

La Dinámica del Tipo de Cambio Nominal en Uruguay en el período 2005-2009

Una aplicación de cambios de régimen de Markov a modelos GARCH

$$V(\varepsilon_t / I_{t-1}, \tilde{r}_t) = \sum_{j=1}^2 \omega_j V(\varepsilon_t / \tilde{r}_t, I_{t-1} | I_{t-2} = j, \theta)$$

$$\gamma = (\mu_1, \mu_2, \omega_1, \omega_2, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2)$$

$$\varepsilon_t / I_{t-1}, \tilde{r}_t \sim N[0, V(\varepsilon_t / \tilde{r}_t, I_{t-1})]$$

$$s_t = \mu_{r_t} + \varepsilon_t$$

$$r_t = 1 + \tilde{r}_t$$

$$V(\varepsilon_t / \tilde{r}_t, I_{t-1}) = \omega_{r_t} + \alpha_{r_t} \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_{r_t} E_{t-1}[V(\varepsilon_{t-1} / \tilde{r}_{t-1}, I_{t-2}) / r_t]$$

Trabajo de Investigación Monográfico
Facultad de Ciencias Económicas y de Administración
Universidad de la República
Montevideo, Julio 2011

Autora: Silvana Acosta
Tutor: Alejandro Pena Sánchez

Página de Aprobación

Facultad de Ciencias Económicas y de Administración – Universidad de la República

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba la Tesis de Investigación:

Título: La Dinámica del Tipo de Cambio Nominal en Uruguay en el período 2005-2009. Una aplicación de cambios de régimen de Markov a modelos GARCH.

Autora: Silvana Acosta

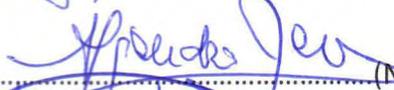
Tutor: Alejandro Pena Sánchez

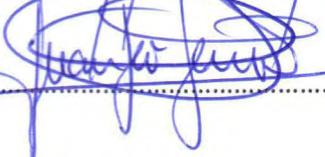
Carrera: Licenciatura en Economía – Plan 1990.

Puntaje: 555 (12)

Tribunal

Profesor ALFONSO ESPURDO  (Nombre y Firma)

Profesor ALEJANDRO PENA  (Nombre y Firma)

Profesor Jambái Boyeneche  (Nombre y Firma)

Fecha: 30/08/2011

Agradecimientos

Agradezco a Alejandro Pena por haberme planteado el desafío de investigar cómo funcionaría una combinación de modelos estadísticos que resultó ser completamente novedosa y fascinante para mí. En particular, por haber confiado en mi capacidad para poder llevar adelante exitosamente la tarea y por sus comentarios al trabajo.

Especialmente quiero agradecer la colaboración de Juan José Goyeneche e Ignacio Álvarez para adaptar las rutinas de programación que fueron imprescindibles para la investigación. En particular, agradezco a Ignacio Álvarez por su excelente disposición, sus valiosos aportes a una versión preliminar del trabajo y por su paciencia para ayudarme con conceptos estadísticos. También a Sebastián Castro por haber atendido diversas inquietudes. A ellos, por su solidaridad con la causa y por el tiempo que dedicaron para ayudarme a hacer de este trabajo algo mejor. A Juri Marcucci por haber contestado mis consultas sobre su programa en MATLAB, que es el que se adaptó para esta investigación.

También quiero agradecer a Andrés Rius por el tiempo que dedicó a atender mis inquietudes sobre aspectos teóricos y de pensamiento en economía. Especialmente, quiero agradecer a Bibiana Lanzilotta por su excelente disposición para responder absolutamente todas mis consultas y por sus valiosos comentarios a una versión preliminar de este trabajo de investigación. A Ivone Perazzo y Carolina Román, por su atenta lectura de algunas partes del trabajo y sugerencias sobre la redacción y aspectos formales de presentación del documento.

Un agradecimiento especial a Ernesto Mordecki por haber estado siempre dispuesto a ayudarme con conceptos de cálculo estocástico necesarios para los análisis en finanzas. También a Umberto Della Mea, por sus comentarios a un proyecto de investigación que abarca parte del trabajo realizado aquí, vinculado a política monetaria. A Gonzalo Zunino, quien en su momento atendió todas mis consultas sobre las series disponibles para el estudio, y al equipo de CINVE, que generosamente me proporcionó los datos necesarios.

Por último, quiero agradecer a mi familia y amigos. Por su compañía, apoyo incondicional, paciencia y aliento durante todo este tiempo.

Absolutamente todos los errores, omisiones y limitaciones que puedan persistir en este trabajo de investigación son de mi entera responsabilidad.

Resumen

Esta investigación analiza las principales características del tipo de cambio nominal del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano en el período 2005-2009, y los modelos estadísticos que permiten captarlas. Durante este período la economía se encuentra en un sistema de flotación del tipo de cambio, y algunos estudios han señalado que en estas condiciones los mercados se comportan como una caminata al azar. Sin embargo, en consonancia con los hallazgos para diversos mercados financieros, se detecta agrupamiento temporal y colas gruesas en la distribución de los cambios de la cotización, por lo que se estima un modelo GARCH(1,1). Asimismo, debido a que la literatura empírica identifica que este tipo de estimaciones de volatilidad pueden estar escondiendo diferentes estados o regímenes en la serie de volatilidad, lo que podría explicar la elevada persistencia en los modelos GARCH(1,1), se estima un modelo MRS(2)-GARCH(1,1).

Este trabajo encuentra que el modelo MRS(2)-GARCH(1,1) proporciona un mejor ajuste que el modelo GARCH(1,1), y además brinda una caracterización interesante de la dinámica del mercado ajustada a dos estados diferentes. Estos modelos han resultado exitosos desde el punto de vista empírico para describir el comportamiento de varios activos financieros, no pueden comprenderse dentro del marco de pensamiento neoclásico ortodoxo en finanzas, y no se suelen brindar explicaciones teóricas para ellos. En esta investigación se resumen dos explicaciones teóricas alternativas al pensamiento neoclásico, dentro del enfoque de complejidad en economía, que sustentan el comportamiento que describen los modelos estadísticos que aquí se estiman, por lo que el trabajo aporta elementos para la discusión teórica de cómo aproximarse al mercado cambiario. Por último, los resultados de la estimación del modelo MRS(2)-GARCH(1,1) identifican que el estado de alta volatilidad comienza a principios de 2007, y se caracteriza por una duración promedio y varianza de la duración que son relativamente menores en comparación a las del estado de baja volatilidad. A partir de estos hallazgos, el trabajo elabora hipótesis interpretativas sobre los posibles impactos de la crisis financiera internacional reciente y el rol de la política monetaria doméstica, temas que pueden ser objeto de estudio de futuras investigaciones.

Palabras Clave: *tipo de cambio nominal, heterocedasticidad condicional, cambios de régimen de Markov, modelo de caminata al azar, economía de complejidad.*

Índice

1. Introducción	3
PARTE I: CONSIDERACIONES TEÓRICAS Y PLANTEO DEL PROBLEMA	7
2. Fundamento	8
3. Marco Conceptual	11
3.1. Economía Neoclásica	12
3.1.1. El Pensamiento Neoclásico	12
3.1.2. Hipótesis de Mercados Eficientes y Caminata al Azar	14
3.1.3. Inconsistencias y Fallas en las Finanzas	16
3.2. Economía de Complejidad	20
3.2.1. La Econofísica	20
3.2.2. El Pensamiento de Complejidad	22
3.2.3. Explicaciones Alternativas en Finanzas	24
4. Problema de Investigación	29
4.1. Preguntas e Hipótesis	29
4.2. Objetivos Generales y Específicos	30
PARTE II: HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS Y APLICACIONES	32
5. Marco Analítico	33
5.1. La Caminata al Azar	34
5.2. La Volatilidad del Tipo de Cambio Nominal	35
5.3. El Nivel del Tipo de Cambio Nominal	38
5.4. Estados de la Volatilidad del Tipo de Cambio Nominal	39
6. Antecedentes Empíricos	43
6.1. La Volatilidad del Tipo de Cambio Nominal	44
6.2. El Nivel del Tipo de Cambio Nominal	45
6.3. Estados de la Volatilidad del Tipo de Cambio Nominal	47
7. Modelos Estadísticos	49
7.1. Heterocedasticidad Condicional Autorregresiva	50
7.1.1. Presentación del Modelo	50
7.1.2. Método de Estimación	51
7.2. Cambios de Régimen de Markov	52
7.2.1. Presentación del Modelo	52
7.2.2. Método de Estimación	54

7.3. Cambios de Régimen Aplicados a Heterocedasticidad.....	58
7.3.1. Presentación del Modelo.....	58
7.3.2. Método de Estimación.....	62
PARTE III: RESULTADOS Y REFLEXIONES.....	65
8. Resultados y Análisis.....	66
8.1. Estadística Descriptiva.....	67
8.2. Modelo GARCH(1,1).....	70
8.3. Modelo MRS(2)-GARCH(1,1).....	71
8.4. Comparación del Ajuste.....	77
8.5. Líneas de Avance en el Análisis Estadístico.....	79
9. Reflexiones Finales.....	84
9.1. Principales Conclusiones.....	85
9.2. Líneas de Investigación Futura.....	87
9.3. Aportes de la Investigación.....	94
Bibliografía.....	98
Anexo A: Investigaciones Aplicadas.....	108
Anexo B: Desarrollos Estadísticos.....	116
Anexo C: Resultados de las Estimaciones.....	123

1. Introducción

Este trabajo de investigación analiza modelos estadísticos para describir la dinámica del tipo de cambio nominal del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano en el período 2005-2009. Su estudio es particularmente relevante debido a que en este período se produce una consolidación del compromiso de la política monetaria con el objetivo de inflación, y la economía se encuentra en un sistema de flotación cambiaria, cuyos orígenes se remontan al año 2002 con la crisis económica. Si bien a nivel internacional varias investigaciones han discutido sobre la caracterización de la dinámica de los tipos de cambio nominales bajo flotación, para Uruguay las investigaciones han tendido a concentrarse en el tipo de cambio real¹.

Algunas investigaciones a nivel internacional de los tipos de cambio en flotación, interpretan que éstos se comportan como una caminata al azar, ya que encuentran que no se ajustan a la evolución de fundamentos, y en términos generales no se pueden predecir. Si bien estos resultados sobre el primer momento de la serie pueden ser válidos, su interpretación en términos de un comportamiento de caminata al azar ha sido cuestionada, en tanto la dependencia en los momentos de mayor orden de la serie es una característica ampliamente documentada en la literatura empírica. Principalmente por este motivo, sus características más importantes no se corresponden con el modelo de caminata al azar, aunque es permanente la discusión acerca de cómo modelizar el comportamiento del tipo de cambio en flotación.

El modelo de caminata al azar es una forma particular de la hipótesis de mercados eficientes, en la que se sustenta el pensamiento neoclásico ortodoxo en finanzas. Además de los cuestionamientos con sustento empírico, también se han realizado críticas teóricas a este enfoque, en particular a su construcción en base a supuestos de análisis restrictivos, que no permiten explicar la realidad de los mercados. Esto ha motivado una serie de investigaciones dentro de un marco de pensamiento alternativo, con supuestos y metodologías diferentes, que han probado ser útiles para reproducir el comportamiento que empíricamente se observa en los mercados. Adicionalmente, esta misma dinámica ha sido capturada exitosamente con modelos estadísticos que se apartan de la caminata al azar, y no pueden ser comprendidos en el marco de pensamiento neoclásico en finanzas.

¹ La relevancia de estudiar la dinámica del tipo de cambio nominal para Uruguay será desarrollada en el próximo capítulo correspondiente al fundamento de la investigación. De aquí en más, las referencias al “tipo de cambio”, aluden al tipo de cambio nominal y no al tipo de cambio real. Adicionalmente, la referencia es a la paridad con el Dólar Norteamericano, a no ser que se explicita lo contrario. Por otra parte, es importante aclarar que, debido a que este capítulo presenta la investigación, para no sobrecargar el texto se optó por no incluir las referencias bibliográficas. Todas las cuestiones que se abordan aquí, serán tratadas en detalle en los siguientes capítulos del trabajo con sus correspondientes referencias bibliográficas.

A finales de la década de 1970 se publicaron estudios que concluyen que los tipos de cambio de varias economías luego de la caída de Bretton Woods en 1973, se comportan como una caminata al azar. Las investigaciones encuentran que los tipos de cambio no se ajustan a fundamentos, tampoco se pueden capturar utilizando modelos de series temporales autorregresivas o reglas técnicas, y en términos generales no se pueden predecir. La interpretación que proporcionan de estos resultados, es que el tipo de cambio se comporta de acuerdo al modelo de caminata al azar propuesto por Bachelier en 1900, en línea con los hallazgos empíricos que existían para el precio de las acciones, y su explicación teórica en la hipótesis de mercados eficientes, consolidada en la década de 1970. Desde esta perspectiva, debido a que el tipo de cambio es una caminata al azar, los cambios que se producen en la cotización, conocidos como los retornos del activo financiero, son una sucesión de *shocks* del tipo ruido blanco, que adicionalmente se suponían gaussianos.

Desde mediados de la década de 1960 se publicaron investigaciones que destacaban las inconsistencias entre las principales características empíricas de los precios de los activos financieros y el comportamiento que implica el modelo de caminata al azar. Los cuestionamientos estaban dirigidos al supuesto de que los retornos eran una sucesión de *shocks* del tipo ruido blanco gaussiano. En particular, las investigaciones mostraban que los retornos de los activos exhibían colas gruesas y agrupamiento temporal de la volatilidad, orientando así la discusión a los momentos estadísticos de mayor orden. Buscando capturar este último fenómeno, durante la década de 1980 se proponen nuevos procesos estocásticos (ARCH y GARCH) para la volatilidad de los activos financieros, que prueban ser capaces de recoger estas características importantes de sus retornos. La volatilidad del activo se define como la varianza de sus retornos, o de los cambios en el precio, es decir es la variabilidad de los *shocks*. La propuesta de estos modelos consiste en especificar una estructura autorregresiva del tipo ARMA para la varianza de los retornos².

