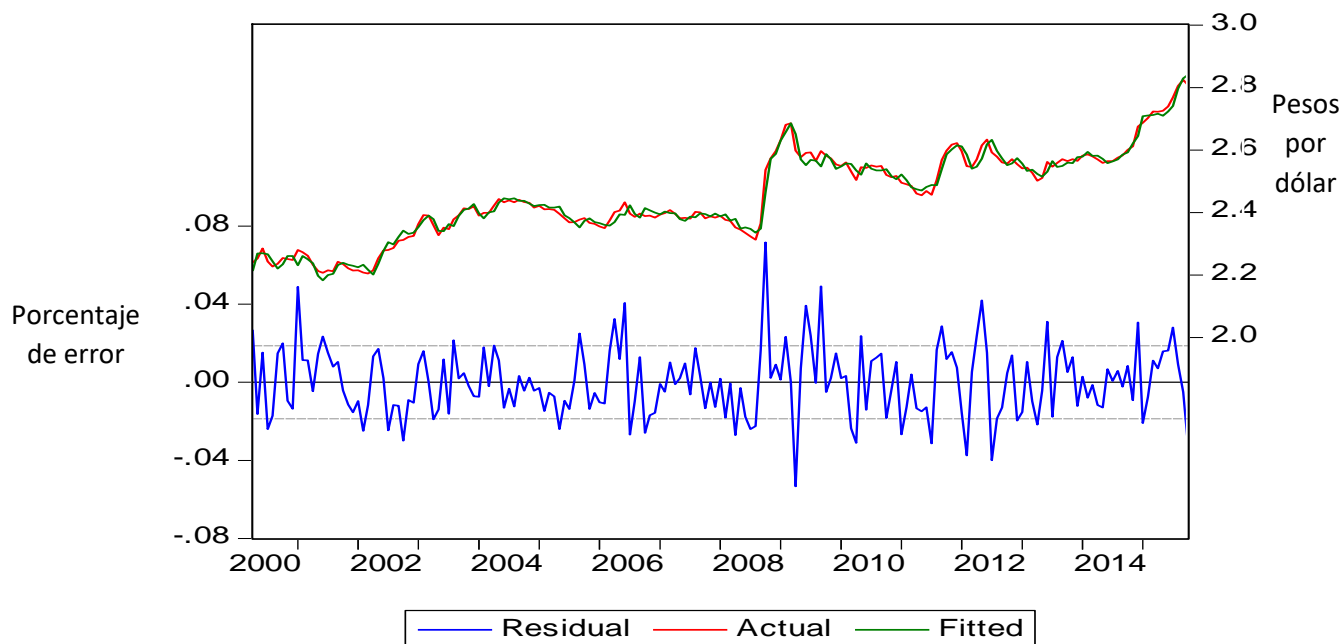
LNEXRESERVAS	-0.249054	0.042184	-5.904065	0.0000
LNEXRESERVAS(-2)	0.113205	0.039355	2.876510	0.0045
LNEXAPIB(-2)	0.356969	0.098607	3.620112	0.0004
LNIPC	-0.081578	0.013614	-5.992221	0.0000
LNPMZCLA(-3)	0.039046	0.009356	4.173253	0.0000
LNPORO(-2)	0.052074	0.013656	3.813211	0.0002
LNPTI	-0.036406	0.009839	-3.700143	0.0003
LNLIBOR	0.046977	0.014339	3.276142	0.0013
LNLIBOR(-1)	-0.052849	0.014022	-3.769162	0.0002
<hr/>				
R-squared	0.983672	Mean dependent var	2.452996	
Adjusted R-squared	0.982445	S.D. dependent var	0.140929	
S.E. of regression	0.018673	Akaike info criterion	-5.051614	
Sum squared resid	0.060319	Schwarz criterion	-4.809712	
Log likelihood	486.3259	Hannan-Quinn criter.	-4.953595	
F-statistic	801.7042	Durbin-Watson stat	1.666638	
Prob(F-statistic)	0.000000			

*Fuente: Elaboración propia*

El resultado de la tabla 4.4 es lo que normalmente se realiza para obtener un modelo más reducido, en el que dentro del modelo se explica la variable endógena con el menor número de variables exógenas posibles, a pesar de que se redujeron bastantes variables el nivel de predicción fue igual a un  $R^2=98.36\%$ , lo que contrasta con el modelo del cuadro 4.3 cuya  $R^2=99.40\%$ , es decir, el nivel de predicción se redujo en un 1.04%, y la gráfica del modelo sería la siguiente:

**Figura 4.5**

**Gráfica del Tipo de cambio que muestra el modelo de regresión lineal aplicando logaritmo y eliminando rezagos no significativos.**



*Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016), BANXICO (2016), GLOBAL-RATES (2016) y BEA (2016)*

La figura 4.5 muestra que el modelo de predicción es bueno, salvo periodos como el año 2008, en los que claramente se muestra que hubo perturbaciones en la economía, para este modelo las variables en logaritmos que resultaron ser más significativas resultaron ser:

- El primer rezago del tipo de cambio: es decir que el pasado de la variable afecta su valor actual, esto puede tener varias explicaciones la más común es que para predicciones siempre se toma de punto base el periodo anterior de la variable, mismo que genera especulación, es por esta razón que se consideró para el modelo.
- La TIIE y su primer rezago: la tasa de interés de referencia para México, esta variable es considerada pues atrae inversión y genera deuda, es una variable con múltiples efectos cuando se utiliza, el rezago se debe a que la economía siempre reacciona con uno o algunos periodos después.

- El M1 en su primer rezago: es el dinero más líquido que hay en circulación en el país, este afecta hasta un periodo después dado que hay que considerar la velocidad de circulación del dinero, es decir en el tiempo que tarda en desplazarse.
- Reservas internacionales de México y su rezago en dos periodos: las reservas ayudan a que el riesgo país no sea alto, genera seguridad a los inversionistas y permite estabilizar las fluctuaciones del tipo de cambio a través de subastas.
- PIB de E.E.U.U. su segundo rezago: dado que la economía de México depende de E.E.U.U. el comportamiento de su economía afectará directamente a México.
- Índice de Precios y Cotizaciones: Es el índice que refleja las inversiones bursátiles en México, esta variable atrae inversión extranjera.
- Precio del Petróleo Mezcla Mexicana en su tercer rezago: Aun cuando México ya no es una economía netamente petrolera, sigue significando una entrada de ingresos importante, por tanto, afecta el crecimiento de la economía en México.
- El Precio Internacional del Oro en su segundo rezago: a pesar que en todo el mundo se utiliza el patrón dólar, muchas economías tienen reservas en oro, esto porque a pesar de que su precio fluctúa a lo largo del tiempo sigue conservando su valor.
- Precio del petróleo West Texas Intermediate: El precio del petróleo mexicano tiene de referencia el precio del petróleo estadounidense, y estos son regulados por la OPEP.

- Tasa LIBOR: Es la tasa de referencia de Inglaterra, indicaría que las fluctuaciones en las tasas de interés de países desarrollados son de impacto para la economía de México, a lo cual México reacciona moviendo su tasa de interés.

Hasta este punto solo se analizó el modelo en lo que respecta a su nivel de predicción, lo siguiente a realizar sería ajustar el modelo para que los errores no salgan de las bandas de ajuste y que pase las pruebas estadísticas requeridas, esto normalmente se hace con variables *dummy* o ficticias, en este trabajo no se realizará puesto que no es la finalidad del trabajo, lo que se pretende es encontrar mediante patrones caóticos la o las variables que tengan más peso para explicar el tipo de cambio y saber si estas variables son de utilidad para estabilizar el tipo de cambio.

El análisis de un modelo econométrico llega hasta este punto pues se encontraron las variables con más peso que explican el tipo de cambio, el fin fue mostrar cómo se analiza desde esta metodología y los resultados a los que normalmente se llega, ahora se analizará desde la metodología de corrección de error, que se enfoca en analizar los errores de predicción del modelo del cuadro 4.4.

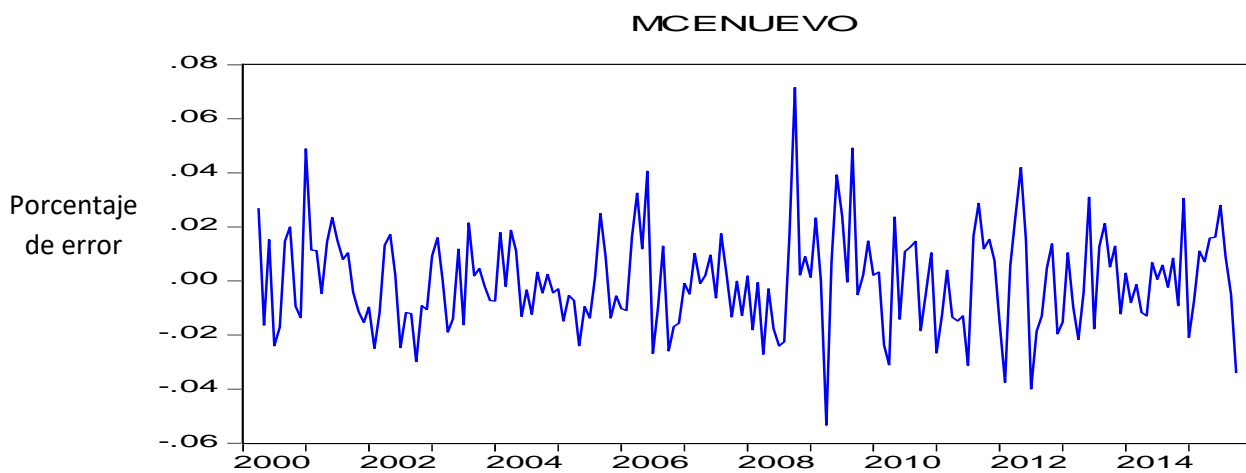
#### **4.3.2. Modelo de corrección de error**

Un modelo de corrección de error se enfoca en analizar los errores que hay dentro de un modelo de regresión y determinar que perturbaciones de las variables junto con sus rezagos son las que generan la inestabilidad dentro de un modelo, lo que ayuda a determinar cuáles variables son las más volátiles y en cuanto lo afectan.

Así que en este apartado lo primero será el analizar el comportamiento de los errores del modelo de la tabla 4.4, por lo que es necesario observar su comportamiento en la siguiente gráfica.

**Figura 4.6**

**Gráfica del Tipo de Cambio de los errores de predicción del cambio de la tabla 4.4.**



*Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016), BANXICO (2016), GLOBAL-RATES (2016) y BEA (2016)*

La figura 4.6 muestra que el modelo de predicción tiene problemas en la mayoría del periodo de análisis, pero hay periodos donde es más evidente y pronunciado, como lo es el caso de los periodos 2000-2001, 2005-2006, 2008-2009, 2011-2012 y 2014-2015, así que para determinar lo que causa estas perturbaciones será necesario el uso de los diferenciales de las variables en logaritmos, también conocidos como las fluctuaciones de las variables y sus respectivos rezagos, que también se utilizaron cuatro para este análisis y el resultado se encuentra en la tabla 4.5.

**Tabla 4.5**

**Resultado del Modelo econométrico de la corrida del comportamiento del tipo de cambio con las diferencias de las variables linealizadas con 4 rezagos del periodo de 2000 a 2015 de manera mensual**

Dependent Variable: D(LNTIPODECAMBIO)

Method: Least Squares

Date: 03/30/16 Time: 22:30

Sample (adjusted): 2000M06 2014M12

Included observations: 72 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.033423	0.023296	-1.434714	0.2014
D(LNTIPODECAMBIO(-1))	0.598835	0.267166	2.241436	0.0662
D(LNTIPODECAMBIO(-2))	0.147725	0.262561	0.562630	0.5941
D(LNTIPODECAMBIO(-3))	-0.208459	0.273069	-0.763392	0.4742
D(LNTIPODECAMBIO(-4))	-0.039473	0.336703	-0.117234	0.9105
D(LNTIIE)	0.178671	0.123395	1.447955	0.1978
D(LNTIIE(-1))	0.076281	0.146483	0.520751	0.6212
D(LNTIIE(-2))	0.005444	0.088587	0.061451	0.9530
D(LNTIIE(-3))	-0.070271	0.048146	-1.459529	0.1947
D(LNTIIE(-4))	0.039413	0.035848	1.099425	0.3137
D(LNMEXM1)	0.194797	0.352191	0.553102	0.6002
D(LNMEXM1(-1))	-0.083141	0.363303	-0.228847	0.8266
D(LNMEXM1(-2))	0.017820	0.539323	0.033042	0.9747
D(LNMEXM1(-3))	0.211293	0.282728	0.747334	0.4831
D(LNMEXM1(-4))	0.308745	0.411122	0.750983	0.4811
D(LNMEXRESERVAS)	0.372452	0.114581	3.250562	0.0175
D(LNMEXRESERVAS(-1))	0.313026	0.326232	0.959521	0.3743
D(LNMEXRESERVAS(-2))	0.018654	0.413447	0.045119	0.9655
D(LNMEXRESERVAS(-3))	-0.332146	0.215616	-1.540452	0.1744
D(LNMEXRESERVAS(-4))	0.064105	0.183433	0.349474	0.7387
D(LNEUAPIB)	-0.475544	0.448708	-1.059808	0.3300
D(LNEUAPIB(-1))	0.709173	0.747191	0.949119	0.3792
D(LNEUAPIB(-2))	-0.678646	0.941405	-0.720886	0.4981
D(LNEUAPIB(-3))	0.263901	1.117003	0.236258	0.8211
D(LNEUAPIB(-4))	-0.512181	1.085062	-0.472029	0.6536
D(LNMEXPIB)	0.082945	0.384686	0.215617	0.8364
D(LNMEXPIB(-1))	-0.094363	0.676782	-0.139429	0.8937
D(LNMEXPIB(-2))	0.314815	0.159699	1.971307	0.0962
D(LNMEXPIB(-3))	0.035845	0.362544	0.098872	0.9245
D(LNMEXPIB(-4))	3.038542	1.563055	1.943976	0.0999
D(LNEUATREFERENCIA)	0.185395	0.081822	2.265839	0.0640
D(LNEUATREFERENCIA(-1))	0.233768	0.067972	3.439187	0.0138
D(LNEUATREFERENCIA(-2))	0.078731	0.089620	0.878490	0.4135
D(LNEUATREFERENCIA(-3))	-0.197857	0.244400	-0.809562	0.4491
D(LNEUATREFERENCIA(-4))	-0.073016	0.105992	-0.688889	0.5166
D(LNINPC)	0.014692	0.008542	1.720007	0.1362
D(LNINPC(-1))	0.006377	0.010814	0.589664	0.5769
D(LNINPC(-2))	0.021353	0.015316	1.394172	0.2127
D(LNINPC(-3))	0.016362	0.015525	1.053879	0.3325
D(LNINPC(-4))	0.009670	0.008832	1.094858	0.3156
D(LNIPC)	-0.125159	0.139952	-0.894300	0.4056
D(LNIPC(-1))	0.017997	0.101778	0.176827	0.8655
D(LNIPC(-2))	0.009041	0.061668	0.146603	0.8882
D(LNIPC(-3))	0.079175	0.067297	1.176498	0.2840
D(LNIPC(-4))	-0.028858	0.158287	-0.182317	0.8613

D(LNPMEZCLA)	-0.100921	0.056114	-1.798496	0.1222
D(LNPMEZCLA(-1))	-0.230970	0.122818	-1.880579	0.1091
D(LNPMEZCLA(-2))	-0.166561	0.167459	-0.994638	0.3583
D(LNPMEZCLA(-3))	-0.494469	0.218656	-2.261397	0.0644
D(LNPMEZCLA(-4))	-0.434599	0.130049	-3.341817	0.0156
D(LNPORO)	0.076807	0.111992	0.685828	0.5184
D(LNPORO(-1))	-0.150362	0.085734	-1.753820	0.1300
D(LNPORO(-2))	-0.047149	0.095903	-0.491632	0.6404
D(LNPORO(-3))	-0.085283	0.198421	-0.429808	0.6823
D(LNPORO(-4))	0.190889	0.198118	0.963512	0.3725
D(LNPWTI)	0.106831	0.070757	1.509817	0.1818
D(LNPWTI(-1))	0.223223	0.187537	1.190290	0.2789
D(LNPWTI(-2))	-0.005736	0.303175	-0.018919	0.9855
D(LNPWTI(-3))	0.420971	0.241560	1.742720	0.1320
D(LNPWTI(-4))	0.475658	0.147641	3.221715	0.0181
D(LNTLIBOR)	-0.245421	0.161022	-1.524145	0.1783
D(LNTLIBOR(-1))	-0.190935	0.111969	-1.705252	0.1390
D(LNTLIBOR(-2))	0.002949	0.081533	0.036166	0.9723
D(LNTLIBOR(-3))	0.195045	0.240195	0.812029	0.4478
D(LNTLIBOR(-4))	0.024623	0.124658	0.197521	0.8499
MCENUEVO(-1)	-1.120941	0.497531	-2.253009	0.0652
<hr/>				
R-squared	0.989982	Mean dependent var	0.000973	
Adjusted R-squared	0.881448	S.D. dependent var	0.022831	
S.E. of regression	0.007861	Akaike info criterion	-7.505346	
Sum squared resid	0.000371	Schwarz criterion	-5.418402	
Log likelihood	336.1925	Hannan-Quinn criter.	-6.674528	
F-statistic	9.121428	Durbin-Watson stat	2.486612	
Prob(F-statistic)	0.004973			

