



**Universidad Nacional Autónoma de México**

Facultad de Estudios Superiores Acatlán

**Análisis del estudio de eventos en el Mercado de  
Tipo de Cambio**

Tesis

Que para obtener el título de

Actuaría

Presenta

Laura Iveth Aburto Barrera

Asesor: Dra. María del Carmen González Videgaray

Santa Cruz Acatlán, Edo. de México

Fecha: Octubre 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



# Índice general

<b>Contents</b>	<b>1</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
<b>2. Crisis Financieras</b>	<b>12</b>
2.1. Crisis Financieras en el mundo . . . . .	13
2.2. Política monetaria en Estados Unidos . . . . .	18
2.3. Política monetaria en la Unión Europea . . . . .	19
2.4. Política monetaria en Suiza . . . . .	21
2.5. Política monetaria en México . . . . .	22
2.5.1. Exportaciones e Importaciones de México . . . . .	23
<b>3. Datos</b>	<b>25</b>
3.1. Los tipos de cambio USD/MXN, CHF/MXN y EUR/MXN . . . . .	26
3.2. Gráficos de tipo de cambio USD/MXN, CHF/MXN y EUR/MXN . . . . .	29
<b>4. Modelo</b>	<b>32</b>
4.1. Modelo de Series de Tiempo . . . . .	33
4.1.1. Modelo regresión lineal . . . . .	34
4.1.2. Modelos ARMA y ARIMA . . . . .	34
4.1.3. Modelos ARCH y GARCH . . . . .	35
<b>5. Análisis del estudio de eventos</b>	<b>37</b>
5.1. Volatilidad Especulativa o Real . . . . .	45
<b>6. Resultados</b>	<b>47</b>
6.1. Resultados del modelo de Regresión Lineal . . . . .	47

6.2. Selección del modelo de series de tiempo . . . . .	49
6.3. Modelo ARIMA y sus residuos . . . . .	51
6.4. Resultados ARCH y GARCH . . . . .	56
6.5. Resultados modelos ARIMA-GARCH . . . . .	60
6.6. Forecasting y Backtesting . . . . .	62
<b>7. Conclusiones</b>	<b>68</b>
<b>A. Otras estadísticas descriptivas</b>	<b>75</b>
<b>B. Otras gráficas</b>	<b>77</b>

# Índice de figuras

3.1.	Gráfica del tipo de cambio USD/MXN. . . . .	29
3.2.	Gráfica del tipo de cambio CHF/MXN. . . . .	30
3.3.	Gráfica del tipo de cambio EUR/MXN. . . . .	31
5.1.	Gráfica de los rendimientos del tipo de cambio USD/MXN. . . . .	39
5.2.	Histograma de los rendimientos de USD/MXN . . . . .	40
5.3.	Gráfica Q-Q Normal USD/MXN . . . . .	41
5.4.	Gráfica del tipo de cambio para los periodos 1, 2 y 3 por USD/MXN. . .	42
5.5.	Función de autocorrelación de los rendimientos de USD/MXN . . . . .	43
5.6.	Función de autocorrelación de los rendimientos de USD/MXN para los periodos 1, 2 y 3. . . . .	43
5.7.	Función de Autocorrelación Parcial para el periodo 2 de USD/MXN . . .	45
6.1.	Gráfica de Autocorrelación de los residuos del tipo de cambio USD/MXN.	53
6.2.	Gráfica de la Autocorrelación de los residuos del tipo de cambio CHF/MXN.	54
6.3.	Gráfica de la Autocorrelación de los residuos del tipo de cambio EUR/MXN.	55
6.4.	Gráfica de la Autocorrelación de los residuos del GARCH del tipo de cambio USD/MXN. . . . .	57
6.5.	Gráfica de la autocorrelación de los residuos del GARCH del tipo de cambio CHF/MXN. . . . .	58
6.6.	Gráfica de la autocorrelación de los residuos del GARCH del tipo de cambio EUR/MXN. . . . .	59
6.7.	Gráfica forecast USD/MXN. . . . .	63
6.8.	Gráfica backtesting USD/MXN. . . . .	64
6.9.	Gráfica forecast EUR/MXN. . . . .	65
6.10.	Gráfica backtesting EUR/MXN. . . . .	65

6.11. Gráfica forecast CHF/MXN. . . . .	66
6.12. Gráfica backtesting CHF/MXN. . . . .	67
B.1. Gráfica del tipo de cambio USD/EUR. . . . .	77
B.2. Gráfica del tipo de cambio USD/CHF. . . . .	78
B.3. Gráfica del tipo de cambio CHF/EUR. . . . .	78

# Índice de tablas

2.1. Línea de tiempo de las principales Crisis Financieras . . . . .	13
3.1. Estadísticas en el tipo de cambio USD/MXN . . . . .	27
3.2. Estadísticas en el tipo de cambio CHF/MXN . . . . .	28
3.3. Estadísticas en el tipo de cambio EUR/MXN . . . . .	28
5.1. Test de Dickey-Fuller Aumentado para USD/MXN spot . . . . .	38
5.2. Test de Dickey-Fuller Aumentado para rendimientos en USD/MXN . . . . .	39
6.1. Resultados Regresión Lineal de USD/MXN . . . . .	47
6.2. Resultados Regresión Lineal de CHF/MXN . . . . .	48
6.3. Resultados Regresión Lineal de EUR/MXN . . . . .	49
6.4. Tipo de serie de tiempo . . . . .	50
6.5. ARIMA en los rendimientos de USD/MXN. . . . .	52
6.6. ARIMA en los rendimientos del tipo de cambio CHF/MXN. . . . .	54
6.7. ARIMA en rendimientos EUR/MXN. . . . .	55
6.8. ARCH & GARCH para USD/MXN . . . . .	56
6.9. ARCH & GARCH para CHF/MXN. . . . .	58
6.10. ARCH & GARCH para EUR/MXN. . . . .	59
6.11. Resultados ARIMA(1,0,0)-GARCH(1,2) para USD/MXN . . . . .	60
6.12. Resultados ARIMA(1,0,0)-GARCH(1,1) para CHF/MXN . . . . .	61
6.13. Resultados ARIMA(1,0,0)-GARCH(1,1) para EUR/MXN . . . . .	62
A.1. Estadísticas en el tipo de cambio USD/EUR . . . . .	75
A.2. Estadísticas en el tipo de cambio USD/CHF . . . . .	75
A.3. Estadísticas en el tipo de cambio CHF/EUR . . . . .	76



# Capítulo 1

## Introducción

El Mercado de Divisas o también llamado Mercado de FOREX (Foreign Exchange Market) es el más grande y el más activo en operación del mercado financiero global, con un volumen diario operado de más de 5.1 trillones de dólares (Bank of International Settlements Review, 2013). Mercado de FOREX es el mercado más líquido y atractivo para los inversionistas, sin embargo es un mercado muy riesgoso, ya que involucra diferentes tipos de riesgo, principalmente riesgo de mercado y riesgo de liquidez, este último implica la falta de precios en los pares de monedas, principalmente en las llamadas de tipo exóticas. “La moneda sólo mide si su unidad es una realidad que existe realmente y a la cual puede referirse cualquier mercancía” (Focault, Michael, 1966).

Existen dos principales tipos de análisis que deben ser considerados para predecir el comportamiento del tipo de cambio. El Análisis Técnico es el estudio de la acción del precio de un activo, tipo de cambio, a través de las gráficas que nos permiten anticipar la tendencia de hechos históricos y el Análisis Fundamental que es el estudio de las variables económicas, sociales y políticas a través de noticias de alto impacto que nos permiten ver el volumen de la Oferta y la Demanda de un activo, por ejemplo, noticias relevantes relacionadas al PIB, INPC, Revisión Política Monetaria, etc. En otras palabras, un análisis técnico no funciona cuando existen diversos factores importantes que afectan al mercado, noticias de algún suceso imprevisto de cualquier índole. Por otra parte, no existe una visión clara respecto al movimiento en el mercado y la tendencia, si no se tiene un análisis técnico previo.

A lo largo de la historia han ocurrido diversas guerras de alto impacto entre países con la finalidad de ganar poder y controlar las finanzas del mundo, entre otros diversos propósitos, “La globalización financiera que siguió al colapso del sistema de Bretton Woods abrió un nuevo capítulo en la historia de las relaciones monetarias internacionales” (Eichengreen, 1997). Echando un breve ojo al pasado, en el año de 1865 algunos países europeos como Francia, Bélgica, Italia y Suiza crearon la llamada Unión Monetaria Latinoamericana (LMU) para el intercambio de metales como oro y plata usándolos como un tipo de moneda, el tipo de cambio fue de 4.5 gramos de plata por 0.290322 gramos de oro. Para el año 1868, Grecia se unió a LMU, reduciendo la cantidad de oro en sus monedas. A inicios de la Primera Guerra Mundial, Suiza fue el único país en la LMU que no imprimió más papel moneda. El mercado de divisas para el papel moneda en Francia, Bélgica e Italia se depreció frente al de Suiza, debido a que el papel moneda se cambió al tipo de cambio más favorable en monedas de plata, que luego se enviaron a Suiza para ser modificado, de vuelta al papel moneda suizo. En 1927, Bélgica y Suiza terminaron con el acuerdo sobre la aceptación mutua de monedas de oro como moneda de curso legal lo que provocó la finalización oficial del LMU.

Actualmente, en el Mercado de FOREX se tienen diferentes tipos de pares de acuerdo con los pares más operados y a las monedas seguras o mejor conocidas como “Safe haven”. En el grupo “The Majors” se encuentran las principales de acuerdo con las dos características antes mencionadas, como son el euro y el dólar estadounidense (EUR/USD), el dólar estadounidense y el yen japonés (USD/JPY), la libra esterlina y el dólar estadounidense (GBP/USD) y el dólar estadounidense y el franco suizo (USD/CHF). Los pares llamados commodities son aquellos considerados como altamente correlacionados a cambios en los precios de los commodities, dentro de ellos el dólar australiano (AUD) y el dólar de Nueva Zelanda (NZD) están influenciados por la actividad de los precios del oro principalmente.<sup>1</sup> El CAD (dólar canadiense) está relacionado al precio del petróleo. Estos pares tienden a ser muy líquidos y las economías de dichos países son muy estables.

El peso mexicano (MXN) por su parte es considerado como una economía de mercado emergente, sin embargo México es un país productor de petróleo, “en marzo 2018 Pemex

---

<sup>1</sup>Commodities son los bienes primarios o materias primas que tienen valor o utilidad y un nivel bajo de especialización, principalmente en metales y energía.

exportó un millón 191 mil barriles diarios, esta cantidad representa 47.7 por ciento del total del petróleo que se produce en México” (Milenio Noticias, 2018), por lo que el peso mexicano se encuentra en los pares commodities y es muy atractivo para los inversores por su liquidez en el mercado, es el tipo de cambio que se encuentra en el lugar octavo a nivel mundial, de acuerdo con la encuesta trienal del Banco de Pagos Internacionales (BIS por sus siglas en inglés), el par USD/MXN representó el 2.1 % de todo el volumen diario en el mercado de FOREX en el año 2016.

Es de suma importancia recalcar la relación directa que México tiene con Estados Unidos de América respecto al tipo de cambio, así como el Franco Suizo está altamente ligado al Euro, para esto hay que observar las actividades comerciales y políticas que conllevan dichos países, como exportaciones e importaciones, política monetaria, etc, de lo que más adelante hablaremos.

Para definir una moneda como segura, *safe haven currency*, diversas variables tienen que ser consideradas como el grado de flexibilidad de las monedas, la vulnerabilidad al riesgo país, tamaño y liquidez de los mercados financieros, aperturas financieras y de las monedas extranjeras, entre otras.

Para la última Crisis Financiera Global en 2007, un estudio realizado por Rasmus Fatum y Yohei Yamamoto (Fatum and Yamamoto, 2016) declara que las monedas más seguras son el Franco Suizo (CHF) y el Yen Japonés (JPY) durante los periodos de crisis y post-crisis en comparación del dólar estadounidense (USD), sin embargo ésta última moneda fue apreciada para dicha crisis.

Hoy en día una moneda que sigue siendo segura y muy atractiva para invertir, reportando alrededor de 100 mil millones nominal es el Franco Suizo. En septiembre de 2011, el Franco Suizo se depreció un 8 % por una decisión del Banco Nacional de Suiza (SNB) y desde entonces se ha mantenido arriba.

Ahora bien, hablemos de cómo a lo largo de la historia se han observado diversas variaciones en los tipos de cambio. Empecemos con la historia de una de las monedas más

emblemáticas del mercado, el Euro, dicha moneda data desde 1995 en la Conferencia de Madrid en donde los estados miembros de la Unión Europea acordaron la creación de una moneda única y común. El euro fue introducido en un principio como moneda para operaciones electrónicas contables en 1999, tres años más tarde se comienza a utilizar como moneda de curso legal, reemplazando a la antigua Unidad Monetaria Europea, conocida como ECU (European Currency Unit), dejaron de existir como sistemas monetarios independientes las monedas de once países de la Unión Europea: Alemania, Austria, Bélgica, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos y Portugal, además de otros países fuera de la UE, como Mónaco, San Marino y Ciudad del Vaticano, para el 2001 se incorpora Grecia.

Suiza por su parte no es miembro de la Unión Europea (UE), sin embargo ha adoptado una política de acercamiento hacia la Unión Europea, sus lazos han sido económicos principalmente a través de acuerdos bilaterales. “En 1972 Suiza firma un acuerdo de libre comercio con la Comunidad Europea (CE) para no quedar aislada del proceso de integración, pero sin comprometer así mismo, su soberanía” (Olmos, 2006, p.7). En 2001 se realiza un referéndum para la consulta de la integración de Suiza a la UE, a la cual el 76.6 % de votos fueron negativos a dicha propuesta, dejando en claro dos de los principales motivos: su interés nacional y su neutralidad.<sup>2</sup>

Esta investigación determina el tipo de evento que causa volatilidad en el Mercado de Divisas y cuál es su impacto en dicho mercado, principalmente para las monedas más seguras, como el Franco Suizo, Euro y Dólar estadounidense contra un par commodity, el peso mexicano. A través de un estudio estadístico detallado se concluye cual es el modelo que mejor ajusta los datos de las series de tiempo analizadas, con lo cual se incrementa la literatura e investigaciones previas en este tema basadas principalmente en un punto de vista económico, añadiendo resultados con un enfoque estadístico.

Una calibración robusta de modelos de series de tiempo se aborda en esta investigación con lo que es posible generar un pronóstico sólido para el tipo de cambio a corto plazo, partiendo de un análisis completo y detallado en el mercado de divisas bajo una perspec-

---

<sup>2</sup>[www.europa.admin.ch](http://www.europa.admin.ch), Ibidem

tiva a nivel económico.

Las series de tiempo tienen dos propósitos: comprender las fuerzas de influencia en los datos y descubrir la estructura que produjo los datos observados. Para esta investigación se analizan los datos en tres distintos periodos: pre-crisis, durante la crisis y post-crisis para mejores resultados, logrando así comprender la fuerza o impacto que generó en los datos del tipo de cambio (USD/MXN, EUR/MXN y CHF/MXN).

La tesis está organizada como sigue: en el capítulo 2 se mencionan las crisis financieras más relevantes que afectaron al mercado financiero global, así como una breve introducción a la política monetaria de los países considerados, Estados Unidos, Suiza, México y la zona de la Unión Europea. En el capítulo 3 se abordan los datos utilizados para el estudio y las principales estadísticas de cada par de moneda. El análisis del estudio de eventos general y por periodos de nuestra serie de datos se toca en el capítulo 4, se habla también más adelante del tipo de volatilidad involucrada, especulativa o real, así como un análisis fundamental para cada par de moneda considerada. En el capítulo 5 se explica los modelos a analizar, ARIMA-GARCH y los resultados de ellos en periodos y de manera general para los cruces con el MXN (USD/MXN, CHF/MXN y EUR/MXN). Por último en el capítulo 6 se encuentran los resultados del modelo de Regresión Lineal y del modelo ARIMA-GARCH, así como también se añade como parte de este capítulo forecasting y backtesting para los tres pares de monedas seleccionados.

# Capítulo 2

## Crisis Financieras

Las crisis financieras han existido desde mucho tiempo atrás, las cuales por medio de regulaciones en las instituciones financieras se ha reducido el riesgo de ocurrencia, pero no es posible predecir al 100 % donde será la próxima crisis y qué efecto tendrá globalmente.

Una crisis financiera ocurre cuando el sistema bancario colapsa y por consiguiente el sistema monetario. En la siguiente línea de tiempo se muestra las mayores crisis financieras que se dieron alrededor del mundo.

Tabla 2.1: Línea de tiempo de las principales Crisis Financieras

<b>1929</b> . . . . .	●	El crack del 29.
<b>1973</b> . . . . .	●	La crisis petrolera de 1973.
<b>1987</b> . . . . .	●	El lunes negro de 1987.
<b>1994</b> . . . . .	●	El error de diciembre (Efecto Tequila).
<b>1999</b> . . . . .	●	La crisis Argentina (el cacerolazo y corralito).
<b>2001</b> . . . . .	●	Enron, la aparición del fraude corporativo y el gobierno corporativo.
<b>2001</b> . . . . .	●	Ataque a las torres gemelas el 11 de septiembre.
<b>2007-2010</b> . . . . .	●	Gran Recesión.
<b>2008</b> . . . . .	●	Quiebra de Lehman Brothers.
<b>2009-2010</b> . . . . .	●	Crisis de la deuda en Europa.
<b>2010</b> . . . . .	●	Guerra de divisas y desequilibrios mundiales.

## 2.1. Crisis Financieras en el mundo

Describiremos brevemente las principales crisis anteriormente mencionadas para entender más acerca del tipo de evento y su efecto.

Para el siglo XX, la mayor crisis económica ocurrida fue la de 1929, “El mundo moderno nunca ha experimentado una crisis económica tan grande como la Gran Depresión” (Hill, 2012). Dicha crisis se origina en Estados Unidos afectando en gran parte a Europa y todo el mundo, data después de la Primera Guerra Mundial, con el Tratado de Versalles que deja a la economía de Alemania en muy mal estado, por lo que fue arrastrada significativamente a esta crisis.

Desde 1925 la economía de Estados Unidos había estado creciendo enormemente, siendo el país donde se supera la crisis de la post-guerra. La principal atracción para los inversionistas en ese momento, fue la Bolsa de Valores (Wall Street), la bolsa fue creciendo rápidamente y a pasos agigantados con la especulación de los inversores, sin tomar en cuenta el desarrollo real de la economía. Para 1928 se da la contracción de la industria de la construcción, quiebra de algunas empresas, el día jueves 24 de octubre de 1929 conocido como el Jueves Negro, se cae la Bolsa de Wall Street, 13 millones de acciones salen al mercado sin ser compradas, por lo que se genera un desajuste entre la oferta y la demanda que ocasiona que las acciones se desplomen y es así como comienza la crisis. En 1929 cerraron 642 bancos, en 1930 lo hicieron 1,345 y en 1931 2,298.