Las investigaciones que aplican estos modelos encuentran que sus estimaciones implican una elevada persistencia de la volatilidad, lo que motivó el desarrollo de dos líneas de investigación. Por un lado, se interpretó este fenómeno como una propiedad de memoria infinita o de largo plazo en los retornos de los activos financieros. Desde otra perspectiva, se entendió que la elevada persistencia sugerida obedece a cambios estructurales en el proceso de volatilidad que no estarían siendo reconocidos. De ser así, las estimaciones tradicionales de volatilidad, estarían escondiendo lo que ocurriría en distintos estados, lo que brinda una motivación adicional para estimar modelos que incorporen los cambios de

² Estos son modelos de heterocedasticidad condicional autorregresiva, es decir son una especificación para la varianza condicional de modo que es cambiante en el tiempo. Las siglas provienen de su denominación en inglés: *Autorregresive Conditional Heteroskedasticity* (ARCH) y *Generalized Autorregresive Conditional Heteroskedasticity* (GARCH). La sigla ARMA proviene de la denominación en inglés del modelo *Autorregresive Moving Average*. Es importante aclarar que los cambios en el precio de un activo financiero (retornos) se miden en logaritmos. En el caso del tipo de cambio nominal, sus retornos equivalen aproximadamente a la tasa de depreciación.

régimen. Esta última interpretación sobre la persistencia es la que se adopta en esta investigación.

A mediados de la década de 1990 se desarrollan modelos estadísticos que buscan atender el problema de la persistencia en la volatilidad desde esta interpretación, a través de la aplicación de cambios de régimen de Markov (MRS) a los modelos ARCH y GARCH, lo que se conoce como modelos MRS-(G)ARCH³. Esta combinación de técnicas ha probado ser útil para recoger comportamientos de menor persistencia dentro de los distintos estados o regímenes por los que atraviesa el proceso de volatilidad de los retornos y para brindar descripciones más ajustadas de los episodios del mercado. Adicionalmente, la aplicación resulta intuitiva a la luz del espíritu de los modelos ARCH y GARCH, que buscan capturar el fenómeno de agrupamiento temporal de volatilidad reconociendo que la variabilidad de los retornos transita entre períodos “nerviosos” y “calmos” del mercado.

Básicamente, la propuesta de los modelos MRS-(G)ARCH es introducir cambios de régimen en la especificación de volatilidad del tipo ARMA de los modelos ARCH y GARCH, reconociendo que pueden estar sucediendo cambios en el proceso generador de datos de los retornos. Es importante destacar que las primeras aplicaciones de cambios de régimen de Markov fueron realizadas al primer momento de la distribución de los retornos, indicando que también el nivel de los mismos está sujeto a diferentes tendencias, y fueron utilizadas para contrastar con el ajuste del modelo de caminata al azar. Por estos motivos, en esta investigación se estima un modelo con cambios de régimen tanto en la media condicional como en la varianza condicional, aunque el centro de interés se encuentra en describir la volatilidad, en línea con la principal preocupación desde la década de 1980.

Esta investigación muestra que los cambios en la cotización o retornos del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano en el período 2005-2009 indican agrupamiento temporal de la volatilidad y exhiben colas gruesas, por lo que no son una sucesión de *shocks* del tipo ruido blanco, y el comportamiento del tipo de cambio no es consistente con una caminata al azar. Por este motivo, se estiman modelos estadísticos que buscan recoger estas características, y se encuentra que la dinámica que sigue la volatilidad cambiaria se describe relativamente mejor con un modelo MRS(2)-GARCH(1,1), en comparación con el modelo GARCH(1,1) que es el que tradicionalmente se utiliza a tales efectos.

³ El motivo por el cual se opta por esta interpretación de la persistencia en la volatilidad se explicitará en el capítulo 5 correspondiente al marco analítico del trabajo, y en el capítulo 8 en el apartado que presenta las líneas de avance en el análisis estadístico se volverá sobre este tema. La sigla MRS proviene de la denominación en inglés del modelo, *Markov Regime Switching*, y debido a que han sido aplicados tanto a modelos ARCH como GARCH, se alude genéricamente a esta combinación de técnicas como MRS-(G)ARCH. Adicionalmente, la notación MRS(2) refiere a que el proceso se está modelizando con dos regímenes o estados, y la notación GARCH(1,1) significa que la especificación para la varianza condicional corriente de los retornos depende de 1 rezago en los *shocks* cuadráticos y 1 rezago en la varianza condicional.

Desde el punto de vista empírico, los hallazgos de esta investigación aportan evidencia en contra de la caminata al azar y muestran la necesidad de modelizar el mercado con dinámicas no lineales, reconociendo períodos diferentes de agrupamiento temporal de volatilidad en el proceso, colas gruesas en la distribución, y dando cuenta de cambios de estado en el mercado. Debido a esto, los resultados tienen implicaciones sobre las formas de medición del riesgo cambiario en la economía, y en concreto el momento en el que se encuentra que se produce un cambio de régimen y la caracterización que surge de los estados que subyacen en el proceso, permiten elaborar hipótesis interpretativas sobre los posibles impactos de la crisis financiera internacional reciente y el rol de la política monetaria doméstica. Por otra parte, la evidencia empírica hallada sugiere que los análisis del mercado partan desde un enfoque de agentes heterogéneos en interacción, contemplen elementos “sociológicos” y “psicológicos” en el mercado, y se aparten de la noción de racionalidad deductiva tradicional de la economía. En este sentido, desde una óptica teórica, esta investigación aporta a orientar la discusión y las formas de analizar al mercado cambiario uruguayo desde una perspectiva diferente a la teoría neoclásica ortodoxa en finanzas.

Esta investigación se estructura en tres partes. En la primera parte se explica la relevancia de estudiar el comportamiento del tipo de cambio nominal para la economía uruguaya (capítulo 2), se exponen los enfoques de pensamiento neoclásico y de complejidad en economía, bajo los cuales se generan dinámicas empíricas totalmente diferentes en los mercados financieros (capítulo 3), y por último se plantean las interrogantes e hipótesis que surgen, así como los objetivos generales y específicos del trabajo (capítulo 4). La segunda parte del trabajo trata sobre los modelos estadísticos que serán utilizados y las aplicaciones que se les ha dado en la literatura económica. Se comienza señalando las principales características empíricas que busca recoger cada una de las técnicas, así como los conceptos que subyacen en la modelización que proponen (capítulo 5), luego se resumen las principales aplicaciones de estas técnicas a partir de la revisión bibliográfica de antecedentes empíricos (capítulo 6), y por último se realiza una presentación formal de los modelos estadísticos que serán empleados y su método de estimación (capítulo 7). La tercera parte del trabajo comienza presentando los resultados de las estimaciones y las líneas de avance en el análisis estadístico (capítulo 8). Luego se exponen las principales conclusiones de la investigación en términos de las hipótesis y objetivos planteados, y las hipótesis interpretativas de los resultados, a partir del posible impacto de la crisis financiera internacional reciente y el rol de la política monetaria doméstica, que pueden constituir líneas de investigación futura, y los aportes de este trabajo de investigación (capítulo 9).

PARTE I

CONSIDERACIONES TEÓRICAS Y PLANTEO DEL PROBLEMA

2. Fundamento

El análisis de la volatilidad cambiaria es particularmente relevante para Uruguay debido a la reciente consolidación del compromiso de la política monetaria con el objetivo de inflación, acompañada de la declaración de un sistema de flotación. Si bien este sistema cambiario se adoptó a la salida de la crisis económica de 2002, la política monetaria experimentó varios cambios hasta mediados de 2005, como muestran Aboal et. al. (2006). Por este motivo, el período de referencia para el análisis de esta investigación comienza en Julio de 2005, luego de que el Comité de Política Monetaria del Banco Central del Uruguay destacara el carácter de instrumento de la base monetaria, fortaleciendo su compromiso con el objetivo de inflación.

Los sistemas de flotación suelen asociarse a mayores niveles de volatilidad del tipo de cambio, y además la caracterización del comportamiento de las cotizaciones bajo estos sistemas no es trivial, ya que no resulta inmediato que necesariamente obedezca a ciertos fundamentos, y su dinámica puede parecer completamente al azar⁴. Por otra parte, conocer la volatilidad del tipo de cambio es importante, ya que aporta a la comprensión del comportamiento de distintas variables macroeconómicas. En particular, esto se debe a los impactos que tiene en el comercio internacional, la producción, las finanzas y los precios domésticos (Diebold y Nerlove, 1989). Más aún, específicamente para Uruguay, la relevancia de su estudio está determinada adicionalmente por la importancia especial que tiene el tipo de cambio en una economía pequeña, abierta y dolarizada. En efecto, al respecto de estas primeras dos características, entre los principales impactos de la volatilidad del tipo de cambio se destaca la incertidumbre que genera en los precios de las exportaciones e importaciones, el volumen de comercio internacional y los flujos de inversión. También puede afectar la estructura del empleo y del crecimiento económico, a través de la alteración de la asignación de recursos productivos entre industrias transables y no transables, y el valor en moneda doméstica de remesas de los trabajadores, que a su vez puede afectar a los salarios y precios domésticos (Schwartz, 2000).

Asimismo, la volatilidad del tipo de cambio afecta el riesgo cambiario implícito en posiciones abiertas en moneda extranjera, genera movimientos en los portafolios, modifica las expectativas de los agentes económicos -pudiendo generar más perturbaciones-, impacta en los flujos de capitales, y se puede traducir en un eventual riesgo para la estabilidad del sistema financiero (Johnson, 2000). En particular, en un contexto de elevada

⁴ Algunas investigaciones que sostienen el modelo de caminata al azar específicamente para los mercados cambiarios, se desarrollarán en el capítulo 5 correspondiente al marco analítico del trabajo, mientras que los supuestos y construcción del modelo, originados en estudios sobre los mercados de acciones, se desarrollarán en el próximo capítulo. Por otra parte, una aplicación de la idea de sistemas de flotación asociados a mayor volatilidad para Uruguay puede verse en Aboal et. al. (2006), que se pregunta, entre otras cosas, si la volatilidad aumentó con el pasaje a un sistema de flotación en 2002. El resultado es que la volatilidad efectivamente aumentó, lo que señalan que puede considerarse como un indicio acerca de la flexibilidad del sistema cambiario.

dolarización los impactos que tienen los movimientos abruptos del tipo de cambio en el descalce de los bancos aumentan la vulnerabilidad del sistema al riesgo de solvencia y al riesgo de liquidez, debido al escaso respaldo relativo en dólares de las instituciones en este escenario, que puede comprenderse si estas instituciones perciben un seguro implícito por parte del Estado (Cayazzo et. al. 2006). Más aún, debe considerarse que la volatilidad del tipo de cambio también afecta los recursos del Estado debido a los impactos que tiene en los cambios en el valor en moneda doméstica de las reservas internacionales de la autoridad monetaria y de los pagos de deuda (Diebold y Nerlove, 1989). Por estos motivos, las mediciones de volatilidad cambiaria permiten elaborar indicadores de riesgo que sirven para diseñar políticas de supervisión financiera.

Por otra parte, en una economía dolarizada es relevante contar con un análisis de la volatilidad cambiaria debido al traspaso que existe del tipo de cambio al nivel de precios domésticos. El *pass through* es uno de los principales motivos por los que las economías pueden padecer de “miedo a la flotación”, que se detecta a partir de la observación empírica de baja volatilidad de los tipos de cambio, incluso en períodos en que las economías reciben *shocks* externos, a pesar de declarar que se encuentran en un sistema de flotación (Calvo y Reinhart, 2002). En esta hipótesis, la escasa volatilidad cambiaria responde a las acciones deliberadas de política económica para controlar el tipo de cambio. De ser así, una investigación que brinde una estimación que permita encontrar estados o regímenes que indiquen niveles en la volatilidad del tipo de cambio, puede contribuir a la elaboración de diagnósticos sobre el “miedo a la flotación” en Uruguay, como el que realizan Aboal et. al. (2006). En dicha investigación se estima una función de reacción del Banco Central del Uruguay para conocer las motivaciones detrás de las intervenciones en el mercado cambiario, y se completa el análisis estudiando si las mismas fueron efectivas.

En esta línea, en la literatura económica se debate acerca del impacto de las intervenciones en el mercado cambiario sobre la volatilidad de los tipos de cambio. Al respecto, como se desarrollará en el último capítulo de este trabajo, algunas investigaciones encuentran que las intervenciones pueden mitigar la volatilidad cambiaria, por lo que una correcta estimación de ésta puede aportar a la comprensión y el diseño de la política monetaria. Más aún, trabajos que utilizan cambios de régimen de Markov encuentran que el resultado sobre la efectividad de las intervenciones es diferente según cuál sea el estado prevaleciente de la volatilidad cambiaria, cuestionando la conclusión tradicional de intervenciones asociadas a mayor volatilidad (Beine et. al., 2003)⁵.

⁵ Para una breve referencia sobre los principales argumentos esgrimidos en la literatura económica para fundamentar un impacto de aumento, disminución o no efecto de las intervenciones sobre la volatilidad cambiaria, pueden verse el trabajo de Bonser-Neal (1996). Este tema será abordado en el capítulo 9 correspondiente a las reflexiones finales de esta investigación, donde se mencionarán algunas de las dificultades a las que se enfrentan este tipo de investigaciones sobre política monetaria.

Por otra parte, el análisis de la volatilidad del tipo de cambio en Uruguay cobra una importancia particular a la luz de los posibles impactos de la crisis financiera internacional reciente. El estudio de (Courdet et. al., 2010) afirma que ésta provocó un aumento la volatilidad de los mercados cambiarios de las economías emergentes desde mediados de 2007, en particular de las latinoamericanas, dentro de las que incluyen a la economía uruguaya. Según Gallego et. al. (2010), la resistencia que mostró inicialmente América Latina se quebró abruptamente a partir de la bancarrota de *Lehman Brothers* en setiembre de 2008, y se acompañó de un fuerte retroceso de capitales que se revirtió a partir del primer trimestre de 2009 dando signos de recuperación. Los autores destacan que esto se tradujo en depreciaciones agudas de la moneda durante este período, que luego fueron revertidas inyectando divisas en los mercados locales, utilizando las reservas internacionales acumuladas.