*Fuente: Elaboración propia apoyándose de software Eviews*

Dado que las perturbaciones son difíciles de predecir o explicar se utilizaron las diferencias de todas las variables con las que se inició el modelo de la tabla 4.3, y los resultados fueron interesantes puesto que aun cuando el nivel de confianza es del 98.99%, en su mayoría las probabilidades son bastantes altas, por lo que se tienen que eliminar del modelo esas variables y al reducirlo el resultado es el siguiente:

**Tabla 4.6**

**Resultado del Modelo econométrico de la corrida del comportamiento del tipo de cambio con diferencias de las variables linealizadas reducido del periodo de 2000 a 2015 de manera mensual**



Dependent Variable: D(LNTIPODECAMBIO)  
Method: Least Squares  
Date: 03/30/16 Time: 23:05  
Sample (adjusted): 2000M06 2014M12  
Included observations: 72 after adjustments

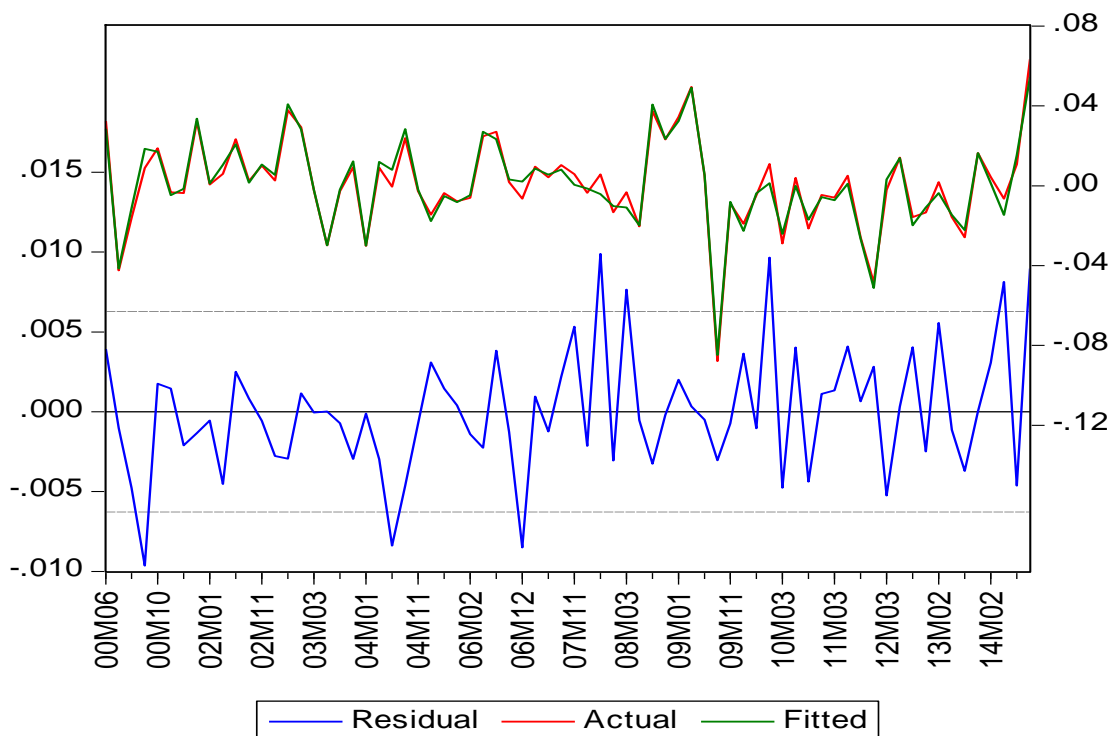
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.027823	0.003385	-8.218504	0.0000
D(LNTIPODECAMBIO(-1))	0.538115	0.095063	5.660630	0.0000
D(LNTIPODECAMBIO(-3))	-0.332596	0.066148	-5.028097	0.0000
D(LNTIIE)	0.217127	0.019537	11.11350	0.0000
D(LNTIIE(-1))	0.089511	0.024579	3.641749	0.0011
D(LNTIIE(-4))	0.050900	0.018918	2.690535	0.0119
D(LNMEXM1)	0.113438	0.032526	3.487630	0.0016
D(LNMEXM1(-3))	0.292002	0.050015	5.838285	0.0000
D(LNMEXM1(-4))	0.341998	0.057333	5.965071	0.0000
D(LNMEXRESERVAS)	0.275244	0.046407	5.931115	0.0000
D(LNMEXRESERVAS(-1))	0.314207	0.059024	5.323367	0.0000
D(LNMEXRESERVAS(-3))	-0.269767	0.046443	-5.808603	0.0000
D(LNEUAPIB)	-0.287217	0.123654	-2.322740	0.0277
D(LNEUAPIB(-1))	0.615666	0.148184	4.154743	0.0003
D(LNEUAPIB(-4))	-0.606322	0.171063	-3.544437	0.0014
D(LNMEXPIB)	0.258770	0.047899	5.402399	0.0000
D(LNMEXPIB(-2))	0.399880	0.071772	5.571532	0.0000
D(LNMEXPIB(-4))	2.088061	0.294074	7.100473	0.0000
D(LNEUATREFERENCIA)	0.108126	0.022914	4.718810	0.0001
D(LNEUATREFERENCIA(-1))	0.177246	0.024802	7.146430	0.0000
D(LNEUATREFERENCIA(-2))	0.088899	0.015779	5.634045	0.0000
D(LNEUATREFERENCIA(-3))	-0.137272	0.024044	-5.709278	0.0000
D(LNEUATREFERENCIA(-4))	-0.049302	0.015882	-3.104216	0.0043
D(LNINPC)	0.014077	0.001883	7.477963	0.0000
D(LNINPC(-2))	0.020510	0.002907	7.054401	0.0000
D(LNINPC(-3))	0.016515	0.003294	5.013275	0.0000
D(LNINPC(-4))	0.005538	0.002244	2.467993	0.0200
D(LNIPC)	-0.085156	0.023035	-3.696851	0.0009
D(LNPMEZCLA)	-0.032004	0.011169	-2.865369	0.0078
D(LNPMEZCLA(-1))	-0.137050	0.031107	-4.405836	0.0001
D(LNPMEZCLA(-2))	-0.162985	0.015119	-10.78035	0.0000
D(LNPMEZCLA(-3))	-0.329576	0.039415	-8.361687	0.0000
D(LNPMEZCLA(-4))	-0.446099	0.045102	-9.891005	0.0000
D(LNPORO)	0.103615	0.022296	4.647171	0.0001
D(LNPORO(-1))	-0.119257	0.023553	-5.063397	0.0000
D(LNPORO(-2))	-0.078281	0.021963	-3.564281	0.0013
D(LNPORO(-4))	0.122213	0.023440	5.213833	0.0000
D(LNPWTI(-1))	0.117484	0.034184	3.436774	0.0019
D(LNPWTI(-3))	0.228554	0.039731	5.752554	0.0000
D(LNPWTI(-4))	0.497429	0.048111	10.33930	0.0000
D(LNTLIBOR)	-0.170336	0.035440	-4.806269	0.0000
D(LNTLIBOR(-1))	-0.159828	0.026184	-6.104105	0.0000
D(LNTLIBOR(-3))	0.140671	0.024944	5.639347	0.0000
MCENUEVO(-1)	-1.085615	0.116059	-9.353974	0.0000
R-squared	0.970136	Mean dependent var	0.000973	
Adjusted R-squared	0.924273	S.D. dependent var	0.022831	
S.E. of regression	0.006283	Akaike info criterion	-7.024229	
Sum squared resid	0.001105	Schwarz criterion	-5.632933	
Log likelihood	296.8722	Hannan-Quinn criter.	-6.470350	
F-statistic	21.15296	Durbin-Watson stat	2.329684	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Los resultados de la tabla 4.6 fueron los esperados, en primer lugar, el nivel de confianza es del 97.01%, lo que muestra que estas variables pueden explicar la mayoría de las perturbaciones que ocurren en el tipo de cambio, además esto da indicio de que la volatilidad del tipo de cambio puede ser explicada en su mayoría por variables macroeconómicas.

También hay que considerar que lo que afecta los errores son las diferencias de las variables, en otras palabras, un desajuste de la economía creará perturbaciones y estas afectarán al tipo de cambio, lo que genera volatilidad y errores en el intento por predecir su valor.

**Figura 4.7**

**Gráfica del modelo de predicción de los errores.**



Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016), BANXICO (2016), GLOBAL-RATES (2016) y BEA (2016)

La figura 4.7 muestra explícitamente que no se ajusta del todo el modelo, pero cuando se analizan errores de estimaciones es normal que sean difíciles de explicar, por tanto, siguiendo la metodología de corrección de error se pasará a hacer un modelo más, a partir de los resultados de la tabla 4.6. Pero este no será de regresión lineal sino de corrección de error.

Para crear este modelo es necesaria la inclusión de las variables que se utilizaron para analizar los errores, de la tabla 4.6, para este procedimiento se suman las diferencias de la misma variable con las de sus rezagos si es que los tiene en la tabla 4.7 se muestra este, las filas de color amarillo representan las sumas de las diferencias.

**Tabla 4.7**  
**Resultado de las diferencias de las variables significativas en el modelo de corrección de error.**

Variable	Coefficient
C	-0.027823
<b>C</b>	<b>-0.027823</b>
D(LNTIPODECAMBIO(-1))	0.538115
D(LNTIPODECAMBIO(-3))	-0.332596
<b>D(LNTIPODECAMBIO)</b>	<b>0.205519</b>
D(LNTIIE)	0.217127
D(LNTIIE(-1))	0.089511
D(LNTIIE(-4))	0.0509
<b>D(LNTIIE)</b>	<b>0.357538</b>
D(LNMEXM1)	0.113438
D(LNMEXM1(-3))	0.292002
D(LNMEXM1(-4))	0.341998
<b>D(LNMEXM1)</b>	<b>0.747438</b>
D(LNMEXRESERVAS)	0.275244
D(LNMEXRESERVAS(-1))	0.314207
D(LNMEXRESERVAS(-3))	-0.269767
<b>D(LNMEXRESERVAS)</b>	<b>0.319684</b>
D(LNEUAPIB)	-0.287217
D(LNEUAPIB(-1))	0.615666
D(LNEUAPIB(-4))	-0.606322
<b>D(LNEUAPIB)</b>	<b>-0.277873</b>
D(LNMEXPIB)	0.25877
D(LNMEXPIB(-2))	0.39988
D(LNMEXPIB(-4))	2.088061
<b>D(LNMEXPIB)</b>	<b>2.746711</b>

D(LNEUATREFERENCIA)	0.108126
D(LNEUATREFERENCIA(-1))	0.177246
D(LNEUATREFERENCIA(-2))	0.088899
D(LNEUATREFERENCIA(-3))	-0.137272
D(LNEUATREFERENCIA(-4))	-0.049302
D(LNEUATREFERENCIA)	0.187697
D(LNINPC)	0.014077
D(LNINPC(-2))	0.02051
D(LNINPC(-3))	0.016515
D(LNINPC(-4))	0.005538
D(LNINPC)	0.05664
D(LNIPC)	-0.085156
D(LNPMEZCLA)	-0.032004
D(LNPMEZCLA(-1))	-0.13705
D(LNPMEZCLA(-2))	-0.162985
D(LNPMEZCLA(-3))	-0.329576
D(LNPMEZCLA(-4))	-0.446099
D(LNPMEZCLA)	-1.107714
D(LNPORO)	0.103615
D(LNPORO(-1))	-0.119257
D(LNPORO(-2))	-0.078281
D(LNPORO(-4))	0.122213
D(LNPORO)	0.02829
D(LNPWTI(-1))	0.117484
D(LNPWTI(-3))	0.228554
D(LNPWTI(-4))	0.497429
D(LNPWTI)	0.843467
D(LNTLIBOR)	-0.170336
D(LNTLIBOR(-1))	-0.159828
D(LNTLIBOR(-3))	0.140671
D(LNTLIBOR)	-0.189493
MCENUEVO(-1)	-1.085615

*Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016), BANXICO (2016), GLOBAL-RATES (2016) y BEA (2016)*

Una vez que se sumaron las diferencias de las variables en logaritmos el resultado queda de la siguiente manera expresada en la tabla 4.8.

**Tabla 4.8**  
**Resultado del proceso de diferencias del modelo de corrección de error**

D(LNTIPODECAMBIO)	0.205519
C	-0.027823
D(LNTIIE)	0.357538
D(LNMEXM1)	0.747438
D(LNMEXRESERVAS)	0.319684
D(LNEUAPIB)	-0.277873
D(LNMEXPIB)	2.746711
D(LNEUATREFERENCIA)	0.187697
D(LNINPC)	0.05664
D(LNIPC)	-0.085156
D(LNPMEZCLA)	-1.107714
D(LNPORO)	0.02829
D(LNPWTI)	0.843467
D(LNTLIBOR)	-0.189493
MCENUEVO(-1)	-1.085615

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados de la tabla 4.8 permiten realizar un modelo de corrección de error el cual se expresa de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 (1 - 0.205519)D(LNTIPODECAMBIO) = & - 0.027823 C + 0.357538 D(LNTIIE) + \\
 & 0.747438 D(LNMEXM1) + 0.319684D(LNMEXRESERVAS) - 0.277873 D(LNEUAPIB) + \\
 & 2.746711 D(LNMEXPIB) + 0.187697 D(LNEUATREFERENCIA) + 0.05664 D(LNINPC) - \\
 & 0.085156 D(LNIPC) - 1.107714 D(LNPMEZCLA) + 0.02829D(LNPORO) + \\
 & 0.843467 D(LNPWTI) - 0.189493 D(LNTLIBOR) - 1.085615 MCENUEVO(-1)
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

y siguiendo la metodología se tendrían las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 0.794481D(LNTIPODECAMBIO) \\
 = & - 0.027823 C + 0.357538 D(LNTIIE) + 0.747438 D(LNMEXM1) \\
 & + 0.319684D(LNMEXRESERVAS) - 0.277873 D(LNEUAPIB) \\
 & + 2.746711 D(LNMEXPIB) + 0.187697 D(LNEUATREFERENCIA) \\
 & + 0.05664 D(LNINPC) - 0.085156 D(LNIPC) - 1.107714 D(LNPMEZCLA) \\
 & + 0.02829D(LNPORO) + 0.843467 D(LNPWTI) - 0.189493 D(LNTLIBOR) \\
 & - 1.085615 MCENUEVO(-1)
 \end{aligned}
 \tag{4.1.a}$$

$$\begin{aligned}
& 0.794481D(LNTIPODECAMBIO) \\
& = \{-0.027823 C + 0.357538 D(LNTIIE) + 0.747438 D(LNMEXM1) \\
& + 0.319684D(LNMEXRESERVAS) - 0.277873 D(LNEUAPIB) \\
& + 2.746711 D(LNMEXPIB) + 0.187697 D(LNEUATREFERENCIA) \\
& + 0.05664 D(LNINPC) - 0.085156 D(LNIPC) - 1.107714 D(LNPMEZCLA) \\
& + 0.02829D(LNPORO) \\
& + 0.843467 D(LNPWTI) - 0.189493 D(LNTLIBOR) - 1.085615 MCENUEVO(-1)\} \quad (4.1.b) \\
& / 0.794481
\end{aligned}$$

Por lo tanto, el resultado final es:

$$\begin{aligned}
& D(LNTIPODECAMBIO) \\
& = -0.0350203466162186C + 0.450027124626014 D(LNTIIE) \\
& + 0.940787759556239 D(LNMEXM1) \\
& + 0.402380925409166 D(LNMEXRESERVAS) \\
& - 0.349754116209198 D(LNEUAPIB) + 3.45723938017398 D(LNMEXPIB) \\
& + 0.236251087187736 D(LNEUATREFERENCIA) \\
& + 0.0712918244740906 D(LNINPC) - 0.10718443864611 D(LNIPC) \\
& - 1.39426115917184 D(LNPMEZCLA) + 0.0356081517367942 D(LNPORO) \\
& + 1.06165786217669 D(LNPWTI) - 0.238511682469436 D(LNTLIBOR) \\
& - 1.36644551600353 MCENUEVO(-1)
\end{aligned} \quad (4.2)$$

Los resultados encontrados en el modelo de corrección de error de la fórmula 4.2. se explican a continuación.

Lo primero que hay que tener en cuenta para interpretar los resultados del modelo de corrección de error es que este análisis es para el largo plazo, no se ven los efectos de este análisis en el corto plazo, por tanto, el resultado de la fórmula 4.2 puede explicarse como:

- C (constante) esta variable en el largo plazo indica que el tipo de cambio presentara una disminución porcentual del 0.035% independientemente de las fluctuaciones externas.