El Lunes Negro en 1987, comenzó en la Bolsa de Hong Kong extendiéndose rápidamente a los mercados internacionales, llegando a Wall Street, el día 19 de octubre de 1987 se produjo la que, hasta hoy día, ha sido la mayor caída intradía del índice Dow Jones, con una pérdida del 22.6 %, dicho índice había marcado su pico en agosto de este mismo año a 2,722 puntos. No sé tiene la certeza de las causas, analistas señalan a este ‘Crash’ como un ‘Cisne Negro’, un evento que tiene tres atributos según Nicholas Taleb en su libro *Black Swan*:

1. Se caracteriza por ser una parte atípica (outlier), es decir que nada en el pasado puede afirmar la posibilidad de ocurrencia.
2. Conlleva consigo un gran impacto.
3. A pesar de su condición de valor atípico, la naturaleza humana nos hace inventar explicaciones de su ocurrencia después del hecho, haciéndolo explicable y predecible. (Taleb, 2007)

Las distintas teorías que existen señalan algunas como causas de dicha crisis, una de ellas señala que fueron los programas informáticos de trading, sobre la sobrevaloración y la iliquidez del mercado y por último existe una más que dice ser resultado de una controversia en la política monetaria entre los países del G7, Estados Unidos puso restricciones con más rapidez que los europeos queriendo apuntalar el dólar, el crash se produjo cuando la Bolsa de Hong Kong, respaldada por el dólar, cayó y causó una crisis de confianza.

Una de las crisis más importantes de la historia surgió en 1994 en uno de los países emergentes, sin embargo llevaba un buen crecimiento económico, empresas calificadoras como S&P y Moody consideraban la posibilidad de otorgarle, como país, el grado de inversión (Dabat et al., 1994) para finales de ese año. Hablamos de México y la famosa crisis “Efecto Tequila”, a mediados de los años 90, se mantenía un tipo de cambio fijo con el dólar, fijado en torno a 3.4 pesos mexicanos por cada dólar, se contaba con dinero para acometer inversiones. Era el año electoral en 1994, estaba como presidente Carlos Salinas de Gortari, la demanda interna mexicana crecía y crecía, desajustando cada vez más la balanza comercial por el flujo de importaciones junto con el incremento en el saldo de Tesobonos (+83 % en 1994 con respecto al año anterior provocaron una venta masiva de estos instrumentos a nivel tanto nacional como internacional. Las reservas federales en divisas cayeron radicalmente, devaluando el peso mexicano hasta 7.2 vs 3.4. Los países latinoamericanos se vieron fuertemente afectados por dicha crisis, principalmente Argentina y Brasil. Ante el temor de que México no pudiera atender a los compromisos del Tratado de Libre Comercio de América del Norte y ante las caídas de las exportaciones de Estados Unidos, Bill Clinton autorizó una línea de crédito de 20 mil millones de dólares, sumándose también 17 mil millones de dólares del Fondo Monetario Internacional, 10 mil millones del BIS (Bank of International Settlements) y 3 mil millones de países como Canadá, Brasil y Argentina.

La siguiente crisis en la línea, es el caso Enron que ha sido de los más escuchados y emblemáticos en la historia de la Administración del Riesgo, es un claro ejemplo de como los sucesos menos probables ocurren, una vez más presente el anteriormente mencionado “Cisne Negro”. “La inhabilidad de predecir datos atípicos implica la inhabilidad de predecir el curso de la historia” (Taleb, 2007). Enron fue una compañía de energía líder en el mundo que durante cinco años fue catalogada por la Revista *Fortune* como la empresa más innovadora de América. Reportó un rápido crecimiento en sus ganancias y las acciones se triplicaron en tan sólo dos años. Todo esto traía consigo numerosas cifras maquilladas, donde Enron estaba presentando enormes pérdidas en su negocio de agua Azurix. La contabilidad “Mark-to-Market” de Enron para sus programas de operaciones e inventario hizo que su balance fuera volátil y las ganancias inciertas. Skilling meses después de ser CEO de la compañía, renuncia, lo que generó incertidumbre en el mercado

y crisis para Enron. En poco tiempo los bancos rechazaron más préstamos después de que la empresa anunciara que pasivos no revelados anteriormente, por un total de \$25 mil millones de dólares. Enron se declara en bancarrota el 2 de diciembre de 2001. En ese momento era la bancarrota más grande la historia de Estados Unidos, hasta que meses más tarde llega la bancarrota de WorldCom, otro escándalo financiero (Markham, 2015).

Finalmente, la crisis más grande de los últimos 15 años en la historia, la Gran Recesión, comienza en el verano de 2007 con el fracaso de los fondos de “Two Bear Stearns”, en el siguiente año fue aún peor, a pesar de los intentos del gobierno por detener que la crisis siguiera creciendo. Es universalmente conocida como la peor crisis económica desde la Gran Depresión de 1929 (Foster and Magdoff, 2009).

El banco suizo UBS es el primer banco de primer nivel en el mundo en anunciar el día 1 de octubre de 2007, pérdidas de \$3.4 mil millones de euros, de inversiones relacionadas con sub-prime. El presidente y jefe ejecutivo del banco renuncian. Más tarde, el gigante bancario Citigroup revela una pérdida relacionada con subprime de \$3.1 mil millones, quince días después, Citigroup se ve obligado a anotar otros \$5.9 mil millones.<sup>1</sup> En sólo seis meses, sus pérdidas declaradas ascienden a los \$40 mil millones.

Para enero 22 de 2008 la Reserva Federal de Estados Unidos reduce las tasas hasta 3.5 %, su mayor reducción en 25 años, para evitar que su economía cayera en una recesión, lo cual no fue impedimento para tal evento. Fue el primer corte de emergencia en las tasas desde 2001.

En abril, El Fondo Monetario Internacional (FMI), que supervisa la economía global, advierte que las posibles pérdidas por la crisis crediticia podrían alcanzar los \$1 mil millones y podrían ser incluso mayores, extendiéndose los efectos a otros sectores, como la propiedad comercial, el crédito al consumo y la deuda de la empresa.

El día 9 de Agosto de 2007, el banco más grande de Francia, BNP Paribas, detiene los reembolsos de tres fondos de inversión, les dice a los inversores que no podrán retirar

---

<sup>1</sup>Se refiere a acuerdos de crédito o préstamo para prestatarios con un historial de crédito deficiente, que suelen tener condiciones desfavorables, como tasas de interés altas.

dinero de sus fondos debido a una “evaporación completa de liquidez” en el mercado. El Banco Central Europeo inyecta 95 mil millones de euros al mercado bancario, añade otros 108.700 millones en los próximos días. La Reserva Federal de los Estados Unidos, el Banco de Canadá y el Banco de Japón también comienzan a intervenir. Ochos días después la FED (Reserva Federal) reduce la tasa a la que presta a los banco en medio punto porcentual a 5.75 %, advirtiendo que la crisis crediticia podría ser un riesgo para el crecimiento económico, reduciéndola nuevamente el día 18 de septiembre de 2007 a 4.75 %.

En Reino Unido se presenta también una fuerte crisis, para el 9 de septiembre la ONS revela que la producción manufacturera cayó un 0.2 % entre junio y julio, aumentando en gran medida el miedo hacia la recesión. Las ventas minoristas cayeron un 1 %, informó British Retail Consortium.<sup>2</sup>

Dos días después Lehman Brothers anuncia activamente ser vendido, después de reportar \$4 mil millones en pérdidas, para terminar por declararse en bancarrota el día 15 de septiembre de 2008, lo cual es un claro ejemplo de un “Cisne Negro”, ese evento que nadie creía probable que sucediera terminó por ocurrir. A consecuencia de la quiebra de esta empresa, Estados Unidos colapsó y por ende el resto de las economías desarrolladas.

En noviembre 19 de 2008 la primera economía moderna ha entrado oficialmente en una recesión. A última hora del domingo, la economía japonesa registró los resultados del PIB para el tercer trimestre según lo pronosticado del -0.1 %. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos pronosticó que el PIB japonés caerá un 0.1 % en 2009. La OCDE pronosticó que la economía de los Estados Unidos registrará una caída del 0.9 % y que la zona euro caerá un 0.5 %.

El día 1 de diciembre del mismo año, la recesión de Estados Unidos es confirmada por la Oficina Nacional de Investigación Económica.

---

<sup>2</sup>ONS (Office for National Statistics): Un departamento del gobierno de Reino Unido que recopila información sobre la sociedad y economía del país.

## 2.2. Política monetaria en Estados Unidos

La política monetaria es la disciplina de la política económica que controla los factores monetarios para garantizar la estabilidad de precios y el crecimiento económico. Está controlada por los bancos centrales para regular la economía. En el caso de Estados Unidos, una de las principales economías del mundo, miembro de la G7, se tiene a la Reserva Federal, la cual es independiente del gobierno. El principal objetivo de la política monetaria es controlar la inflación.

Ahora bien, para poder introducir un poco lo que es la política monetaria en Estados Unidos, es importante resaltar el papel fundamental a nivel internacional del dólar, dicha moneda alcanzó su punto máximo como divisa internacional en 1968 (Bergsten, 1990). La política monetaria internacional de los Estados Unidos ha tratado de mantener abierta la opción de un estándar mundial del dólar (Bergsten, 1990). Dicha política monetaria está totalmente vinculada a las opiniones tanto de los funcionarios gubernamentales como de los observadores externos con respecto a los roles internacionales del dólar, esto es a eventos fundamentales o decisiones de flujo.

Como anteriormente se mencionó el banco encargado de las decisiones políticas y monetarias del país es la Reserva Federal o comúnmente llamada Fed, fundada en 1913 con el propósito de reducir pánico, la Fed recibió el mandato de proporcionar a la sociedad uno de sus bienes públicos más básicos: un sistema de pagos sólido y eficiente. Para el año en que el Congreso aprueba la Ley de la Reserva Federal, diciembre de 2013, se estableció un nuevo conjunto de instituciones que rigen la relación entre los bancos y los mercados de crédito, y entre los bancos y el gobierno.

Antes de la creación de la Fed, no había agencia alguna del sector público encargada de administrar el sistema en tiempos de crisis y los recursos del sector privado a menudo resultaban inadecuados para la afrontar ciertos eventos de pánico (Brox, 1997).

Un anuncio de 2012 aclaró los objetivos a largo plazo y la estrategia subyacente al régimen de política, se especificó una tasa del 2 % para los aumentos de precios al consumidor como el objetivo a largo plazo para la política monetaria. Durante la crisis financiera mundial,

la Fed redujo la tasa de los fondos federales al piso; desde entonces, ha empleado medidas no convencionales para facilitar aún más las condiciones monetarias. Utilizó una guía extendida hacia adelante para anunciar su intención de mantener las tasas de interés a corto plazo más bajas por más tiempo de lo que se podría haber esperado (Yellen, 2016). Las compras de activos a gran escala, también conocidas como flexibilización cuantitativa, se utilizaron para eliminar la oferta de bonos del mercado, lo que redujo las primas a plazo y añadió liquidez al sistema financiero de forma más duradera. El efecto es una reducción en el rendimiento de los bonos más allá de la disminución en el promedio de las tasas cortas futuras esperadas (Adrian et al., 2018).

La Fed, por riesgo a una recesión, se ha visto presionado para recortar su tasa de interés, en los últimos dos meses realizó ya dos recortes de tasas de -25 puntos base cada uno, el pasado 30 de julio de 2019 pasó de una tasa de interés de 2.50% a 2.25% y el más reciente recorte sucedió el día 18 de septiembre de 2019 pasando de 2.25% a 2.00%.<sup>3</sup>

### 2.3. Política monetaria en la Unión Europea

La Unión Económica y Monetaria Europea (EMU, por sus siglas en inglés) data desde principios de 1999 (Ramaswamy and Sløk, 2014) y a raíz han surgido diversas opciones sobre cual es la mejor manera de conducir la política monetaria en la zona Euro. Una de ellas, es que el Banco Central Europeo (BCE) debía apuntar la inflación, al tipo de cambio, entre otros. Una segunda opinión se refiere a las diferencias en los efectos de cambios en la política monetaria de cada país miembro de la Unión Europea.

Recientemente los debates políticos se han centrado menos en cuestiones relacionadas con los efectos reales de la política monetaria en la UE que en la cuestión del marco adecuado para llevar a cabo la política monetaria en la zona euro (Ramaswamy and Sløk, 2014).

Fue en 2002 donde se lanza la moneda (euro) la cual es la segunda moneda más grande a nivel mundial, hablando en términos económicos, después del dólar americano. La zona euro representa alrededor del 15% del PIB mundial, con una población total de 292

---

<sup>3</sup>[www.investing.com](http://www.investing.com).

millones (Haan, 2016).

En la zona euro las decisiones políticas se basaban principalmente en la situación económica de Alemania. El *German Bundesbank* determinó la evolución monetaria en la mayor parte de Europa (Haan, 2016), era el banco encargado de la política monetaria europea.

La estrategia de política monetaria del Banco Central Europeo (BCE) consta de dos pilares, el primero se centra en el crecimiento del dinero, dado que la inflación a largo plazo se considera un fenómeno monetario, el Consejo de Gobierno del BCE ha anunciado un valor de referencia cuantitativo para el crecimiento del dinero. El segundo pilar se trata de una evaluación amplia tanto de la perspectiva con respecto a la evolución de los precios como de los riesgos para la estabilidad de precios en la zona euro como conjunto (Haan, 2016).

El Banco Central Europeo tiene los siguientes instrumentos monetarios a su disposición:

1. Una facilidad de depósito para eliminar la liquidez de los bancos a tasas por debajo de las tasas de mercado.
2. Un préstamo marginal o una facilidad de Lombard que proporciona liquidez a los bancos a tasas generalmente superiores a las tasas de mercado.
3. Operaciones de mercado abierto con una frecuencia fija y a plazo fijo para controlar y ajustar las tasas del mercado monetario a corto plazo.
4. Requisitos de reserva mínima cuyo nivel promedio se establece mensualmente con un servicio de promedio.

El Banco Central Europeo mantiene sin cambios desde el año 2016 su tasa de interés dejándola en 0.00% (-5pb), sin embargo debido a los recientes riesgos de recesión, el BCE por primera vez desde marzo de 2016 decidió el pasado 11 de septiembre de 2019 rebajar la tasa de interés de depósito (de -0.40 a -0.50 por ciento), esto con la finalidad de incitar a los bancos a prestar a las empresas y a las familias. <sup>4</sup>

---

<sup>4</sup>[www.investing.com](http://www.investing.com).

## 2.4. Política monetaria en Suiza

La política monetaria de Suiza, al igual que la de Estados Unidos, es independiente del gobierno. La principal interrogante aquí es, ¿por qué Suiza no es país miembro de la Unión Europea, ubicándose geográficamente en el centro de la zona europea?, existen diversas teorías en torno a esta pregunta, la más común y replicada, es por el hecho de que Suiza quería conservar su neutralidad. Sin embargo, se mantienen relaciones bilaterales con la zona europea.

La economía de Suiza está basada en actividades industriales como, la textil, química, farmacéutica y relojera. El mayor mercado comercial de Suiza está representado por los miembros de la Unión Europea, el 60 % de las exportaciones y el 80 % de las importaciones son provenientes de esta zona (Olmos, 2006).

En 1999 el Banco Nacional de Suiza (SNB por sus siglas en inglés) adoptó un nuevo marco de política monetaria, después de 25 años de focalización monetaria. Son tres elementos los que conllevan este nuevo marco, el primer elemento es una definición explícita de estabilidad de precios, la cual se logra si la inflación del IPC está por debajo del 2%, según la SNB, el segundo elemento se trata de un pronóstico de la inflación como indicador principal para la toma de decisiones de política monetaria. El último elemento es un rango objetivo para el *3M-Libor* como un objetivo operacional para implementar la política monetaria. (Jordan, Kugler, 2004)

La política monetaria implementada en el BNS difiere de los otros bancos centrales, el banco Suizo necesita flexibilidad en el Mercado de Dinero a fin de reaccionar al tipo de cambio y otros choques en periodos de corto plazo sin tener que declarar cambio en la Política Monetaria. Eligió un rango objetivo para el 3M-Libor en lugar de un objetivo puntual para la tasa nocturna, dicha tasa de interés a largo plazo no está directamente determinada por el BNS (Jordan and Kugler, 2004). Desde comienzos del año 2000 el Banco Nacional de Suiza utiliza subastas de recompra de tasa fija para controlar las tasas de interés de corto plazo del Franco Suizo.

El BNS decidió adoptar la misma definición de estabilidad de precios que el Banco Cen-

tral Europeo. Ahora equipara la estabilidad de precios con una tasa de inflación, medida por el IPC general, de menos del dos por ciento por año. El SNB expresa su definición en términos de un rango, en lugar de una sola cifra, debido a las dificultades para medir con precisión la tasa de inflación.

La tasa de interés por el Banco Nacional Suizo permaneció en  $-0.75\%$  este pasado 19 de septiembre 2019, dicha tasa se mantiene así desde el año 2015 que fue el último cambio realizado.<sup>5</sup>

## 2.5. Política monetaria en México

Desde la devaluación del peso en 1995 y el regreso a un entorno de alta inflación, el Banco de México perdió credibilidad, se cuestionaron dos razones, la primera fue la falta de transparencia en el manejo de la política monetaria y en la difusión de la información y en segunda razón la falta de capacidad para restringir la política monetaria antes, durante y después de la crisis (Carstens and Werner, 1999).

El Banco Central de México, bajo un régimen de tipo de cambio flotante, adquiere el control sobre la base monetaria, debido a que no tiene que sumar ni restar liquidez derivadas de las intervenciones obligatorias en el mercado de divisas, influyendo directamente en las tasas de interés y el tipo de cambio. Se aumentó hasta un  $100\%$  la tasa de financiamiento a un día para fines de marzo. Para mayo de 1995, el peso comenzó a apreciarse y las expectativas inflacionarias a caer, lo que llevó a una reducción en las tasas de interés nominales y reales. Esto, a su vez, mitigó el colapso de la actividad económica y evitó un mayor deterioro del sistema bancario.

Desde entonces con el régimen para un tipo de cambio flexible, donde las autoridades gubernamentales solo tienen lugar actuando de manera transparente y sin intenciones de beneficio particular, el tipo de cambio del peso mexicano ha estado flotando libremente, o dicho en otras palabras, no ha sido manipulado por el gobierno. Otro elemento

---

<sup>5</sup>[www.investing.com](http://www.investing.com).

importante implementado para aislar el mercado de divisas de grandes choques, es que el Banco de México ha estado actuando como contraparte del gobierno, así las reservas internacionales actúan como un “colchón” de los choques cambiarios.

Una vez pasada la crisis de 1995, México generó confianza otra vez a nivel macroeconómico, esto a razón de la implementación de políticas fiscales, monetarias y cambiarias consistentes, los programas implementados para reestructurar el sistema financiero y la acumulación de reservas internacionales por parte del Banco de México.

En la última década han ocurrido dos principales sucesos que marcaron el mercado de divisas para el peso mexicano, uno de ellos cuando el presidente Trump ganó en las elecciones el día 8 de noviembre de 2016 y durante el sexenio del ex-presidente de México, Enrique Peña Nieto, donde el peso pasó de \$12.962 MXN a \$20.453 MXN, llegando a su mínimo histórico el 11 de enero de 2017.

El Banco de México decide en diciembre de 2018 un aumento de Tasa de Interés Interbancaria a un día a un nivel de 8.25 % que representa 25pb (Banco de México, 2019a). La Junta de Gobierno del Banco de México decidió el 14 de agosto de 2019 recortar el objetivo para la Tasa de Interés Interbancaria a un día en 8.00 % (Banco de México, 2019b) (-25 puntos base).

### 2.5.1. Exportaciones e Importaciones de México

México es la novena mayor economía de exportación en el mundo y la economía más compleja 21 de acuerdo con el Índice de Complejidad Económica (ECI).<sup>6</sup> En 2017, México exportó \$418 billones e importó \$356 miles de millones, dando como resultado un saldo comercial positivo de \$62.6 miles de millones. Las principales exportaciones de México son: Computadoras (\$22.5 miles de millones) y Petróleo Crudo (\$19.5 miles de millones), de acuerdo a la clasificación del Sistema Armonizado (HS).