En este sentido, una estimación de volatilidad que reconozca regímenes o estados permite conocer y caracterizar la evolución del nivel de la volatilidad cambiaria, contribuyendo a identificar posibles episodios de tensión en los mercados. Adicionalmente, las técnicas que aquí se utilizan permiten encontrar endógenamente los momentos en los que se producen los cambios entre los estados de la volatilidad, por lo que a diferencia de los estudios de Gallego et. al. (2010) y Courdet et. al. (2010), que alcanzan sus resultados partiendo de que los cambios se producen a mediados de 2007 o fines de 2008, la metodología estadística que se utiliza en este trabajo contribuye a identificar el momento en que se producen los posibles impactos locales de la crisis financiera internacional.

Por todos estos motivos, se entiende que un estudio de la volatilidad cambiaria en Uruguay puede aportar al análisis de la estabilidad macroeconómica y la discusión de las políticas económicas que se pueden implementar, en particular aquellas que traten sobre las posibles acciones de política monetaria y supervisión financiera. Adicionalmente, la relevancia de la investigación que aquí se realiza está dada por la escasez de estudios a nivel nacional sobre la dinámica del tipo de cambio nominal, debido a que la amplia mayoría de las investigaciones desarrolladas en Uruguay se han preocupado por el tipo de cambio real. Por otra parte, no existen antecedentes a nivel nacional de estimaciones de la volatilidad del tipo de cambio nominal que utilicen la combinación de técnicas que aquí se propone, que ha probado ser útil para caracterizar diversos mercados financieros, considerando distintos activos, períodos y países⁶.

⁶ Probablemente la falta de estudios a nivel nacional sobre la dinámica del tipo de cambio nominal obedezca a que el sistema de flotación cambiaria es una situación novel para Uruguay, como señalan Aboal et. al. (2006).

3. Marco Conceptual

Este capítulo busca situar en el pensamiento económico la discusión acerca de qué tipo de proceso estocástico es útil para describir el comportamiento del precio de los activos financieros. Para ello se resumen las principales ideas del pensamiento neoclásico y de complejidad, que son compatibles con comportamientos empíricos diferentes del retorno de los activos financieros. En primer lugar, se destacan algunas ideas del enfoque neoclásico que son relevantes para los análisis en finanzas (apartado 3.1.1), luego se desarrollan los principales supuestos del modelo de caminata al azar y la forma en la que se construyó la hipótesis de mercados eficientes (apartado 3.1.2), y por último se destacan las principales inconsistencias y fallas del enfoque ortodoxo tanto desde el punto de vista teórico como empírico (apartado 3.1.3).

La segunda parte del capítulo comienza sintetizando las preocupaciones de la econofísica, que estudia los modelos estadísticos que buscan recoger las características empíricas que se apartan del enfoque ortodoxo, en particular los que se estiman en esta investigación (apartado 3.2.1). Luego se exponen las principales ideas del pensamiento de complejidad, que proporciona un sustento teórico para el comportamiento empírico que describen estos modelos, que no tiene ningún tipo de explicación en el marco de pensamiento ortodoxo en finanzas (apartado 3.2.2). Por último, se resumen los aspectos más importantes de dos investigaciones de economía de complejidad que brindan explicaciones al comportamiento empírico que describen los modelos estadísticos que aquí se estiman (apartado 3.2.3).

3.1. Economía Neoclásica

3.1.1. El Pensamiento Neoclásico

El pensamiento neoclásico en economía ha sido interpretado como un enfoque sustentado en ideas de la física del siglo XIX derivadas de la mecánica clásica newtoniana, que acarrear limitaciones para describir y explicar una realidad económica esencialmente compleja (Mirowski, 1992). Sus modelos económicos están basados en supuestos rígidos y un formalismo matemático que se traducen en un reduccionismo metodológico. Las leyes newtonianas son esencialmente determinísticas y describen la realidad en términos de ecuaciones lineales perfectamente predecibles. El espacio para el análisis dinámico queda seriamente limitado, ya que incluso la incorporación de *shocks* estocásticos en la teoría neoclásica se realiza considerando que son exógenos y varios análisis adicionalmente consideran que no existen efectos de retroalimentación de la variable endógena al ambiente, que es el único caso en que la estática comparativa puede ser útil (Prokhorov, 2001)⁷.

El concepto de equilibrio neoclásico, construido a partir de la suma de individuos homogéneos y racionales se asemeja a la idea newtoniana de un sistema lineal de equilibrio estable, donde la noción de equilibrio implica un cuerpo en reposo que sólo puede alcanzar movimiento cuando el sistema es perturbado por una fuerza externa. En esta situación, el sistema cambia en la misma dirección y proporción a la fuerza aplicada, así como las desviaciones del equilibrio económico son corregidas proporcionalmente por la interacción entre oferta y demanda. Esta es una perspectiva aditiva sobre la interacción de diferentes fenómenos estudiados aisladamente, por lo que el comportamiento de un sistema complejo es concebido como una superposición lineal del comportamiento de sus elementos (Velásquez, 2009).

Adicionalmente, el enfoque de análisis en economía fue esencialmente determinístico hasta la década de 1940, cuando se comenzaron a introducir consideraciones estocásticas. En este sentido, es importante destacar el rol que tuvo el cambio de paradigma científico desde finales de la década de 1920 con el desarrollo de la mecánica cuántica, cuyo principal aporte fue dar incertidumbre a la ciencia, debido a que las descripciones sólo pueden

⁷ En este apartado se presenta la visión neoclásica con especial énfasis en sus ideas más ortodoxas, que serán de las que se aparten las explicaciones alternativas en finanzas proporcionadas en el último apartado de este capítulo. Adicionalmente, se opta por una caracterización simplificada del enfoque neoclásico ortodoxo, que aquí será entendida en términos de una visión del mundo económico como determinístico o estocástico de *shocks* en sistemas de comportamiento lineal y estacionario, con análisis dinámicos limitados y una concepción de la racionalidad establecida en términos deductivos. Es importante considerar que los análisis que se apartan de estas ideas no son necesariamente "no neoclásicos", y más aún, que una correcta caracterización de un enfoque de pensamiento implica considerar muchísimos más aspectos que los señalados previamente. No obstante, debido a que este apartado busca únicamente contextualizar la discusión de los procesos estocásticos en finanzas, y que esta investigación no es un trabajo de historia del pensamiento económico, se opta por una caracterización simplificada que es adecuada para el fin expositivo que persigue el apartado.

realizarse en términos probabilísticos. Sin embargo, la introducción en economía se produjo a partir de “...*shocks* estocásticos exógenos que fueron superimpuestos sobre modelos determinísticos (generalmente lineales) para producir la apariencia estocástica de las series de tiempo económicas reales...” (Prokhorov, 2001, p.10)⁸. En términos generales, como resume Velásquez (2009), concebir que los sistemas económicos sólo pueden alterarse por factores externos excluye la posibilidad de movimiento interno no lineal y cambios espontáneos auto-causados. En este sentido, la autora destaca como uno de los principales supuestos de los modelos neoclásicos que los agentes actúan independientemente, eliminando así la posibilidad de interacciones, que como se desarrollará más adelante, pueden generar un comportamiento no lineal del sistema.

Adicionalmente, señala que en este enfoque se supone que las preferencias de los agentes son homogéneas y que éstos actúan racionalmente en función de ellas, considerando toda la información disponible, con el objetivo de maximizar su utilidad en cualquier momento del tiempo. De hecho, para McCauley (2009) este “principio de optimización” junto con el “principio de equilibrio”, resumen los principales postulados de la teoría neoclásica, y afirma “...que el equilibrio existe matemáticamente bajo condiciones completamente irrealistas ha sido probado, pero que el hipotético equilibrio es estable (o computable) o tiene algo que ver con la realidad, jamás ha sido demostrado...” (McCauley, 2009, p.1-2). Básicamente, para el autor, asumir un punto de equilibrio estable es equivalente a suponer la existencia de la mano invisible de Adam Smith, y creer en la unicidad del punto es análogo a suponer la universalidad de la acción de la mano invisible, independientemente de las condiciones iniciales.

Por otra parte, agrega que el proceso de optimización que lleva al equilibrio general necesariamente debe caracterizarse por agentes homogéneos con una capacidad perfecta de predicción del futuro infinito, y todos ellos actúan de acuerdo a la misma visión del futuro, es decir, los mercados son completos. Al respecto, el autor destaca la perspectiva limitada del rol que tiene la información ya que “...en la realidad, la información adquirida en un momento tiende a ser incompleta, y tiende a degradarse con el paso del tiempo...” y agrega “...en la práctica es extremadamente difícil saber qué es ruido y qué es información...la mayoría del tiempo, lo que creemos que es información es más probable que sea ruido o desinformación. Este punto de vista está más próximo a la teoría (*moderna*) de finanzas, que no tiene a la economía neoclásica como punto de partida...” (McCauley, 2009, p. 23).

⁸ Prácticamente toda la bibliografía consultada para esta investigación está escrita en inglés, por lo que las traducciones al español realizadas a lo largo de todo este trabajo son de elaboración propia.

3.1.2. Hipótesis de Mercados Eficientes y Caminata al Azar

Las teorías en finanzas se sustentan en supuestos sobre la estructura probabilística del proceso estocástico de los datos de precios de los activos financieros. En el caso de la hipótesis de mercados eficientes, se asume que los precios son una caminata al azar, o en términos generales, que son procesos martingala (Andreou et. al., 2001). Al igual que en la investigación de Velásquez (2009), en este trabajo se considera que los enfoques basados en la hipótesis de mercados eficientes en su forma de caminata al azar constituyen el pensamiento neoclásico ortodoxo en finanzas. Esta visión aún es la piedra angular de los modelos de valuación y de riesgo en finanzas. Los modelos más utilizados, como el *Capital Asset Pricing Model*, *Arbitrage Pricing Theory*, y el modelo de *Black-Scholes* para valorar opciones, se construyen sobre el modelo de caminata al azar de la visión ortodoxa en finanzas (Mandelbrot y Hudson, 2009; Velásquez, 2009)⁹.

El modelo de caminata al azar para los precios de activos financieros, implica que sus sucesivos cambios (retornos) son una secuencia de *shocks* del tipo ruido blanco. Es decir, en el modelo de caminata al azar, los retornos son independientes, por lo que el proceso no tiene memoria y la historia pasada de las series no puede utilizarse para predecir el futuro (Fama 1965; 1970). La independencia de los *shocks* implica que no tienen ni siquiera una relación con las realizaciones pasadas de la serie. De este modo, el comportamiento que describen estos modelos es esencialmente lineal, sin efectos de retroalimentación. Como se desarrollará más adelante, esto implica una descripción sumamente limitada de la dinámica de los retornos financieros.

Adicionalmente, el modelo supone que los *shocks* están idénticamente distribuidos, por lo que no reconoce que éstos puedan presentar distinto grado de variabilidad, es decir, que ocurran distintas realizaciones de volatilidad del precio del activo financiero. Tampoco reconoce cambios que puedan ocurrir en la economía, que puedan generar que no todos los *shocks* provengan de la misma distribución de probabilidad. Básicamente, en este modelo los retornos (*shocks*) son estacionarios. Los resultados alcanzados bajo los supuestos de independencia y distribución idéntica fueron interpretados como la ausencia de cualquier tipo de patrón en las series, y se concluyó que los retornos financieros se comportan como “números de lotería” imprevisibles (Fama, 1970). Más aún, el modelo de

⁹ Esto no significa que los *traders* no utilicen otras técnicas que han probado ser más útiles y que se apartan de los supuestos ortodoxos que subyacen en estos modelos. En este sentido, en Arthur (1995) y Arthur et. al. (1996) se destaca que existe una diferencia entre las visiones de los *traders* y de los académicos, donde la de estos últimos se basa en el modelo de caminata al azar. Este modelo fue propuesto a comienzos del siglo XX por el matemático francés Louis Bachelier para comprender el precio de los activos financieros en un mercado especulativo. Este tipo de comportamientos “erráticos” habían sido observados por el botánico Robert Brown en el siglo XIX en el movimiento de las partículas de polen en el agua. La introducción en la física se realizó a partir de su formalización matemática, elaborada por Einstein en 1905. La versión en tiempo discreto del movimiento browniano es una caminata al azar (Mikosch, 1999). En economía la discusión sobre la aplicabilidad del movimiento browniano se incorporó recién en la década de 1950, cuando la propuesta original de Bachelier sobre la distribución gaussiana para los cambios de precios fue reemplazada por un modelo en el que las diferencias en los precios medidos en logaritmos se distribuyen normal, es decir que los precios siguen un movimiento browniano geométrico (Mantenga y Stanley, 2000).

caminata al azar en finanzas supone que la distribución de los retornos es normal, asignando una baja probabilidad a la realización de valores extremos. En términos sencillos, el modelo de caminata al azar "...postula que los precios subirán o bajarán con la misma probabilidad, como el lanzamiento de una moneda que arroja cara o cruz. Si las tiradas de la moneda se siguen las unas a las otras muy rápidamente,...(*se produce*) un ruido blanco... Si usted junta todos estos cambios en un gráfico, el histograma da la forma de campana..." (Mandelbrot y Hudson, 2009, p.10)¹⁰.

Este tipo de modelos son una forma particular de procesos martingala, a los que se conoce como modelos probabilísticos de "juego justo". En un principio, la teoría de los mercados eficientes se sostenía en términos equivalentes al modelo de caminata al azar, aunque a mediados de la década de 1960 fue definida por Samuelson (1965) y posteriormente por Fama (1970), de modo más amplio, en términos de un comportamiento martingala de los precios. Una martingala es un proceso estocástico cuya esperanza matemática es un valor constante, por lo que las ganancias netas esperadas de apostar al proceso son nulas. La mejor predicción para un proceso de este tipo es el valor que toma actualmente (Mikosch, 1999). Esto significa que la riqueza esperada del jugador coincide con sus activos actuales, y que no es posible producir ganancias con un activo a partir de la utilización de su historia de fluctuaciones, manteniendo así la conclusión principal del modelo de caminata al azar (Mantenga y Stanley, 2000; LeRoy, 1989).