- TIIE: en el largo plazo por cada 1% que incremente la TIIE el tipo de cambio incrementará 0.45%.
- MEX M1: en el largo plazo por cada 1% que incremente la MEX M1 el T.C. Incrementará 0.9408%.
- RESERVAS INTERNACIONALES DE MEXICO: en el largo plazo por cada 1% que incremente las RESERVAS el tipo de cambio incrementará 0.4023%.
- PIB ESTADOS UNIDOS: en el largo plazo por cada 1% que incremente el PIB EUA el tipo de cambio disminuirá 0.3497%.
- PIB DE MEXICO: en el largo plazo por cada 1% que incremente el PIB MEX el tipo de cambio incrementará 3.4572%.
- TASA DE REFERENCIA DE EUA: en el largo plazo por cada 1% que incremente la TASA DE REFERENCIA DE EUA el tipo de cambio incrementará 0.2362%.
- INPC: en el largo plazo por cada 1% que incremente el INPC el tipo de cambio incrementará 0.0712%.
- IPC: en el largo plazo por cada 1% que incremente el IPC el tipo de cambio disminuirá 0.1071%.
- PRECIO DEL PETROLEO MEZCLA MEXICANA: en el largo plazo por cada 1% que incremente el precio de la mezcla mexicana el tipo de cambio disminuirá 1.3942%.

- PRECIO DEL ORO: en el largo plazo por cada 1% que incremente el precio del oro, el tipo de cambio incrementará 0.0356%.
- PRECIO PETROLEO WTI: en el largo plazo por cada 1% que incremente el petróleo WTI el tipo de cambio incrementará 1.0616%.
- TASA LIBOR: en el largo plazo por cada 1% que incremente la Tasa Libor el tipo de cambio disminuirá 0.2385%.
- MCE: El componente de corrección de error en el largo plazo cuando el tipo de cambio es golpeado por algún factor exógeno, dicho choque pierde su impacto en 1.3664% en el periodo posterior al choque.

Lo anterior tiene varias posibles explicaciones la más común es que las fluctuaciones de las variables son ocasionadas por un agente externo y no por un comportamiento normal de la economía, lo que trae como resultado que la predicción no sea precisa, es por esa razón que la ecuación del cuadro 4.4 al ver su comportamiento en la figura 4.4 se observa que donde hay más problemas para la estimación del modelo fue durante el periodo 2008-2009, que fue un periodo difícil para todas las economías.

Hasta este punto llega la metodología de corrección de error, esta es la manera en la que tradicionalmente se analizan variables macroeconómicas, su comportamiento, sus variables explicativas y sus perturbaciones después de este punto en el presente trabajo se analizarán patrones caóticos, tratando de encontrar patrones de comportamiento en las variables que afectan al tipo de cambio.



#### **4.4. Patrones caóticos de Lorenz**

Para este apartado se realizarán diferentes análisis del caos que no son muchos, pues esta metodología aún no está muy desarrollada para el análisis de variables macroeconómicas, con el fin de encontrar si existe algún patrón de correlación entre las variables explicativas y el tipo de cambio, y en caso de encontrarse dicho patrón analizar si ésta o estas variables son de utilidad para estabilizar el tipo cambio o en determinados puntos frenar el incremento de este.

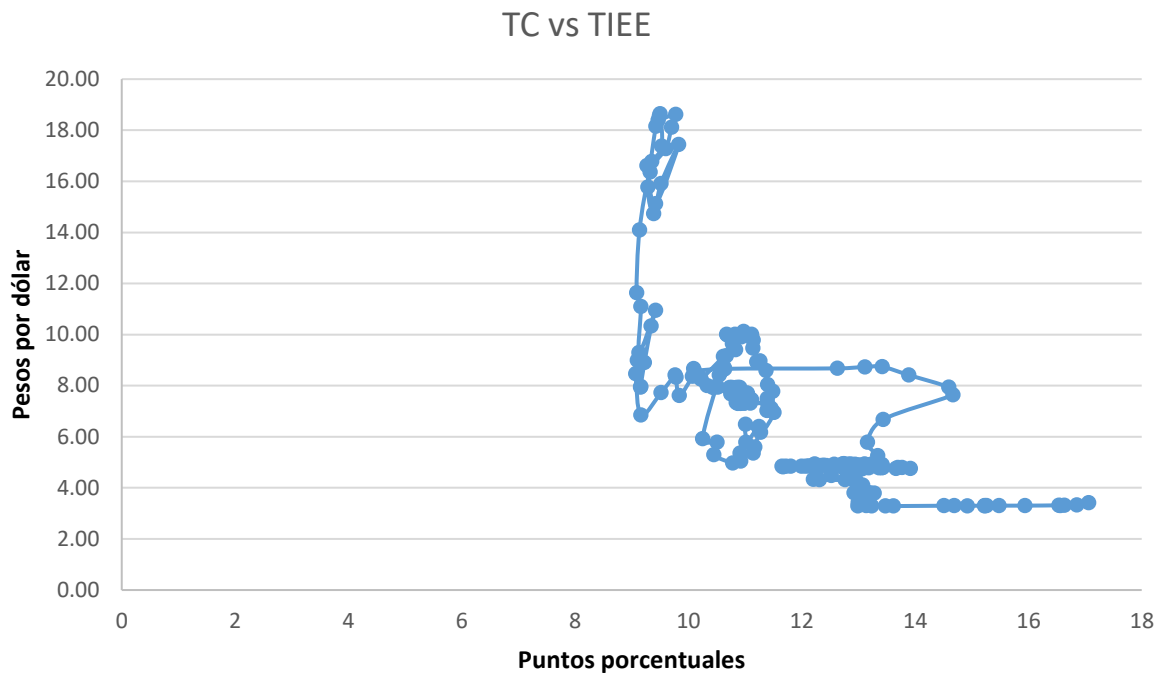
##### **4.4.1. Patrones Caóticos en las variables explicativas**

En este apartado se realizaron análisis de correlación y de patrones caóticos en las variables que se utilizaron para explicar el tipo de cambio y solo se encontró patrón en las variables TIIE, TASA LIBOR y en la T-BILL, en las demás variables no se encontraron evidencias de patrones caóticos.

Solo se hallaron patrones en las variables que son tasas de referencia, el resultado de los patrones que se encontraron se presentan en las siguientes gráficas.

#### **Figura 4.8**

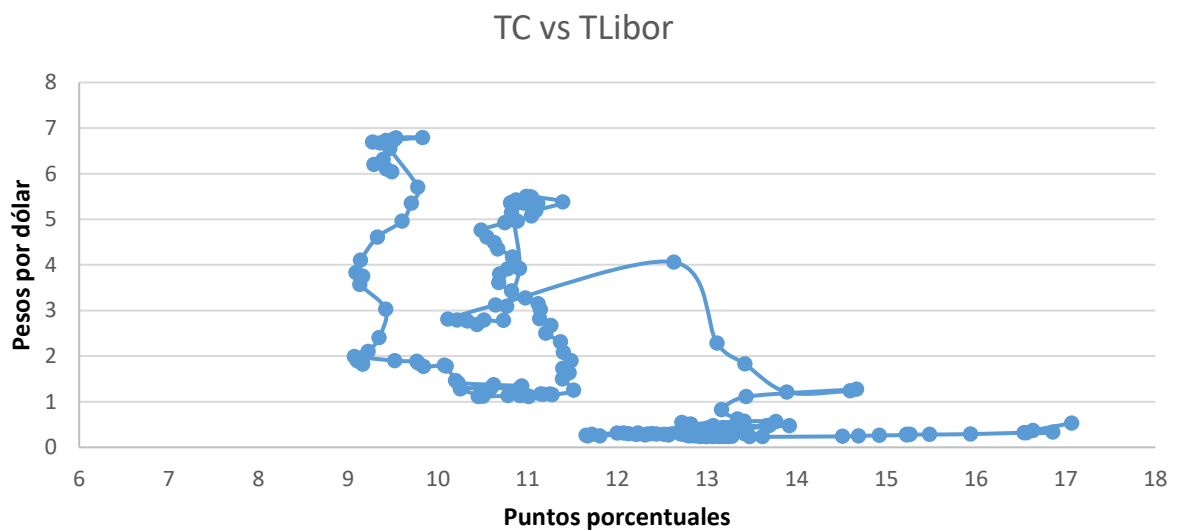
**Gráfica del patrón de caos entre Tipo de Cambio y la TIIE (análisis de dispersión entre el fractal del logaritmo del Tipo de Cambio y el fractal del logaritmo de la TIIE)**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 4.9**

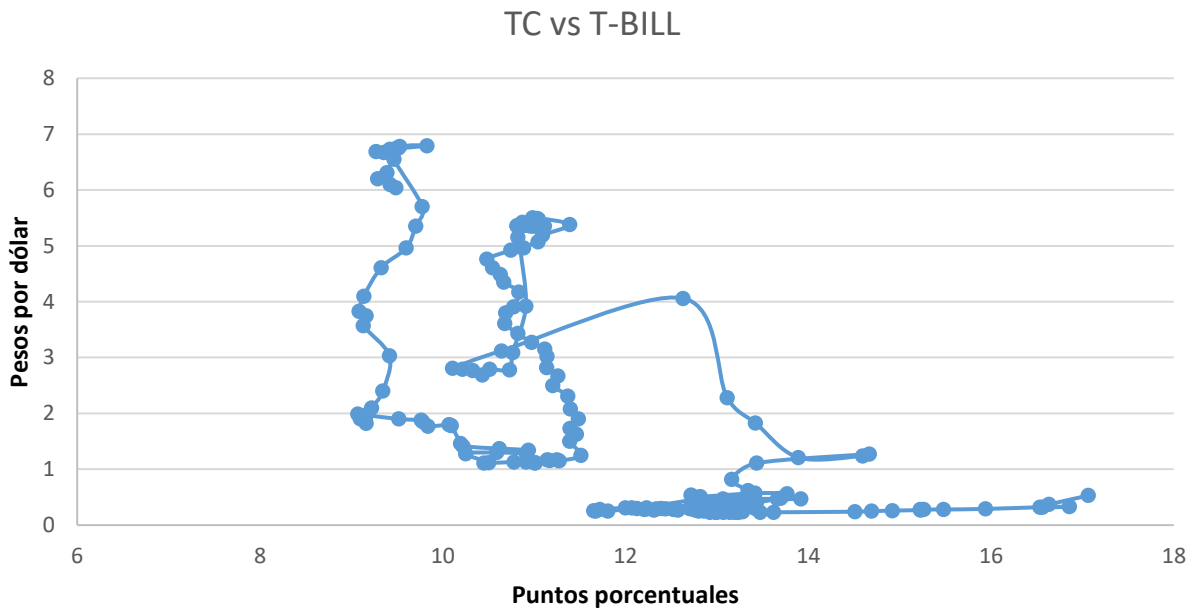
**Gráfica del patrón de caos entre Tipo de Cambio y la Tasa LIBOR**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 4.10**

**Gráfica del patrón de caos entre Tipo de Cambio y la T-BILL**



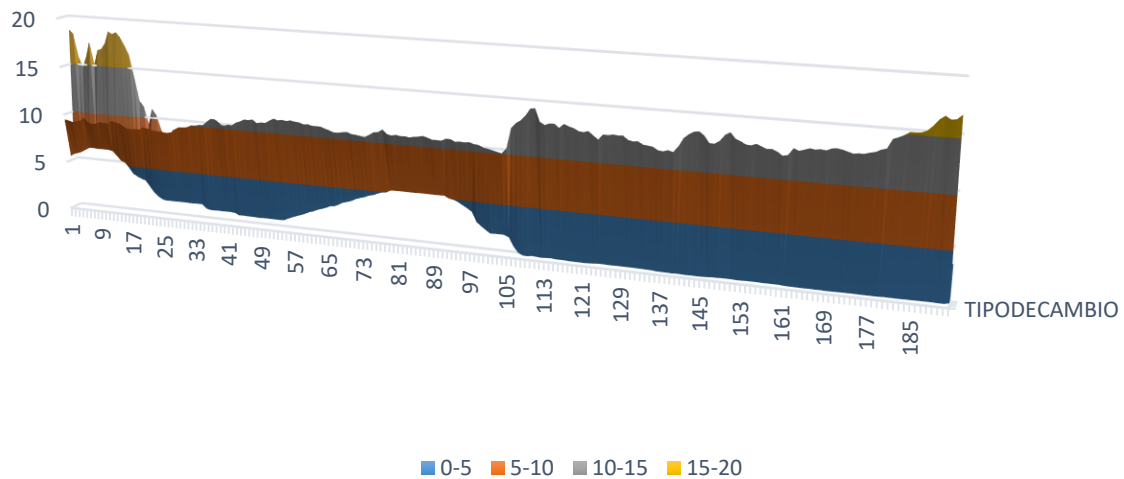
*Fuente: Elaboración propia*

El comportamiento que se muestra en las figuras 4.8, 4.9, y 4.10 muestra similitud aun cuando el comportamiento de la TIIE es el que tiene más diferencias, se considera pues el efecto es similar, además hay que considerar que la TIIE pertenece a México el cual es un país en vías de desarrollo a diferencia de las otras dos tasas que corresponden a países desarrollados.

Posteriormente se pasó a realizar un análisis de complementación el cual muestra si el comportamiento de estas variables es complementario o cada una sigue sus propios cambios, esto permite saber si las economías reaccionan con base a lo que sucede en otras o cada una reacciona independientemente de lo que ocurra dentro de otras economías.

**Figura 4.11**

**Gráfica de las fluctuaciones del patrón de caos con respecto a la TIIE, T-LIBOR, T-BILL**



*Fuente: Elaboración propia*

La figura 4.11 muestra que ante fluctuaciones del tipo de cambio las tasas de interés tienen comportamientos en distintos niveles, pero estos siempre se complementan, es decir sus reacciones son similares, pero también muestra que a mayor sea la fluctuación del tipo de cambio, aun cuando el comportamiento de cada tasa de interés es similar, cada una reacciona con diferente proporción, es decir, puede que las tres aumenten o disminuyan, pero nunca aumentaran o disminuirán en la misma proporción.

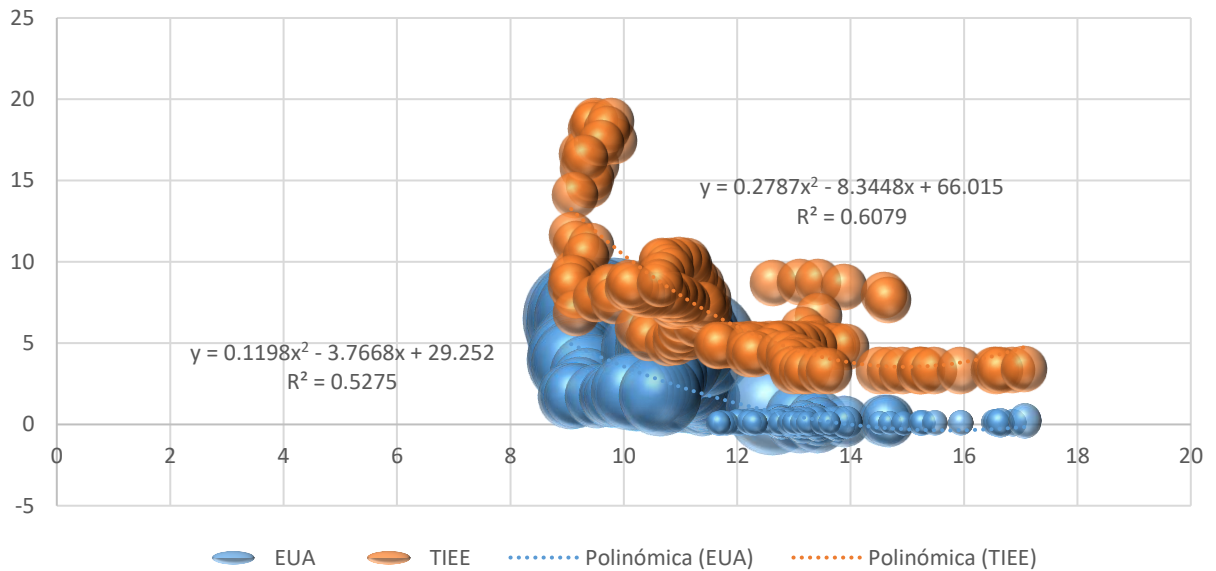
El siguiente análisis es el de correlación de comportamiento entre tasas de interés y variaciones con el tipo de cambio, así como su tendencia y el nivel de sincronía que existe entre estas.

Cabe señalar que se encontró un fuerte resultado entre la tasa de Interés de México con la de Estados Unidos, se encontró un comportamiento similar con la Tasa Libor, pero de menor impacto, en este caso únicamente se realizó el análisis

respecto a la Tasa de Estados Unidos, pues es la economía con la que México tiene mayor relación comercial, además de que los resultados fueron similares.

**Figura 4.12**

**Gráfica de comportamiento de fluctuaciones de la T-BILL y la TIEE.**



*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados de la figura 4.12 muestran que aun cuando ante fluctuaciones en la economía tienen un comportamiento similar las tasas de interés la TIEE siempre está por arriba, esto posiblemente que al ser una economía en vías de desarrollo necesite más de inversión extranjera que una economía desarrollada.