---

<sup>6</sup>ECI (Economic Complexity Index): Mide la intensidad del conocimiento de una economía considerando la intensidad del conocimiento de los productos que exporta (OEC rankings 2019).

Los principales destinos de las exportaciones de México son Estados Unidos con el 73 % (\$307 miles de millones), Canadá 5.2 % (\$22 miles de millones), China 2.1 % (\$8.98 miles de millones), Alemania 2.1 % (\$8.83 miles de millones) y Japón 1.3 % (\$5.57 miles de millones). Los principales orígenes de sus importaciones son Estados Unidos (\$181 miles de millones), China (\$52.1 Miles de millones), Alemania (\$14.9 miles de millones), Japón (\$14.8 miles de millones) y Corea del Sur (\$10.9 Miles de millones).<sup>7</sup>

México importa principalmente productos manufacturados (87 % del total de compras), como: productos metálicos, maquinaria y equipo (53 %), de los cuales automotrices (13 %); aparatos eléctricos y electrónicos (20 %); y equipos especiales para industrias diversas (15 %). Los productos derivados del petróleo representan el 10 % de las importaciones totales, especialmente derivados del petróleo y productos petroquímicos. Los bienes agrícolas representan el 3 %. Los principales socios de importación son: Estados Unidos (46 % del total de compras), China (18 %), Japón, Alemania y Corea del Sur (4 %). Las principales importaciones desde los Estados Unidos son: otras partes y accesorios de vehículos (8 % de las importaciones totales); aparatos eléctricos (7 %); Productos derivados del petróleo (6 %) y accesorios de computadora (6 %).<sup>8</sup>

Las importaciones a México cayeron un 0.5 % interanual a 37,531 millones de dólares en marzo de 2019, debido a una menor compra del consumo (-4.6 %), a saber, sin petróleo (-4.6 %) y gasolina, butano y gas propano (-4.5 %). Por otro lado, las compras aumentaron para bienes intermedios (0.1 %) y capital (0.2 %). Las importaciones en México promediaron 14,458.83 millones de dólares desde 1980 hasta 2019, alcanzando un máximo histórico de 44,288.19 millones de dólares en octubre de 2018 y un mínimo histórico de 647.02 millones de dólares en enero de 1983.<sup>9</sup>

---

<sup>7</sup><https://atlas.media.mit.edu/es/profile/country/mex/>

<sup>8</sup>Información del último valor reportado para Importaciones de México actualizado por última vez en mayo de 2019, sitio web: <https://tradingeconomics.com/mexico/imports>

<sup>9</sup>Información obtenida del sitio web Trading Economics: <https://tradingeconomics.com/mexico/imports>

# Capítulo 3

## Datos

Nuestro análisis emplea datos diarios de las posibles combinaciones en los tipos de cambio de tres de las principales monedas: Franco Suizo, Dólar estadounidense y Euro, así como un commodity par que es el peso mexicano. El conjunto de datos abarca desde el día 15 de julio de 2003 hasta el día 11 de diciembre de 2018 para los pares USD/CHF, USD/EUR, USD/MXN, CHF/EUR, CHF/MXN y EUR/MXN. Dichas fechas se eligen para observar los eventos ocurridos antes, durante y después de la crisis más grande y polémica de la última década, la llamada Gran Recesión que abarca los años 2007 a 2011, la cual se analiza en el segundo periodo de nuestras series de tiempo, comenzando con el día 7 de febrero de 2007 cuando el banco HSBC anuncia pérdidas relacionadas con las hipotecas de alto riesgo de Estados Unidos y termina con la fecha 29 de noviembre de 2011 cuando la OCDE advirtió que la eurozona y el Reino Unido podrían estar entrando en una recesión, y se recortó su pronóstico de crecimiento global (Guillen, 2012). El primer periodo considerado, abarca del día 15 de julio de 2003 al 6 de febrero de 2007, y para el último periodo tomado, se tienen los días 30 de noviembre de 2011 al 11 de diciembre de 2018. Los datos fueron obtenidos de la plataforma Reuters.<sup>1</sup>

Existen dos tipos de series de tiempo de acuerdo con sus características, aditiva y multiplicativa, nuestras series de tiempo se dividirán en periodos para analizarlos por separado, donde observaremos que cada periodo posee propiedades distintas por lo que cambia de ser aditiva a multiplicativa y viceversa.

---

<sup>1</sup>Thomson Reuters es una plataforma fuente de datos original utilizada por el Fondo Monetario Internacional (IMF). <https://www.thomsonreuters.com>.

Una serie aditiva es aquella donde los componentes se suman para hacer la serie de tiempo. Si tiene una tendencia a la alza, todavía ve aproximadamente el mismo tamaño de picos y valles en todas las series de tiempo, es decir que sus cambios permanecen relativos o constantes, para el caso del tipo de cambio, es una serie que prevalece con baja volatilidad. En cambio, una serie de tiempo multiplicativa es donde los componentes se multiplican para hacer la serie de tiempo. Si tiene una tendencia creciente, la amplitud de la actividad estacional aumenta, su volatilidad será alta y se encuentran en ella picos que sobrepasan las resistencias o soportes trazados en la serie.

Se muestran a continuación los principales datos estadísticos para cada uno de los pares USD/MXN, EUR/MXN y CHF/MXN, para cada uno de ellos se tiene la media, la mediana, el mínimo, el máximo y el primer y tercer cuantil del tipo de cambio para el periodo general de estudio y para cada uno de los tres periodos. Como se describió anteriormente, el periodo general (“General”) va de 15/07/2003 a 11/12/2018. Los tres subconjuntos son de 15/07/2003 a 06/02/2007 (Periodo 1), 07/07/2007 a 29/11/2011 (Periodo 2) y 30/11/2011 a 11/12/2018 (Periodo 3). Además, el número de datos  $N$  para cada conjunto se presenta al final de la tabla.

### **3.1. Los tipos de cambio USD/MXN, CHF/MXN y EUR/MXN**

La tabla 3.1 muestra el tipo de cambio entre el dólar americano y el peso mexicano. El periodo general contiene 4021 datos obtenidos de Reuters como anteriormente mencionamos. Para este periodo, observamos que la media resulta alrededor de 13.61, la cual está por arriba de la mediana de 12.87. Los valores máximo y mínimo son 21.95 y 9.92 respectivamente, lo cual marca una gran desviación entre ambos datos. Además, el primer y el tercer cuantil no son cercanos a los valores mínimo y máximo, expresando variaciones importantes durante el periodo general. Basándonos en las 905 primeras observaciones, el Periodo 1 (15/07/2003 a 06/02/2007) arroja una media de 11.02 y una mediana de 11.00. Las estadísticas descriptivas relevan que este periodo se caracteriza por una baja variación, ya que observamos un mínimo y máximo cercanos, (10.35 y 11.64 respecti-

vamente). Para el segundo periodo (07/07/2007 a 29/11/2011), tenemos como primer y tercer cuantil valores de 10.83 y 11.64. Las 1 255 observaciones de este periodo presentan una mayor variación. La media es de 12.12 y la mediana de 12.30. Mientras que los valores mínimo y máximo marcan una diferencia alta, obteniendo 9.92 como valor mínimo y 15.38 como máximo. Finalmente, el último periodo (30/11/2011 a 11/12/2018) contiene 1 835 datos y es además caracterizado por una variación significativa, por la divergencia presentada en los valores, como valor mínimo 11.99 y como máximo 21.95. La media es relativamente mayor a los demás periodos con un valor de 15.93, lo que nos indica claramente un tendencia alcista y depreciación para este par en los últimos 15 años.

Tabla 3.1: Estadísticas en el tipo de cambio USD/MXN

	General	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
Media	13.61	11.02	12.12	15.93
Mediana	12.87	11.00	12.30	15.46
Min	9.92	10.35	9.92	11.99
1er cuantil	11.13	10.83	10.94	13.09
3er cuantil	14.93	11.24	13.06	18.63
Max	21.95	11.64	15.38	21.95
Fecha inicio	15/07/2003	15/07/2003	07/07/2007	30/11/2011
Fecha final	11/12/2018	06/02/2007	29/11/2011	11/12/2018
N	4 021	905	1 255	1 835

Siguiendo con las estadísticas presentadas, tenemos los resultados en la Tabla 3.2 para el par CHF/MXN. Obteniendo conclusiones muy similares como en el caso del análisis en USD/MXN. El periodo general muestra una mayor variación para los datos generales. El valor mínimo es de 7.53 mientras que el valor máximo alcanza el 21.75. En promedio, el tipo de cambio fue de 13.29. Durante el primer periodo se muestra baja volatilidad o poca alteración en el mercado. Para dicho periodo la media fue de 8.77. En contraste, el segundo y tercer periodo tienen alta volatilidad. En el periodo 2, el valor mínimo del tipo de cambio es de 8.67 mientras que el máximo es de 16.83, para el tercer periodo se muestran valores de 12.59 y 21.75 como mínimo y máximo respectivamente.

Tabla 3.2: Estadísticas en el tipo de cambio CHF/MXN

	General	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
Media	13.29	8.77	11.61	16.62
Mediana	13.02	8.80	12.03	16.51
Min	7.53	7.53	8.67	12.59
1er cuantil	9.34	8.43	9.91	14.30
3er cuantil	15.66	9.10	12.81	19.01
Max	21.75	9.92	16.83	21.75
Fecha inicio	15/07/2003	15/07/2003	07/07/2007	30/11/2011
Fecha final	11/12/2018	06/02/2007	29/11/2011	11/12/2018
N	4 021	905	1 255	1 835

Finalmente, el EUR/MXN como último par que involucra el peso mexicano (ver tabla 3.3). Observaciones son muy similares a las tablas anteriormente analizadas, por lo que no se ahondará más en detalles. Puedes encontrar los tipos de cambio USD/EUR, CHF/EUR y USD/CHF en el apéndice B para completar la información en los otros pares. Debido a que esta tesis se enfoca principalmente en los cruces con el la moneda MXN, se decidió no mostrarle en texto principal.

Tabla 3.3: Estadísticas en el tipo de cambio EUR/MXN

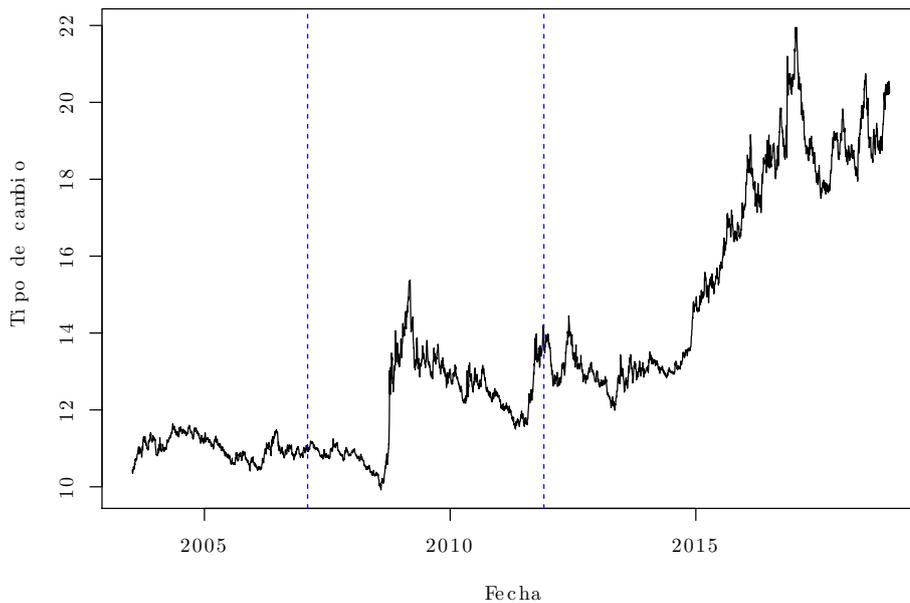
	General	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
Media	17.13	13.65	16.85	19.08
Mediana	16.91	13.80	16.65	18.10
Min	11.57	11.57	14.23	15.70
1er cuantil	14.87	13.09	15.90	17.11
3er cuantil	18.60	14.19	18.04	21.05
Max	24.27	15.31	20.02	24.27
Fecha inicio	15/07/2003	15/07/2003	07/07/2007	30/11/2011
Fecha final	11/12/2018	06/02/2007	29/11/2011	11/12/2018
N	4 021	905	1 255	1 835

## 3.2. Gráficos de tipo de cambio USD/MXN, CHF/MXN y EUR/MXN

En esta sección, se presentan ilustraciones gráficas de los tipos de cambio de USD/MXN, CHF/MXN y EUR/MXN. Para más detalles, reportamos adicional para los pares USD/EUR, USD/CHF y CHF/EUR en el Apéndice B.

En las figuras 3.1 a 3.3, mostramos los tipos de cambio de USD/MXN, CHF/MXN y EUR/MXN, respectivamente. Para cada figura, distinguimos los tres periodos introducidos en las secciones previas (ver tablas 3.1 a 3.3 en sección 3.1). Observando el par USD/MXN, el primer periodo es el más estable en los tres tipos de cambio. El tipo de cambio de USD/MXN permanece constante hasta 2008, donde notamos claramente un incremento considerable de 10 a alrededor de 16 pesos mexicanos por un dólar americano. Siguiendo este cambio, notamos una alta volatilidad en el tipo de cambio. Primero, cae progresivamente a 12 pesos mexicanos por un dólar hasta que nuevamente aumenta en el segundo semestre del año 2011. Sin embargo, el cambio observado más importante es en el tercer periodo en 2015 un importante salto en el tipo de cambio alcanza los 22 pesos

Figura 3.1: Gráfica del tipo de cambio USD/MXN.



mexicanos por un dólar, mostrando una alta devaluación del peso.

En la figura 3.2, el principal patrón es similar al observado en la figura previa. Sin embargo, el análisis de la gráfica indica que el tipo de cambio CHF/MXN presenta más volatilidad que USD/MXN en el primer periodo. Además, mientras el primer brinco en el segundo periodo ocurre en la misma fecha que para USD/MXN, el segundo brinco dentro del mismo periodo es mayor en importancia y una de las razones principales fue la política monetaria en Suiza en respuesta a la tendencia global de la economía. Finalmente, el último periodo es nuevamente el que muestra la mayor volatilidad presentando el tipo de cambio de 22 pesos mexicanos por un franco suizo.

Figura 3.2: Gráfica del tipo de cambio CHF/MXN.



La figura 3.3 muestra que el par EUR/MXN destaca las similitudes existentes entre el Franco Suizo y el Euro, debido a la cercanía y acuerdos económicos de ambas zonas. De hecho, los movimientos observados en la curva son casi idénticos a la observada en el par CHF/MXN.

Graficamos a continuación el precio spot de tipo de cambio de los distintos pares de divisas seleccionados, con sus respectivas divisiones en periodos de tiempo. Es importante

hacer hincapié en el tipo de tendencia que presentan dichas gráficas, por ejemplo el MXN contra los tres pares muestra siempre una tendencia alcista, lo que significa una evidente devaluación del peso respecto a los principales pares de divisas, creciendo casi constantemente. Para el caso del EUR, observamos que contra el CHF se ha visto en momentos de crisis, contra el USD vemos el mismo efecto de apreciación del franco suizo, lo que nos indica que en los últimos 15 años, Suiza ha sido una economía estable y segura respecto a los dos principales pares, dejándola como el par más seguro de estas cuatro distintas economías. En cuanto al euro y el dólar americano, su gráfica muestra una alta volatilidad, sin embargo no indica una tendencia fija.

Figura 3.3: Gráfica del tipo de cambio EUR/MXN.



# Capítulo 4

## Modelo

Como se mencionó en el capítulo anterior y como se han presentado los resultados, se tiene que para cada periodo de tiempo el tipo de serie, aditiva o multiplicativa difiere según su distribución, así cuando los datos se comportan como una distribución Normal la serie es aditiva, y será multiplicativa cuando tenga características de otra distribución, como t-Student, ahondaremos en ello en este capítulo.

Antes que aplicar cualquier modelo a nuestra serie de tiempo, es necesario preparar nuestros datos, es decir, aplicar procesos para un mejor análisis. Para este tipo de datos, la serie de tiempo debe ser estacionaria, ya que si la distribución fuese Normal pero no estacionaria, en cada instante de tiempo habría que parametrizar su media, varianza y covarianzas, en cambio si ésta fuera estacionaria, basta con parametrizar la media y la función de covarianzas, con sólo  $n + 1$  parámetros (Hamilton, 2010). La idea de transformar una serie no estacionaria a estacionaria considerando su serie de cambio se le llama *diferenciación*, este proceso normalmente se realiza a las series de tipo financieras, debido a que las series de precios normalmente no son estacionarias, pero la serie de sus rendimientos lo es. Dicho tipo de series puede ser modelada por un proceso  $ARIMA(p,d,q)$  que se explica en la siguiente sección.

La estacionariedad obedece a que la distribución conjunta sea invariante a través del tiempo, para las series de tipo financieras es común asumir que los rendimientos tienen estacionariedad débil, sin embargo como se mencionó en el párrafo anterior los datos en precio spot no son estacionarios, se muestra en la figura 4.1, donde los datos tienden

a oscilar alrededor de una media constante y la variabilidad con respecto a esa media también permanece constante en el tiempo (Villavicencio, 2010).

## 4.1. Modelo de Series de Tiempo

En el análisis de una serie de tiempo, primero tenemos acceso a diferentes propiedades. Se deben conocer y describir las diferentes características antes de iniciar un modelo de series de tiempo (Hamilton, 1994; Bockwell and Davis, 2002). Básicamente son cuatro los componentes que definen una serie de tiempo. Se puede descomponer en (1) un efecto estacional, (2) una tendencia, (3) un efecto cíclico y (4) los residuales. La combinación de estos cuatro elementos nos dirigen principalmente a dos tipos de series de tiempo, aditiva y multiplicativa.

Los modelos de tipo aditivo implícitamente asumen que cada componente afectará aditivamente la serie de tiempo (Snyder, 1982), en otras palabras no habrá cambios bruscos y de mayor impacto en dicha serie. Estos modelos asumen que la amplitud del efecto estacional es la misma cada año. En este tipo de series de tiempo, los residuales son aproximadamente del mismo tamaño a lo largo de la serie de tiempo. El componente de los modelos aditivos puede describirse como sigue:

$$Datos = Estacional + Tendencia + Ciclo + Residual. \quad (4.1)$$

En los modelos de tipo multiplicativo, los componentes suponen entrar de forma multiplicativa a la ecuación. En tal modelo, las diferencias absolutas son menos relevantes que la diferencia relativa. Por lo tanto, cada componente actúa proporcionalmente en la serie de tiempo.

$$Datos = Estacional \times Tendencia \times Ciclo \times Residuales, \quad (4.2)$$

tomando el algoritmo nos lleva a

$$\log(Datos) = \log(Estacional) + \log(Tendencia) + \log(Ciclica) + \log(Residual). \quad (4.3)$$

Sabiendo de la importancia de los tipos de series de tiempo para ajustar el modelo, es

importante mencionar que solo las series de tiempo estacionarias pueden apropiadamente ser modeladas por un modelo ARIMA (ver siguiente sección) de ahí lo relevante de considerar los rendimientos de los precios. La terminología estacionaria es usada para caracterizar las series donde la media y varianza no divergen significativamente a través de los periodos (Whittle, 1953). En nuestro caso, decidimos analizar los rendimientos en lugar del precio spot, debido a que éste último no llega a ser del tipo estacionario.