En este sentido, desde el punto de vista de la construcción de la hipótesis de mercados eficientes parece pertinente la interpretación de Jovanovic (2008; 2010), que sostiene que la visión triunfante en economía financiera, dada por esta hipótesis, fue construida para defender puntos de vista teóricos y convencer a la comunidad científica de que los adoptara¹¹. El autor destaca que para la década de 1960 se había acumulado abundante evidencia empírica a favor de la caminata al azar en los mercados financieros que proveía a los economistas de un entorno matemático sencillo para analizar los problemas. Así, "...enfrentados a la evidencia, los economistas se sintieron obligados a ofrecer alguna explicación. Lo que resultó fue la teoría de mercados eficientes, sostenida en términos de caminatas al azar, aunque generalmente implica alguna forma más general, en términos del modelo de 'juego justo'..." (Fama, 1970, p.389).

¹⁰ En los trabajos de Andreou et. al. (2001), LeRoy (1989), Fama (1970), y Jovanovic (2008) se pueden encontrar referencias a las primeras investigaciones sobre la caminata al azar, que tenían como objeto de estudio los mercados de acciones. Debido a que este trabajo se ocupa del tipo de cambio nominal, cuya discusión en términos de la caminata al azar comienza en la década de 1970, no se exponen las primeras investigaciones del mercado accionario. Los estudios sobre la caminata al azar para los tipos de cambio se resumen en el capítulo 5 correspondiente al marco analítico, ya que constituyen el punto de partida para el análisis que se realizará en este trabajo.

¹¹ En Jovanovic (2008) se caracterizan las dos visiones de los principales grupos de investigación de la época (MIT y Universidad de Chicago) y se resumen algunos elementos que influyeron en la creación del cánón financiero dominante. En particular, el trabajo destaca la elección de cada investigador de no referenciar los trabajos de la otra visión, las palabras que utilizan, y en términos generales la construcción del discurso de cada escuela, mostrando cómo triunfa la visión de la Universidad de Chicago. Básicamente, como se menciona en este trabajo y en el de Andreou et. al. (2001), existía desde la década de 1960 evidencia que contradecía el modelo de caminata al azar, aunque ésta fue ignorada o malinterpretada. La redefinición más amplia en términos de procesos martingala resultó clave para sostener la hipótesis de mercados eficientes.

Sin embargo, debido a algunas dificultades que afrontó esta definición de los mercados eficientes, a mediados de la década de 1970 Fama definió los mercados eficientes en términos de una hipótesis conjunta del supuesto de procesos martingala y la hipótesis de expectativas racionales (LeRoy, 1989). En términos sencillos, esto significa asumir que los mercados son un “juego justo” y que los agentes económicos lo saben, es decir, no cometen errores sistemáticos en sus pronósticos sobre los mercados. Esta nueva definición es consistente con la concepción previamente establecida por Fama, donde el funcionamiento de un mercado eficiente implica que “...en cualquier punto del tiempo, los precios actuales están reflejando los efectos de la información basada tanto en eventos que ya han ocurrido, como en eventos que los mercados actualmente esperan que pasen en el futuro.” (Fama, 1965, p.4)¹².

3.1.3. Inconsistencias y Fallas en las Finanzas

Se han realizado críticas al pensamiento neoclásico aplicado a las finanzas, tanto teóricas como empíricas. Dentro de las primeras, los cuestionamientos se han centrado en la hipótesis de expectativas racionales, el supuesto de agentes homogéneos, y el rol de la información. Dentro de las críticas empíricas, se destacan las inconsistencias entre el comportamiento de los precios en los mercados y los supuestos del modelo de caminata al azar, principalmente el comportamiento lineal para los *shocks*, que no da cuenta del fenómeno de agrupamiento de volatilidad, la falta de análisis dinámico, la baja frecuencia asignada a valores “atípicos” o “raros” en los entornos gaussianos y en términos generales, la estacionariedad de los retornos o *shocks*.

Debido a que la hipótesis de expectativas racionales asume que las expectativas subjetivas son consistentes con el verdadero proceso estocástico, como resumen Anufriev y Branch (2009), su principal limitación es que requiere de supuestos cognitivos fuertes y demanda una gran destreza computacional de parte de los agentes. Desde el punto de vista de la información, se requiere conocer exactamente la estructura y las leyes de movimiento de la economía, lo que permite que los agentes tengan un conocimiento perfecto del futuro infinito. Es necesario considerar que, incluso aunque los agentes tengan este tipo de conocimiento, no es posible asegurar que exista un método objetivo en la economía por el que se formen las expectativas¹³. Una crítica adicional es que, aun suponiendo que los

¹² Es importante aclarar que estrictamente es el movimiento browniano el que es un tipo particular de proceso martingala. El recíproco no se cumple, es decir, no todo proceso martingala necesariamente debe ser browniano (Mikosch, 1999). Por este motivo, rechazar el comportamiento browniano de los mercados, no implica necesariamente que éstos no puedan ser un proceso martingala. Básicamente, asumir un comportamiento martingala en los mercados es bastante menos restrictivo suponer una caminata al azar. Debido a que la preocupación en este trabajo está en la caminata al azar, y el desarrollo que aquí se presenta de la hipótesis de mercados eficientes busca únicamente contextualizar la discusión, no se detallan las dificultades que enfrentó la definición de mercados eficientes en términos de martingalas. Para más referencias, se puede ver LeRoy (1989).

¹³ Arthur (1992) proporciona una explicación sobre este punto, señalando que “...incluso si yo sé que todos los demás inversores son perfectamente racionales y poseen la misma información que yo, y todos estos hechos son de conocimiento común, dado que (*la hipótesis de las expectativas racionales*) requiere del supuesto de expectativas comunes, de que hay un método objetivo –único, de

agentes cuentan con la información necesaria, que existe un método objetivo por el cual formar las expectativas, y que todos los agentes fueran iguales y compartieran el método, de todos modos el procesamiento de la información para que cada agente resuelva o compute sus expectativas descontando el futuro es, cuando menos, computacionalmente complejo. En este sentido, se ha señalado que los agentes quizás sean capaces de razonar deductivamente hasta un cierto punto más allá del cual las acciones no pueden ser completamente racionales en el sentido tradicional (Arthur, 1992).

Por otra parte, el problema de determinación de las expectativas se agrava si se considera que la economía es un sistema de agentes heterogéneos interactuando. En este caso, pueden actuar racionalmente aunque es imposible que lo hagan deductivamente, ya que “...en tanto la formación de expectativas significa predecir un resultado agregado que está formado en parte por las expectativas de los otros (*que no tienen por qué ser iguales*), la formación de expectativas puede volverse auto-referenciada...” (Arthur, 1995, p.3)¹⁴. Por último, en términos generales, es necesario considerar que aún asumiendo que la hipótesis de expectativas racionales resulta plausible a pesar de todas las críticas señaladas, en un escenario así, los entornos se caracterizarían por equilibrios estables, aunque la estabilidad ha sido criticada, particularmente cuando se trata de la evolución de los precios de activos financieros (McCauley, 2009).

Desde el punto de vista empírico, la evidencia acumulada para la década de 1960 mostraba la inconsistencia de los análisis construidos sobre los supuestos de normalidad, incorrelación y estacionariedad de los retornos. En Andreou et. al. (2001) se resumen las principales críticas al modelo de caminata al azar a partir de la identificación de tres eras en la investigación en finanzas, considerando una taxonomía de supuestos probabilísticos basada en la distribución, dependencia y heterogeneidad. La primer era es la de “Bachelier-Kendall” (1900-1960), en la que se desarrolla el modelo de caminata al azar y sobre el final del período se caracteriza por su preocupación en modelizar la dependencia temporal de primer orden. La segunda es la de “Mandelbrot” (1960-1980), que se concentró en los aspectos de la distribución de los retornos, buscando recoger la leptocurtosis y las colas gruesas y brindar una explicación para el comportamiento errático de la varianza muestral, que encontró en una memoria infinita en el proceso de volatilidad. La última es la de “Volatilidad Dinámica” (1980-presente) que se preocupa por la dependencia temporal de mayor orden y comenzó con el modelo ARCH de Engle (1982).

acuerdo implícito, de modo prescriptivo- para usar la información para formar las expectativas...Yo puedo suponer que los demás usan el mismo método para formar sus expectativas, pero no tengo un medio objetivo para descifrar cuál es este método. Tampoco lo tienen los demás inversores” (Arthur, 1992, p. 18).

¹⁴ Esto resulta en que “...el problema de formar deductivamente las expectativas resulta mal definido, y la deducción racional queda sin ningún sustento. La indeterminación de la formación de las expectativas no es de ningún modo una rareza o anomalía dentro de la economía real...” (Arthur, 1995, p.3). Además de la indeterminación, cualquier tipo de escenario de expectativas comunes se rompe. Esto es señalado en el trabajo de Arthur (1994) que ejemplifica con el problema de asistencia a un bar, conocido como “*El Farol Problem*”.

Las autoras resumen las inconsistencias importantes que enfrentó el modelo de caminata al azar a partir de la década de 1950, en tres contradicciones con los datos empíricos. En primer lugar, se detectó que la varianza de los retornos de las acciones cambiaba en ventanas de tiempo largas, lo que podía obedecer a cambios en el ambiente económico, tecnológico e institucional de los precios. En segundo lugar, destacan que la estrategia para testear la dependencia temporal se resumía a estudiar la correlación, que eran vistos como conceptos análogos, debido a que el marco de trabajo era la normalidad. En este sentido, mencionan que se ignoraba la posibilidad de dependencia temporal de orden alto, la que “...requiere apartarse del supuesto de normalidad y moverse hacia un territorio estadístico basado en regresiones no estándares” y agregan “...no fue sino hasta comienzos de los ochenta que esta tarea fue tratada seriamente...” (Andreou et. al. 2001, p. 194).

Por último, señalan que existían algunas investigaciones empíricas que cuestionaban el supuesto de distribución normal, aunque no modelizaban la dependencia temporal de alto orden. Esta última crítica es el centro de preocupación de la era “Mandelbrot”, que parte de la observación de que las distribuciones empíricas de los retornos suelen ser demasiado ‘puntiagudas’ como para corresponderse a una población normal, señalando la presencia de leptocurtosis. En esta línea, también se encuentra que las distribuciones empíricas de los retornos se caracterizan por colas gruesas, evidenciando una mayor frecuencia de datos “atípicos” o “raros”. Por este motivo, el modelo de caminata al azar no recoge adecuadamente la probabilidad de cambios extremos, los que prácticamente no deberían ocurrir según el modelo, aunque en la realidad se observa que suceden con mayor frecuencia de lo que “normalmente” se esperaría¹⁵. Por último, Mandelbrot destaca que las colas gruesas suelen ser extremadamente largas, lo que refleja una variación muy errática del segundo momento de la distribución (Mandelbrot, 1963), y se conoce como síndrome de varianza infinita de los retornos.

Para capturar estos fenómenos, el autor propone trabajar con la familia de modelos Pareto-Levy estables, que incluye la distribución normal como caso particular. Es importante destacar que “...el hecho de que algunos miembros de esta familia no tengan varianza, los deja inconsistentes con la mayoría de los modelos teóricos de finanzas...” (Andreou et. al., 2001, p. 199). Adicionalmente, estas distribuciones implican independencia temporal, aunque Mandelbrot reconoce que “...grandes cambios tienden a ser seguidos por grandes cambios –de cualquier signo- y los cambios pequeños tienden a ser seguidos por cambios pequeños...” (Mandelbrot, 1963, p. 418), que es en esencia el

¹⁵ Para ilustrar cuánto se aparta la realidad de esto, es interesante destacar algunas cifras que proporcionan Mandelbrot y Hudson (2009). Por ejemplo, según una distribución normal, la probabilidad de ocurrencia que tenía un cambio de magnitud equivalente a 22 desvíos en el *Dow Jones Industrial Average*, como ocurrió durante la crisis de Octubre de 1987, era menos de una en 10^{50} . Otro ejemplo, es la evolución del Dólar Norteamericano con el Yen Japonés, donde se encuentran cambios de 10,7 desvíos estándares, que no deberían haber ocurrido ni una sola vez desde el Big Bang hace 15 billones de años. Al igual que en LeRoy (1989) los autores destacan otras inconsistencias de la caminata al azar con el funcionamiento empírico de los mercados, tales como que no debería haber casi volumen comercializado, no habría necesidad de asesores financieros, ni de análisis de riesgo, ya que la volatilidad sería “constante”.

espíritu de los modelos GARCH. La dependencia temporal de alto orden brinda sustento a la elevada persistencia en la varianza sin implicar necesariamente que la misma sea infinita, que es el enfoque que siguieron los modelos de la literatura de la década de 1970 (Andreou et. al., 2001).

Para la década de 1980 se desarrollaron los modelos ARCH (Engle, 1982) y GARCH (Bollerslev, 1986), que si bien tienen como preocupación central recoger la dependencia temporal en los retornos financieros, permitiendo comportamientos no lineales, también se caracterizan por una distribución incondicional de colas más gruesas que la normal (Mantenga y Stanley, 2000). Los modelos GARCH reconocen que los retornos no son independientes, al especificar que están relacionadas sus variabilidades a través de las de sus *shocks*, explicando así el agrupamiento temporal de volatilidad en las series. De este modo, la volatilidad de los activos financieros transita entre periodos en que es elevada y otros en que es baja, es decir, la varianza de los *shocks* no sería constante. Esto cuestiona la estacionariedad de los retornos y supone una violación al supuesto de que son una sucesión de *shocks* del tipo ruido blanco.

Como documenta la literatura empírica, las estimaciones con estos modelos implican una elevada persistencia en la volatilidad (Bollerslev et. al., 1992), lo que dio lugar a la hipótesis de procesos integrados en varianza (IGARCH), cuya distribución no tiene un segundo momento, en línea con las afirmaciones de Mandelbrot sobre la memoria infinita en el proceso. Sin embargo, constituye una alternativa a este enfoque considerar la no estacionariedad en la varianza, a partir de la aplicación de cambios de régimen de Markov, conocidos como modelos MRS-(G)ARCH (Andreou et. al. 2001). De hecho, "...las combinaciones de modelos de volatilidad no lineal y los modelos de cambios de régimen de Markov, parecen estar en la frontera actual del análisis de las dinámicas no lineales de la economía." (Prokhorov, 2001, p.16).