Se realizó una línea de tendencia polinómica para el comportamiento de estas variables y se encontró que tienen un comportamiento de tendencia, pero este no es estable. En el caso de la TIEE tiene un nivel explicativo de 60.79%, mientras que la T-Bill de Estados Unidos de América tiene un nivel explicativo de tan solo 52.75%.

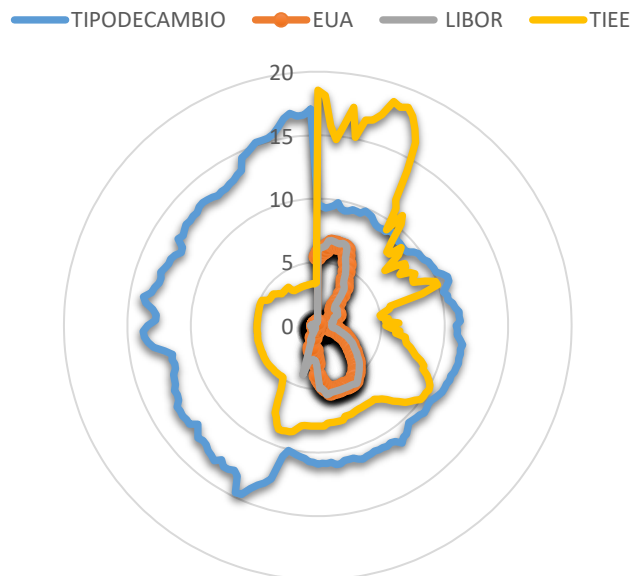
Otra posible explicación es que estas variables siguen un comportamiento normal en la economía, pero cuando hay periodos de inestabilidad dentro de la

economía son estas variables utilizadas como medio estabilizador, aunque cuando se utiliza de manera recurrente se genera especulación y esto da como resultado incertidumbre, esto es más notorio en la primera parte del gráfico en el cual tienen comportamientos más distantes estas tasas, hay que considerar que para los demás periodos tienen comportamientos muy similares pero la TIIE siempre está por encima de la tasa de referencia de la economía estadounidense.

Una vez conociendo esto, se muestra el efecto caótico del patrón cíclico generado entre las tasas de interés junto con el tipo de cambio se procede a analizar el comportamiento.

**Figura 4.13**

**Gráfica de comportamiento caótico correlacionado de la TIIE, T-BILL, T-LIBOR Y TIPO DE CAMBIO.**



*Fuente: Elaboración propia con software Excel*

El análisis de la figura 4.13 permite afirmar que las tasas de interés siguen un patrón bastante parecido y que pueden ser utilizadas para la estabilización del tipo de cambio, debido a que el presente trabajo aborda el caso mexicano la TIIE toma mayor relevancia.

En primera instancia la gráfica se lee en sentido a las manecillas del reloj dado que es un análisis de un periodo de tiempo determinado (2000:1-2015:12), la tasa LIBOR y la T-BILL las cuales muestran un comportamiento casi idéntico y bastante contenido en comparación con la TIIE, se logra apreciar que siguen el mismo patrón, esto da indicio a que este comportamiento se deba principalmente a que son las tasas de interés de referencia de países desarrollados, aun cuando aumentan no es contenida su fluctuación, dado que estos países prefieren no causar incertidumbre dentro de sus economías, otro aspecto es que cuando el tipo de cambio no ha fluctuado mucho estas tasas se han mantenido o incluso reducido.

La TIIE sigue el patrón de las tasas LIBOR y T-BILL pero con pequeñas variaciones, además que su comportamiento no es tan contenido, es bastante más amplio y tiene mayor incremento cuando el tipo de cambio ha incrementado, esto es una clara evidencia que en México cuando se altera el tipo de cambio las tasas de interés se elevan para tratar de estabilizarlo o frenar su incremento, lo que muestra que economías en vías de desarrollo como México tratan de estabilizar su tipo de cambio a costa de incertidumbre en su economía, pues hay que recordar que elevar las tasas de interés genera deuda en el mediano y largo plazo.

Por otra parte, el tipo de cambio tiene un comportamiento en espiral hacia el alza, lo que indica que el tipo de cambio jamás va a converger a ningún punto, esto en otras palabras dice que siempre aumentará, puede haber periodos donde se mantenga estable pero su naturaleza es a la alza, ello a menos que ocurran factores externos en la economía o se cambie el tipo de cambio flexible a fijo, pero ello ya no es factible.

Otro aspecto a considerar es el hecho que en los periodos en los que se incrementa la tasa de interés el tipo de cambio cobra estabilidad, para después tener incrementos. Los resultados empíricos muestran que solo se puede estabilizar el tipo de cambio por periodos breves, pero este eventualmente tendrá una tendencia a la alza.

#### **4.4.2. Exponente de Hurst**

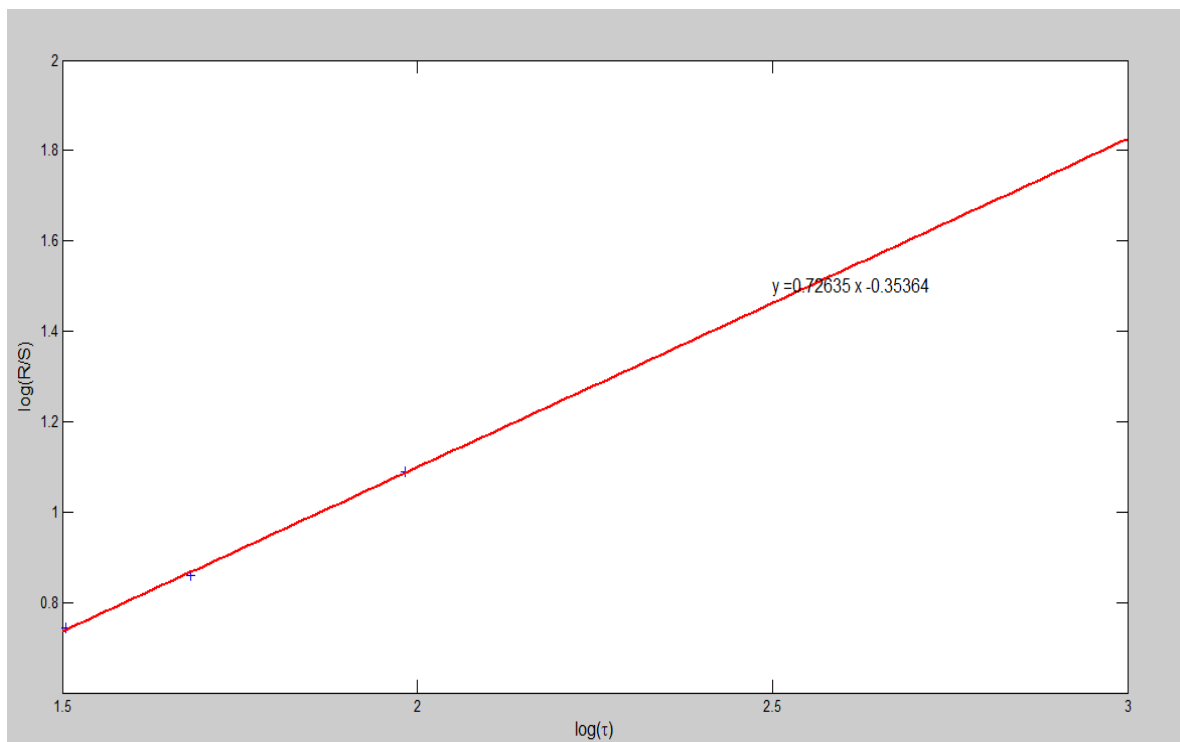
Para el cálculo del Exponente de Hurst en el programa Matlab, se utilizó el programa diseñado por Román Pérez Enríquez del Centro de Geo Ciencias de la UNAM.

El rango es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de dicha suma. Al dividir entre la desviación estándar se obtiene  $R/S$  la cual, según Hurst, es proporcional a  $ct^H$ , donde  $c$  es una constante (0.5) y  $t$  es la escala en cuestión. Así que al graficar  $\log(R/S)$  vs  $t$ , la pendiente de la recta es el exponente de Hurst.

#### **Figura 4.15**

**Gráfica del LOG(TAU) versus LOG(R/S) que representa el análisis de rango reescalado, de donde se extrae el exponente de HURST.**





*Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de México*

El exponente de Hurst calculado para la serie del tipo de cambio, es igual a la pendiente que aparece en la figura 4.15, es decir, el exponente de Hurst es igual a 0.72635. De acuerdo a las condiciones que presenta el exponente de Hurst, el valor es mayor a 0.5 lo cual significa que la serie es persistente.

La persistencia de la serie significa que los eventos del pasado están correlacionados con los eventos futuros, es decir que si en el pasado el tipo de cambio peso-dólar ha incrementado en los periodos posteriores estos incrementos continuarán. En otras palabras, si la moneda mexicana se ha depreciado frente al dólar, lo más probable es que en el futuro lo continúe haciendo.

El exponente de Hurst,  $H$ , de una serie es importante porque muestra el grado de rugosidad de esta. Dado que los valores de  $H$  van de 0 a 1 indica si la serie es aleatoria ( $H \sim 0.5$ ), anti persistente ( $H < 0.5$ ). El análisis R/S consiste en escoger un cierto número de escalas, obtener la media del vector, calcular las diferencias de cada valor con respecto a la media y hacer una suma acumulativa de ellas.

Un movimiento browniano fraccional (FBM) es un proceso Gaussiano de tiempo continuo en función del llamado parámetro de Hurst  $0 < H < 1$ . Se generaliza el movimiento browniano ordinario correspondiente a  $H = 0.5$  y cuya derivada es el ruido blanco. El FBM es auto-similar en la distribución y la varianza de los incrementos y se define por:

$$\text{Var}(FBM(t) - fBm(s)) = v|t - s|^{2H} \quad (4.3)$$

donde  $v$  es una constante positiva.

El cálculo del exponente de Hurst también se realizó mediante la función HEST del programa de análisis matemático Matlab. Esta función arroja tres diferentes estimaciones del exponente de Hurst realizadas mediante tres diferentes métodos, la primera estimación está basada en el método de Istas y Lang cuyo calculo está basado en la derivada de segundo orden.

La segunda es una adaptación basada en ondas y tiene propiedades similares al método de Istas y Lang y, por último, la tercera estimación que está basada en el método propuesto por Flandrin, este método utiliza la pendiente de la gráfica de la varianza loglog contra el nivel. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

**Tabla 4.9**  
**Resultado del exponente de Hurst**

<b>Método</b>	<b>Exponente de Hurst</b>
<b>Primero</b>	0.8702
<b>Segundo</b>	0.8462
<b>Tercero</b>	0.6172

*Fuente: Elaboración propia en software Matlab*

Como es posible observarse en la tabla anterior, en los tres métodos empleados para el cálculo del exponente de Hurst, el resultado es  $H > 0.5$ , lo cual confirma la existencia de memoria en la serie del tipo de cambio.

#### **4.4.3. Análisis Espectral**

El análisis espectral tiene como objetivo descomponer una serie estacionaria en una suma infinita de componentes deterministas seno y coseno, que ayuda a explicar la varianza de una serie. Los componentes significativos explican los ciclos económicos, la estacionalidad y los componentes no observados de una serie temporal.

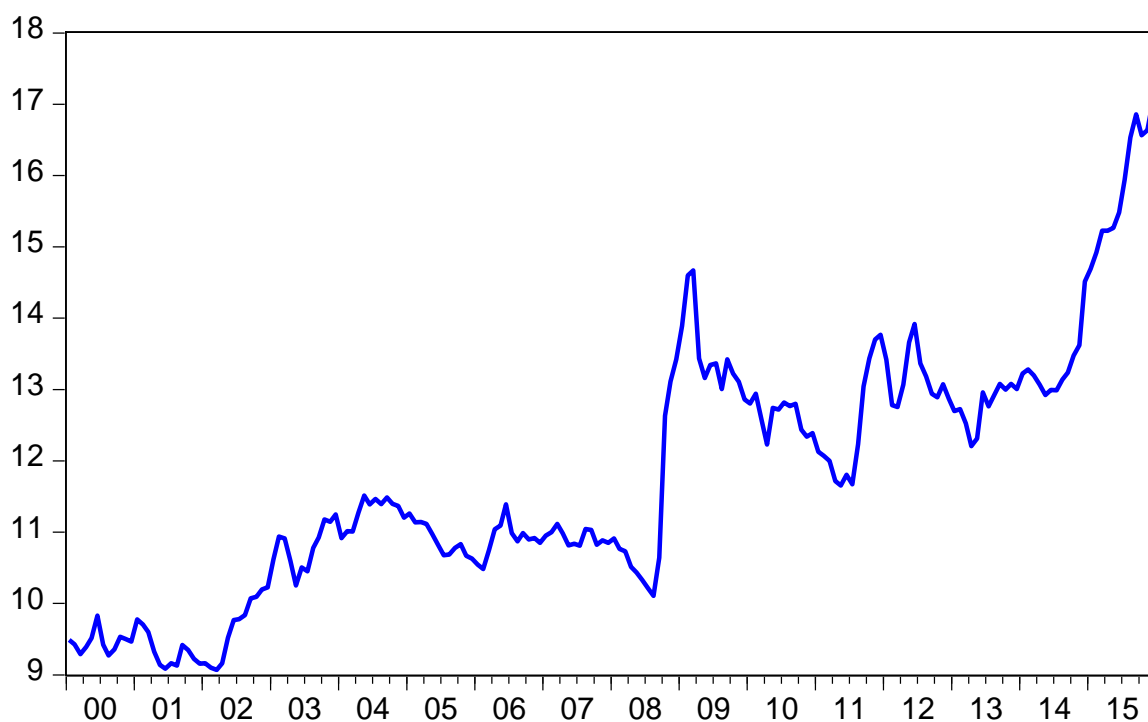
Para realizar el análisis espectral, se utilizó la serie del tipo de cambio expresada en promedios mensuales, esta puede observarse en la gráfica 1; en ella se muestra que el tipo de cambio peso-dólar ha mostrado una tendencia alcista durante todo el periodo de análisis, la mayor depreciación se observó durante el año 2008.

La moneda mexicana comenzó un proceso de recuperación a partir del mes de febrero del 2009, mostrándose en esta etapa de recuperación hasta el año 2011 donde se puede apreciar que comenzó una nueva etapa de pérdida de valor frente al dólar estadounidense.

El análisis excluye las fuertes depreciaciones que ha tenido la moneda mexicana durante el año 2016, aunque son demasiado importantes se difiere este periodo de análisis con la finalidad de no retrasar este trabajo de tesis.

**Figura 4.16**

**Gráfica Serie mensual del tipo de cambio peso-dólar 2000-2015**

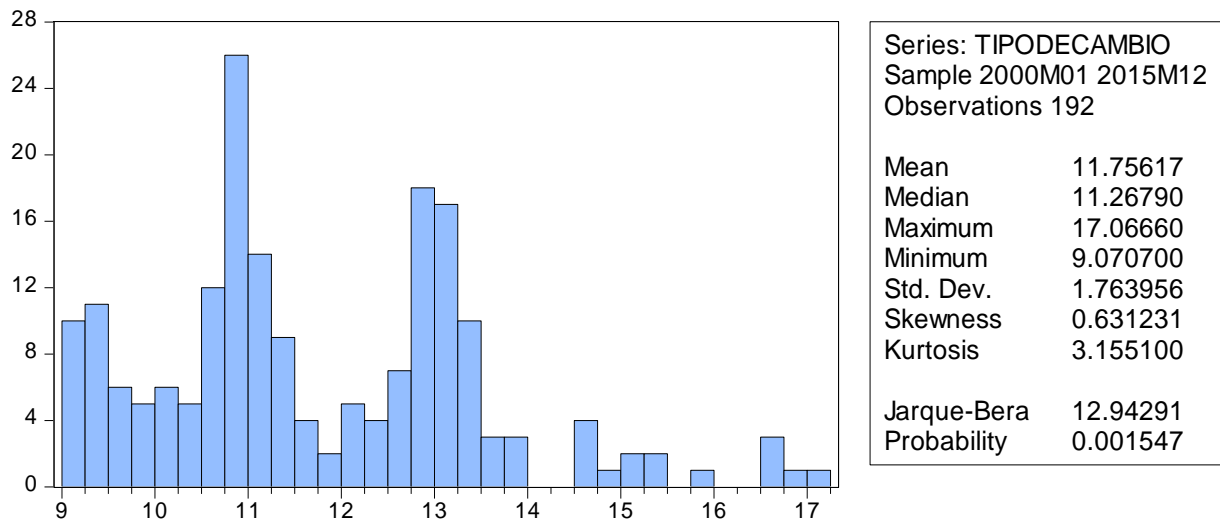


*Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de México*

En la figura 4.16, se muestra la distribución de probabilidad de la serie del tipo de cambio mensual en el periodo 2000-2015. Cuya media su sitúa en un valor de 3.1551, también es importante recalcar el valor de la Curtosis pues dicho valor se encuentra en 3.1551 el cual es muy cercano al valor de 3 el cual correspondería a una distribución normal.