#### 4.1.1. Modelo regresión lineal

La regresión lineal es el modelo más básico para el análisis de datos, la cual consiste en encontrar la línea recta que mejor se ajuste a dicha serie. La idea general de la regresión lineal es examinar dos cosas, si el conjunto de variables predictoras es correcto para predecir una variable dependiente de la variable de resultado, y para saber qué variables en particular son predictores significativos de la variable de resultado y de qué manera impactan dicha variable. Estas estimaciones de regresión se utilizan para explicar la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Su fórmula es:

$$y = a + bx \tag{4.4}$$

donde  $y$  es puntuación estimada de la variable dependiente,  $a$  es la constante,  $b$  el coeficiente de regresión y  $x$  la puntuación en la variable independiente.

#### 4.1.2. Modelos ARMA y ARIMA

Existen dos tipos de modelos que dominan en el modelar una serie de tiempo. Ellos son los modelos ARMA y ARIMA (Adhikari and Agrawal, 2013). Vienen de la combinación de los modelos *Autorregresivos* (AR) y las *Medias Móviles* (MA) (Hipel and McLeod, 1994, Box et al., 2015). Los modelos AR son representaciones de procesos aleatorios especificando que la variable de salida es linealmente dependiente de su propia historia previa. Los modelos MA especifican que la variable de salida depende linealmente del último registro, pero este suaviza la serie tomando un promedio de los valores actuales y los definidos previamente.

Los modelos ARMA combinan la metodología de autorregresión y las medias móviles de

acuerdo a proponer un ajuste lineal para extraer lo estacional, la tendencia, los ciclos y el componente residual de la serie de tiempo. Esto puede ser caracterizado usando la siguiente fórmula:

$$(1 - \sum_{k=1}^p \alpha_k L^k) Y_t = (1 + \sum_{k=1}^q \beta_k L^k) \varepsilon_t \quad (4.5)$$

Sea  $Y_t := (1 - L)^d X_t$ . Donde  $Y_t$  es un modelo ARMA( $p, q$ ) y  $X_t$  es obtenido de  $Y_t$  por las integraciones sucesivas  $d$ .

Los primeros modelos a analizar son los de tipo ARIMA( $p, d, q$ ), media móvil autorregresiva integrada, donde el parámetro AR( $p$ ) es el proceso autorregresivo, MA( $q$ ) el de medias móviles y el parámetro I( $d$ ) se refiere al proceso de diferenciación, donde  $d$  es el número de diferencias no estacionales necesarias para la estacionariedad (Enders, 1988; Tseng et al., 2001). Un modelo ARIMA tiene una memoria fuerte porque los coeficientes de  $\Psi_i$  en su representación de MA no disminuyen con el tiempo hasta cero, lo que implica que el impacto pasado en  $a_{t-i}$  del modelo tiene un efecto permanente en la serie (Christie-David, 2002).

### 4.1.3. Modelos ARCH y GARCH

El primer modelo que genera un marco sistemático para el modelo de volatilidad en una serie de tiempo es el modelo ARCH de Engle (1982). La idea fundamental de este modelo es que el rendimiento medio corregido de los precios no está correlacionado en serie, pero es dependiente, y además la dependencia de  $a_t$  se puede describir mediante una función cuadrática simple de sus valores rezagados (Christie-David, 2002).

El modelo ARCH( $m$ ) asume que:

$$a_t = \sigma_t \varepsilon_t, \sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2 + \dots + \alpha_m a_{t-m}^2 \quad (4.6)$$

donde  $\varepsilon_t$  es una secuencia de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (iid) con media cero y varianza 1,  $\alpha_0 > 0$ ,  $\alpha_i \geq 0$  para  $i > 0$ .

Sin embargo, se presentan ciertas debilidades para este modelo, principalmente para las series de tiempo financieras, ya que asumen el mismo efecto en la volatilidad tanto para

“choques” positivos como para negativos, además no proporciona ninguna información nueva para comprender la fuente de las variaciones en este tipo de series.

Para 1986, Bollersllev propone una extensión como la generalizada de un modelo ARCH, que es el GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroscesticity), es decir, es un modelo ARCH de orden infinito. Este modelo agrega el elemento de heterocedasticidad, lo que quiere decir que la varianza de los errores no es constante en todas las observaciones realizadas. La series de tiempo de tipo financieras presentan esta característica, por lo que este tipo de modelo es el más común y empleado para el pronóstico de volatilidad.

El modelo GARCH( $m,s$ ) obedece la siguiente fórmula, sea  $a_t = r_t - \mu_t$  la media corregida de rendimiento, entonces  $a_t$  sigue el modelo si

$$a_t = \sigma_t \epsilon_t, \sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=0}^m \alpha_i a_{t-1}^2 + \sum_{j=1}^s \beta_j \sigma_{t-j}^2 \quad (4.7)$$

donde tenemos otra vez  $\epsilon_t$  como la secuencia de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas con media 0 y varianza 1,  $\alpha_0 > 0$ ,  $\alpha_i \geq 0$ ,  $\beta_j \geq 0$ , y  $\sum_{i=1}^{\max(m,s)} (\alpha_i + \beta_i) < 1$ . Para este caso  $\alpha_i = 0$  para  $i > m$  y  $\beta_j = 0$  para  $j > s$ . La restricción de  $(\alpha_i + \beta_i)$  implica que la varianza incondicional de  $a_t$  es finita, mientras que su varianza condicional  $\sigma_t^2$  evoluciona con el tiempo. Con frecuencia  $\epsilon_t$  asume ser una distribución normal estandarizada o una distribución t-Student estandarizada.

# Capítulo 5

## Análisis del estudio de eventos

Para analizar los eventos durante la historia se utilizarán las series de tiempo, primero se requiere observar qué tipo de serie de tiempo es, en este caso, por hablar de un mercado financiero es una serie de tipo financiera, por lo que se procede a analizar la serie de tiempo de los rendimientos en lugar de los precios del tipo de cambio. Esto, por dos simples razones, Campbell, Lo y MacKinlay (1997) dicen que, para los inversionistas la devolución de un activo (tipo de cambio) es un resumen completo de una oportunidad de inversión, y además las series de rendimientos son más fáciles de manejar que las series de precios debido a que las primeras tienen estadísticas más atractivas.

Por ejemplo, para el par USD/MXN observaremos y comprobaremos por medio del test de Dickey-Fuller Aumentado que la serie de rendimientos resulta ser una serie estacionaria y además tiene raíz unitaria, mientras que la serie del tipo de cambio no.

El test de raíz unitaria emplea los siguientes modelos:

$$p_t = \phi_1 p_{t-1} + e_t, \quad (5.1)$$

y

$$p_t = \phi_0 + \phi_1 p_{t-1} + e_t, \quad (5.2)$$

donde  $p_t$  es el precio log,  $e_t$  denota el término error, y considerando la hipótesis nula  $H_0 : \phi_1 = 1$  versus la hipótesis alternativa  $H_a : \phi_1 < 1$ . Un estadístico de prueba conveniente es la relación t de la estimación de mínimos cuadrados (LS) de  $\phi_1$  bajo la

hipótesis nula. El método LS está dado por:

$$\hat{\phi}_1 = \frac{\sum_{t=1}^T p_{t-1}p_t}{\sum_{t=1}^T p_{t-1}^2}, \hat{\sigma}_e^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (p_t - \hat{\phi}_1 p_{t-1})^2}{T - 1}, \quad (5.3)$$

donde  $p_0 = 0$  y  $T$  es el tamaño de muestra. La proporción  $t$  es:

$$DF \equiv t - ratio = \frac{\hat{\phi}_1 - 1}{std(\hat{\phi}_1)} = \frac{\sum_{t=1}^T p_{t-1}e_t}{\hat{\sigma}_e \sqrt{\sum_{t=1}^T p_{t-1}^2}}, \quad (5.4)$$

siendo  $DF$  el test de Dickey-Fuller.

El test de Dickey-Fuller Aumentado, es usado para el conjunto de modelos de series de tiempo más grandes y complicados que los de Dickey-Fuller. El estadístico ADF (Augmented Dickey-Fuller) es un número negativo, entre más negativo sea el rechazo a la hipótesis nula quiere decir que la existencia de una raíz unitaria al mismo nivel de confianza es más fuerte.

A continuación se muestran los resultados del test de ADF para USD/MXN:

Tabla 5.1: Test de Dickey-Fuller Aumentado para USD/MXN spot

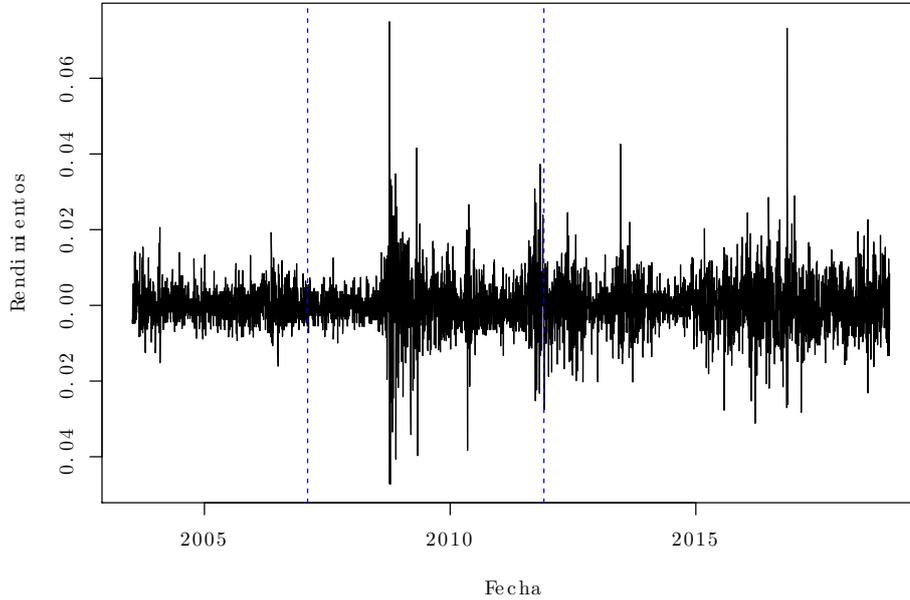
	General	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
Dickey-Fuller	-2.177	-3.380	-1.686	-2.814
Lag order	15	9	10	12
p-value	0.503	0.057	0.711	0.234

Nota: Hipótesis Alternativa: estacionaria.

El p-value resulta ser mayor que 0.05, por lo cual no se rechaza la hipótesis nula que determina que la serie de tiempo tiene raíces unitarias, lo que quiere decir es que es una serie no estacionaria, estos datos son del tipo de cambio USD/MXN en spot, sin rendimientos.

Graficamos los rendimientos del tipo de cambio para USD/MXN:

Figura 5.1: Gráfica de los rendimientos del tipo de cambio USD/MXN.



A simple vista se observa una serie de tiempo estacionaria, esto quiere decir, que la distribución conjunta de los rendimientos  $(r_{t_1}, \dots, r_{t_k})$  es invariante con el cambio del tiempo. Mostramos los resultados del test de Dickey-Fuller Aumentado.

Tabla 5.2: Test de Dickey-Fuller Aumentado para rendimientos en USD/MXN

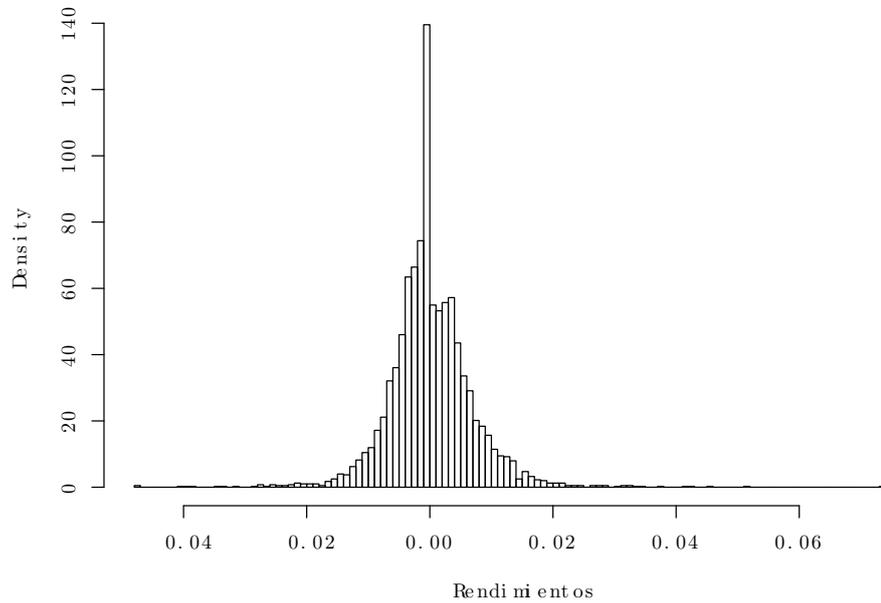
	General	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
Dickey-Fuller	-15.243	-10.486	-10.251	-11.492
Lag order	15	9	10	12
p-value	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Nota: Hipótesis Alternativa: estacionaria.

El test de Dickey-Fuller Aumentado arroja un p-value <0.01, el cual es menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula, probando que es una serie estacionaria.

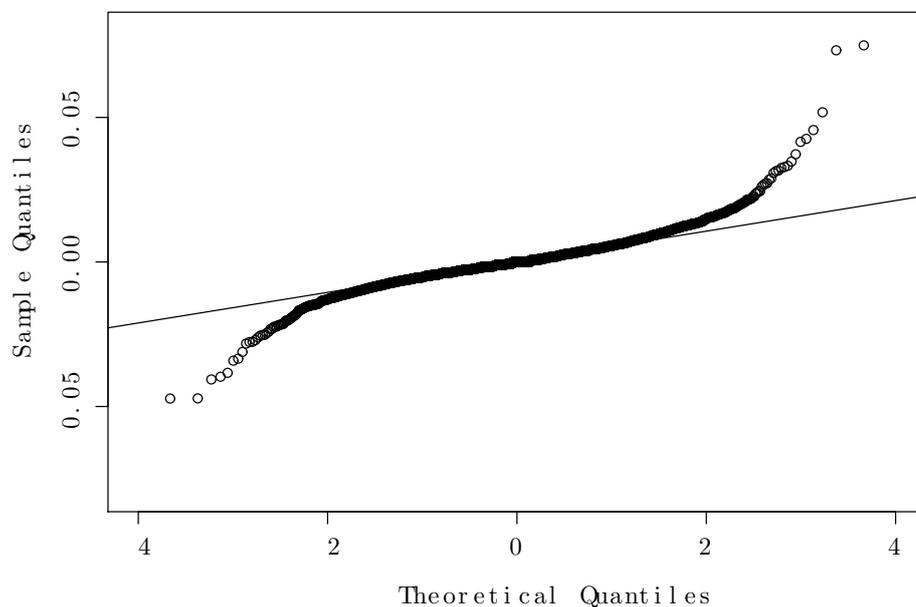
Procedemos a graficar el comportamiento de los datos a través de un histograma.

Figura 5.2: Histograma de los rendimientos de USD/MXN



La gráfica nos muestra a simple vista que nuestra serie de datos no se comporta en su totalidad como una distribución normal, observando cola derecha, para visualizar más a detalle dicha distribución procederemos a graficar la Q-Q Normal.

Figura 5.3: Gráfica Q-Q Normal USD/MXN

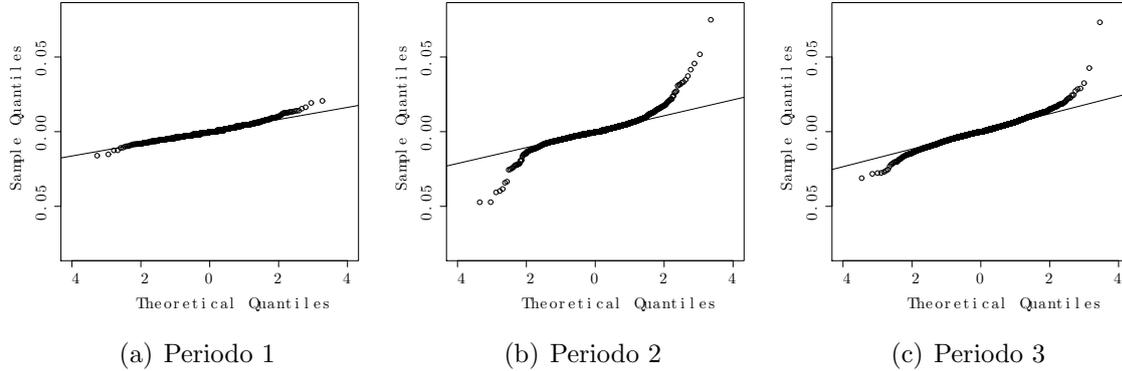


Se obtiene en dicha gráfica los puntos a lo largo de la línea recta en el centro del gráfico, pero las extremidades no presentan este mismo comportamiento, lo que quiere decir, que los datos tienen valores más extremos de lo que se esperaría en una distribución Normal, dicho de otra manera, tiene colas pesadas a diferencia de la distribución Normal, lo que nos indica que se distribuye más como una distribución t-Student.

Para analizar los eventos ocurridos durante el periodo de tiempo tomado, se observarán los resultados de los tres periodos elegidos, veamos primero el comportamiento de los datos en cada periodo con la gráfica Q-Q Normal.

Se puede observar en las gráficas que cada periodo de tiempo difiere del otro, por ejemplo, para el periodo 1 que abarca del día 15 de julio de 2003 al 6 de febrero de 2007, se observa una gráfica con datos que se comportan más como una distribución normal con la característica de que está ligeramente “sesgado a la derecha”, lo que significa que la mayoría de los datos se distribuyen en el lado izquierdo con una “cola” de datos que se extiende hacia la derecha. El segundo periodo muestra “colas” pesadas en ambos extremos, que se comporta más como una distribución t-Student. En el periodo 3 vemos otro ejemplo de colas

Figura 5.4: Gráfica del tipo de cambio para los periodos 1, 2 y 3 por USD/MXN.



pesadas que a diferencia del segundo periodo, aquí los datos no son tan extremos aunque su comportamiento es más una distribución t-Student que una distribución Normal con sesgo a la derecha. Anexo a continuación las distribuciones tanto Normal como t-Student:

Función de densidad de una distribución Normal:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (5.5)$$

donde  $-\infty < x < +\infty$ .

Función de densidad de una distribución t-Student:

$$f(x) = \frac{\Gamma(\frac{n+1}{2})}{\Gamma(\frac{n}{2})\sqrt{\pi n}} \left[1 + \frac{x^2}{n}\right]^{-\frac{(n+1)}{2}} \quad (5.6)$$

siendo  $n$  los grados de libertad que actúan de parámetro y  $\Gamma$  la función Gamma de Euler.