Aplicar cambios de régimen de Markov a las especificaciones de volatilidad implica profundizar en el cuestionamiento de la estacionariedad de los precios. Mientras los modelos GARCH niegan la estacionariedad de los *shocks*, al suponer que su variabilidad es cambiante, los modelos MRS-(G)ARCH recogen la existencia de estados diferentes para esta variabilidad, que es generada por regímenes diferentes, y así la forma que adopta la variabilidad de los *shocks*, es cambiante en el tiempo. Diversos tipos de modelos GARCH para los retornos de los activos financieros, entre otras modelizaciones más complejas, han sido estudiados por la econofísica (McCauley, 2009; Mantenga y Stanley, 2000).

3.2. Economía de Complejidad

3.2.1. La Econofísica

La econofísica emerge de los intercambios entre físicos y economistas del *Santa Fe Institute*, y quienes se autoidentifican como econofísicos comparten una visión sobre la economía tradicional como inadecuada o insuficiente para explicar las distribuciones no gaussianas que se observan empíricamente en varios fenómenos económicos caracterizados por colas gruesas (Rosser, 2006). Si se consideran el tipo de publicaciones en esta disciplina, adicionalmente se encuentran como centro de interés los fenómenos de escalamiento, las distribuciones *power law* y la utilización de los modelos basados en agentes como herramientas de análisis (McCauley, 2009; Mantenga y Stanley, 2000)¹⁶.

Algunos de los problemas estudiados por los econofísicos incluyen la distribución de varias variables económicas, como los ingresos y la riqueza, las variaciones en las tasas de crecimiento económico, el tamaño de las firmas y de las ciudades, y de los descubrimientos científicos, todos fenómenos que han mostrado que no siguen los patrones de la distribución normal (Rosser, 2006). Si bien, en este sentido, las preocupaciones de la econofísica son amplias, su principal objetivo es el estudio de los mercados financieros, aplicando física estadística o mecánica estadística. Básicamente, los econofísicos discuten acerca de cuál es el proceso estocástico que describe los cambios en los precios de los activos financieros, lo que aún es una cuestión abierta (Mirowski, 2005)¹⁷.

Este problema ha sido considerado por varios autores desde la década de 1960, que fue cuando los matemáticos comenzaron a mostrar interés en modelizar los precios de los mercados accionarios. En particular, constituyen preocupaciones centrales la temporalidad de la memoria de los procesos y las propiedades estadísticas de los momentos de alto orden. Éstas han cobrado interés a partir de los hallazgos de correlación temporal en las series de volatilidad de activos financieros, que pueden motivar un resurgimiento en la credibilidad de los análisis técnicos en los mercados (Mantenga y Stanley, 2000). Particularmente, como fuera señalado, el interés de los econofísicos está en estudiar

¹⁶ Estrictamente, el nacimiento de la econofísica puede rastrearse al espíritu de las investigaciones de Osborne y Mandelbrot de la década de 1960 (McCauley, 2009). No obstante, el término fue acuñado por primera vez en una conferencia por el físico Eugene Stanley en 1997 y la primera publicación que utiliza este término es el libro de Mantenga y Stanley (2000). En este texto, la econofísica se define como un campo multidisciplinario que “representa las actividades de los físicos que están trabajando en problemas económicos para testear una variedad de nuevos enfoques conceptuales derivados de la física” (Mantenga y Stanley, 2000, pp.viii-ix). Dado que esta es una definición sociológica, en este trabajo de investigación se opta por una caracterización de la visión que comparten quienes se autoidentifican como econofísicos y los objetivos de sus investigaciones, así como los métodos que utilizan.

¹⁷ Si bien la econofísica se nutre principalmente de la física estadística, como destaca Rosser (2006), la econofísica también utiliza otros enfoques de la física, como por ejemplo, los modelos geofísicos de terremotos y los modelos de “pila de arena” con avalanchas. Debido a lo nuevo que es el campo de la econofísica, es útil observar sus principales preocupaciones y métodos a partir de la propuesta de programa académico del Ph.D. en econofísica del Departamento de Física de la Universidad de Houston (EEUU): <http://phys.uh.edu/research/econophysics/>. McCauley (2009) señala que como fuente adicional para conocer sobre la econofísica, pueden verse los contenidos de los artículos de la revista *Physica A* donde se publican estudios de econofísica.

fenómenos que no siguen el patrón de distribución normal, buscando recoger y comprender los eventos extremos, tradicionalmente considerados como “anómalos” o “raros”, que se encuentran en las colas de las distribuciones de los retornos de activos financieros (De Liso y Filatrella, 2002).

La crítica de la econofísica tiene un peso considerable, en tanto no mantiene la visión tradicional de la economía de mercados eficientes con agentes que poseen información completa y expectativas racionales con dinámicas estacionarias y estables. Si bien desde el punto de vista teórico, varios de los modelos de la econofísica brindan la posibilidad de que los agentes se comporten conforme a los supuestos más tradicionales, generalmente suelen construirse sobre supuestos de racionalidad limitada y aprendizaje (Rosser, 2006). Por otra parte, desde el punto de vista del instrumental para modelizar, es necesario señalar que dentro de la econofísica coexisten diversos modelos que se apartan en distinto grado de la visión ortodoxa en finanzas. En este sentido, es importante destacar que si bien los modelos GARCH se apartan del enfoque ortodoxo en finanzas, pueden ser considerados como “parches” a sus propuestas (Mandelbrot y Hudson, 2009).

Por otra parte, varias críticas han sido planteadas en investigaciones recientes a la econofísica. Rosser (2007) las resume en el desconocimiento de los econofísicos de literatura económica relevante, lo que los lleva a exagerar sobre la originalidad de sus investigaciones, la utilización de metodologías estadísticas pobres, sus reclamos de universalidad, y la falta de un modelo teórico adecuado para explicar los fenómenos empíricos que estudian¹⁸. Como se señalará más adelante, esto último es particularmente cierto para los modelos estadísticos que aquí se estudian, y atendiendo a esta crítica, uno de los aportes de este trabajo es una síntesis de dos estudios de economía de complejidad que buscan proporcionar explicaciones. Estas dos investigaciones sustentan el argumento de Rosser (2007) de que las ideas teóricas de la “carpa pequeña” del pensamiento de complejidad en economía generan una dinámica muy adecuada a las implicaciones de comportamiento de los agentes de los modelos de econofísica. El autor identifica que esto se debe a que los modelos de física estadística, que subyacen en las formulaciones empíricas de la econofísica, implícitamente asumen agentes heterogéneos en interacción¹⁹.

¹⁸ El tenor de las críticas indica que están dirigidas a quienes se encuentran en una posición extrema. En este sentido, como señala Rosser (2006) al respecto de la visión de (McCauley, 2009), algunos econofísicos en una posición radical consideran que la econofísica va a reemplazar la teoría económica convencional, a la que visualizan como inútil y limitada, y realizan una fuerte crítica a su método, prácticamente reclamando la superioridad de la física. Sin embargo, como fuera señalado previamente, los modelos de la econofísica aunque se apartan de los supuestos más ortodoxos de la economía, permiten generar comportamientos acorde a ellos. En este entendido, es necesario comprender esta visión alternativa que se presenta en esta segunda sección del marco conceptual, como una aproximación ecléctica, distinta a la visión neoclásica ortodoxa, con una concepción y aproximación a los sistemas económicos que es diferente, pero que no necesariamente niega por completo las implicaciones de la visión más tradicional de la ciencia económica. Este carácter ecléctico se traduce en la coexistencia de visiones que se apartan en distinto grado del enfoque ortodoxo en la economía.

¹⁹ De hecho, como señala Schinckus (2009), los modelos de la física estadística buscan captar el comportamiento macroscópico de un sistema, ligándolo estadísticamente con su estructura microscópica, compuesta de muchas partículas en interacción.

3.2.2. El Pensamiento de Complejidad

El pensamiento de complejidad en economía da cuenta y permite comprender varios fenómenos que la economía neoclásica desconoce, considera anómalos o no proporciona una explicación. En términos generales, "...la teoría de complejidad ha cambiado la perspectiva de muchos economistas hacia una aproximación a los problemas donde lo que era visto como anómalo o inusual es generalmente lo usual y esperado, especialmente en los mercados financieros, donde lo inusual parece ser cada vez más un lugar común..." (Rosser, 1999, p.27). En una visión amplia, el pensamiento de complejidad involucra críticamente lo que se conoce como las cuatro "C": cibernética, catástrofe, caos, y complejidad emergente de agentes heterogéneos. Ésta última es la que Rosser (1999) denomina "carpa pequeña" de complejidad, mientras que el concepto más amplio que contiene a las cuatro dimensiones, es la "carpa grande" de complejidad. Debido a que las explicaciones alternativas al enfoque ortodoxo para la dinámica que se observa empíricamente en los mercados pertenecen a la "carpa pequeña", se presentará una caracterización del pensamiento de complejidad en economía desde esta perspectiva²⁰.

Los sistemas económicos de complejidad se caracterizan principalmente por la interacción dispersa entre agentes heterogéneos que actúan localmente los unos sobre los otros en un mismo espacio, la adaptación continua a través de agentes que aprenden y evolucionan, y la novedad perpetua como producto de la aparición de nuevos mercados, tecnologías, comportamientos e instituciones que crean nuevos nichos en la ecología del sistema (Arthur et. al., 1997). De este modo, se conforma una realidad económica repleta de no linealidades, que se aparta del equilibrio único, y una variedad de fenómenos que no son sencillos de entender o predecir (Rosser, 2007). En conclusión, como resume Velásquez (2009), el pensamiento de complejidad contradice varios de los principales postulados neoclásicos, configurándose como un enfoque de pensamiento alternativo²¹.

En cuanto a la concepción de los agentes económicos, Rosser (1999) destaca que el mundo de complejidad es de racionalidad limitada y no de expectativas racionales, y esta es la implicación teórica más inmediata de los estudios de complejidad, en cualquiera de sus formas. En el mismo sentido, Colander et. al. (2004) plantean que el pensamiento de complejidad permite tomar en cuenta los hallazgos de la economía experimental, que muestra que la combinación apropiada de inducción y deducción en los agentes

²⁰ Las definiciones de complejidad son varias, al punto que algunos trabajos refieren a un estudio de Seth Lloyd, un físico del MIT, que compila 45 definiciones distintas. Por este motivo se opta en esta investigación por una caracterización del pensamiento, más que por una definición. No obstante, como señala Rosser (2007; 1999) muchas de las definiciones pueden ser agrupadas acorde a criterios más generales, en particular, una opción consiste en considerar la dimensión de complejidad computacional de los problemas económicos.

²¹ En Colander et. al. (2004) se presenta una caracterización del cambio en el pensamiento económico que supone la complejidad en economía en términos del pensamiento de Lakatos. Los autores entienden que la complejidad pertenece a "la frontera del *mainstream*", aunque no a la ortodoxia. Su interpretación es que para 1997, con la conferencia del *Santa Fe Institute*, el *mainstream* aceptó varios de los métodos y enfoques de la complejidad, en particular la incorporación de dinámicas no lineales a la economía, aunque aún no ha aceptado la visión más amplia de complejidad.

económicos debe ser repensada. Los autores señalan que la “revolución de complejidad” implica partir del supuesto de racionalidad, pero considerando los problemas de su definición en el ambiente complejo que toma como punto de referencia, en lugar de suponer entornos simples.

Por otra parte, algunos trabajos enfatizan en la característica de adaptabilidad del enfoque de complejidad, refiriéndose a la economía como un “sistema adaptativo complejo”. Desde esta perspectiva, la visión de complejidad es una teoría sobre las conexiones, distinguiéndose así del enfoque tradicional, y donde los sistemas evolucionan a través de un proceso de especialización e integración (Foster, 2005). En este escenario, “...el conocimiento no es una acumulación de experiencias, sino que es una fuente de ‘modelo mental’ que puede usarse para determinar aspectos de la realidad...Hay una retroalimentación con la realidad...” (Foster, 2005, p.6), donde puede emerger una complejidad adicional, si los “modelos mentales” de los agentes interactúan. En este sentido, se puede resumir que la economía de complejidad propone supuestos más coherentes sobre el comportamiento de los sistemas económicos y sus individuos que los que supone la visión neoclásica, en línea con las ideas de la economía comportamental, la economía evolutiva, la economía institucional y la escuela austríaca (Velásquez, 2009)²².

Asimismo, los enfoques de complejidad tienen una concepción sobre los sistemas donde la estructura global emerge de efectos de interacción locales, reconociendo así la falacia de composición, a diferencia de los enfoques basados en modelos de agentes representativos, donde lo individual equivale al agregado. En este sentido, como fuera señalado, los sistemas complejos se caracterizan por ser no lineales, aunque este rasgo no es una condición suficiente para que sean complejos. De hecho, el enfoque de complejidad emerge de investigaciones previas en dinámicas no lineales, y ha sido empleado para comprender una amplia variedad de fenómenos, incluyendo el desarrollo regional, la dependencia en la trayectoria de la evolución tecnológica, y las discontinuidades causadas por crisis financieras (Rosser, 1999)²³.

Por último, los sistemas complejos se caracterizan por dinámicas con ningún equilibrio o múltiples equilibrios, donde es difícil que se alcance un óptimo global (Arthur et. al. 1997). Como señalan Colander et. al. (2004), el enfoque de complejidad basado en supuestos de

²² Desde esta perspectiva de la complejidad, es interesante la observación de Rosser (2007) que entiende la complejidad como una visión que está emergiendo en la economía y en el discurso transdisciplinario, y pone como ejemplo de síntesis emergente la “Teoría del Markomata” de Mirowski (2007). Esta teoría toma como unidad de análisis al mercado, en lugar de los agentes, y propone comprenderlos como algoritmos en evolución que desarrollan sistemas de mercados de mayor orden que contienen a los de menor orden, en una jerarquía chomskiana. Para una breve explicación y un diagrama de la jerarquía de lenguajes de Chomsky, se puede ver Mirowski (2002), p.89-93. Un ejemplo sencillo de la “Teoría del Markomata”, proporcionado por Rosser (2007), está en observar que el desarrollo financiero llevó a que los mercados *spot* estén contenidos en mercados de futuro, que a su vez están integrados en mercados de opciones, y así sucesivamente avanzando en la complejidad de los mercados.