**Figura 4.17**

**Gráfica Distribución de Probabilidad de la serie mensual del tipo de cambio peso-dólar 2000-2015**



*Fuente: Elaboración propia con base a Banxico (2016)*

El análisis fractal es una herramienta utilizada para el análisis del caos dentro de las series de tiempo, de acuerdo con Jaramillo (2010) el análisis espectral de series temporales permite descomponer la serie en un rango de frecuencias directamente relacionadas con la extensión del ciclo, y que explican significativamente la varianza de  $x_t$ . Por tanto, un pico en el espectro identifica una extensión en la frecuencia.

Este análisis espectral no funciona como una herramienta para el pronóstico de las series de tiempo, sino más bien es una herramienta que permite analizar los fenómenos cíclicos de las series de tiempo.

#### 4.4.4. Periodograma

El periodograma es el estimador del área bajo el espectro poblacional de una serie, que puede ser visto como una función de distribución de probabilidad. En general, un proceso estocástico no tendría frecuencias fijas que explicaran la varianza de este proceso, entonces, el periodograma no debería interpretarse como la porción

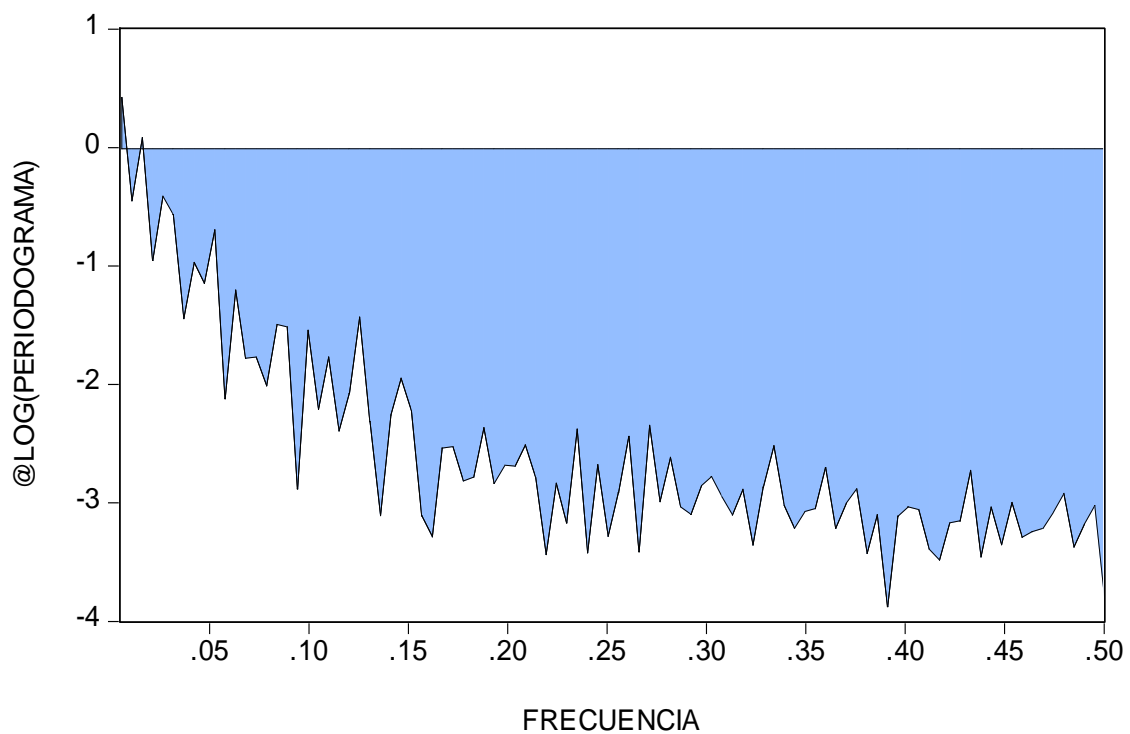
de la varianza que se explica con una frecuencia exactamente igual a, sino que debe interpretarse como frecuencias cerca de esa ayuda para explicar la varianza.

El periodograma de una serie de tiempo es la representación gráfica del análisis espectral, el cual muestra la importancia de cada una de las frecuencias de Fourier en la representación de la serie de tiempo, en nuestro caso la serie del tipo de cambio.

**Figura 4.18**

***Gráfica Periodograma del Tipo de Cambio peso-dólar***

Log Periodograma del Tipo de Cambio | SNR:2.93



*Fuente: Elaboración propia con base en Banxico (2016).*

La grafica 3 muestra el periodograma estimado para la serie del tipo de cambio peso-dólar, es importante resaltar que el periodograma se puede calcular por periodo o por frecuencia y que el eje vertical de la gráfica es la suma de los

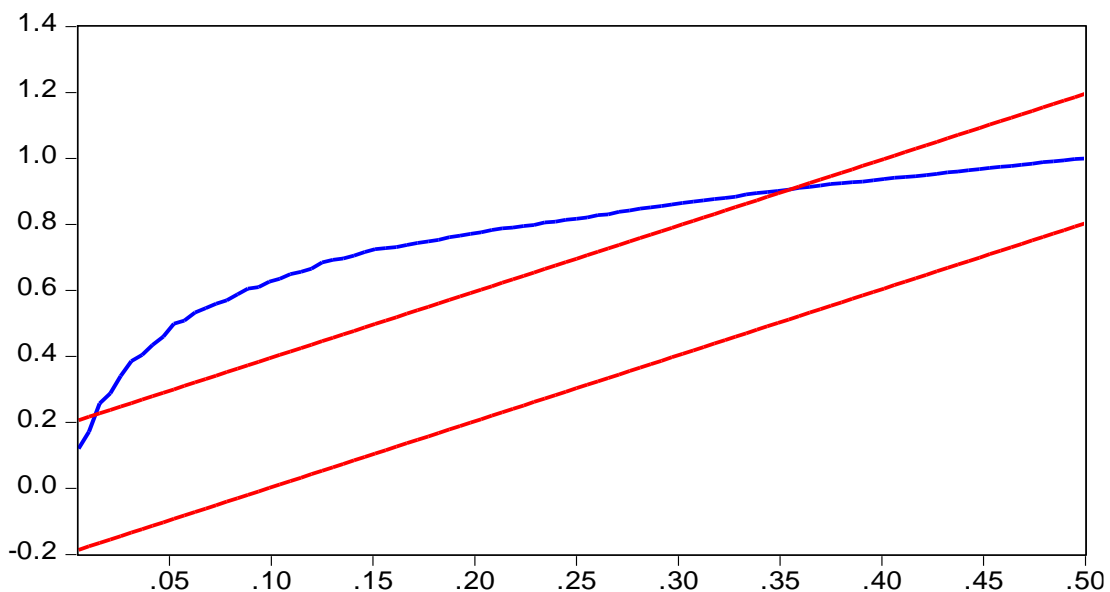
cuadrados del seno y coseno, por ello, es importante mencionar que los mayores valores son las frecuencias más representativas de la serie de tiempo.

La grafica siguiente muestra el test gráfico de señal elaborado por Bartlett (1952) el cual muestra un espectro normalizado para la serie del tipo de cambio contra la frecuencia del tipo de cambio, como es posible observarse dentro del test grafico la frecuencia del tipo de cambio peso-dólar en su representación mensual excede las bandas del espectro normalizado, por ello se descarta que las observaciones de la serie provengan de un proceso de ruido blanco; es decir, que los valores se encuentren independientes e idénticamente distribuidos con media cero y varianza constante.

**Figura 4.19**

**Gráfica Test de señal gráfico de Bartlett (1952) para la serie mensual del tipo de cambio peso-dólar**

Espectro Normalizado Integrado VS Frecuencia del Tipo de Cambio  
(H0: Las observaciones vienen de un proceso de ruido blanco)



Fuente: Elaboración propia con base en Banxico (2016).

Lo anterior es consistente de acuerdo a la teoría, pues la estimación del periodograma solo puede aplicarse a series estacionarias, de modo que analizando el correlograma de la serie del tipo de cambio peso-dólar con periodicidad mensual es posible observar que la serie del tipo de cambio no es estacionaria.

**Figura 4.20**

**Grafica de Correlación de la serie mensual del tipo de cambio peso-dólar**

Sample: 2000M01 2015M12  
Included observations: 192

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.958	0.958	178.92	0.000
		2	0.911	-0.084	341.45	0.000
		3	0.863	-0.024	488.21	0.000
		4	0.813	-0.053	619.21	0.000
		5	0.766	0.004	735.99	0.000
		6	0.727	0.071	841.69	0.000
		7	0.694	0.045	938.59	0.000
		8	0.662	-0.019	1027.3	0.000
		9	0.628	-0.055	1107.5	0.000
		10	0.592	-0.031	1179.3	0.000
		11	0.563	0.063	1244.6	0.000
		12	0.536	0.016	1304.0	0.000

*Fuente: Elaboración propia con base en Banxico (2016).*

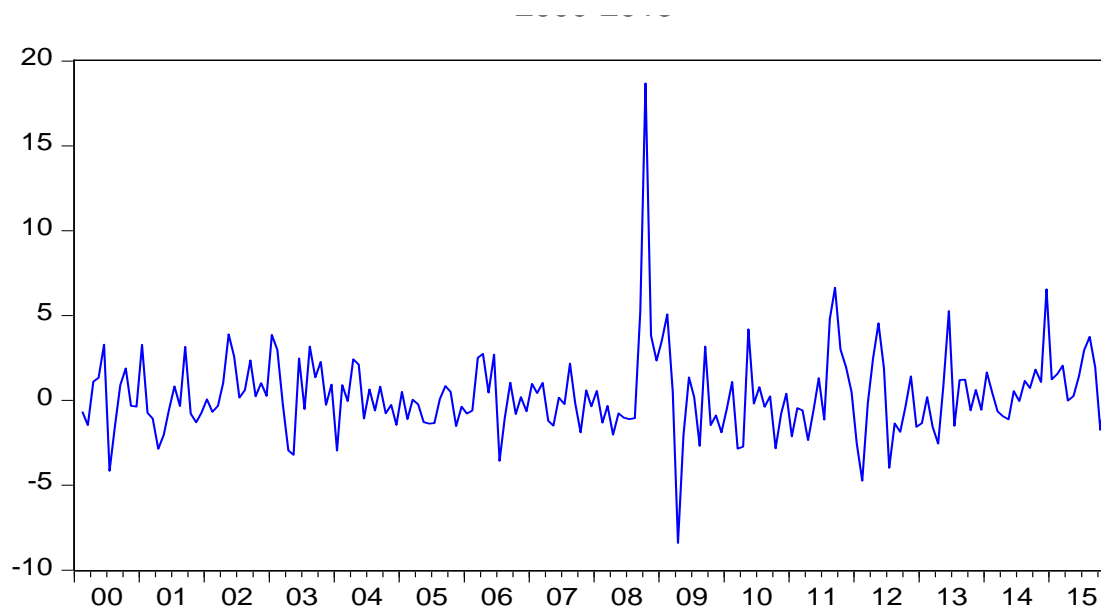
En la figura 4.21, se muestra la serie del tipo de cambio mensual expresada en tasas de crecimiento para la cual se realizó el cálculo el periodograma pues el periodograma de la serie mensual del tipo de cambio estimado no paso las pruebas suficientes para ser un periodograma significativo.

En la figura 4.21 es posible observarse que el tipo de cambio ha tenido su mayor pérdida frente al dólar durante el año 2008 pero posteriormente comenzó un periodo de recuperación, es posible observar periodos de gran volatilidad y durante los tres últimos años se puede apreciar depreciación del tipo de cambio el cual ha sido mayor en comparación con los periodos de apreciación de la moneda mexicana.



**Figura 4.21**

**Gráfica Tasas de crecimiento de la serie mensual del tipo de cambio peso-dólar 2000-2015**

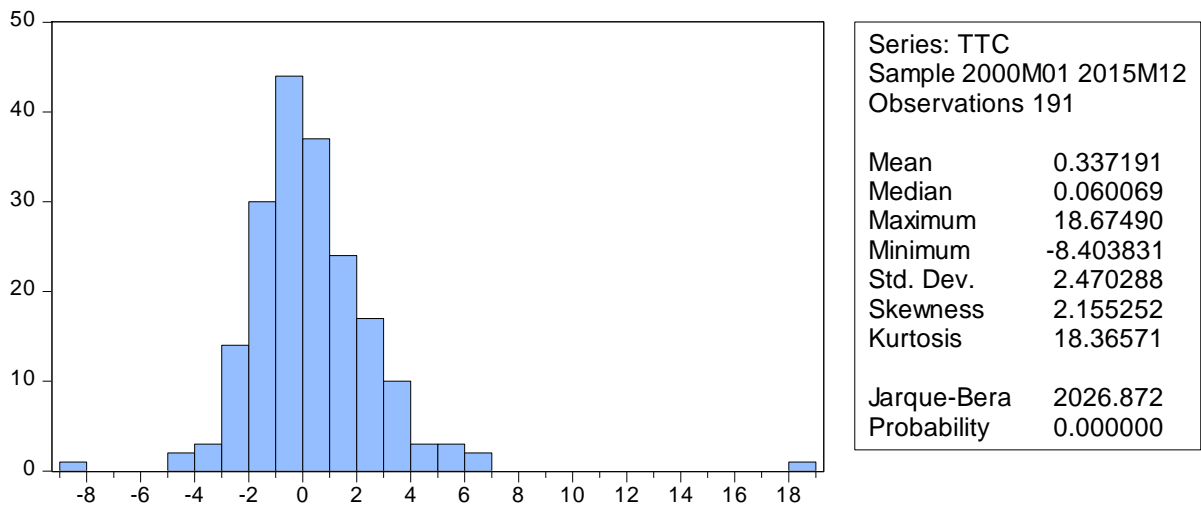


*Fuente: Elaboración propia de los autores con datos del Banco de México con software Eviews.*

En la figura 4.22 se muestra la distribución de probabilidad de la serie del tipo de cambio expresada en tasas de crecimiento mensuales en el periodo 2000-2015. Cuya media se sitúa en un valor de 0.06%, también es importante recalcar el valor de la curtosis pues dicho valor se encuentra en 18.36571 el cual es muy superior al valor de 3 el cual correspondería a una distribución normal.

**Figura 4.22**

**Gráfica Distribución de Probabilidad de las tasas de crecimiento mensuales del tipo de cambio peso-dólar 2000-2015**



























*Fuente: Elaboración propia con base a Banxico (2016)*

Para confirmar que la serie del tipo de cambio, sea estacionaria se realiza el análisis de autocorrelación el cual se muestra en la siguiente figura, en ella se observa la autocorrelación la cual se encuentra muy cercana a cero en casi todas las observaciones, por lo tanto, indica que la serie del tipo de cambio expresada en tasas de crecimiento es estacionaria.

### Figura 4.23

#### Correlación de la serie mensual del tipo de cambio peso-dólar expresada en tasas de crecimiento

Sample: 2000M01 2015M12  
 Included observations: 191

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.293	0.293	16.680	0.000
		2	0.001	-0.093	16.680	0.000
		3	-0.031	-0.004	16.869	0.001
		4	0.008	0.021	16.881	0.002
		5	-0.086	-0.108	18.361	0.003
		6	-0.173	-0.126	24.294	0.000
		7	-0.019	0.075	24.365	0.001
		8	0.087	0.060	25.873	0.001
		9	0.057	0.007	26.526	0.002
		10	-0.127	-0.156	29.814	0.001
		11	-0.037	0.036	30.096	0.002
		12	-0.053	-0.093	30.675	0.002

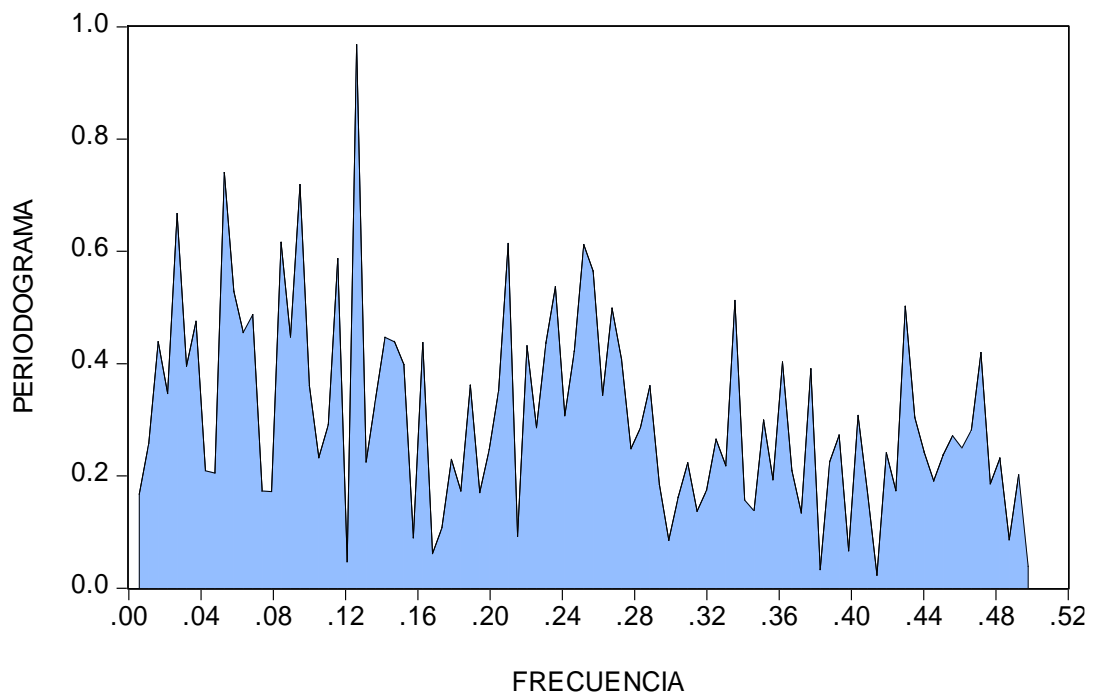
Fuente: Elaboración propia de los autores con datos del Banco de México con software EViews.