Para medir la dependencia de las variables, es decir, que dentro de una serie de tiempo los valores que toma una variable en el tiempo depende de los valores anteriores, en ocasiones ocurre que los valores son independientes entre sí, por lo que se aplicará la función de autocorrelación de los rendimientos en el par USD/MXN con el fin de medir la correlación entre dos variables separadas por  $k$  periodos (Introducción a Series de Tiempo, Villavicencia John). A continuación la fórmula de la función de autocorrelación (ACF):

$$\rho_j = \text{corr}(X_j, X_{j-k}) = \frac{\text{cov}(X_j, X_{j-k})}{\sqrt{V(X_j)}\sqrt{V(X_{j-k})}} \quad (5.7)$$

Figura 5.5: Función de autocorrelación de los rendimientos de USD/MXN

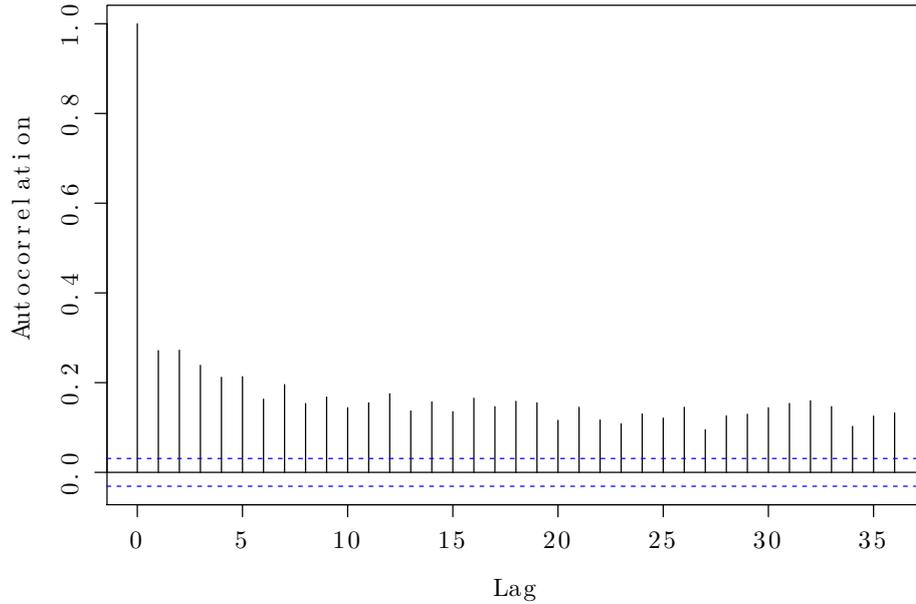
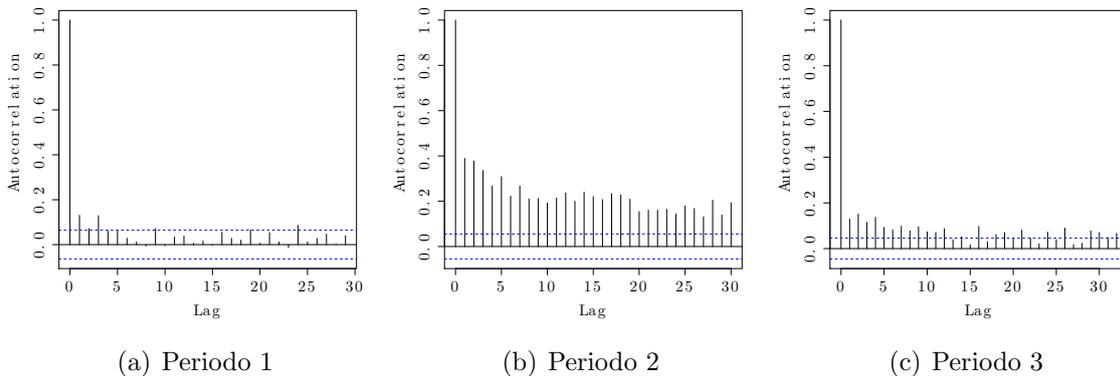


Figura 5.6: Función de autocorrelación de los rendimientos de USD/MXN para los periodos 1, 2 y 3.



Se obtiene la función de autocorrelación para el periodo general de USD/MXN así como cada periodo de este par.

Los correlogramas presentados muestran información importante para determinar el tipo

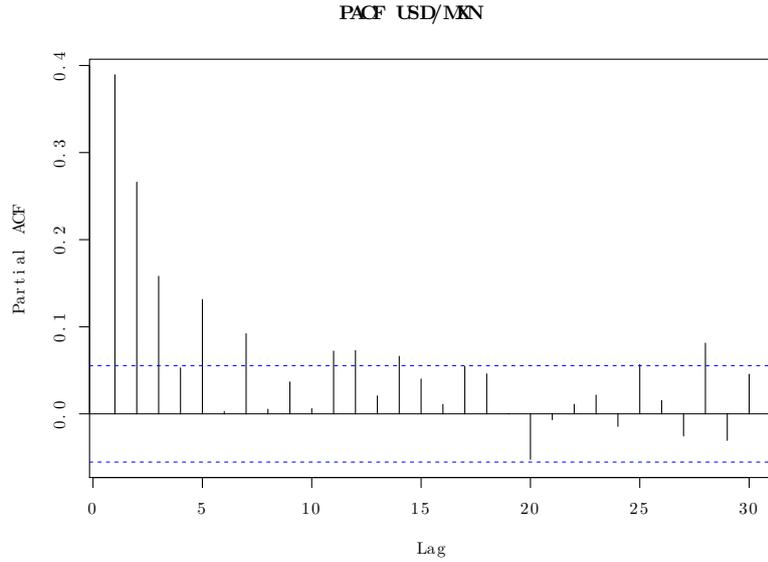
de modelo que se va a emplear. La función de autocorrelación se define como la función de autocovarianzas normalizada por la varianza, la cual tiene ventaja de ser adimensional y estar acotada al intervalo  $[1,1]$  (Hamilton, 2010).

$$rho_j = \frac{\gamma_j}{\gamma_0} \quad (5.8)$$

Dicha función indica el parámetro de la Medias Móviles (MA), es decir  $q$ , para los periodos 1 y 3, los cuales presentan características muy similares, arrojan como resultados un proceso de tipo MA(1), indicando que tiene solo la primera autocorrelación no nula sin restricción sobre ella, y el resto son cero. Se presenta clara la correlación para estos dos periodos. El MA(1) es la suma de dos procesos estacionarios por lo que es estacionario para cualquier valor de  $\theta_1$  (Es, 2011).

Para el caso del periodo 2, no resulta ser así, aquí se distingue un MA de tipo infinito, por lo que para este caso se procederá a observar el correlograma de la función de autocorrelación parcial, la cual determina el orden de un AR( $p$ ), proceso autorregresivo, dicho proceso no puede representar series de memoria muy corta, donde el valor actual de la serie está correlacionado con un número pequeño de valores anteriores de la serie. A simple vista resulta ser un proceso autorregresivo de orden 3 (AR(3)), más adelante en el capítulo 5 se presentarán los resultados con los diversos modelos para ver cual se ajusta mejor a los datos y genera una mejor predicción.

Figura 5.7: Función de Autocorrelación Parcial para el periodo 2 de USD/MXN



(a) Periodo 2

## 5.1. Volatilidad Especulativa o Real

Empecemos describiendo que es una especulación, ésta se basa en la previsión y percepción, donde no se tiene certeza de la ocurrencia futura. Se define pues, como el conjunto de operaciones comerciales o financieras destinadas a obtener un beneficio económico, basándonos exclusivamente en las variaciones de precios en el tiempo.<sup>1</sup>

Una especulación mal prevista puede ocasionar grandes movimientos en el mercado de divisas, generando pérdidas. Un movimiento especulativo provoca tanto beneficios como pérdidas, por lo que esta acción no garantiza la seguridad del retorno del activo (tipo de cambio). Un claro ejemplo de especulación, fue el pasado evento previo a las elecciones del 2018 para presidente de la República Mexicana, donde el mercado se vio muy afectado por aversión al riesgo que quedará como presidente Andrés Manuel López Obrador, sin embargo no existía certeza del tipo de gobierno y cambios que se realizarían durante su mandato.

Ahora bien, se entiende por volatilidad real a aquella que se realiza de acuerdo al comportamiento normal del tipo de cambio, sin basarse en especulaciones, sino en números

<sup>1</sup>Economipedia: <https://economipedia.com>

concretos, ejemplo de ello, los resultados de tasas de interés como la tasa de desempleo, el PIB, balanzas comerciales, ventas minoristas y mayoristas, etcétera.

La predicción del comportamiento futuro del tipo de cambio se ve totalmente afectada por la volatilidad especulativa, es decir, no se puede predecir con certeza algún evento como *twits*, anuncios de gobiernos externos, por ejemplo algún anuncio vía *twitter* del presidente de los Estados Unidos de América, Donald Trump, o algún mensaje en los discursos mañaneros del presidente de México, Andrés Manuel López Obrador. Si el tipo de cambio se basará solamente en la volatilidad real, sería tan fácil de predecir y no existiría tal negocio y arbitraje en el Mercado financiero más grande.

Para este análisis nos enfocamos más en esos movimientos especulativos que hubo en el mercado y generaron gran volatilidad antes, durante y después de la Crisis Financiera del 2007.

# Capítulo 6

## Resultados

En este capítulo, describimos los resultados de los diferentes modelos empleados. Los resultados del modelo de regresión lineal son presentados en la sección 6.1. Los modelos de series de tiempo que aplicamos es presentado en la sección 6.2. Finalmente, en la última sección de este capítulo (Sección 6.4), presentamos cada vez el modelo más desarrollado aplicado para analizar la heterocedasticidad en los residuos de las series de tiempo.

### 6.1. Resultados del modelo de Regresión Lineal

Se muestran los resultados de la regresión lineal obtenidos para cada periodo y de manera general para el par USD/MXN, CHF/MXN y EUR/MXN:

Tabla 6.1: Resultados Regresión Lineal de USD/MXN

	Overall Period			Period 1			Period 2			Period 3		
Intercept	9.17	(.047)	***	11.1	(.018)	***	9.491	(.126)	***	1.03	(.163)	***
Time	.002	(.000)	***	-.000	(.000)	***	.002	(.000)	***	.005	(.000)	***
N	4021			931			1255			1835		
$R^2$	.7508			.1163			.2691			.8251		
Adj. $R^2$	.7507			.1154			.2685			.825		

Note: .  $p < 0.1$  , \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Números en paréntesis representan las desviaciones estándar.

El p-value del modelo arroja valores significativos para cada periodo y en general,  $p < 2.2e-16$ . Obtenemos dos resultados el  $R^2$  y  $R^2$  ajustado, éste último es una versión modificada del primero que ha sido ajustada por el número de predictores en el modelo.

El  $R^2$  ajustado aumenta solo si el nuevo término mejora el modelo a más de lo que se esperaría y disminuye cuando un predictor mejora el modelo en menos de lo esperado. El  $R^2$  da el porcentaje de variación explicada como si todas las variables independientes en el modelo afectaran la variable dependiente, en cambio el ajustado proporciona el porcentaje de variación explicado solo por aquellas variables independientes que en realidad afectan la variable dependiente, por lo que consideraremos este último para comparar en qué periodo se ajusta mejor el modelo de regresión lineal.

Se observa que ambos resultados son muy cercanos, con mínima diferencia, lo que nos indica que solo se toma una variable para el modelo. El periodo que mejor se ajuste al modelo será el mayor valor en el  $R^2$  ajustado, ya que esto significa que representa el porcentaje de la varianza justificado por la variable dependiente. El mayor porcentaje se observa en el periodo 3 con 82.5 % y para el periodo general tenemos el 75.1 %, que indica el porcentaje de variación en los datos explicados por el modelo de regresión lineal. En cambio para los periodos 1 y 2 los resultados del modelo no son significativos y no se considera como un buen ajuste.

Tabla 6.2: Resultados Regresión Lineal de CHF/MXN

	Overall Period			Period 1			Period 2			Period 3		
Intercept	6.90	(.033)	***	8.73	(.033)	***	4.57	(.092)	***	3.35	(.136)	***
Time	.003	(.000)	***	.000	(.000)	***	.004	(.000)	***	.004	(.000)	***
N	4021			931			1255			1835		
$R^2$	.9233			.00226			.8308			.8427		
Adj. $R^2$	.9233			.001186			.8306			.8426		

Note: .  $p < 0.1$  , \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Numbers in parenthesis represent standard deviations.

Son interesantes los resultados obtenidos aquí, ya que para el periodo 1 que abarca del día 15 de julio de 2003 al 6 de febrero de 2007, se muestra una proporción de 0.002 lo cual indica que no se tiene explicación de los datos para el modelo. En cambio observamos un 92.3 % para el periodo completo, lo que nos dice que un gran porcentaje de los datos es explicado y justificado por el modelo de regresión lineal.

Tabla 6.3: Resultados Regresión Lineal de EUR/MXN

	Overall Period			Period 1			Period 2			Period 3		
Intercept	12.9	(.042)	***	13.4	(.049)	***	13.9	(.153)	***	7.12	(.145)	***
Time	.002	(.000)	***	.000	(.000)	***	.002	(.000)	***	.004	(.000)	***
N	4021			931			1255			1835		
$R^2$	.7747			.03627			.2372			.7935		
Adj. $R^2$	.7746			.03523			.2366			.7934		

Note: .  $p < 0.1$  , \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Numbers in parenthesis represent standard deviations.

Para el caso de la serie de tiempo del par EUR/MXN, observamos que el mejor resultado se arroja para el periodo 3 con un 79.4% y para el periodo general un 77.5%.

Es importante recalcar que para cada periodo los resultados son diferentes y muy variables, por lo que seleccionar nuestra serie de tiempo en tres partes es fundamental para un mejor y más acertado análisis. Lo que aplica para uno no necesariamente aplicará para los demás casos.

## 6.2. Selección del modelo de series de tiempo

Antes de ajustar el modelo de series de tiempo, necesitamos identificar el tipo de serie, como describimos en la sección 4.1. En la tabla 6.4, presentamos el tipo de serie de tiempo para el USD/MXN, CHF/MXN y el par EUR/MXN en el periodo general y los periodos 1 a 3. Nuestros resultados son obtenidos usando el paquete en R “ggseas”. Este paquete permite descomponer la serie de tiempo y ajustar ambos modelos (aditivo y multiplicativo). El paquete selecciona el modelo probando la menor autocorrelación de los residuales. Para el periodo general, vemos que el tipo de serie de tiempo es multiplicativo para USD/MXN mientras que es aditivo para CHF/MXN y EUR/MXN. Para los periodos del 1 al 3, el tipo de serie de tiempo es el mismo para los tres tipos de cambio. El periodo 1 es caracterizado por ser una serie de tiempo multiplicativa, el periodo 2 expresa ser una serie aditiva mientras que el periodo 3 resulta ser del tipo multiplicativa.

Tal comportamiento describe un patrón muy interesante, la serie de tiempo aditiva es frecuentemente el signo de tendencias constantes en la serie (por ejemplo, alcista, bajista o constante) mientras que la serie de tiempo multiplicativa se caracteriza por variación en la tendencia que alterna entre alcista, bajista y un comportamiento constante.<sup>1</sup> De las figuras presentadas en la sección 3.2 (ver Figuras 3.1 a 3.3), intentamos traer evidencia detrás de esos resultados. Para el par USD/MXN, el periodo general ha sido caracterizado por variaciones fuertes en tendencias. Mientras la imagen que se tiene general parece dirigir a una tendencia alcista, las variaciones importantes en el mismo llevan a la conclusión de una tendencia variable que conduce a modelos multiplicativos. En el caso de los otros dos tipos de cambio, una clara tendencia alcista aparece en el periodo general.

Por lo tanto, para el par CHF/MXN y el EUR/MXN, se obtiene una tendencia aditiva en el periodo general. Sin embargo, cuando analizamos los periodos por separado, obtenemos el mismo tipo de serie para los tres pares de moneda. El primer periodo no tiene una gran variación, pero no se puede determinar con claridad si la tendencia es hacia la baja o a la alta y, por lo tanto, conduce a la familia multiplicativa. En el caso para el segundo periodo, los resultados estipulan que tenemos un serie de tipo aditiva viniendo de una clara tendencia alcista observada en los datos. Finalmente, en el tercer periodo se destaca una relevante volatilidad donde no es clara la tendencia de la serie.

Tabla 6.4: Tipo de serie de tiempo

	Overall Period	Period 1	Period 2	Period 3
USD/MXN	Multiplicative	Multiplicative	Additive	Multiplicative
CHF/MXN	Additive	Multiplicative	Additive	Multiplicative
EUR/MXN	Additive	Multiplicative	Additive	Multiplicative

Somos conscientes de que si los periodos fueran elegidos de manera diferente esto nos podría llevar a otras conclusiones, sin embargo, podemos ver claramente que la interacción entre USD/MXN en el periodo general se comporta de manera diferente a la de CHF/MXN y EUR/MXN lo cual se confirma en las secciones 3.1 y 3.2 donde menciona-

<sup>1</sup><http://www.abs.gov.au/websitedbs/D3310114.nsf/home/Time+Series+Analysis:+The+Basics>

mos que tanto la moneda suiza como la europea se comportan similarmente respecto al peso mexicano.

### 6.3. Modelo ARIMA y sus residuos

Con el fin de proporcionar un ajuste apropiado, necesitamos seleccionar el mejor modelo ARIMA para cada tipo de cambio. Nuestra decisión se basa en comparar tres medidas de rendimiento estadístico que se han ajustado en el periodo general. Para no extender indefinidamente nuestra investigación, decidimos aplicar el mejor modelo encontrado en el periodo general, aún cuando un análisis separado de cada periodo podría llevarnos a otras conclusiones. Devolver un ajuste diferente para todos los periodos llevaría, en lo que sigue, a encontrar también diferentes modelos ARCH o GARCH para cada periodo y daría lugar a dificultades en la comparación de resultados (ya que el error del modelo variaría al elegir otros modelos). Para seleccionar el mejor modelo ARIMA, nos basamos en tres indicadores, los cuales son *Akaike Information Criterion* (AIC, Akaike, 1992), el *Akaike Information Criterion corrected* (AICc, Sen and Shitan, 2002) y el *Bayesian Information Criterion* (BIC, Kass and Wasserman, 1995). El AICc es una corrección del AIC para pequeñas muestras ya que en tales casos el AIC estaría sesgado. Por otro lado, el BIC penaliza a los modelos más complejos que tienen demasiados parámetros en comparación con el AIC.

En la tabla 6.5, presentamos los resultados para el mejor modelo ARIMA eligiendo diferentes parámetros. El ARIMA(0,0,0) es el modelo que se consideró como base en la que se probó que un modelo a elección aleatoria no presentaría el mejor ajuste. Este modelo regresa un valor AIC de  $-28\,437$ , un AICc de  $-28\,437$  y un BIC de  $-28\,424$ . El ARIMA(1,0,0) mejora el modelo anterior con un ligero incremento en el AIC a  $-28\,439$ , el AICc a  $-28\,439$  y el BIC a  $-28\,419$ . Este resultado está resaltado en color gris en la tabla mostrada. Todos las demás combinaciones de los parámetros arrojan a AIC, AICc y BIC por debajo de este valor. Por lo que, el modelo ARIMA(1,0,0), con parámetros

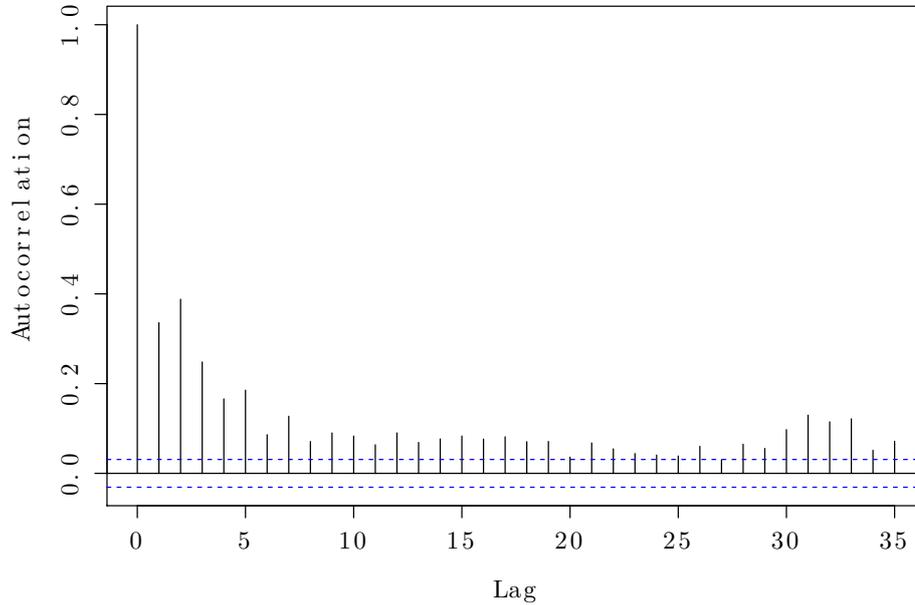
$p = 1$ ,  $d = 0$  y  $q = 0$ , un elemento autorregresivo, es el mejor modelo que se ajusta a los rendimientos en el par USD/MXN. Es importante mencionar que todos los indicadores estadísticos (AIC, AICc y BIC) nos llevan a la misma conclusión.