²³ En Prokhorov (2001) se resumen otros fenómenos que han sido señalados en la literatura económica que no pueden ser explicados por ecuaciones estocásticas lineales, tales como la tendencia de no convergencia de los ingresos nacionales per cápita en el mundo, las ventanas temporales persistentes de desempleo, y los períodos de volatilidad variable que se observan en los mercados financieros.

comportamiento alternativos con agentes heterogéneos en interacción y la posibilidad de equilibrios múltiples, requiere de la utilización de ejercicios de simulación con computadoras. Por este motivo, los autores destacan que el desarrollo de la tecnología viabilizó los análisis de complejidad al permitir utilizar modelos basados en agentes y ejercicios de simulación, así como el trabajo con modelos de dinámicas no lineales que permiten cambios repentinos entre equilibrios, con lo que el enfoque de complejidad significa también una revolución en los métodos de la ciencia económica.

En este sentido, en el próximo apartado se resumen investigaciones de la “carpa pequeña” del enfoque de complejidad basadas en ejercicios de simulación, que muestran que bajo ciertas condiciones se genera agrupamiento temporal de la volatilidad en los mercados financieros y cambios repentinos entre estados por los que transitan los mercados. En términos generales, los análisis parten de agentes heterogéneos en interacción y logran reproducir la dinámica no lineal de los modelos GARCH y MRS-(G)ARCH, que no tiene ninguna explicación dentro del enfoque ortodoxo en finanzas.

3.2.3. Explicaciones Alternativas en Finanzas

Si bien los modelos de volatilidad dinámica han probado ser útiles para recoger los principales hechos estilizados del mercado, “...la literatura GARCH construye modelos estadísticos para los retornos de los activos con muy pocos intentos de derivarlos *directamente* de una estructura teórica subyacente...la pura teoría económica que sirve de fundamento...se sustenta en el mejor de los casos en el trabajo ‘puramente estadístico’...” (Brock y De Lima, 1995, p.13). En este entendido, uno de los principales aportes de esta investigación es resumir las pocas explicaciones económicas alternativas que existen en la literatura de finanzas para el tipo de comportamiento de los mercados que describen los modelos estadísticos que se utilizan en los trabajos empíricos²⁴.

Los modelos GARCH y MRS-(G)ARCH especifican una forma particular de agrupamiento temporal de volatilidad. El objetivo de este apartado es exponer sintéticamente los supuestos de análisis y la concepción de los mercados financieros de dos investigaciones que explícitamente vinculan el comportamiento que se genera bajo su enfoque teórico al tipo de especificaciones particulares GARCH y MRS-(G)ARCH, sin desmedro de que puedan existir otros estudios que busquen explicar en términos generales el fenómeno de

²⁴ La falta de investigación teórica para explicar este tipo de comportamientos empíricos ha sido señalada por varios autores. Por ejemplo, en la extensa revisión bibliográfica de Bollerslev et. al. (1992) se menciona que “La teoría económica que explica las variaciones temporales en la varianza condicional es extremadamente limitada...” (Bollerslev et. al., 1992, p. 7). En términos generales, incluso se afirmó que “...ha habido muy poco trabajo teórico en economía que de lugar a modelos de series de tiempo no lineales...” (Hsieh, 1989, p.341). Si bien esta línea de investigación aún no ha sido muy desarrollada, como señala un trabajo reciente, “Básicamente todos estos modelos (*familia de modelos GARCH*) son no lineales, y por lo tanto no hacen sino ahondar en la penetración en la utilización de los modelos complejos en los mercados financieros. El estudio de estos modelos a la luz de su relación con la teoría de la complejidad es una senda futura de investigación que puede ser interesante y productiva.” (Valderas et. al., 2002, p.45).

agrupamiento temporal de volatilidad. Por otra parte, es importante señalar que las explicaciones que se proporcionan para los modelos GARCH también pueden ser útiles para comprender las dinámicas que sugieren los modelos MRS-(G)ARCH. Esto se debe a que los modelos GARCH buscan capturar el hecho de que los mercados oscilan entre períodos de elevada y baja volatilidad, y la incorporación de cadenas de Markov que sugieren los modelos MRS-(G)ARCH busca especificar la transición entre estos períodos.

A continuación se reseñan sintéticamente dos investigaciones del *Santa Fe Institute* que exploran las implicaciones de sus enfoques teóricos sobre el comportamiento de los mercados financieros con su *Artificial Stock Market*. El estudio de Arthur et. al. (1996) concluye que su concepción del mercado basada en agentes heterogéneos, racionalidad inductiva y aprendizaje "...genera un fenómeno estadístico curioso que es un rasgo esencial de los mercados financieros actuales. Esto es el comportamiento GARCH...(que) no tiene ningún sentido en la teoría estándar" (Arthur, 1995, p. 11). Por otra parte, la investigación de Brock y Le Baron (1995) considera un modelo de agentes adaptativos, diferente al tradicional, ya que modifican sus estrategias en una escala temporal relativamente lenta, en un contexto de asimetrías de información que puede "...producir comportamientos que se asemejan a los modelos de 'cambios de régimen de Markov' de Hamilton y Susmel (1994) (MRS-ARCH)..." (Brock y de Lima, 1995, p. 52).

La investigación de Arthur et. al. (1996) propone una teoría de formación de precios de los activos basada en agentes heterogéneos, con lo que la formación de expectativas depende de las expectativas de los demás y queda indeterminada en el sentido tradicional de racionalidad, por lo que el marco de análisis es la racionalidad inductiva. De esta forma, las creencias individuales se vuelven endógenas al mercado y los individuos continuamente adaptan sus expectativas al mercado, que a su vez es generado por esas mismas expectativas. En esta visión, los agentes continuamente hipotetizan, es decir, forman "modelos mentales" de expectativas y los exploran permanentemente, comprando y vendiendo sobre la base de aquellos que se desempeñan mejor y desechando los otros. Así, sus expectativas compiten dentro de una ecología de creencias que co-evoluciona en el tiempo, al igual que los mercados.

Los autores explican que en este mercado evolucionista los precios pueden estar en un patrón estable durante algún tiempo, generando baja volatilidad, hasta que los agentes descubren nuevas hipótesis para explotar ese patrón. Cuando esto sucede, hay cambios repentinos y reajustes rápidos en las expectativas que se traducen en un cambio del mercado en sí mismo y causan avalanchas de más cambios. En este escenario, la volatilidad permanece elevada hasta que la nueva situación es absorbida por completo. Básicamente se reproducen las oscilaciones aleatorias entre períodos de alta y baja volatilidad que

caracterizan el comportamiento GARCH de los mercados financieros. En esta situación, los autores destacan que los mercados se auto-organizan en un régimen complejo, donde emerge una rica “psicología de mercado”. Las reglas técnicas pueden resultar rentables, el volumen comercializado varía, explicando la alternación de períodos de elevada y baja intensidad en la actividad de los mercados, y se genera persistencia en la volatilidad de los precios. Los autores concluyen de sus experimentos que “...el comportamiento individual evoluciona continuamente a través del tiempo y no se queda quieto. En este régimen se sostiene el punto de vista de los *traders*.” (Arthur et. al. 1996, p.4).

Sin embargo, lo interesante de este modelo es que respalda tanto la visión de los *traders*, como la de los académicos en términos de las caminatas al azar, sólo que bajo distintos regímenes. Los autores encuentran que el régimen complejo de comportamiento GARCH emerge cuando los *traders* generan hipótesis o construyen nuevos “modelos mentales” de expectativas sobre el mercado a una tasa más “realista”, donde las creencias heterogéneas persisten. No obstante, bajo otras condiciones el mercado se comporta conforme a la visión tradicional en finanzas. Alcanzan esta conclusión cuando comienzan el ejercicio de simulación del mercado con agentes que se encuentran agrupados aleatoriamente en un intervalo próximo a las expectativas racionales homogéneas. El resultado es que cuando los agentes exploran nuevas hipótesis sobre el mercado de modo muy “lento”, puesto en términos extremos, si no tienden a cambiar sus “modelos mentales”, se encuentra que el mercado converge al régimen de expectativas racionales homogéneas. En este escenario, no hay reglas técnicas rentables, el volumen comercializado es bajo, no hay burbujas ni caídas abruptas, lo que en términos generales significa que “...la teoría de los mercados eficientes prevalece...el mercado en este régimen está en algún sentido ‘muerto’. A medida que se inician las creencias heterogéneas, el mercado atraviesa una fase de transición y ‘nace’” y agregan “Nosotros conjeturamos que los mercados reales viven en un régimen complejo” (Arthur, 1995, p.12).

Por otra parte, la investigación de Brock y Le Baron (1995) propone un modelo en el que el propio intercambio en el mercado genera heterocedasticidad en los retornos de los activos, a través de un mecanismo de adaptación de estrategias de los agentes frente a la actividad que observan en el mercado. Adicionalmente, el modelo supone que los individuos efectúan una elección “racional” al decidir en cada período sobre la compra de una señal al mercado, que contiene información sobre el precio del activo, y que las diferencias en la precisión con la que siguen al mercado aumentan la varianza “local” de los retornos. En concreto, encuentran que los aumentos en la precisión llevan a un incremento del volumen transado y de la volatilidad de los activos financieros.

Los autores entienden que para generar persistencia en la volatilidad se requiere un mecanismo para inducir correlación temporal en la heterogeneidad de las creencias. En este sentido, interpretan que la falta de capacidad para generar persistencia radica en los cambios en el estado de las creencias demasiado rápidos entre períodos, por lo que introducen una escala temporal “lenta”, donde la adaptación se produce cada tanto. Básicamente, la propuesta es que los agentes adaptan sus estrategias en una escala temporal que es “lenta” en relación a la escala temporal a la que la actividad se sucede en el mercado. Para ello, su estrategia empírica consiste en considerar que el desvío estándar de los retornos de los activos financieros sigue una cadena de Markov de dos estados, ya que “...la alta probabilidad de permanecer en un estado una vez que se está en él, contribuye a la autocorrelación positiva de los retornos cuadráticos...introducir una escala temporal ‘lenta’ es parecido a aumentar la probabilidad de permanecer en un estado una vez que se llegó allí...” (Brock y LeBaron, 1995, p.27). De esta forma, se proporciona una explicación sobre la existencia de estados o regímenes que pueden prevalecer durante un cierto tiempo en el mercado.

Por otra parte, comprenden la caracterización de los regímenes y los cambios entre ellos a partir de la precisión con la que los agentes siguen al mercado, en un contexto de asimetrías de información, y de la interacción que ocurre entre ellos. Como señalan Brock y DeLima (1995), la combinación de una acción “racional” en comprar una señal sobre los precios en un contexto de asimetrías de información, con algo de “sociología” entendida como la interacción entre los agentes, es capaz de generar grandes respuestas en los mercados como consecuencia de alteraciones menores en el ambiente en el que operan los agentes. Agregan que este modelo es capaz de endogeneizar los “saltos” del mercado y lleva a que transite por “fases”, proporcionando una explicación potencial de los cambios abruptos en los retornos, que parece inexplicable por cambios en las “noticias” que arriban a los mercados. Intuitivamente, en este modelo “...los diferentes regímenes se corresponden a las distintas fases, cuando la mayoría de los *traders* están bien informados y cuando la mayoría de los *traders* están pobremente informados. Las interacciones sociales magnifican la coherencia de las decisiones de los *traders*, por lo que el comportamiento es similar al de un grupo con aglutinación, más que al de un grupo de variables aleatorias independientes. Este aglutinamiento puede generar comportamiento que se asemeja al de cambios de régimen de Markov...” (Brock y DeLima, 1995, p. 52).

A modo de síntesis, las investigaciones de Arthur et. al. (1996) y Brock y LeBaron (1995) proporcionan una explicación desde la perspectiva de complejidad para el comportamiento GARCH y MRS-(G)ARCH, que se aparta del modelo de caminata al azar, no tiene ninguna explicación en el enfoque teórico ortodoxo en finanzas y ha sido documentado empíricamente para varios mercados financieros. Desde el enfoque de estas

investigaciones, la dinámica que describen los modelos GARCH y MRS-(G)ARCH se genera considerando agentes heterogéneos en interacción que exploran nuevas hipótesis sobre los mercados y que actúan inductivamente, o que atraviesan un proceso de adaptación a las observaciones del mercado de modo “lento” y buscan estar informados en un contexto de asimetrías de información al mismo tiempo que interactúan entre ellos. Esta exposición de explicaciones para el comportamiento GARCH y MRS-(G)ARCH puede ser útil para esta investigación si se encuentra que el tipo de cambio nominal del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano en el período 2005-2009 no se corresponde con una caminata al azar y que puede describirse con estos modelos estadísticos, como sucede en una amplia cantidad de trabajos empíricos para diversos mercados, como se detallará más adelante. El aporte radica en resumir algunos elementos de análisis para ampliar la discusión acerca de cómo aproximarse teóricamente al mercado cambiario en un sistema de flotación.

4. Problema de Investigación

4.1. Preguntas e Hipótesis

La discusión planteada previamente sobre el tipo de proceso estocástico utilizado para describir la dinámica de los precios de activos financieros, fue desarrollada inicialmente en la literatura económica para los mercados de acciones. Con la caída de Bretton Woods en 1973, se tomó el modelo de caminata al azar para describir la evolución de los tipos de cambio. En el contexto de las críticas realizadas en el capítulo anterior al segundo momento de las series de retornos de acciones, la interrogante que surge es si existe evidencia empírica de que los retornos del tipo de cambio nominal del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano en el período 2005-2009 se comporten de modo diferente a la caminata al azar, que tradicionalmente es asumida en el marco del pensamiento ortodoxo en finanzas. En este sentido, la investigación busca adicionalmente responder sobre la adecuación de dos modelizaciones estadísticas, donde una de ellas especifica un cambio en el proceso generador de datos²⁵.

La primera hipótesis que guía esta investigación es que las principales características empíricas del mercado cambiario no se corresponden con un comportamiento de caminata al azar, debido a que los cambios en la cotización de la divisa (retornos) no son una sucesión de *shocks* del tipo ruido blanco gaussiano. Esto obedecería a que los incrementos de los retornos no son iguales, en la medida que indican agrupamiento temporal de la volatilidad, y a la presencia de colas gruesas en su distribución. Existen varios trabajos empíricos para distintos tipos de cambio de otras economías que sustentan esta hipótesis que da lugar a la utilización de modelos GARCH. No obstante, para Uruguay el único antecedente, que se encontró en la revisión bibliográfica, es el trabajo de Aboal et. al. (2006), que estudia un período anterior al que se propone aquí.