Debido a que la serie del tipo de cambio peso-dólar expresada en su primera diferencia es estacionaria, se calcula el periodograma para esta serie.

La figura 4.24 muestra el periodograma estimado para la serie del tipo de cambio expresada en tasas de crecimiento, en él se muestra un alto grado de frecuencias altas los cuatro picos más sobresalientes de la serie muestran valores iguales a 0.669368, 0.742249, 0.720338 y 0.969912 los cuales son correspondientes a ciclos iguales a 1.5 meses, 1.34 meses, 1.38 meses y 1.03 meses respectivamente.

**Figura 4.24**

**Periodograma de la serie mensual del tipo de cambio peso-dólar**



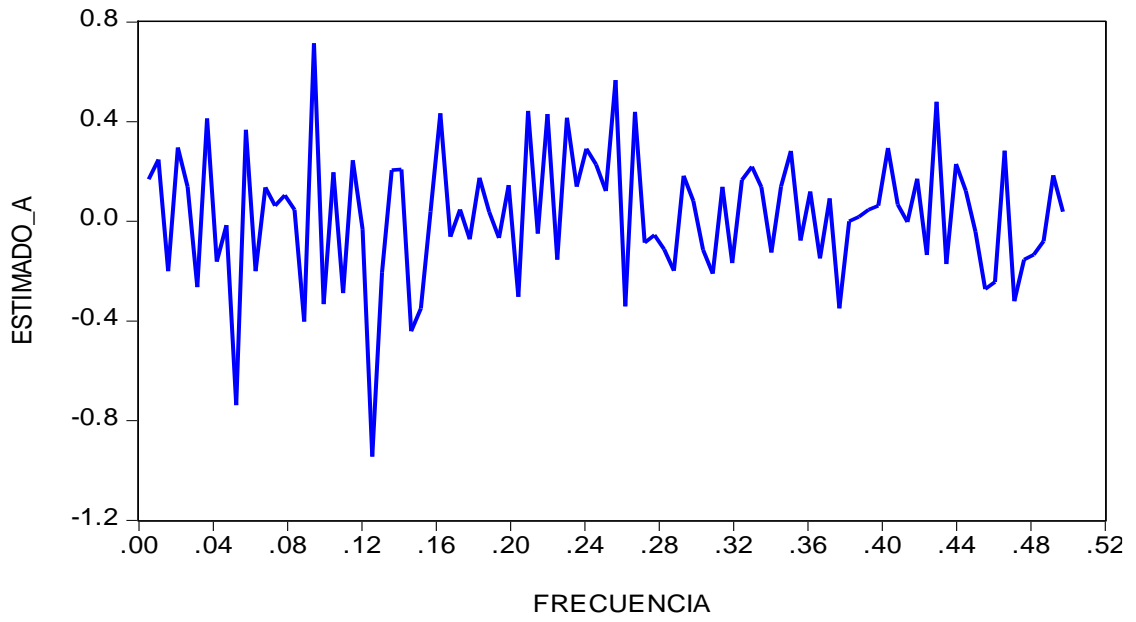
*Fuente: Elaboración propia con base en Banxico (2016)*

Las dos gráficas siguientes muestran los componentes A y B estimados del periodograma, es importante recordar que el periodograma está formado por la suma de estos dos componentes.

Además, cabe resaltar que son idénticos al seno y al coseno y que la suma de estos es la generadora del periodograma de la serie del tipo de cambio mensual.

**Figura 4.25**

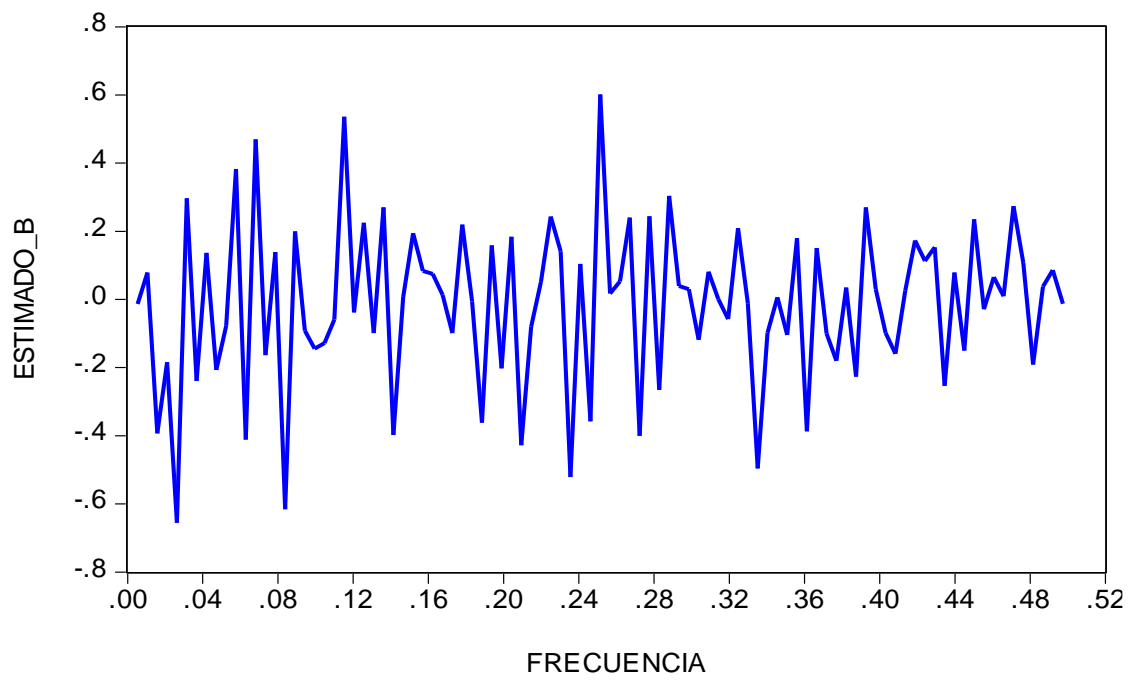
**Componente A**



*Fuente: Elaboración propia con base en Banxico (2016)*

**Figura 4.25**

**Componente B**

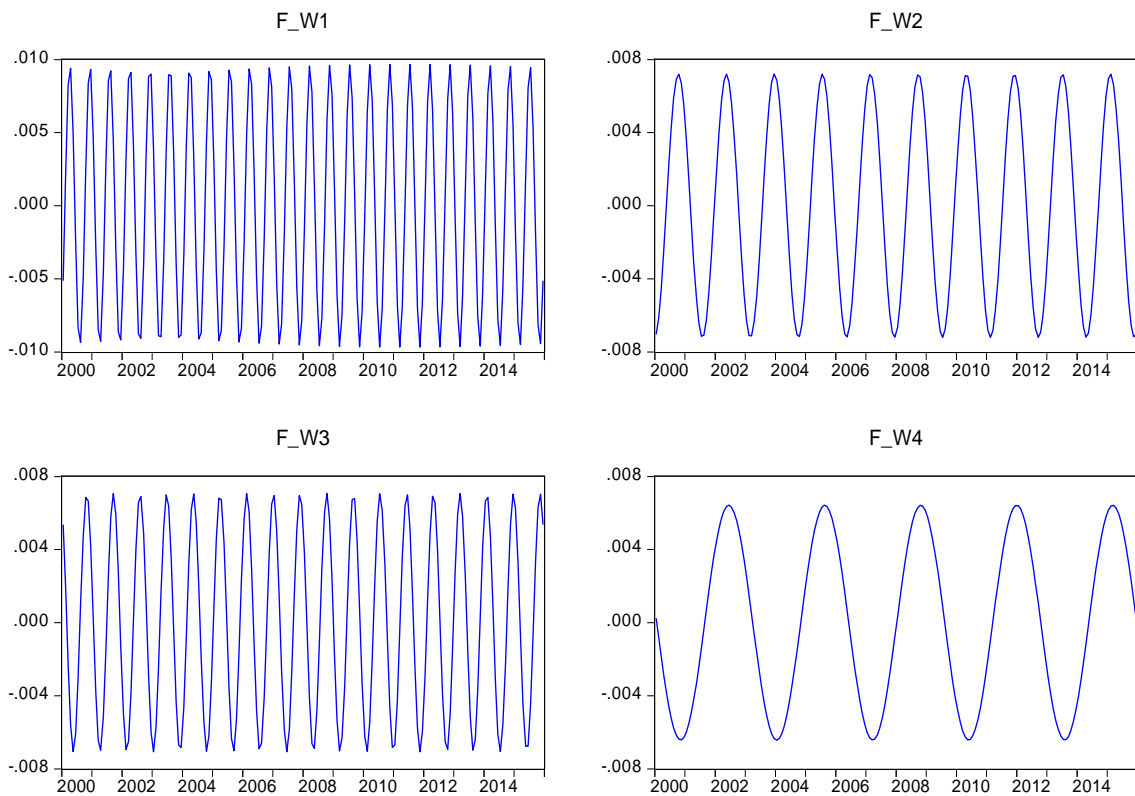


*Fuente: Elaboración propia con base en Banxico (2016)*

A partir de la estimación del periodograma es posible simular los ciclos obtenidos de las frecuencias más altas generadas a partir de la estimación. Los cuales se obtuvieron mediante la suma del seno y del coseno mediante términos con la misma frecuencia.

**Figura 4.26**

**Ciclos simulados a partir de las frecuencias del periodograma**

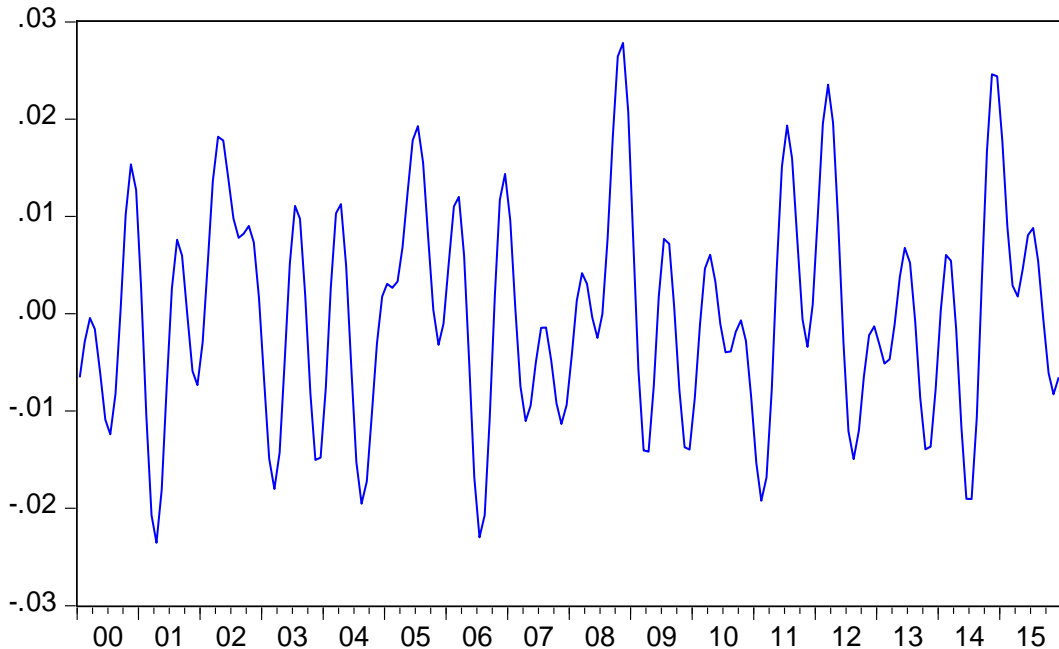


*Fuente: Elaboración propia*

Estos ciclos pueden ser utilizados para la estimación de valores futuros mediante el uso de modelos ARMA (p, q) mediante la suma de los ciclos, considerando la suma de estos como una variable exógena. En la figura 4.27 se muestra la suma de los ciclos generados mediante el uso de las frecuencias significativas en el periodograma, los datos de dicha gráfica son los que se utilizarían para estimar el modelo ARMA mediante su uso como una variable exógena.

**Figura 4.27**

**Ciclos simulados a partir de las frecuencias del periodograma**



*Fuente: Elaboración propia*

A continuación se muestra la densidad de Kernel calculado mediante los métodos de Haming, Parzen, Blackman y Bartlett. Estos métodos permiten visualizar el periodograma mediante diversos métodos que fueron explicados en el capítulo 2, en la figura es posible observar que presentan un comportamiento similar, pese a que los métodos son diferentes.

Al aplicar una ventana a una señal, se afecta el espectro de la señal original, para comprender la forma en que la ventana afecta al espectro. La aplicación de una ventana sobre una señal es equivalente a una convolución<sup>15</sup> en la frecuencia de los espectros de la ventana y la señal.

---

<sup>15</sup> Se denomina convolución a una función, que, de forma lineal y continua, transforma una señal de entrada en una nueva señal de salida.

El ancho del lóbulo principal del espectro de una ventana es una característica relevante de la ventana. La resolución en frecuencia de la señal a la que se le aplica la ventana es limitada por el ancho del lóbulo principal.

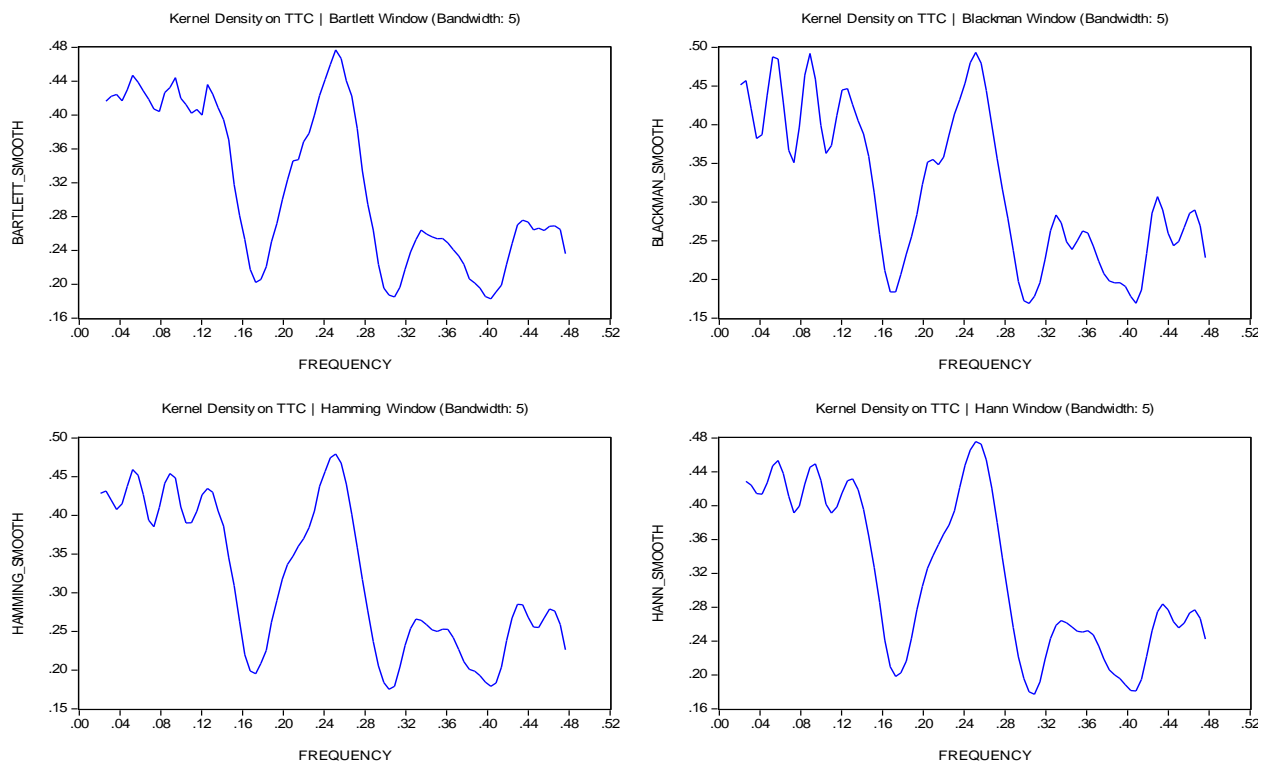
La ventana de Hamming tiene un comportamiento temporal de medio ciclo de una señal cosenoidal y además se encuentra normalizado en amplitud a la unidad.