En la figura 6.1, proveemos la medida de autocorrelación de los residuales del modelo ARIMA con el fin de saber si este modelo ofrece el ajuste suficiente. La línea horizontal de color azul muestra un intervalo de confianza de 95%. Cuando la medida de autocorrelación está por encima de las líneas azules, destaca la presencia de una significativa autocorrelación en los residuos implicando los residuos de un ARCH o un GARCH. En nuestro caso, claramente se ve en la figura de abajo que la autocorrelación dentro de los residuales excede las líneas azules. Esto indica que hay una volatilidad significativa en los residuales y por lo tanto dentro del tipo de cambio USD/MXN. Por lo que necesitamos complementar el ARIMA con un modelo GARCH o ARCH en los residuos para explicar la volatilidad no definida por el modelo ARIMA.

Tabla 6.5: ARIMA en los rendimientos de USD/MXN.

ARIMA	AIC	AICc	BIC
(0,0,0)	-28 437	-28 437	-28 424
(1,0,0)	-28 439	-28 439	-28 419
(0,1,0)	-25 773	-25 773	-25 767
(1,1,0)	-26 880	-26 880	-26 868
(0,1,1)	-28 420	-28 420	-28 408
(1,1,1)	-28 422	-28 422	-28 403
(0,1,2)	-28 422	-28 422	-28 403
(1,1,2)	-28 421	-28 421	-28 395
(2,1,0)	-27 227	-27 227	-27 208
(2,1,1)	-28 421	-28 421	-28 395
(2,1,2)	-28 426	-28 426	-28 395
N	4 021		

Figura 6.1: Gráfica de Autocorrelación de los residuos del tipo de cambio USD/MXN.



Presentamos el mismo análisis para los rendimientos en el par CHF/MXN en la tabla 6.6 resultando un AIC de  $-26\,551$ , un AICc de  $-26\,551$  y un BIC de  $-26\,532$ , el mejor modelo es nuevamente un ARIMA(1,0,0). Podemos notar que para el modelo ARIMA(2,1,1) el algoritmo no estaba convergiendo y, por lo tanto, utilizamos la notación “ n.a. ” para especificar que el modelo no es aplicable.

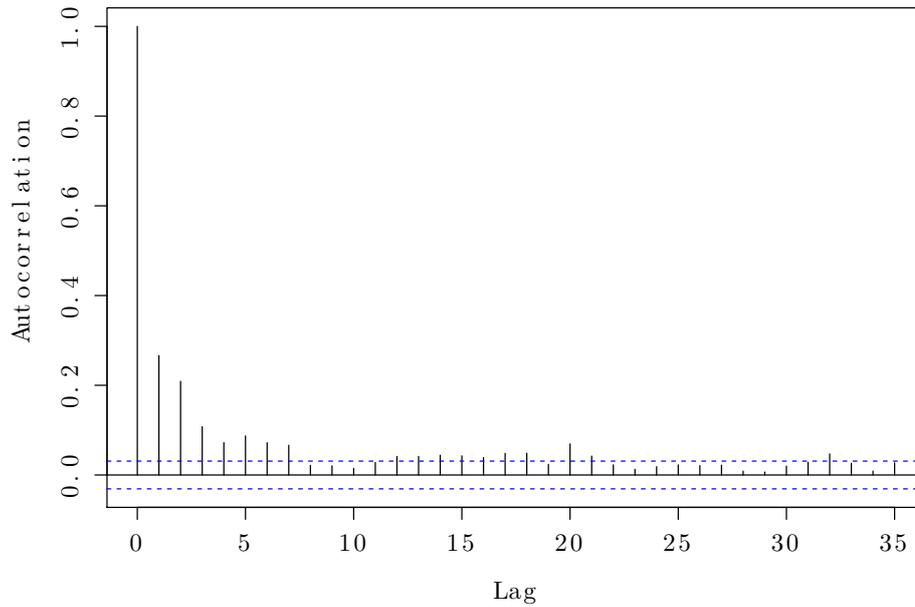
La figura 6.2 muestra la autocorrelación en los residuales del modelo ARIMA(1,0,0) ajustado al tipo de cambio de CHF/MXN. Observamos que para un número significativo de retrasos (lags), la autocorrelación entre los residuos excede el intervalo de confianza de 95 %, por lo que no se puede rechazar la hipótesis de no autocorrelación en los residuales y se necesita otra vez complementar el modelo ARIMA con un ajuste ARCH o GARCH de los residuos.

Finalmente, en la tabla 6.7, deplegamos los resultados para el par EUR/MXN. Así como fue para USD/MXN y para CHF/MXN, el mejor modelo es el ARIMA(1,0,0). En este caso, el AIC toma el valor de  $-27\,788$ , el AICc toma el valor de  $-27\,788$  y el BIC toma

Tabla 6.6: ARIMA en los rendimientos del tipo de cambio CHF/MXN.

ARIMA	AIC	AICc	BIC
(0,0,0)	-26 542	-26 542	-26 529
(1,0,0)	-26 551	-26 551	-26 532
(0,1,0)	-23 965	-23 965	-23 958
(1,1,0)	-24 955	-24 955	-24 943
(0,1,1)	-26 526	-26 526	-26 513
(1,1,1)	-26 535	-26 535	-26 516
(0,1,2)	-26 535	-26 535	-26 516
(1,1,2)	-26 531	-26 531	-26 506
(2,1,0)	-25 341	-25 341	-25 322
(2,1,1)	n.a.	n.a.	n.a.
(2,1,2)	-26 531	-26 531	-26 499
N	4 021		

Figura 6.2: Gráfica de la Autocorrelación de los residuos del tipo de cambio CHF/MXN.



el valor de  $-27\,769$ . El modelo  $ARIMA(2,1,1)$  no provee resultados ya que el algoritmo no converge.

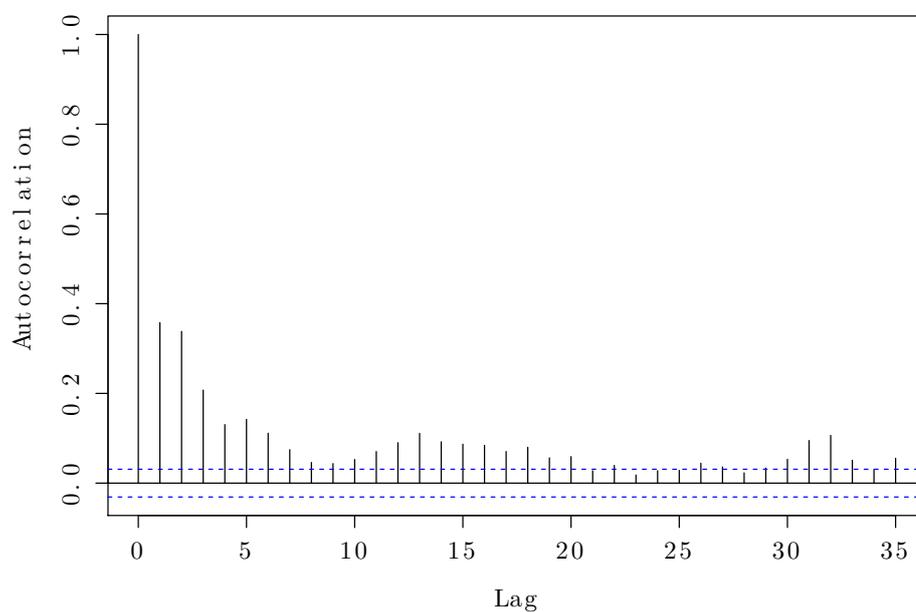
Mostramos en la figura 6.3 la autocorrelación de los residuos para el ARIMA ajustado al EUR/MXN. Nuevamente recalcamos que los valores de autocorrelación exceden el intervalo de confianza de 95% lo que lleva al requisito de modelarlos con los modelos

Tabla 6.7: ARIMA en rendimientos EUR/MXN.

ARIMA	AIC	AIC <sub>c</sub>	BIC
(0,0,0)	-27 776	-27 776	-27 763
(1,0,0)	-27 788	-27 788	-27 769
(0,1,0)	-25 230	-25 230	-25 223
(1,1,0)	-26 233	-26 233	-26 221
(0,1,1)	-27 759	-27 759	-27 747
(1,1,1)	-27 772	-27 772	-26 516
(0,1,2)	-27 771	-27 771	-27 753
(1,1,2)	-27 769	-27 769	-27 744
(2,1,0)	-26 566	-26 566	-25 322
(2,1,1)	n.a.	n.a.	n.a.
(2,1,2)	-26 531	-26 531	-26 548
N	4 021		

ARCH o GARCH.

Figura 6.3: Gráfica de la Autocorrelación de los residuos del tipo de cambio EUR/MXN.



## 6.4. Resultados ARCH y GARCH

Concluyendo la sección anterior, entendemos que un modelo ARIMA-GARCH o ARIMA-ARCH es necesario para tomar en cuenta la heterocedasticidad restante en los residuos del modelo (Mohammadi and Su, 2010; Yaziz et al., 2013). Seleccionamos el mejor modelo ARCH o GARCH en los residuos del modelo ARIMA observando el que devuelve la mayor probabilidad Log-Likelihood (Loglik) así como también el menor AIC y AICc. Se usa la notación  $q$  para reportar el número de parámetros en cada modelo.

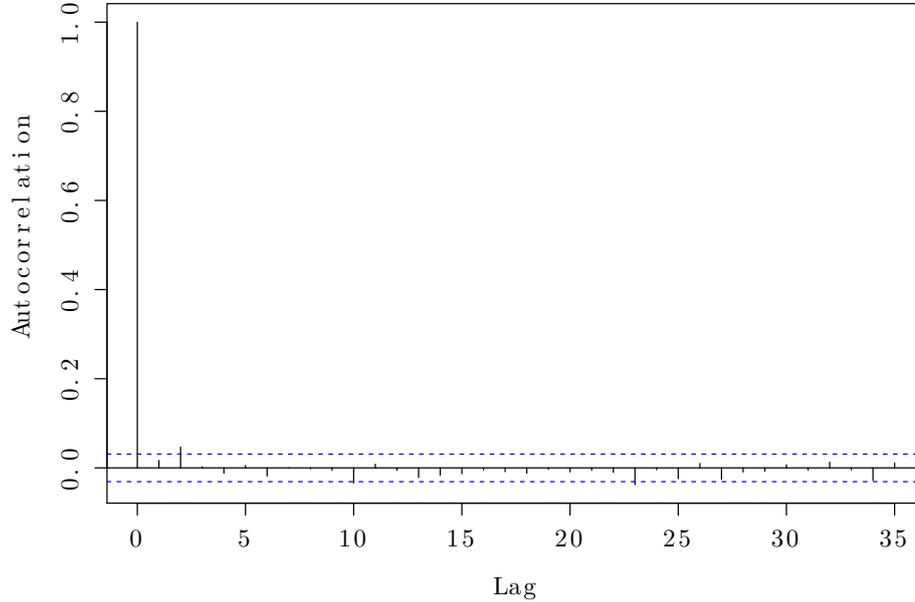
Los resultados para los residuos del ARIMA ajustado en el tipo de cambio USD/MXN es representado en la tabla 6.8. Se puede notar que el número de registros es ahora  $N = 4\,020$ . El modelo ARCH(0,1) involucra un parámetro  $q=1$  mientras que el modelo ARCH(0,14) involucra  $q=14$  parámetros. Para propósitos de ilustración, solo mostramos modelos seleccionados. Nuestro resultado revela que el mejor modelo para considerar la heterocedasticidad en los residuos se obtiene al implementar un GARCH (1,2). Con un valor log-likelihood de 14936 y un valor AICc de  $-29\,862$ , dicho modelo mejora a los otros modelos ARCH y GARCH probados.

Tabla 6.8: ARCH & GARCH para USD/MXN

Model	$q$	Loglik	AIC	AICc
ARCH (0,1)	1	14 440	-28 876	-28 875
ARCH (0,2)	2	14 633	-29 261	-29 259
ARCH (0,3)	3	14 698	-29 388	-29 386
ARCH (0,4)	4	14 719	-29 429	-29 427
ARCH (0,6)	6	14 783	-29 552	-29 550
ARCH (0,8)	8	14 800	-29 582	-29 580
ARCH (0,10)	10	14 821	-29 624	-29 622
ARCH (0,12)	12	14 834	-29 643	-29 641
ARCH (0,14)	14	14 854	-29 678	-29 676
GARCH (1,1)	2	14 929	-29 852	-29 850
GARCH (1,2)	3	14 936	-29 863	-29 862
GARCH (1,3)	4	14 840	-29 671	-29 669
N	4 020			

Aplicando este modelo GARCH(1,2) en los residuos, podemos ver ahora que la auto-

Figura 6.4: Gráfica de la Autocorrelación de los residuos del GARCH del tipo de cambio USD/MXN.



correlación en residuos presentada en la figura 6.4 ya no es significativa, reduciéndose enormemente la autocorrelación en comparación a resultados obtenidos en la figura 6.1.

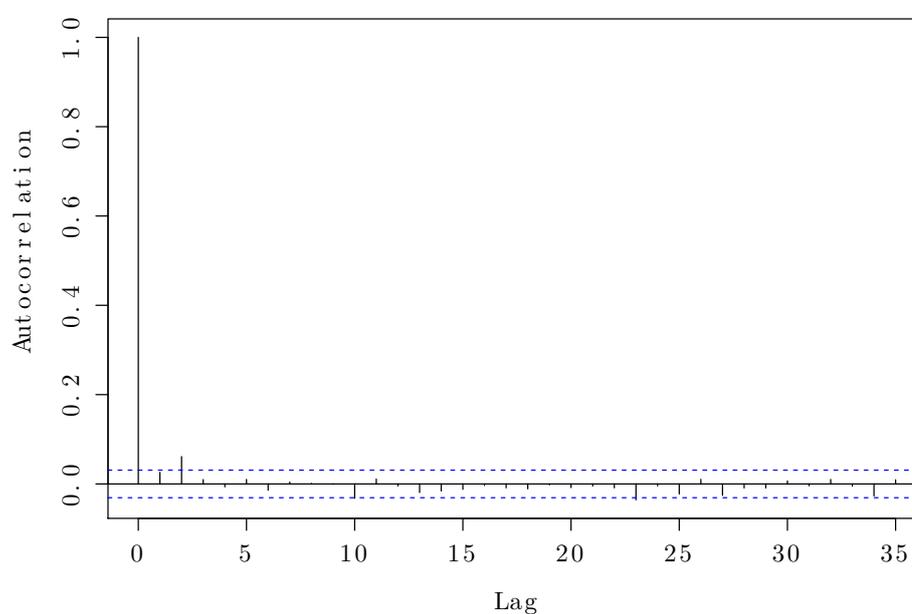
En la tabla 6.9, presentamos los resultados de aplicar los modelos ARCH y GARCH en los residuos del tipo de cambio CHF/MXN. En este caso, resulta que el modelo GARCH(1,1) con un valor loglikelihood de 13 666, un AIC de  $-27\,326$  y un AICc de  $-27\,324$  representa el mejor ajuste. De hecho, significativamente mejora a los modelos ARCH, donde el mejor ajuste resultó de un modelo ARCH(0,6) reportando los datos de 13 650,  $-27\,285$  y  $-27\,283$  para log-likelihood, AIC y AICc, respectivamente.

En la figura 6.5, presentamos la autocorrelación en los residuos de CHF/MXN después de aplicar el modelo GARCH(1,1). Como en el caso anterior, se hace notar que la autocorrelación en los residuos ya no es significativa para la mayoría de los rezagos. El modelo GARCH mejora en gran medida nuestro ajuste en comparación con los que solo fueron modelados con el método ARIMA (ver la figura 6.2 en la sección 6.2).

Tabla 6.9: ARCH & GARCH para CHF/MXN.

Model	q	Loglik	AIC	AICc
ARCH (0,1)	1	13 437	-26 870	-26 868
ARCH (0,2)	2	13 580	-27 154	-27 152
ARCH (0,3)	3	13 581	-27 155	-27 153
ARCH (0,4)	4	13 590	-27 169	-27 167
ARCH (0,6)	6	13 650	-27 285	-27 283
ARCH (0,8)	8	13 638	-27 257	-27 255
ARCH (0,10)	10	13 634	-27 246	-27 244
ARCH (0,12)	12	13 624	-27 221	-27 219
ARCH (0,14)	14	13 637	-27 244	-27 242
GARCH (1,1)	2	13 666	-27 326	-27 324
GARCH (1,2)	3	13 663	-27 317	-27 315
GARCH (1,3)	4	13 639	-27 268	-27 266
N	4 020			

Figura 6.5: Gráfica de la autocorrelación de los residuos del GARCH del tipo de cambio CHF/MXN.

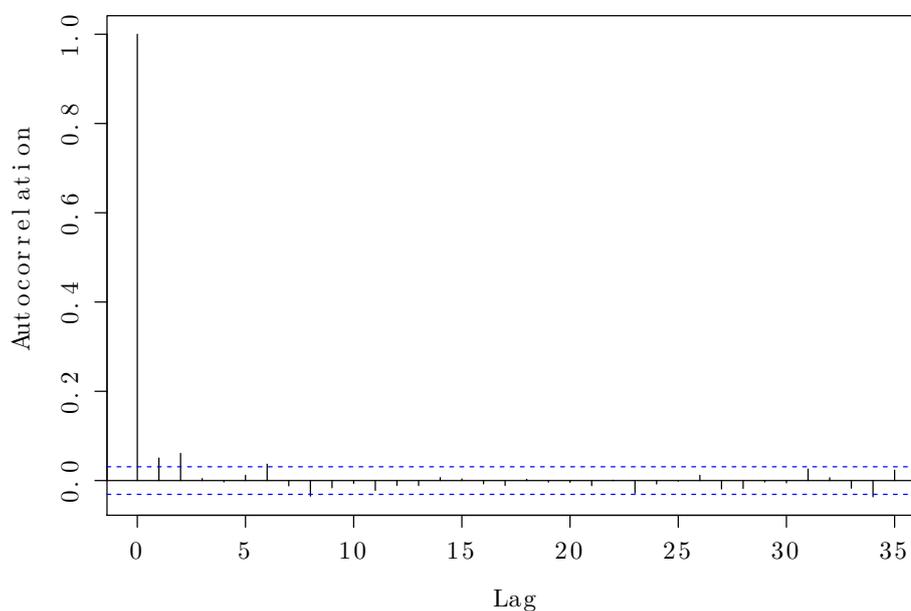


Finalmente, en la tabla 6.10, se presentan los valores para el tipo de cambio EUR/MXN. Para este par, el mejor modelo resulta ser también el GARCH(1,1) con log-likelihood de 14 285, AIC de -28 563 y AICc de -28 561.

Tabla 6.10: ARCH & GARCH para EUR/MXN.