La segunda hipótesis de esta investigación es que la dinámica que sigue la volatilidad del activo financiero puede describirse mejor si se reconocen cambios de régimen en el proceso, es decir, si se utiliza un modelo MRS-GARCH, en relación a cuando se emplea la especificación tradicional de la literatura empírica con modelos GARCH. La motivación de esta hipótesis está en la elevada persistencia que indican las estimaciones de los modelos GARCH para diversos mercados financieros, que ha sido interpretada desde una

²⁵ Las hipótesis que se desarrollan a continuación se sustentan en trabajos empíricos que serán presentados más adelante en el capítulo 6 correspondiente a los antecedentes de la investigación. Esta elección sobre el orden de la exposición se fundamenta en que el aporte de una revisión de antecedentes empíricos en este tipo de investigaciones está en la utilidad o aplicación de las técnicas, más que en el resultado concreto encontrado en cada situación. Por este motivo, antes de los antecedentes se presenta el capítulo de marco analítico, que busca exponer intuitivamente las técnicas. El punto de partida para ellas serán algunas investigaciones que encuentran que los tipos de cambio se comportan como una caminata al azar con el comienzo de la flotación internacional en 1973, ya que el trabajo y sus antecedentes empíricos, se concentran en el análisis del segundo momento de la serie de retornos de tipos de cambio.

perspectiva como quiebres estructurales que no están siendo reconocidos. En particular, para el mercado cambiario uruguayo en el período de estudio, esto puede ocurrir debido a los posibles impactos de la crisis financiera internacional reciente. Como se verá más adelante, varios estudios empíricos de volatilidad cambiaria con modelos GARCH suelen dividir su período de estudio considerando que este tipo de factores pueden alterar el nivel de la volatilidad. Para el caso del mercado cambiario uruguayo, en Aboal et. al. (2006) se realiza una estimación de modelos GARCH en subperíodos, considerando que la volatilidad pudo haberse visto afectada por las crisis regionales y los cambios en la política monetaria.

Es importante señalar que la observación sobre los posibles impactos de la crisis financiera internacional reciente constituye únicamente un posible sustento para la hipótesis de quiebres estructurales en el proceso. En este entendido, el trabajo no busca concluir acerca de la relación de la crisis financiera internacional reciente con la volatilidad cambiaria en la economía uruguaya, sino que solamente pretende alcanzar resultados en términos de si existen regímenes distintos en la volatilidad que sustenten la hipótesis de quiebres estructurales. Por este motivo, no se desarrollan los potenciales canales de contagio financiero ni se detalla una cronología de los acontecimientos vinculados a la crisis financiera internacional reciente. En cambio, la motivación de la hipótesis de regímenes que sustentan los quiebres estructurales está en la evidencia empírica documentada de que las estimaciones con modelos GARCH muestran una elevada persistencia en la volatilidad.

Asimismo, la hipótesis sobre la presencia de agrupamiento temporal de la volatilidad y colas gruesas en la distribución de retornos del tipo de cambio que contradicen el modelo de caminata al azar, se sustenta en los hallazgos de varios estudios empíricos para este tipo de activos en distintas economías y períodos históricos. En este sentido, es importante destacar adicionalmente que la motivación de ambas hipótesis es empírica, y las consideraciones teóricas desarrolladas en el capítulo anterior buscan únicamente proporcionar un marco en los enfoques de pensamiento económico para esta investigación y brindar algunas explicaciones para el comportamiento de la serie que se quiere estudiar, pero las hipótesis sobre su dinámica no se desprenden de allí.

4.2. Objetivos Generales y Específicos

A partir del estudio de estas hipótesis, la investigación tiene como objetivo general contribuir a discusión de los enfoques teóricos utilizados por los economistas para el análisis de la dinámica del mercado cambiario en flotación en nuestro país. En este sentido, la investigación pretende aportar a la construcción de una discusión más amplia que considere como elementos claves la existencia de agentes heterogéneos en interacción, un mecanismo de formación de expectativas diferente a la racionalidad deductiva, las formas

de aprendizaje, las asimetrías de información, y la posibilidad de componentes “psicológicos” y “sociológicos” en el mercado cambiario. Desde esta perspectiva, el trabajo busca contribuir al conocimiento acerca del funcionamiento del mercado en el período de flotación del tipo de cambio, y sustenta el estudio de su dinámica bajo explicaciones teóricas alternativas al pensamiento ortodoxo en finanzas.

El objetivo específico de la investigación es analizar las principales características empíricas del mercado cambiario y estudiar modelizaciones estadísticas que se apartan de la caminata al azar, y permiten recogerlas. De esta forma, el resultado específico de la investigación es la estimación estadística de un modelo GARCH(1,1), y un modelo MRS(2)-GARCH(1,1) para el tipo de cambio nominal del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano en el período 2005-2009. Estos modelos buscan recoger la volatilidad cambiaria a través de una especificación para los *shocks*, y por este motivo, el principal objetivo de la investigación está en la volatilidad del tipo de cambio. No obstante, las estimaciones se realizan con un componente de tendencia en los retornos, como se suele efectuar en la literatura empírica, por lo que estrictamente el problema de investigación es de dinámica del tipo de cambio y no sólo de volatilidad cambiaria, aunque el énfasis del trabajo esté en esta última. Adicionalmente, a raíz de las estimaciones, esta investigación busca elaborar algunas hipótesis interpretativas sobre los posibles impactos de la reciente crisis financiera internacional y el rol de la política monetaria doméstica, temas que podrán ser objeto de estudio de futuras investigaciones.

Por último, desde el punto de vista teórico, es importante destacar que la investigación se encuentra limitada a aportar evidencia empírica en contra de la caminata al azar, que es una de las formas de la hipótesis de mercados eficientes. Por este motivo, los resultados que se alcancen no pretenden concluir en términos generales sobre la eficiencia del mercado, sin desmedro de que sus implicaciones teóricas puedan constituir un cuestionamiento a la misma. Esto se debe a que los mercados eficientes se definen en términos de procesos martingala para el precio de los activos, y como señalan Andreou et al. (2001), esto no excluye la posibilidad de dependencia temporal de orden alto, como por ejemplo en la varianza condicional, que es justamente lo que se trabaja en esta investigación.

PARTE II

HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS Y APLICACIONES

5. Marco Analítico

Este capítulo presenta intuitivamente las técnicas que serán utilizadas, a partir de algunos conceptos claves que subyacen en los modelos estadísticos y las principales características empíricas que busca recoger cada uno de ellos. El punto de partida serán algunas investigaciones que concluyen que los tipos de cambio se comportan como una caminata al azar en el período de flotación internacional que comenzó en 1973 (apartado 5.1), a partir del estudio del primer momento de la serie de retornos. En este sentido, la conclusión para los tipos de cambio fue la misma que se alcanzó para los precios de las acciones, sobre los que se desarrolló originalmente el modelo, como fuera señalado en el tercer capítulo. Luego se resumen los principales conceptos de los modelos ARCH y GARCH (apartado 5.2) que son utilizados para capturar las características empíricas de los retornos financieros, considerando especialmente trabajos para los tipos de cambio.

Posteriormente se expone la relevancia de reconocer quiebres estructurales en las series temporales y las ventajas asociadas a realizarlo utilizando una cadena de Markov en relación a otras estrategias (apartado 5.3), destacando las investigaciones aplicadas a tipo de cambio que encuentran quiebres estructurales en las tendencias de las series, aportando así evidencia en contra de la caminata al azar. Por último, se explica por qué la aplicación de cambios de régimen de Markov a las especificaciones de volatilidad ARCH y GARCH es exitosa para caracterizar la dinámica de los mercados y resolver algunos problemas de los modelos tradicionales de volatilidad (apartado 5.4). Los trabajos sobre tipo de cambio que se presentan en este capítulo y en el próximo, están incluidos en un cuadro bibliográfico en el Anexo A de este trabajo, que resume los objetivos, paridades, período, resultados y comentarios acerca de las investigaciones empíricas que se referencian en el capítulo.

5.1. La Caminata al Azar

Con la era de flotación internacional que comenzó con la caída de Bretton Woods en 1973 se desarrollaron investigaciones que aportaron evidencia empírica a favor de las caminatas al azar en los mercados cambiarios. Estos estudios analizaron su bondad de ajuste en comparación a los modelos de fundamentos, las series temporales autorregresivas, y utilizaron reglas técnicas de media móvil y precios *forward* del tipo de cambio. En términos generales, la conclusión que alcanzaron es que los tipos de cambio son una caminata al azar, al igual que en los estudios previos sobre el precio de las acciones, en línea con la propuesta de Bachelier de comienzos del siglo XX.

La investigación de Meese y Rogoff (1983) concluye que los modelos de fundamentos no resultan más útiles que la caminata al azar para predecir los retornos de los principales tipos de cambio del mundo. El análisis se realiza considerando el modelo de precios flexibles (Frenkel-Bilson), el monetario de precios rígidos (Dornbusch-Frankel) y una versión de éste último que incorpora la cuenta corriente (Hooper-Morton). Los autores destacan que la falla de predicción de estos modelos no se debe a pronósticos erróneos para las variables explicativas, ya que el estudio toma sus valores realizados a los efectos de comparar las bondades de predicción. Los resultados son corroborados para varios horizontes y considerando distintos subperíodos de análisis. Por otra parte, analizan la adecuación de modelizar con series temporales univariadas y multivariadas, y concluyen que el mejor modelo es una caminata al azar.

Entonces los retornos del tipo de cambio, dados por $s_t = \ln(TC_t / TC_{t-1})$ se describen por²⁶:

$$s_t = \varepsilon_t \quad \text{con } \varepsilon_t \sim i.i.d \ N(0, \sigma^2)$$

Reforzando estas conclusiones, la investigación de Cornell y Dietrich (1978) también estudia la pertinencia de utilizar series temporales autorregresivas y reglas técnicas para los retornos del tipo de cambio de las principales economías europeas. Los autores encuentran que no hay evidencia de autocorrelación significativa considerando varios rezagos y que las reglas técnicas no suelen ofrecer una oportunidad rentable, incluso las basadas en medias móviles. La investigación concluye en los primeros años de la flotación internacional existe soporte empírico a favor de la caminata al azar en los mercados cambiarios.

Por último, la investigación de Frenkel (1981) concluye en el mismo sentido que las dos anteriores, afirmando que los tipos de cambio son una caminata al azar, aunque el análisis

²⁶ Como señalan Andreou et. al. (2001), también existen trabajos empíricos que sostienen la caminata al azar con un término de tendencia.

se realiza con una regresión lineal de los precios *forward* del tipo de cambio sobre sus precios corrientes. El autor encuentra que toda la información futura de los precios está descontada en su valor corriente, e interpreta el resultado como una imposibilidad de realizar predicciones en base a los valores pasados del tipo de cambio, lo que constituye según él, evidencia empírica que apoya la caminata al azar y la eficiencia en los mercados cambiarios.

Interesa destacar que, en base a este análisis, el autor entiende que debido a que toda la información está descontada, las fluctuaciones que se observan sólo pueden obedecer a “noticias” que no pueden ser anticipadas. Esto es la esencia de la visión sobre los retornos financieros como equivalentes a una sucesión de *shocks* del tipo ruido blanco, que es lo que sostienen las investigaciones que concluyen que los mercados cambiarios se comportan como una caminata al azar. Si bien las conclusiones acerca del primer momento de la serie pueden ser acertadas, como se verá en el próximo apartado, los retornos del tipo de cambio nominal del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano en el período 2005-2009 no parecen corresponderse con una sucesión de *shocks* del tipo ruido blanco.

5.2. La Volatilidad del Tipo de Cambio Nominal

Como fuera señalado en el tercer capítulo de esta investigación, durante la década de 1960 se encontró que los retornos de alta frecuencia de ciertos activos financieros exhibían períodos de agrupamiento de volatilidad y colas gruesas en su distribución empírica, lo que consistía una inconsistencia con el supuesto de que eran una sucesión de *shocks* del tipo ruido blanco gaussiano y con el modelo de caminata al azar. Durante la década de 1980, se abordó la tarea de intentar capturar estas características empíricas. Los procesos estocásticos ARCH y GARCH, propuestos por Engle (1982) y Bollerslev (1986) respectivamente, buscaron recoger el agrupamiento temporal de la volatilidad a través de una estructura autorregresiva para la varianza condicional de los retornos, es decir, para los *shocks*. Adicionalmente, estos modelos son consistentes con la leptocurtosis incondicional documentada para los retornos de varios activos financieros, en particular, para los tipos de cambio (Diebold y Nerlove, 1989).

El modelo ARCH propone especificar la varianza condicional de los retornos como una sumatoria de *shocks* pasados, es decir:

$$s_t = \mu + \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_t = \sqrt{\sigma_t^2} a_t$$

$$V(\varepsilon_t / I_{t-1}) = \sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^{i=m} \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2$$

Como se puede observar en la última ecuación, el proceso da cuenta de que los *shocks* pasados “grandes” (“pequeños”) tienden a traducirse en realizaciones “grandes” (“pequeñas”) de volatilidad corriente²⁷. Esta es una de las principales características de las series de retornos de tipo de cambio, que se ha sido denominada en la literatura como agrupamiento temporal de la volatilidad. Ésta refleja un fenómeno bastante intuitivo, que consiste en que los mercados cambiarios se caracterizan por períodos “contagiosos” de “calma” y “nerviosismo” (Diebold y Nerlove, 1989). Este tipo de comportamiento puede visualizarse en los retornos del tipo de cambio nominal del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano del período 2005-2009, que se presentan en el Gráfico 5.1 a continuación. Como se puede observar, este comportamiento no se parece al del Gráfico 5.2 de un ruido blanco gaussiano²⁸.