La ventana Hann es usada con frecuencia en el análisis y el procesamiento de señales para evitar las discontinuidades al principio y al final de los bloques analizados.

La ventana Hann posee un buen pico de lóbulo principal que permite tener un espectro de buena resolución, brinda, además, muy buena reducción de pérdidas no deseadas en el espectro de frecuencias.

**Figura 4.28**

### Ventanas



*Fuente: Elaboración propia con base en datos de Banxico (2016).*



La ventana Blackman. tiene un comportamiento temporal definido por una serie trigonométrica de Fourier, la cual sirve para aproximarse mejor a un espectro que carece de altas frecuencias.

La ventana Bartlett o triangular posee un pico espectral bueno y preciso similar al de la ventana Hamming. Hace un buen trabajo reduciendo pérdidas espectrales, pero no tan bueno como el de la Hann. La ventana Bartlett es una convolución de dos ventanas rectangulares.

#### **4.4.4.1. Test de Whittle y Fisher para periodicidades ocultas**

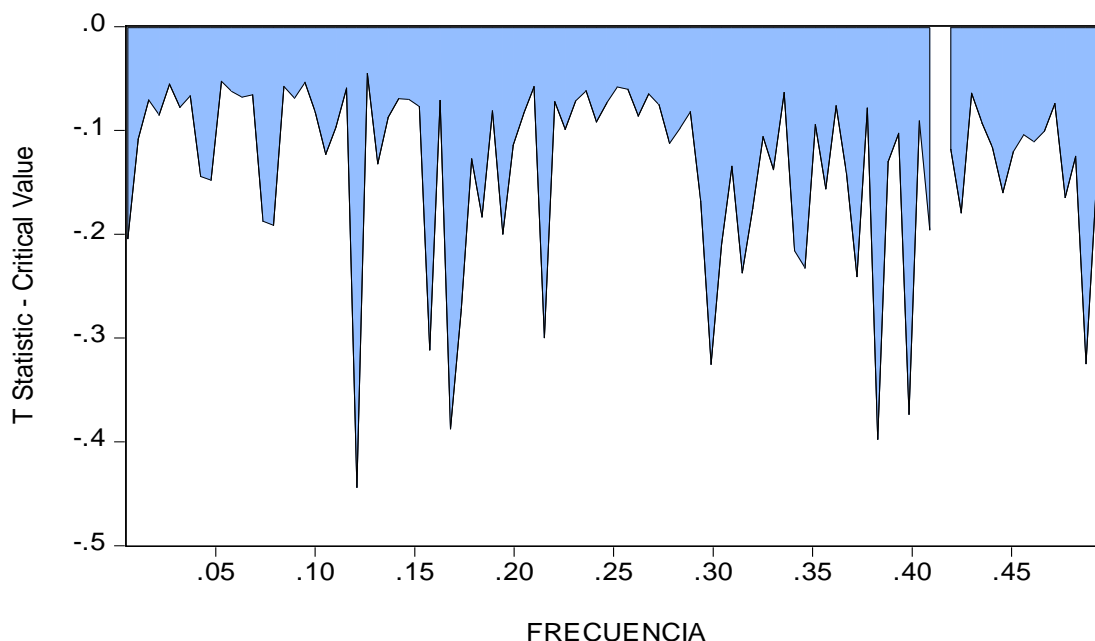
Este test permite contrastar la hipótesis nula de que los datos de la serie se han generado por un proceso de ruido blanco gaussiano, este se contrasta contra la hipótesis alternativa de que los datos se han generado por un ruido blanco gaussiano “contaminado” es decir, que dentro de la serie existe un componente periódico con frecuencia desconocida que afecta a la serie.

Está diseñado para encontrar sólo un componente periódico oculto, y también se basa en el periodograma. Específicamente prueba si el proceso subyacente es ruido blanco gaussiano, en el sentido de que su ordenada máxima no es suficientemente significativa.

**Figura 4.29**

**Test de Whittle y Fisher para periodicidades ocultas**

T Statistic - Critical Value VS Frequency on TTC (H0: The periodogram ordinate is not significant enough)



*Fuente: Elaboración propia con base en datos de Banxico (2016).*

En la tabla 4.10 los picos más representativos, así como el valor crítico para cada uno de ellos. La figura 4.28 muestra la prueba de significancia de Whittle (1952) y Fisher (1929), el propósito es aplicar la prueba a los picos más altos de la gráfica el cual corresponde a un valor del 0.424223 el cual alcanza un valor crítico de 0.870901 contrastado contra el estadístico t de 1.96, significa que se rechaza la hipótesis nula de que el periodograma estimado es suficientemente significativo.

**Tabla 4.10**

Statistical I Whittle (1952) and Fisher (1929)	Critical value I Whittle (1952) and Fisher (1929)
<b>0.102007</b>	0.305324
<b>0.325084</b>	0.767921
<b>0.167116</b>	0.477494
<b>0.297299</b>	0.683772

<b>0.145285</b>	0.416880
<b>0.146371</b>	0.444953
<b>0.236871</b>	0.561154
<b>0.109846</b>	0.319246
<b>0.134709</b>	0.370853
<b>0.119482</b>	0.334631
<b>0.120098</b>	0.351728
<b>0.152575</b>	0.392401
<b>0.243788</b>	0.616148
<b>0.191904</b>	0.515687

*Fuente: Elaboración propia con base en datos de Banxico (2016).*

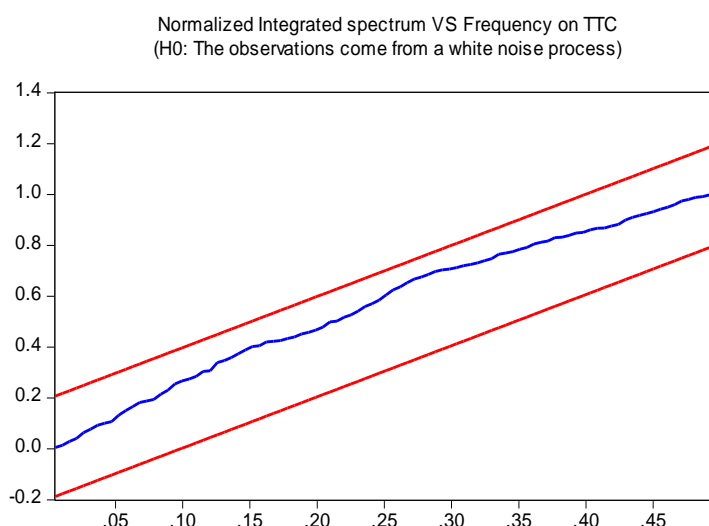
Lo anterior significa que la serie esta generada por un ruido Gaussiano o ruido blanco, pero se encuentra afectado por un componente de frecuencia desconocida mismo que afecta el comportamiento de la serie del tipo de cambio peso-dólar.

#### **4.4.4.2. Test Grafico de señal de Bartlett**

A continuación, se presenta el test grafico de señal de Bartlett (1952) aplicado a un nivel de confianza del 95% y bandas de  $\alpha= 0.05$ ; este fue calculado para la serie expresada en tasas de crecimiento del tipo de cambio.

**Figura 4.30**

#### **Test grafico de señal de Bartlett (1952)**



*Fuente: Elaboración propia con base en datos de Banxico (2016).*

Como se puede observar la frecuencia de las tasas de crecimiento del tipo de cambio no rebasa el espectro normalizado, por ello, es posible concluir que se acepta la hipótesis nula de que las observaciones provienen de un proceso de ruido blanco o ruido blanco gaussiano.

#### **4.4.5. Test BDS**

A continuación, se presentan los resultados del test BDS el cual fue aplicado para la serie del tipo de cambio peso-dólar expresada en tasas de crecimiento mensuales dentro del periodo 2000-2015. La idea de este test es saber si los valores de la serie se distribuyen idéntica e independientemente. Cabe señalar que la prueba se realizó con una  $\varepsilon = 0.5$

Para realizar el contraste de la prueba se utilizó un valor de  $z = 1.96$ , lo anterior permite determinar que se rechaza la hipótesis nula de i.i.d para las dimensiones de inserción mayores e iguales a 2.

Se concluye que existe en la serie sensibilidad a las condiciones iniciales del sistema, esto permite también mencionar que las variaciones existentes dentro de la serie del tipo de cambio no presentan un comportamiento como variables aleatorias independientes. El resultado anterior fue similar al obtenido por Ibarra (2004) aunque

el encontró que esto aplicaba unicamente para las dimensiones de insercion mayores e iguales a 3.

**Tabla 4.11**

BDS Test for TTC  
 Date: 11/17/16 Time: 12:32  
 Sample: 2000M01 2015M12  
 Included observations: 192

<u>Dimension</u>	<u>BDS Statistic</u>	<u>Std. Error</u>	<u>z-Statistic</u>	<u>Prob.</u>	
2	0.015324	0.005467	2.802806	0.0051	
3	0.021799	0.006298	3.461203	0.0005	
4	0.019734	0.005442	3.626259	0.0003	
5	0.015582	0.004118	3.784081	0.0002	
6	0.011270	0.002884	3.907746	0.0001	
7	0.008163	0.001920	4.251608	0.0000	
8	0.006072	0.001233	4.924275	0.0000	
9	0.004721	0.000771	6.122154	0.0000	
10	0.003484	0.000472	7.373483	0.0000	
11	0.002235	0.000285	7.848453	0.0000	
12	0.001374	0.000169	8.110066	0.0000	
Raw epsilon		1.857697			
Pairs within epsilon		18475.00	V-Statistic	0.506428	
Triples within epsilon		2049603.	V-Statistic	0.294151	
<u>Dimension</u>	<u>C(m,n)</u>	<u>c(m,n)</u>	<u>C(1,n-(m-1))</u>	<u>c(1,n-(m-1))</u>	<u>c(1,n-(m-1))^k</u>
2	4869.000	0.271178	9082.000	0.505820	0.255854
3	2664.000	0.149949	8957.000	0.504165	0.128150
4	1484.000	0.084424	8865.000	0.504324	0.064690
5	843.0000	0.048473	8785.000	0.505146	0.032892
6	492.0000	0.028596	8752.000	0.508689	0.017327
7	295.0000	0.017333	8707.000	0.511575	0.009170
8	181.0000	0.010751	8610.000	0.511404	0.004679
9	117.0000	0.007026	8481.000	0.509278	0.002305
10	76.00000	0.004614	8357.000	0.507377	0.001131
11	46.00000	0.002824	8285.000	0.508594	0.000589
12	27.00000	0.001676	8200.000	0.509001	0.000302

*Fuente: Elaboración propia*

Es importante señalar que la integral de correlación disminuye conforme aumenta el tamaño de  $m$  al igual que la probabilidad la cual es igual a 0 a partir de la

dimensión 7, además el valor del estadístico  $Z$  incrementa de acuerdo a los incrementos de  $m$ .

Se identifica la no existencia de linealidad dentro de la serie de tiempo, lo cual es fundamental para el análisis del caos dentro de la serie pues la teoría indica que el análisis se debe realizar a series de tiempo que no contengan un componente de linealidad, pues la teoría está fundamentada en los sistemas dinámicos no lineales.

Para contrastar lo anterior se muestra en la figura 4.28 el gráfico de recurrencia realizado para la misma serie expresada en tasas de crecimiento.

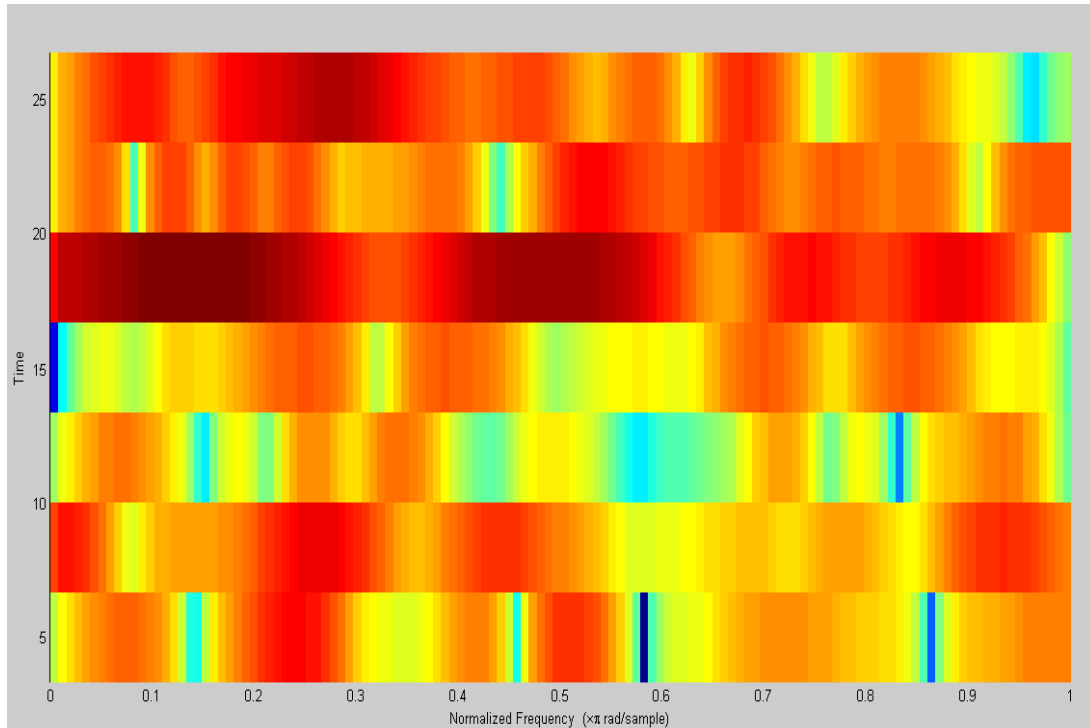
#### **4.4.6. Gráfico de Recurrencia**

A continuación, se presenta el gráfico de recurrencia calculado en el software Matlab, dicho gráfico se aplicó a la serie del tipo de cambio expresada en tasas de crecimiento mensuales, se aplicó de esta manera debido a que la serie expresada en tasas de crecimiento es la que exhibe un comportamiento de estacionariedad el cual es fundamental para la aplicación de dicho análisis.

Una vez transformados los datos en tasas de crecimiento se realizó el gráfico de recurrencia para la serie, en ella es posible observar que algunas parcelas de recurrencia indican que tal vez un patrón más profundo podría estar más inmerso en los datos mensuales de la serie.

**Figura 4.31**

**Gráfico de recurrencia para la serie**



*Fuente: Elaboración propia*

Es necesario resaltar la zona oscura, la cual está cercana al tiempo 20 así como las zonas cercanas que muestran una tonalidad más clara. Esto quiere decir que existe un gran número de periodos dentro de la serie con altos niveles de volatilidad dentro de la dinámica que sigue la serie del tipo de cambio. Las zonas más claras de la gráfica anterior muestran aquellos periodos de la serie en donde ha existido un mayor nivel de estabilidad, es posible observar que estos periodos son casi nulos y que en ella existe un gran número de periodos con alta volatilidad.

Hasta aquí se concluye este estudio en el cual se ha pretendido en primera instancia identificar las variables que más impacto tienen sobre el tipo de cambio peso-dólar (caso mexicano), de acuerdo a nuestro estudio econométrico de 13 variables seleccionadas que fueron: Tipo de cambio (variable dependiente o variable a estudiar), Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE), M1 de

México, Reservas internacionales de México, PIB de Estados Unidos, PIB de México, Tasa de referencia de Estados Unidos (T-Bill), Índice Nacional De Precios al Consumidor de México (INPC), Índice de Precios Y Cotizaciones (IPC), Precio de Petróleo Mezcla Mexicana, Precio internacional del oro, Precio del Petróleo West Texas Intermediate (WTI) y Tasa Libor.

Al final el modelo econométrico mostró que 10 variables con sus respectivos rezagos (del 1 al 4) influyen en el tipo de cambio con mayor fuerza, estas fueron: El primer rezago del tipo de cambio, la TIIE y su primer rezago, el M1 de México en su primer rezago, Reservas internacionales de México y su rezago en dos periodos, PIB de Estados Unidos su segundo rezago, Índice de Precios y Cotizaciones, Precio del Petróleo Mezcla Mexicana en su tercer rezago, El precio internacional del oro en su segundo rezago, Precio del petróleo West Texas Intermediate y la Tasa LIBOR.

Una vez obtenidos los resultados anteriores en segunda instancia se pasó a realizar un análisis de corrección de error en el cual se tomaron como base las 13 variables que al inicio se contemplaron, este análisis consiste en analizar las perturbaciones que existen en el modelo econométrico y trata de explicarlas, lo que resulto evidente es que todas las variables en el largo plazo si sufren algún cambio repercutirán en el tipo de cambio sea incremento o decremento y el componente de corrección de error en el largo plazo cuando el tipo de cambio es golpeado por algún factor exógeno, dicho choque pierde su impacto en 1.3664% en el periodo posterior al choque lo que no es suficiente para mantener estable el tipo de cambio.