Model	q	Loglik	AIC	AICc
ARCH (0,1)	1	14 059	-28 114	-28 112
ARCH (0,2)	2	14 152	-28 299	-28 297
ARCH (0,3)	3	14 159	-28 311	-28 309
ARCH (0,4)	4	14 175	-28 339	-28 337
ARCH (0,6)	6	14 212	-28 410	-28 408
ARCH (0,8)	8	14 204	-28 389	-28 387
ARCH (0,10)	10	14 208	-28 394	-28 392
ARCH (0,12)	12	14 207	-28 388	-28 386
ARCH (0,14)	14	14 222	-28 413	-28 411
GARCH (1,1)	2	14 285	-28 563	-28 561
GARCH (1,2)	3	14 266	-28 524	-28 522
GARCH (1,3)	4	14 226	-28 442	-28 440
N	4 020			

Figura 6.6: Gráfica de la autocorrelación de los residuos del GARCH del tipo de cambio EUR/MXN.



Presentamos en la figura 6.6 la autocorrelación en los residuos cuando ajustamos el modelo GARCH(1,1) en los residuos del tipo de cambio EUR/MXN. Nuevamente, se observa que la autocorrelación reduce enormemente e incluso no es significativa con respecto a cuando solo se ajusta el modelo ARIMA.

## 6.5. Resultados modelos ARIMA-GARCH

Se muestran a continuación los resultados de los coeficientes para el modelo ARIMA-GARCH obtenido como mejor modelo de ajuste en nuestras series de tiempo de tipos de cambio (USD/MXN, CHF/MXN y EUR/MXN), resaltando que para USD/MXN el mejor modelo fue ARIMA(1,0,0)-GARCH(1,2) y para los otros dos tipos de cambio resultó ser un ARIMA(1,0,0)-GARCH(1,1).

Antes de la descripción de los resultados, mencionaremos lo qué es un modelo ARIMA( $p,d,q$ )-GARCH( $m,s$ ), este se lleva a cabo en dos fases, primero se elige al mejor modelo ARIMA resultante, que se utiliza para modelar los datos lineales de series de tiempo y los residuos de este modelo lineal contendrá solo datos no lineales. En segundo lugar se aplica un modelo GARCH para modelar los patrones no lineales de los residuos. Dicho modelo es un modelo híbrido que se utiliza para analizar las series univariadas, el cual combina un modelo ARIMA con componentes de error GARCH (Liu et al., 2013; Chen et al., 2011; Tan et al., 2010; Zou et al., 2006; Bollerslev y Wooldridge, 1992).

Tabla 6.11: Resultados ARIMA(1,0,0)-GARCH(1,2) para USD/MXN

	Overall Period			Period 1			Period 2			Period 3		
<i>Parameters of the ARIMA(1,0,0)</i>												
Intercept	0.000	(.000)	***	0.000	(.000)	***	0.000	(.000)	***	0.000	(.000)	***
Ar1	0.031	(.016)		0.023	(.033)		0.000	(.028)		0.059	(0.023)	
<i>Parameters of the GARCH(1,2)</i>												
A <sub>0</sub>	0.000	(.000)	***	0.000	(.000)	*	0.000	(.000)		0.000	(.000)	**
A <sub>1</sub>	0.092	(.013)	***	0.107	(.034)	**	0.166	(.040)	***	0.052	(.013)	***
A <sub>2</sub>	0.000	(.013)		0.020	(.044)		0.000	(.043)		0.000	(.013)	
B <sub>1</sub>	0.910	(.005)	***	0.635	(.144)	***	0.860	(.018)	***	0.945	(.005)	***
N	4021			931			1255			1835		

Note: .  $p < 0.1$  , \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Numbers in parenthesis represent standard deviations.

Para el modelo ARIMA (1,0,0) aplicado al tipo de cambio USD/MXN, se observa el parámetro de autorregresión (AR)  $p = 1$ , lo que nos indica los retardos de las series diferenciadas, la autorregresión tiene que ver con la regresión de los valores pasados, en

otras palabras, la serie depende directamente de su pasado hasta el retardo 1, de forma que las variables aleatorias separadas por 1 periodo mantienen una relación lineal directa. Los parámetros AR (autorregresivos) para cada periodo se muestran en la tabla. A los resultados de este modelo ARIMA se le aplica el modelo GARCH(1,2) probado como mejor modelo para esta serie de tiempo, se obtiene un p-value considerado para cada periodo, así como se obtienen los parámetros estimados para la media y varianza y sus respectivas desviaciones estándar. El modelo ARIMA(1,0,0)-GARCH(1,2) resultó obtener la mejor estimación para la serie de tipo de cambio USD/MXN, en conclusión, la combinación de potencia y flexibilidad de un modelo ARIMA y la solidez de los modelos GARCH en el manejo de la volatilidad y el riesgo en las series de tiempo, así como para superar la limitación lineal y de datos (Khashei et al., 2009) en los modelos ARIMA hizo la combinación de ARIMA-GARCH como un nuevo enfoque potencial para analizar y pronosticar este tipo de series de tiempo financieras.

Tabla 6.12: Resultados ARIMA(1,0,0)-GARCH(1,1) para CHF/MXN

	Overall Period			Period 1			Period 2			Period 3		
<i>Parameters of the ARIMA(1,0,0)</i>												
Intercept	0.000	(.000)	***	0.000	(.000)	***	0.000	(.000)	***	0.000	(.000)	***
Ar1	0.052	(.016)	***	-0.048	(.033)		0.046	(.028)	*	0.096	(.023)	***
<i>Parameters of the GARCH(1,1)</i>												
A <sub>0</sub>	0.000	(.000)	***	0.000	(.000)		0.000	(.000)	***	0.000	(.000)	***
A <sub>1</sub>	0.072	(.004)	***	0.021	(.008)	**	0.091	(.010)	***	0.079	(.007)	***
B <sub>1</sub>	0.918	(.005)	***	0.969	(.013)	***	0.899	(.011)	***	0.918	(.006)	***
N	4021			931			1255			1835		

Note: .  $p < 0.1$  , \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Numbers in parenthesis represent standard deviations.

Para el caso del tipo de cambio CHF/MXN, resultan resultados similares, cambiando un poco las estimaciones de los parámetros en los modelos. El modelo ARIMA (1,0,0) que igualmente resultó como mejor modelo para datos lineales, muestra un p-value significativo para los interceptos de cada periodo, aplicando a los datos no lineales un modelo GARCH(1,1) donde los parámetros resultantes para la media y varianza son significativos al igual que el p-value menor al 0,001. En comparación con distintas combinaciones

de parámetros para esta serie de tiempo, resultó como mejor modelo el ARIMA(1,0,0)-GARCH(1,1).

Tabla 6.13: Resultados ARIMA(1,0,0)-GARCH(1,1) para EUR/MXN

	Overall Period			Period 1			Period 2			Period 3		
<i>Parameters of the ARIMA(1,0,0)</i>												
Intercept	0.000	(.000)	***	0.000	(.000)	***	0.000	(.000)	***	0.000	(.000)	***
Ar1	0.059	(.016)	***	-0.028	(.033)		-0.075	(.028)	**	0.059	(.016)	***
<i>Parameters of the GARCH(1,1)</i>												
A <sub>0</sub>	0.000	(.000)	***	0.000	(.000)		0.000	(.000)	**	0.000	(.000)	***
A <sub>1</sub>	0.054	(.003)	***	0.034	(.011)	**	0.092	(.009)	***	0.054	(.003)	***
B <sub>1</sub>	0.939	(.003)	***	0.953	(.018)	***	0.894	(.011)	***	0.939	(.003)	***
N	4 021			931			1 255			1 835		

Note: .  $p < 0.1$  , \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Numbers in parenthesis represent standard deviations.

Por último nos encontramos con los resultados obtenidos para el tipo de cambio EUR/MXN, los cuales son muy parecidos a los obtenidos en el par anterior resultando como mejor modelo el ARIMA(1,0,0)-GARCH(1,1), aunque considerando otras estimaciones de parámetros, el p-value es el mismo para todos los periodos analizados.

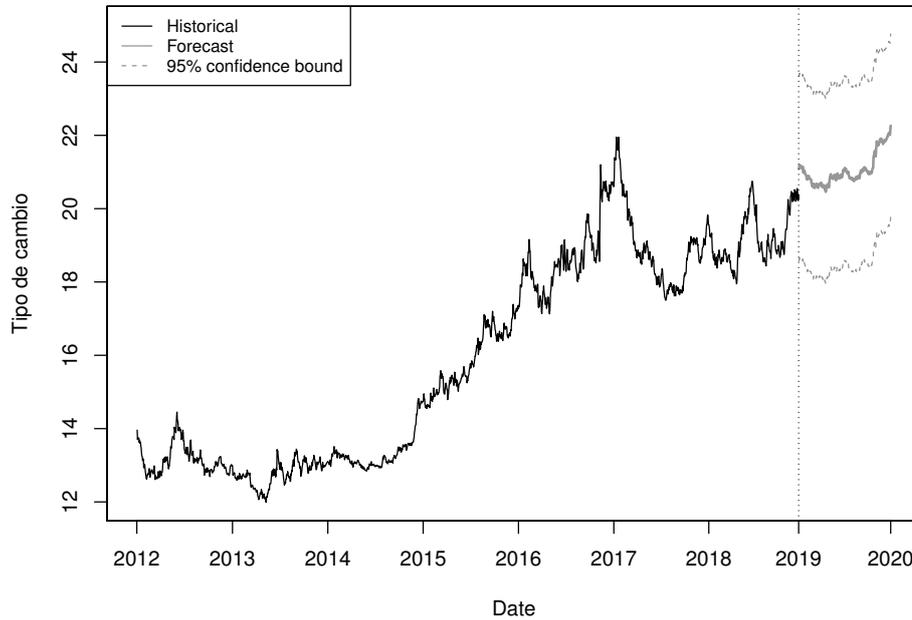
## 6.6. Forecasting y Backtesting

Aplicando los modelos mencionados anteriormente se realizó un ejercicio de pronóstico (Forecast) para los tres pares de moneda elegidos, tomando el periodo 3 para la predicción de los siguientes 252 cotizaciones del tipo de cambio, es decir, el pronóstico a un año.

A continuación se muestra Forecasting para USD/MXN para el siguiente año, con un intervalo de confianza del 95 %. Podemos observar que el tipo de cambio podrá alcanzar los 22 pesos mexicanos para el año 2020.

Para el backtesting se muestra que tan acertado es el modelo para predecir. Se observan en color negro los datos de la serie de tiempo y los resultados del backtesting en color

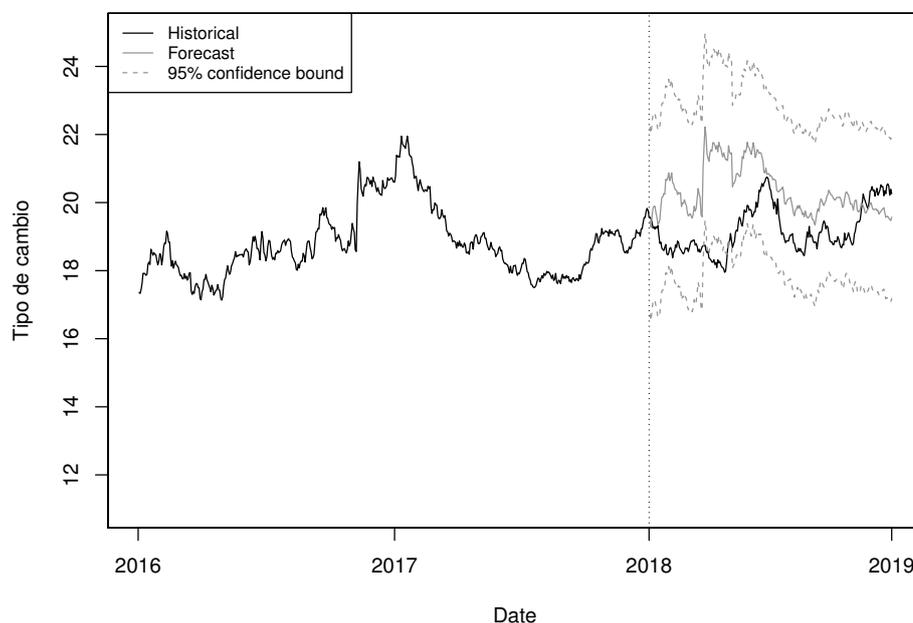
Figura 6.7: Gráfica forecast USD/MXN.



gris con un intervalo de confianza del 95 %. Se tomaron los datos a partir del 1 de enero de 2016 al 1 de enero de 2018, aplicando el análisis el último año de la serie de tiempo.

A continuación se muestra el backtesting para el par USD/MXN, se observa claramente que los datos reales se encuentran dentro del intervalo de confianza. Es importante aclarar que ningún modelo predictivo toma en cuenta las variables de eventos fundamentales, las cuales son inciertas para este tipo de mercado.

Figura 6.8: Gráfica backtesting USD/MXN.



Se realizó de igual manera un forecast para el par EUR/MXN con un intervalo de confianza de 95 % para los siguientes 252 días. Como se mencionó previamente existen eventos relevantes que afectan el mercado que no son predecibles, sin embargo, al 95 % de confianza se observa que este tipo de cambio se encontrará cerca a los 24 pesos mexicanos.

Para el backtesting del par EUR/MXN la gráfica muestra en color negro los datos reales, y en color gris los datos ajustados al modelo de lo que obtenemos un buen ajuste ya que los datos se encuentran dentro de la banda de confianza. Se observa también que el modelo para el par EUR/MXN se ajusta mejor que para el par USD/MXN esto debido al tipo de serie de tiempo, como ya anteriormente se probó, el primero es una serie de tipo aditiva con tendencia clara alcista y el tipo de cambio conlleva una *correlación* no directa, al contrario para el segundo par.

Por último tenemos la gráfica del forecast para el par CHF/MXN, en la cual presentamos resultados muy similares que con el par anterior, esto es por la similitud del comporta-

Figura 6.9: Gráfica forecast EUR/MXN.

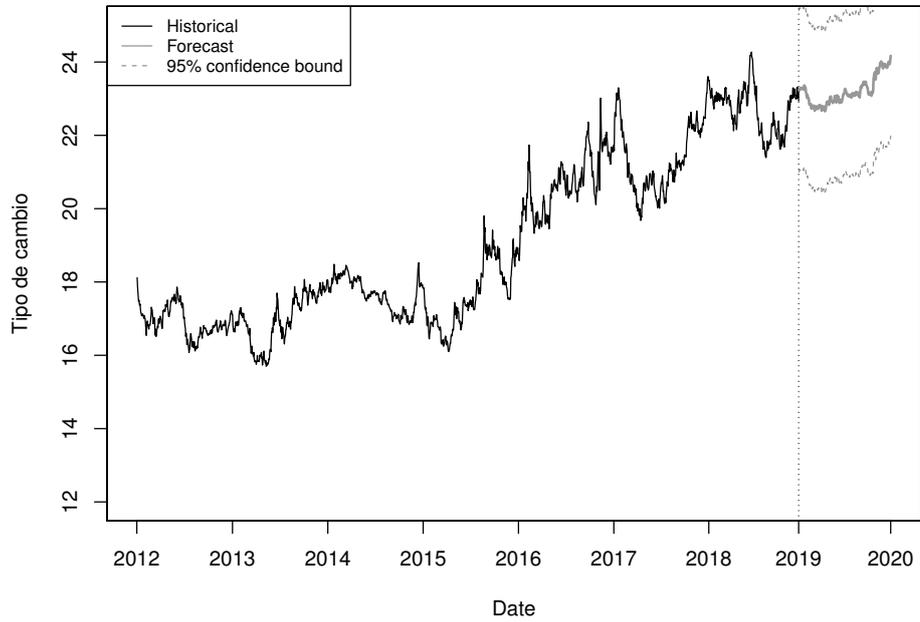
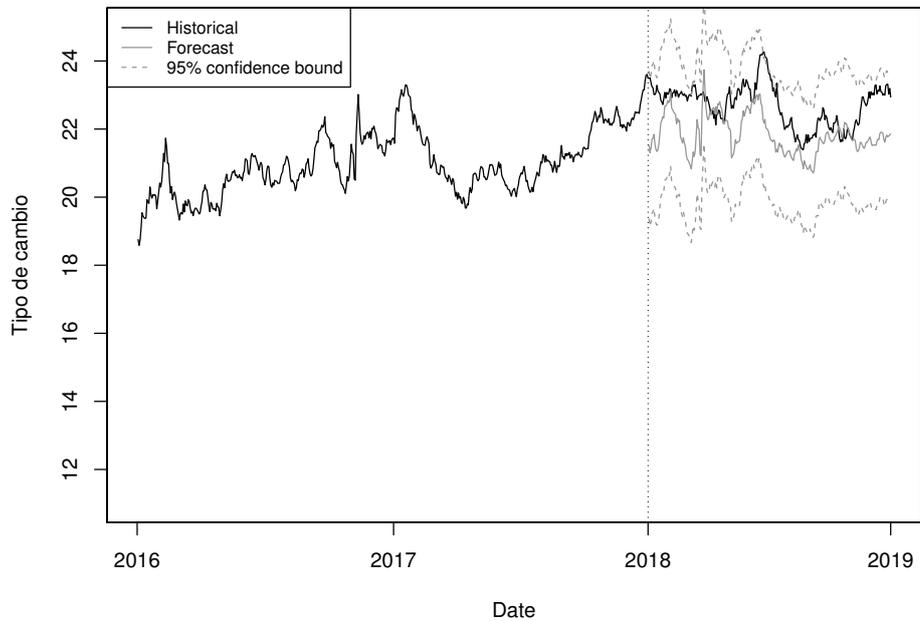


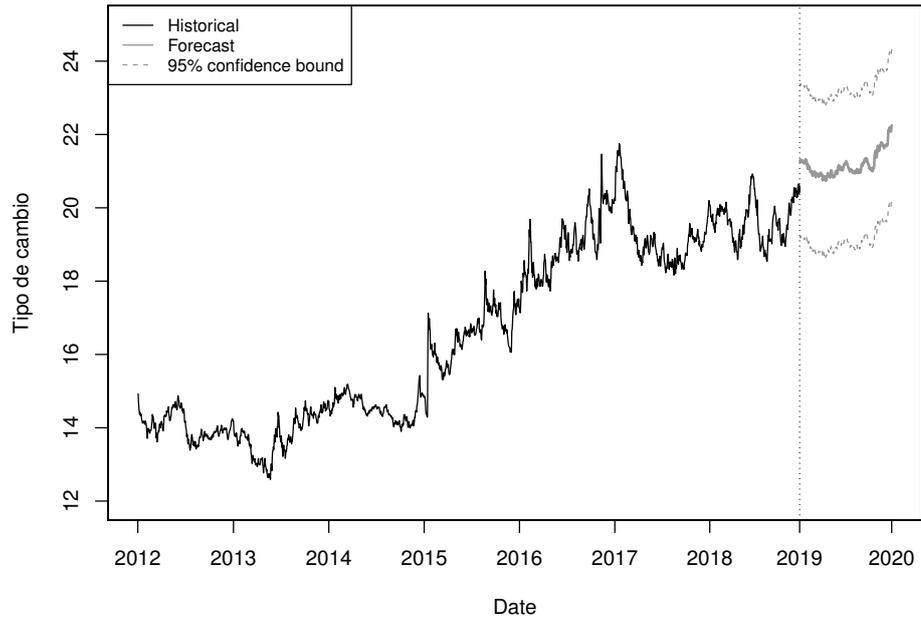
Figura 6.10: Gráfica backtesting EUR/MXN.



miento de ambas series de tiempo. Los dos pares presentan las mismas características, y los datos o eventos fundamentales que afecten a uno afectarán al otro. Así, para 2020 el

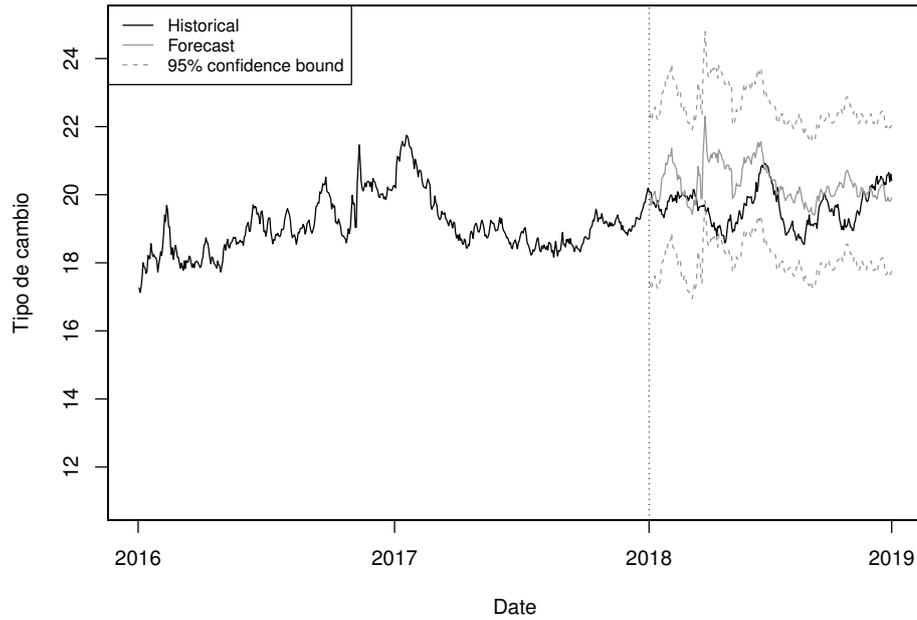
tipo de cambio se moverá alrededor de los 21 pesos mexicanos..

Figura 6.11: Gráfica forecast CHF/MXN.



Por último, para el backtesting del par CHF/MXN, se observa que los datos reales se encuentran dentro del intervalo de confianza por lo que se tiene un ajuste adecuado.

Figura 6.12: Gráfica backtesting CHF/MXN.



# Capítulo 7

## Conclusiones

La moneda MXN genera distintos resultados contra USD, en contraste del EUR y CHF, esto es por la dependencia en materia de divisa con el país vecino, Estados Unidos, simplemente un dato importante que se mencionó en el capítulo 2 es que México exporta la mayor cantidad de lo producido a este país, lo que genera una correlación amplia entre ambas monedas, es decir, si existe una crisis financiera en Estados Unidos se verá altamente afectado el peso mexicano. A pesar que tanto la zona Euro como Suiza son países de primer mundo con dos de las mejores economías del mundo, México no está involucrado a nivel política ni económicamente con estas dos zonas, lo que implica que el tipo de cambio con sus respectivas monedas se vea principalmente afectado por datos macroeconómicos y globales. Se observó que las series de tiempo (CHF/MXN y EUR/MXN) se comportan de una manera muy similar, presentando las mismas características estadísticamente y con una tendencia en su totalidad constante a la alza, no indicando más que la depreciación global del peso mexicano a lo largo de esta última década.

Antes de la crisis financiera global del 2007 (periodo 1) se mantiene un tipo de cambio constante y con volatilidad real sin datos bruscos, al presentarse la crisis se ve claramente en la gráfica del tipo de cambio USD/MXN un pico sobresaliente donde el peso mexicano pasó las 15 unidades en el 2009. Después de la crisis este tipo de cambio presenta varios eventos ocurridos que generan una alta volatilidad en el tipo de cambio. El movimiento

más brusco y donde el peso llegó a su mayor nivel en lo que va de la historia, alcanzando casi las 22 unidades se presenta en enero de 2017 por motivo de las declaraciones de Donald Trump respecto al TLCAN, se venía generando una depreciación del peso desde la campaña electoral en 2016 del ahora presidente de Estados Unidos, con su política “*Make America Great Again*” donde uno de los principales puntos era la construcción del muro en la frontera de Estados Unidos y México, gana la presidencia en noviembre de 2016 trayendo consigo la devaluación del peso alcanzando los 20.95 el día 14 de noviembre de 2016, esto es a causa de la volatilidad especulativa principalmente que involucra totalmente al análisis fundamental. Para los casos de CHF/MXN y EUR/MXN el tipo de cambio se ve afectado por los efectos globales ocasionados por decisiones globales correlacionado al dólar americano, llegando a sus máximos de 21.75 y 23.30 respectivamente en enero de 2017. A saber que tanto Estados Unidos como la Unión Europea son las potencias con mayor relevancia en el mercado de divisas, por lo que cualquier dato o evento ocurrido en ambas economías se verá reflejado en todas las monedas emergentes. El franco suizo se caracteriza como ya se mencionó en la sección 2.4 por su neutralidad y estabilidad como una moneda *safe haven*, viéndose poco afectada ante los cambios en Estados Unidos aunque si altamente correlacionada al euro sin generar mayor dependencia, es por eso que de los tres cruces analizados (USD/MXN, CHF/MXN y EUR/MXN) es la que sigue una volatilidad real con clara tendencia alcista, sin cambios bruscos, por lo que tal comportamiento ayuda a una mejor predicción respecto a este tipo de cambio.

Es importante mencionar que tanto para USD/MXN y EUR/MXN la predicción de la volatilidad no será tan certera, debido a esos eventos imprevistos que suceden todo el tiempo, así como los famosos *tuits* de Donald Trump, como alguna noticia de algún país de la UE, por lo que se podrá analizar solo técnicamente dichos pares pero sin considerar la volatilidad especulativa de un periodo a mediano (meses) o largo plazo (años). He aquí la importancia del Mercado de Divisas, pues si todo fuese dicho, las predicciones resultarían 100 % confiables ocasionando que este no fuera considerado como *negocio* re-dituable para ningún banco o institución financiera.

Aún con todas las medidas tomadas por las potencias mundiales para *reducir riesgo de ocurrencia* no se está exento de futuras crisis financieras con la magnitud de la Crisis Financiera del 2007, conocida hasta hoy día como una de las más grandes crisis globales. Actualmente con la Guerra Comercial entre China y Estados Unidos, el acuerdo del Brexit y el más reciente anuncio de Donald Trump respecto a los aranceles a los productos mexicanos, poniendo en alto riesgo el TLCAN, la economía global se está viendo muy afectada, con especulaciones ya de una recesión en Estados Unidos, provocando así una crisis financiera global.

Para los resultados del análisis estadístico en las series de tiempo resulta indispensable considerar eventos fundamentales. En materia económica, los datos más relevantes que afectan de manera global son los datos macroeconómicos, por lo que esta investigación sirve como base para comprender qué eventos son los importantes a analizar para una toma de decisiones en relación al comportamiento del tipo de cambio.

La investigación realizada nos lleva a la conclusión que el modelo que mejor se ajusta a los datos, es el modelo híbrido ARIMA-GARCH, esto es, como se mencionó en la sección anterior, un modelo GARCH para modelar los elementos no lineales de los residuos del modelo ARIMA aplicado a los datos lineales de la serie de tiempo. En este procedimiento, se dice que el término de error del modelo ARIMA sigue un proceso GARCH de órdenes  $m$  y  $s$  tomando en cuenta la heterocedasticidad de la serie de tiempo.

# Bibliografía

- Adhikari, R. and R. Agrawal, 2013, *An Introductory Study on Time Series Modeling and Forecasting*. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken.
- Adrian, T., D. Laxton, and M. Obstfeld, 2018, *Advancing the Frontiers of Monetary Policy*. International Monetary Fund.
- Akaike, H., 1992, *Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle*. Springer, New York.
- Banco de México, 2019a, *Minuta número 64*.
- Banco de México, 2019b, *Minuta número 67*.
- Bank of International Settlements Review, 2013, *Foreign Exchange Turnover in April 2013: Preliminary Global Result*. April.
- Bergsten, F. C., 1990, *Dilemmas of the Dollar: Economics and Politics of United States International Monetary Policy*. Routledge.
- Brockwell, P. J. and R. A. Davis, 2002, *Introduction to Time Series and Forecasting*. Springer, New York.
- Box, G. E. P., G. M. Jenkins, G. C. Reinsel, and G. M. Ljung, 2015, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Wiley, San Francisco.
- Brox, L. J., 1997, *The International Origins of the Federal Reserve System*. Cornell University Press.

- Carstens, A. and A. Werner, 1999, Mexico's monetary policy framework under a floating exchange rate regime, (9905):1–52.
- Christie-David, R., 2002, *Analysis of Financial Time Series*, volume 25.
- Dabat, A., M. Á. R. Ríos, B. Rubio, A. M. Aragonés, P. Bustos, S. D. la Peña, J. B. Kunhardt, C. M. Camacho, J. V. Mendoza, A. A. García, J. M. T., and M. A. B. Pérez, 1994, *México y la Globalización*.
- Eichengreen, B., 1997, *Gold Standard in Theory & History*.
- Enders, W., 1988, ARIMA and Cointegration Tests of PPP under Fixed and Flexible Exchange Rate Regimes, *The Review of Economics and Statistics*, 70(3):504–508.
- Es, A., 2011, Procesos de Media Móvil y ARMA, pages 81–94.
- Fatum, R. and Y. Yamamoto, 2016, Intra-safe haven currency behavior during the global financial crisis, *Journal of International Money and Finance*.
- Foster, J. B. and F. Magdoff, 2009, *The Great Financial Crisis*.
- Guillen, M. F., 2012, The Global Economic & Financial Crisis: A Timeline, *The Lauder Institute*.
- Haan, D., 2016, European Monetary and Fiscal Policy Eijffinger , Sylvester ; de Haan , J .
- Hamilton, J. D., 1994, *Time Series Analysis*. Princeton University Press, Princeton.
- Hamilton, J. D., 2010, Regime switching models., In *Macroeconometrics and Time Series Analysis*.
- Hill, J. S., 2012, The Great Depression in Europe, 1929–1939, *History: Reviews of New Books*, 30(1):21–22.
- Hipel, K. and A. McLeod, 1994, *Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems*. Elsevier Science, Amsterdam.

- Jordan, T. J. and P. Kugler, 2004, Implementing Swiss Monetary Policy : Steering the 3M-Libor with Repo Transactions, *Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik*, 140(3):381–393.
- Kass, R. E. and L. Wasserman, 1995, A Reference Bayesian Test for Nested Hypotheses and its Relationship to the Schwarz Criterion, *Journal of the American Statistical Association*, 90(431):928–934.
- Markham, J. W., 2015, *A Financial History of the United States from Enron-Era Scandals to Great Recession (2004-2009)*.
- Mohammadi, H. and L. Su, 2010, International evidence on crude oil price dynamics: Applications of ARIMA-GARCH models, *Energy Economics*, 32(5):1001–1008.
- Olmos, M. E., 2006, *Motivos Políticos del Rechazo de Suiza a Ser Miembro Integrant de la Unión Europea*. Córdoba.
- Ramaswamy, R. and T. Sløk, 2014, The Real Effects of Monetary Policy in the European Union: What Are the Differences?, *IMF Working Papers*.
- Sen, L. K. and M. Shitan, 2002, The Performance of AICC as an Order Selection Criterion in ARMA Time Series Models, *Automatica*, 10(January):25–33.
- Snyder, R., 1982, Robust Time Series Analysis, *European Journal of Operational Research*, 9(2):168–172.
- Taleb, N. N., 2007, *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable* (Random House, 2007), *NY Random House*.
- Tseng, F.-M., G.-H. Tzeng, H.-C. Yu, and B. J. Yuan, 2001, Fuzzy ARIMA Model for Forecasting the Foreign Exchange Market, *Fuzzy Sets and Systems*, 118(1):9–19.
- Villavicencio, P. J., 2010, Introducción a Series de Tiempo, *Manual: Metodología de series de tiempo*, page 33.

- Whittle, P., 1953, Estimation of Parameters in Time-Series Regression Models, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 15(1):125–139.
- Yaziz, S. R., N. A. Azizan, R. Zakaria, and M. H. Ahmad, 2013, The Performance of Hybrid ARIMA-GARCH Modeling in Forecasting Gold Price, *20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, Australia*, (December):1–6.
- Yellen, J. L., 2016, *The Outlook, Uncertainty, and Monetary Policy*.

# Apéndice A

## Otras estadísticas descriptivas

Tabla A.1: Estadísticas en el tipo de cambio USD/EUR

	General	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
Media	0.79	0.81	0.73	0.83
Mediana	0.78	0.81	0.72	0.84
Min	0.63	0.73	0.63	0.72
1er cuantil	0.74	0.78	0.69	0.76
3er cuantil	0.85	0.83	0.75	0.89
Max	0.96	0.92	0.84	0.96
Fecha inicio	15/07/2003	15/07/2003	07/07/2007	30/11/2011
Fecha final	11/12/2018	06/02/2007	29/11/2011	11/12/2018
N	4 021	905	1 255	1 835

Tabla A.2: Estadísticas en el tipo de cambio USD/CHF

	General	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
Media	1.06	1.26	1.06	0.96
Mediana	1.00	1.26	1.06	0.96
Min	0.73	1.13	0.73	0.85
1er cuantil	0.95	1.23	1.00	0.93
3er cuantil	1.19	1.29	1.15	0.99
Max	1.42	1.4	1.25	1.03
Fecha inicio	15/07/2003	15/07/2003	07/07/2007	30/11/2011
Fecha final	11/12/2018	06/02/2007	29/11/2011	11/12/2018
N	4 021	905	1 255	1 835

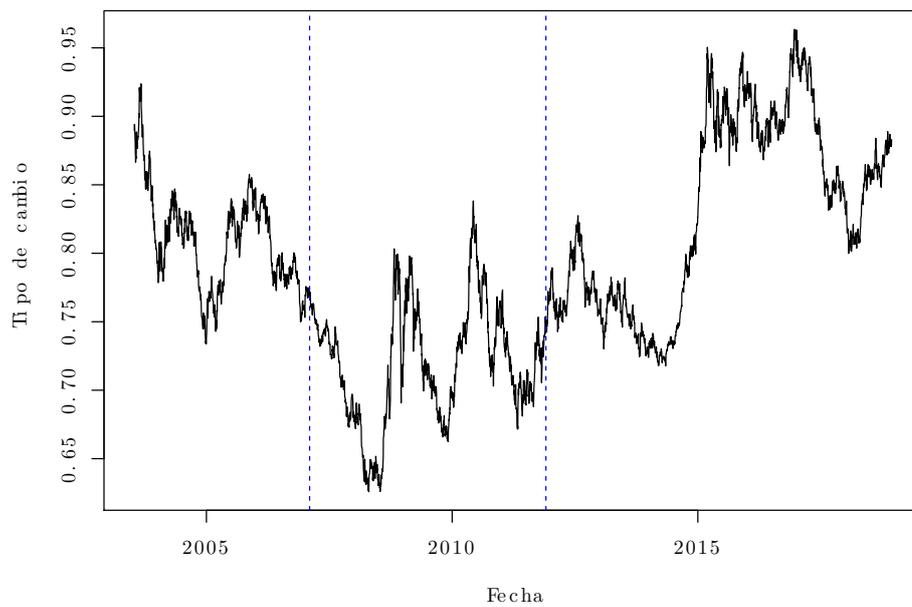
Tabla A.3: Estadísticas en el tipo de cambio CHF/EUR

	General	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
Media	0.76	0.64	0.69	0.87
Mediana	0.78	0.64	0.66	0.86
Min	0.60	0.62	0.60	0.79
1er cuantil	0.65	0.64	0.62	0.83
3er cuantil	0.85	0.65	0.75	0.92
Max	1.02	0.66	0.97	1.02
Fecha inicio	15/07/2003	15/07/2003	07/07/2007	30/11/2011
Fecha final	11/12/2018	06/02/2007	29/11/2011	11/12/2018
N	4 021	905	1 255	1 835

# Apéndice B

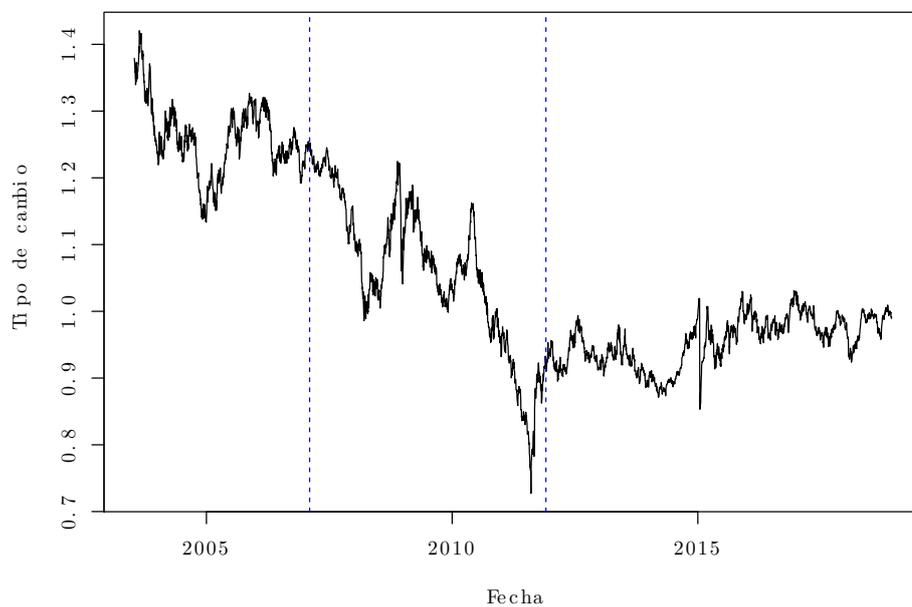
## Otras gráficas

Figura B.1: Gráfica del tipo de cambio USD/EUR.



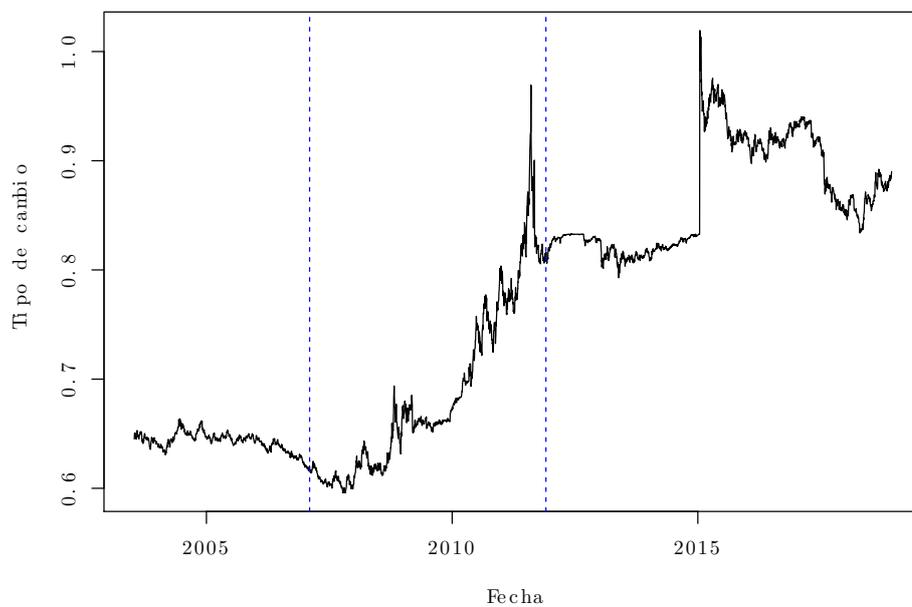
(a) USD/EUR

Figura B.2: Gráfica del tipo de cambio USD/CHF.



(a) USD/CHF

Figura B.3: Gráfica del tipo de cambio CHF/EUR.



(a) CHF/EUR