Para finalizar, en tercera instancia se analizó el tipo de cambio desde la perspectiva caótica de Lorenz, en este apartado se tomaron como base las 10 variables que el modelo econométrico indico con mayor impacto, de estas variables solamente tres presentaron un patrón caótico de Lorenz las cuales fueron: Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE), Tasa de referencia de Estados Unidos (T-Bill) y Tasa LIBOR, con estas variables se explicó el Tipo de Cambio y a través de diversas pruebas de la teoría del Caos se determinó que tienen gran peso en las fluctuaciones que sufre el Tipo de Cambio, sin embargo no son suficientes para explicar en su totalidad el comportamiento de este, pero al tener un patrón se



concluye que si estas variables tienen fluctuaciones el Tipo de Cambio tendrá fluctuaciones.

Con esto se procede a la siguiente sección de las conclusiones del trabajo analizando si se cumplen o no las hipótesis planteadas en este trabajo.

## Conclusiones

En el presente apartado se presentan las respuestas a las hipótesis planteadas en esta investigación a través de los resultados que se exponen en el último apartado de este trabajo.

1. En nuestra hipótesis secundaria  $H_{s1}$  en la que se afirma que existen variables económicas que afectan en mayor medida el valor del tipo de cambio. Se llega a la conclusión que si existen variables que afectan en mayor medida el tipo de cambio, esto se demuestra con el modelo econométrico el cual de 13 variables explicativas se redujo a 10 (estas con sus respectivos rezagos del 1 a 4 periodos), resultado que en el largo plazo son aquellas que ocasionan más fluctuaciones en el Tipo de Cambio.
2. En nuestra hipótesis secundaria  $H_{s2}$  en la que se afirma que existe un patrón que determina el tipo de cambio a través de la teoría del caos. Se llega a la conclusión que si existe un patrón caótico que determina el Tipo de Cambio, este patrón se encontró en tres variables que fueron: Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE), Tasa de referencia de Estados Unidos (T-Bill) y Tasa LIBOR, estas mostraron que tenían un patrón que repercutía en el tipo de cambio, también mostraron que cuando se presentaban fluctuaciones en estas el Tipo de Cambio también fluctuaba en el mismo periodo o en periodos posteriores (es decir con rezagos).
3. En nuestra hipótesis principal  $H_p$  en la cual se afirma que existe un modelo para el tipo de cambio que se explica a través de la teoría del caos. Se llega a la conclusión que no se puede construir un modelo que pueda predecir con certeza el tipo de cambio con las tres variables, este no podía predecir de manera puntual, sin embargo, lo que si puede hacer es mostrar patrones de fluctuaciones, es decir que estas variables si fluctúan se puede saber que el Tipo de Cambio fluctuará y se obtiene un aproximado de cuanto fluctuará pero no una cifra puntual de lo que varíe, inclusive se podría tener un rango de fluctuación, es por esta razón que en la presente investigación no se logró construir un modelo para el Tipo de Cambio explicado por la teoría del Caos.

Con esto se concluye esta tesis de investigación, esperando que como futuros profesionistas en el área de la economía pudiésemos aportar con este trabajo un conocimiento diferente a trabajos similares en relación del tipo de cambio peso-dólar. Esperando que, con estos hallazgos, otros economistas y profesionistas interesados en el tema, pudiesen continuar por estas líneas planteadas como lo es la economía dinámica caótica, ya que existen escasos trabajos de investigación sobre el tema, y que como se aprecia en la revisión a la literatura no existen trabajos similares a este.

Las líneas de investigación que se abren dentro de este estudio son muchas, ya que las herramientas econométricas descritas aquí pueden servir para futuros economistas permitiendo analizar a la economía como un fenómeno dinámico caótico como se presenta en este trabajo. Las líneas que se proponen son:

- a) Analizar los diferentes tipos de cambio de los diferentes países o bloques económicos bajo el enfoque de la economía dinámica caótica.
- b) Experimentar con otros periodos de tiempo para analizar si estos patrones son iguales o cambian a través del tiempo. Por ejemplo, la década de los noventas con los de la primera y segunda década del siglo XXI; analizar si existen patrones similares antes del Tratado Libre Comercio y después de este, dentro de la relación del tipo de cambio peso-dólar.
- c) Analizar la economía dinámica caótica con otras variables macroeconómicas como pudiese ser el Producto Interno Bruto, Balanza Comercial, la inflación, etc. Estas tanto como variables exógenas como endógenas.
- d) Utilizar otras herramientas que se han venido desarrollando dentro de la economía dinámica como lo son la solución de ecuaciones diferenciales simultáneas y aplicarlas a diferentes economías.

Además, se puede comentar que este trabajo tiene algunas limitaciones, las principales fueron la escases de información sobre todo de las variables macroeconómicas, ya que se pretendieron inicialmente analizar más de las trece de variables planteadas en este trabajo, pero la poca disponibilidad de información sobre otras variables , las inconsistencias existentes entre valores, la revelación de

la información tardía, y/o la confiabilidad de la información hicieron que este trabajo quedara reducida a estas variables.

Para finalizar este apartado, la experiencia de desarrollar este trabajo nos permitió conocer la importancia que tiene la economía, no tan solo desde la perspectiva de conocer la economía como una modelación econométrica, o la relación de variables macroeconómicas con la variable del tipo de cambio peso-dólar, sino la importancia que tiene en nuestra formación como economistas, ya que muchas veces se nos enseña que la economía se rige de teorías determinísticas, las cuales están fundamentadas en fórmulas o teorías inmutables. Pero el analizar la economía bajo la perspectiva de la dinámica caótica nos ha permitido apreciar que la economía tiene un orden inmerso dentro del caos y de la complejidad en la que se desarrolla dentro de la economía nacional y mundial. Y que este caos en ocasiones presenta patrones de comportamiento que cambian de manera dinámica y compleja a través del tiempo, cuyos cambios se deben a los nuevos y volátiles ordenes de comportamiento de las sociedades actuales.

## Bibliografía

- Andreou, A. S., Gary, P., & Karytinis, A. (2000). Nonlinear Time-series Analysis of the Greek Exchange Rate Market. *International Journal of Bifurcation & Chaos in Applied Sciences & Engineering*(1729).
- Ashok, A. (s.f.). Procesamiento de señales analógicas y digitales. *International Thomson*, 720-723.
- Banco de México. (2009). *Regímenes Cambiarios en México a partir de 1954*.
- BANXICO. (27 de 07 de 2016). *MERCADO CAMBIARIO (TIPOS DE CAMBIO)*. Recuperado el 27 de 07 de 2016, de BANCO DE MÉXICO: <http://www.banxico.org.mx/dyn/portal-mercado-cambiario/index.html>
- BANXICO. (01 de 08 de 2016). *Índice de Precios e Inflación*. Recuperado el 01 de 08 de 2016, de BANCO DE MÉXICO: <http://www.banxico.org.mx/ayuda/temas-mas-consultados/indices-precios-inflacion.html>
- BANXICO. (01 de 08 de 2016). *RESERVAS INTERNACIONALES*. Recuperado el 01 de 08 de 2016, de BANCO DE MÉXICO: <http://www.banxico.org.mx/ayuda/temas-mas-consultados/reservas-internacionales.html>
- Botello, M. A. (22 de 05 de 2016). *México Máximo*. Recuperado el 01 de 08 de 2016, de SERIES HISTORICAS DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO DE MEXICO DESDE 1896 HASTA 2015: <http://www.mexicomaxico.org/Voto/PIBMex.htm>
- Brue, S. L., & Grant, R. R. (2009). *Historia del pensamiento económico*. (G. Meza Staines, Trad.) México: CENGAGE Learning.
- Brue, S. L., & Randy, R. G. (2009). *Historia del Pensamiento Económico* (Séptima ed.). (G. Meza Staines, Trad.) México, DF: CENGAGE Learning.
- Cané, L. P. (22 de 05 de 2015). LA NACIÓN. *¿Qué sucederá con la tasa de interés en los Estados Unidos?* . Recuperado el 03 de 08 de 2016, de ¿Qué sucederá con la tasa de interés en los Estados Unidos?: <http://www.lanacion.com.ar/1794756-que-sucedera-con-la-tasa-de-interes-en-estados-unidos>
- Casillas, G. (02 de 12 de 2014). EL FINANCIERO. *Impacto de los bajos precios del petróleo en la economía mexicana (parte 1)*.
- Castañeda, J. (26 de 10 de 2013). *OroyFinanzas*. Recuperado el 29 de 07 de 2016, de Definición M1, M2 y M3 y de dinero bancario: <https://www.oroynfinanzas.com/2012/10/definicion-m1-m2-m3-dinero-bancario/>
- Centro de estudios de las Finanzas Públicas. (2009). *Manejo de las reservas internacionales y su impacto en el tipo de cambio*. Palacio legislativo de San Lazaro: Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión.
- Choi, Y., & Douady, R. (2012). Financial crisis dynamics: attempt to define a market instability indicator. *Quantitative Finance*, 12(9), 1351–1365.
- Díaz Carreño, M. Á. (2013). La inflación en México y el Estado de México 2000-2012: Un estudio de sus principales determinantes y la política de objetivos de inflación. *Revista Trimestral de Análisis de Coyuntura Económica*, 43-49.
- Díaz Carreño, M. Á., & Vergara González, R. (2011). Tipo de cambio e Inflación en México: Comportamiento y expectativas para 2012. *REVISTA TRIMESTRAL DE ANÁLISIS DE*

- COYUNTURA ECONÓMICA, 7-10. Recuperado el 27 de 07 de 2016, de [http://web.uaemex.mx/feconomia/Publicaciones/e404/ea-15\\_Miguel.pdf](http://web.uaemex.mx/feconomia/Publicaciones/e404/ea-15_Miguel.pdf)
- Diputados, C. d. (12 de 02 de 2016). *Centro de Estudios de Finanzas Públicas*. Recuperado el 28 de 07 de 2016, de <http://www.cefp.gob.mx/publicaciones/documento/2016/febrero/cefp0022016.pdf>
- EFXTO. (19 de 07 de 2016). *EFXTO Comunidad Forex*. Recuperado el 02 de 08 de 2016, de Producto Interior Bruto (GDP) – Estados Unidos: <https://efxto.com/diccionario/producto-interior-bruto-estados-unidos>
- Eichengreen, B. (1996). *La Globalización del Capital: Historia del Sistema Monetario Internacional*. (A. Bosch, Ed., & M. E. Rabasco, Trad.) Barcelona, España: Princeton University Press.
- Fagiini, M. (2014). Chaotic time series analysis in economics: Balance and perspectives. *AIP Publishing*.
- GERENCIE.COM. (13 de 07 de 2012). *GERENCIE.COM*. Recuperado el 5 de 08 de 2016, de ¿Qué es y cómo funciona la Tasa Libor?: <http://www.gerencie.com/que-es-y-como-funciona-la-tasa-libor.html>
- global-rates. (03 de 08 de 2016). *global-rates*. Recuperado el 03 de 08 de 2016, de FED Federal Funds Rate, intereses banco central estadounidense: <http://es.global-rates.com/tipos-de-interes/bancos-centrales/banco-central-estados-unidos/interes-fed.aspx>
- Gomes, O. (2005). Volatility, Heterogeneous Agents and Chaos. *The Electronic Journal of Evolutionary Modeling and Economic Dynamics*(1047). Recuperado el 2016, de <http://www.e-jemed.org/1047/index.php>
- Gómez, N. J. (21 de Septiembre de 2015). *Introducción a la teoría del Caos*. Obtenido de <http://mmc.geofisica.unam.mx/acl/anum/Ejemplitos/10-SistemasDinamicosYCaos/Caos2.pdf>
- Ibarra, J. (2004). Caos en el mercado cambiario mexicano. Aplicación de la teoría del caos en los tipos de cambio. *Ensayos, XXIII*, 31-60.
- INEGI. (2015). *Balanza comercial de mercancías de México: Información revisada*. Aguascalientes: INEGI.
- Jaramillo Mejia, V. D. (2010). Aplicación del análisis espectral de series temporales al modelo tríciclico de Schumpeter. *Tendencias*, 63-83.
- Jiménez, R. (3 de 09 de 2014). México reduce su posición de oro. *El Economista*.
- laeconomia.com. (27 de 07 de 2012). *laeconomia.com*. Recuperado el 01 de 08 de 2016, de PIB México: <http://laeconomia.com.mx/pib-mexico/>
- Lorraine, M. (1991). Testing Chaos and Nonlinearities in T-Bill Rates. *Financial Analyst Journal*, 51-62.
- Matilla-García, M., & Rodríguez Ruiz, J. (Agosto de 2005). Aplicabilidad del test BDS al análisis de series económicas. *Estudios de Economía Aplicada*, 507-519.
- MÉXICO, B. D. (28 de 07 de 2016). *BANXICO*. Recuperado el 28 de 07 de 2016, de TIIE (TASA DE INTERÉS INTERBANCARIA DE EQUILIBRIO): <http://www.banxico.org.mx/ayuda/temas-mas-consultados/tiie--tasa-interes-interbanca.html>

- MIDE. (13 de 01 de 2011). *El Índice Nacional de Precios al Consumidor cambia de base y de casa*. Recuperado el 01 de 08 de 2016, de MIDE, Museo Interactivo de Economía: <http://midehoyenlaeconomia.blogspot.mx/2011/01/el-indice-nacional-de-precios-al.html>
- Naito, K., Asai, K., Amano, T., & Taniguchi, M. (2006). Local Whittle Likelihood Estimators and Tests for non-Gaussian Linear Processes.
- Obstfeld, M., & Rogoff, K. (2000). Global Implications of Self-Oriented National Monetary Rules. *The Quarterly Journal of Economics*, 503-555.
- Perea Quezada, J. (02 de 03 de 2011). *GESTIOPOLIS*. Recuperado el 29 de 07 de 2016, de <http://www.gestiopolis.com/datos-economicos-de-mexico-en-el-mandato-de-vicente-fox/>
- Pétreoleo, I. (04 de 08 de 2016). *Invertir Pétreoleo*. Recuperado el 04 de 08 de 2016, de West Texas Intermediate: <http://www.invertir-petroleo.es/articulo/west-texas-intermediate.html>
- Ramos Francia, M., Noriega, A. E., & Rodríguez Pérez, C. A. (20 de 07 de 2015). *BANCO DE MÉXICO*. Recuperado el 29 de 07 de 2016, de Uso de agregados monetarios como indicadores de la evolución futura de los precios al consumidor: Crecimiento monetario y meta de inflación: <http://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/documentos-de-investigacion/banxico/%7BBBBD107D-74DB-2C16-60D9-DC61FC3E2AEE%7D.pdf>
- Rankia. (10 de 01 de 2016). *Análisis del IPC*. Recuperado el 01 de 08 de 2016, de Rankia: <http://www.rankia.mx/blog/analisis-ipc/1578774-que-ipc>
- ROMÁN, R. (16 de 10 de 2014). *EL ECONOMISTA*. *Hasta 15% podría caer el IPC para finales del 2014*.
- Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (1996). *Economía*. Madrid: McGRAW-HILL INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U.
- Sandoval, A. (10 de 06 de 2014). *EL FINANCIERO*. *Fija la TIIE otro mínimo histórico: 3.3160%*.
- Santander. (21 de 08 de 2016). *ESTADOS UNIDOS: POLÍTICA Y ECONOMÍA*. Recuperado el 02 de 08 de 2016, de Santander TradePortal: [https://es.portal.santandertrade.com/analizar-mercados/estados-unidos/politica-y-economia?actualiser\\_id\\_banque=oui&id\\_banque=2](https://es.portal.santandertrade.com/analizar-mercados/estados-unidos/politica-y-economia?actualiser_id_banque=oui&id_banque=2)
- Sary, C. L. (2002). Complejidad económica desde la perspectiva caótica. *Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura*, 11-31.
- Sen, C., & Chakrabarti, G. (2014). The efficacy of intervention in a chaotic foreign exchange market: an empirical study in INR-USD exchange rate series. *Decision*, 399-410. doi:10.1007/s40622-014-0066-9
- Sosvilla, S. (2011). Teorías del Tipo de Cambio. *Tendencias y nuevos desarrollos de la teoría económica*, 23-37.
- Sosvilla, S. (2011). Teorías del Tipo de Cambio . *Tendencias y nuevos desarrollos de la teoría económica*, 23-39.
- Televisa, N. (29 de 05 de 2015). *Noticieros Televisa*. Recuperado el 29 de 07 de 2016, de Aumenta 15.2% anual agregado monetario M1: Banxico: <http://noticieros.televisa.com/economia/1505/aumenta-15-2-anual-agregado-monetario-m1-banxico/>
- UNIVERSAL, E. (20 de 01 de 2015). *EL UNIVERSAL*. *Precio del petróleo WTI cayó 4,7% luego de anuncios del Fondo Monetario*. Obtenido de

[http://www.eluniversal.com/noticias/economia/precio-del-petroleo-wti-cayo-luego-anuncios-del-fondo-monetario\\_61640](http://www.eluniversal.com/noticias/economia/precio-del-petroleo-wti-cayo-luego-anuncios-del-fondo-monetario_61640)