Gráfico 5.1: Retornos del Tipo de Cambio Nominal UYU/USD 2005-2009

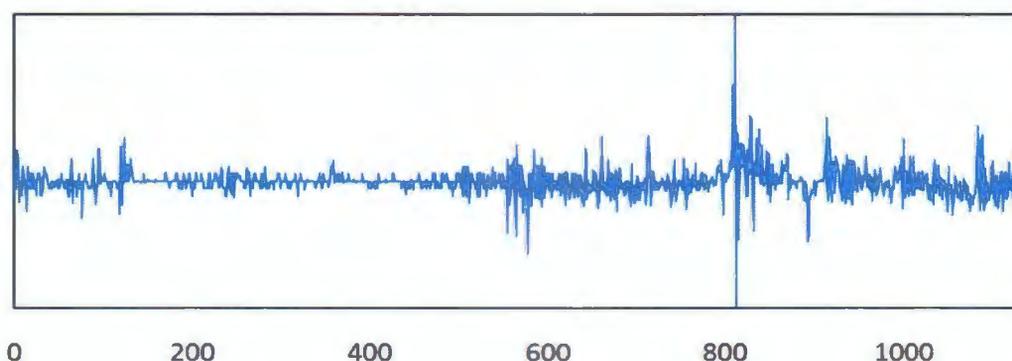
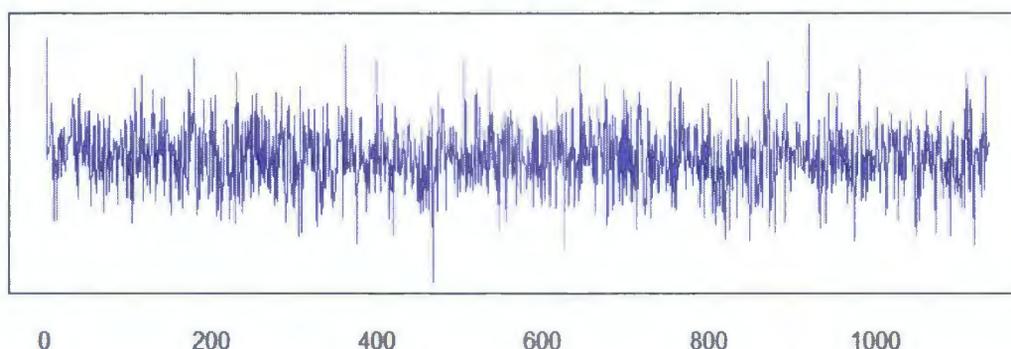


Gráfico 5.2: Ruido Blanco Gaussiano



Otra característica interesante del modelo es que, como destaca Engle (1982), al estar considerando períodos de “nerviosismo” y “calma”, está tomando en cuenta el agrupamiento temporal de datos atípicos y utiliza esto para predecir su propia ocurrencia y

²⁷ Se puede notar en la ecuación, que lo relevante es la magnitud del *shock* (dada por la expresión cuadrática de los mismos) y no el signo. Los modelos EGARCH toman en cuenta su signo y se utilizan para capturar el efecto de apalancamiento característico de algunos mercados financieros. Para ampliar la referencia sobre estos modelos, se puede ver Tsay (2005). Al respecto, Bollerslev et. al. (1992) señalan que “...mientras se encontró que los retornos de acciones exhiben algún grado de asimetría en sus varianzas condicionales, la naturaleza de dos lados del mercado cambiario hace estas asimetrías mucho menos probable...” (Bollerslev et. al. 1992, p.38). Por este motivo, en general los estudios sobre tipo de cambio no requieren trabajar con especificaciones asimétricas como los modelos EGARCH.

²⁸ Ambos gráficos se construyen con 1134 datos, que son la cantidad de observaciones que hay en el período 2005-2009 para el tipo de cambio que aquí se estudia. No se presenta el eje de las ordenadas, debido a que aquí no interesa señalar la magnitud de la variabilidad, sino que sencillamente se busca mostrar que es distinta.

minimizar sus efectos, lo que es una propiedad deseable. En términos generales, el autor señala que estos modelos permiten recoger la incertidumbre o aleatoriedad propia de cada momento, a través de los *shocks* pasados, y construir predicciones directamente asociadas a éstos y por ende cambiantes en el tiempo.

Desde el punto de vista teórico, Diebold y Nerlove (1989) entienden que considerar que existe dependencia en los *shocks* constituye una forma de apartarse de la idea tradicional de eficiencia de mercado. Según los autores, esto se debe a que los modelos ARCH implican que los cambios en el precio de la divisa no están serialmente incorrelacionados, por lo que se puede diferenciar los *shocks* entre “nuevas” y “viejas” noticias. Agregan que, si los mercados funcionaran eficientemente esta distinción se desvanece, ya que todas las noticias quedan incorporadas en sus equilibrios pasados, y entonces no se pueden efectuar predicciones en un sentido lineal.

Si bien esta modelización de la volatilidad de los tipos de cambio resulta conveniente por los motivos reseñados anteriormente, desde el punto de vista práctico su implementación suele requerir incorporar varios rezagos de los *shocks*, como señala Bollerslev (1986). Por este motivo, el autor propone una extensión a los modelos ARCH que consiste en una representación más parsimoniosa y flexible, conocida en la literatura como modelo GARCH. La extensión radica en adicionar a la estructura anterior de sumatoria de *shocks*, el propio valor pasado de la volatilidad, lo que según el autor implica recoger una especie de mecanismo de aprendizaje adaptativo.

$$s_t = \mu + \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_t = \sqrt{\sigma_t^2} a_t$$

$$V(\varepsilon_t / I_{t-1}) = \sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^{i=m} \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^{j=n} \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

Intuitivamente, esta extensión, al incorporar el propio valor pasado de la variable y *shocks* históricos, no es más que una especificación ARMA para la volatilidad. La forma autorregresiva que sugieren estos modelos reconoce una memoria en el proceso estocástico, aunque al ser del tipo ARMA es una memoria de corto plazo, que supone una caída rápida (geométrica) de los parámetros (Brock y De Lima, 1995). De modo más intuitivo, esto significa que estos modelos otorgan cada vez menos peso a las observaciones pasadas. Sin embargo, en su extensa revisión bibliográfica de investigaciones empíricas de retornos de tipos de cambio, Bollerslev et. al. (1992) señalan que es común encontrar que los parámetros de la ecuación de volatilidad del modelo tienden a sumar la unidad, con lo que el polinomio autorregresivo tendría una raíz unitaria, implicando así una

elevada persistencia de los *shocks*. En el último apartado de este capítulo se volverá sobre esta cuestión.

5.3. El Nivel del Tipo de Cambio Nominal

Los primeros estudios de cambios de régimen de Markov para retornos del tipo de cambio se aplicaron a la ecuación de media condicional, buscando explicar la evolución temporal de un componente de tendencia que estaría en la serie²⁹. Las investigaciones de Engel y Hamilton (1990) y Engel (1994) utilizan cambios de régimen de Markov para mostrar que detrás del comportamiento aparente de caminata al azar de los tipos de cambio subyacen oscilaciones entre períodos de apreciación y depreciación, que se caracterizan por una variabilidad distinta de los retornos, sugiriendo que la serie está sujeta a quiebres estructurales.

Desde el punto de vista conceptual estos quiebres están generados por cambios en el proceso generador de datos económicos y pueden observarse en el seguimiento de cualquier serie macroeconómica o financiera. Como señala Hamilton (1994; 2005), éstos son el resultado de crisis económicas y financieras, guerras, o cambios significativos en la política económica. En este sentido, este tipo de explicaciones se puede enmarcar en la crítica de Lucas (1976), que sostiene que cualquier cambio en la política económica sistemáticamente altera la estructura de los modelos econométricos. En términos generales, estos cambios implican un comportamiento no lineal de la serie temporal.

Estas observaciones sugieren la necesidad de reconocer explícitamente la posibilidad de distintos estados o regímenes para los retornos del tipo de cambio. A tales efectos, las estrategias seguidas en las investigaciones empíricas consisten en dividir la muestra, incluir *dummies*, utilizar modelos de umbral, o de cambios de régimen modelizados con cadenas de Markov. Esta última estrategia se traduce en permitir que el término de tendencia de los retornos adquiera un valor distinto según el estado en el que se encuentra el proceso, haciéndolo depender de una variable de régimen r_t :

$$s_t = \mu_{r_t} + \varepsilon_t \quad \text{con } \varepsilon_t \sim i.i.d \quad N(0, \sigma^2)$$

Esta estrategia empírica fue propuesta por primera vez por Hamilton (1989), y presenta una serie de ventajas importantes en relación a las demás señaladas³⁰. En primer lugar,

²⁹ A pesar de que el título del apartado alude al nivel del tipo de cambio, es importante mantener la perspectiva de que las investigaciones que aquí se referencian estudian la tendencia de los retornos del tipo de cambio.

³⁰ No obstante, existen importantes antecedentes para esta propuesta. En Hamilton (2005; 1990) se señala que las regresiones con cambios de régimen de Markov fueron introducidas en la econometría por Goldfeld y Quandt en la década de 1970 y la función de verosimilitud fue correctamente calculada por primera vez por Cosslett y Lee a mediados de la década de 1980.

constituye una mejor alternativa en relación a trabajar con un modelo de serie temporal en cada submuestra asociada a un régimen dado, debido a que proporciona una descripción conjunta del proceso, y permite la posibilidad de que vuelvan a ocurrir cambios, como señalan Kim y Nelson (1999). Adicionalmente, los autores destacan que es una mejor solución en relación a incluir variables *dummies* para dar cuenta de los cambios, ya que estos modelos encuentran endógenamente los momentos en los que se producen los quiebres, que no siempre son observables o resultan fáciles de identificar.

Por último, señalan como ventaja que los modelos de cambio de régimen de Markov especifican una ley de probabilidad que gobierna los cambios entre estados. Esto permite realizar inferencia sobre el régimen al que pertenece cada una de las observaciones de la muestra, en lugar de que resulten clasificadas acorde a un valor umbral. A través de estas probabilidades también se pueden obtener la duración esperada de cada régimen y la varianza de esta duración. En términos generales, la principal ventaja de los modelos de cambios de régimen de Markov es que le imprimen un carácter de aleatoriedad al proceso de cambios estructurales, en lugar de especificarlo como un fenómeno perfectamente previsible y determinístico³¹.

5.4. Estados de la Volatilidad del Tipo de Cambio Nominal

Como fuera señalado previamente, la elevada persistencia en la volatilidad fue considerada por un lado, como un indicio de memoria infinita o de largo plazo, y por otra parte, como una consecuencia de cambios estructurales en el proceso de la volatilidad que no están siendo reconocidos en la especificación. Como resumen Brock y DeLima (1995), la primera hipótesis ha dado lugar al desarrollo de investigaciones que trabajan con una memoria más larga que la que implican los procesos del tipo ARMA, con caídas hiperbólicas de los parámetros, en línea con el carácter infinito de la varianza, considerada en los trabajos de Mandelbrot con fractales, que han sido aplicados en los análisis de finanzas. Si bien este enfoque puede resultar atractivo, como señalan Mantenga y Stanley (2000), "...los procesos estocásticos de varianza infinita, aunque están bien definidos matemáticamente, son extremadamente difíciles de usar, y más aún, despiertan cuestionamientos claves cuando son aplicados a los sistemas reales..." (Mantenga y Stanely, 2000, p. 4)³².

Por estos motivos, en este trabajo se optó por la interpretación del fenómeno de elevada persistencia en la volatilidad como quiebres estructurales que no están siendo reconocidos.

³¹ Esto es lo que realizan los modelos de umbral tales como TAR (*Threshold Autorregresive*), STAR (*Smooth Transition AR*), SETAR (*Self-Exciting Threshold Autorregresive*), como explica Tsay (2005).

³² Adicionalmente, los autores destacan que la utilización de estos procesos plantea dificultades para algunas aplicaciones de la física, donde el segundo momento suele estar asociado a la temperatura del sistema, entonces la varianza infinita implica una temperatura infinita o indefinida. En el mismo sentido, también señalan que en los sistemas financieros una varianza infinita complicaría la tarea de estimación del riesgo. Es interesante considerar que ambos autores son físicos. Para una noción intuitiva de los fractales, puede verse Mandelbrot y Hudson (2009).

Las investigaciones de Lamoreux y Lastrapes (1990) y Lastrapes (1989) son las primeras en señalar que la persistencia en los modelos GARCH puede deberse a un error de especificación al no reconocerse los cambios estructurales que ocurren en el proceso de la volatilidad, en línea con la crítica realizada por Perron (1989) sobre los posibles quiebres en la media condicional. De este modo, si se incorporaran estos cambios se podría recoger la heterocedasticidad existente dentro de cada régimen o estado con modelos GARCH estacionarios. Los autores concluyen que la identificación de regímenes en la volatilidad de los retornos constituye una línea de investigación futura muy importante que puede nutrirse del trabajo de Hamilton (1989) de cambios de régimen de Markov.

Asimismo, la incorporación de regímenes o estados resulta intuitiva considerando que esencialmente los modelos GARCH buscan recoger oscilaciones aleatorias entre períodos de “alta” y “baja” variabilidad en los retornos, que es justamente el fenómeno de agrupamiento temporal de volatilidad. De hecho, la inspección visual del Gráfico 5.1 para los retornos del tipo de cambio que se estudian aquí, sugiere la posibilidad de que las primeras realizaciones sean de un período menos volátil, mientras que las últimas podrían ser de un período de mayor volatilidad. En términos generales, la incorporación cambios de régimen entre períodos de diferente nivel de volatilidad permite reconocer cambios repentinos en los mercados, y principalmente por este motivo resulta atractivo el enfoque sobre la persistencia en la volatilidad con modelos de cambios de régimen. Como se detallará a continuación, la combinación de técnicas que proponen los modelos MRS-(G)ARCH se configuran como una mejora en términos de flexibilidad y capacidad descriptiva de los episodios del mercado, así como también en cuanto a la identificación de fuentes de persistencia y estimación de los parámetros.

En relación a este último aspecto, Haas et. al. (2004) y Klaassen (2002) destacan que la incorporación de cambios de régimen permite identificar una fuente adicional de persistencia en la volatilidad. Esto se debe a que estas técnicas logran capturar aquella parte de la persistencia que obedece sencillamente a que ocurren realizaciones de un estado de mayor volatilidad que no estaría siendo reconocido. Si los regímenes son omitidos en la especificación, estas realizaciones se estarían confundiendo con el agrupamiento de volatilidad de todo el proceso en su conjunto, cuando en esencia lo que está ocurriendo es un agrupamiento dentro de un estado, generando así una persistencia elevada para el proceso global de volatilidad. Por este motivo, cuando se incorporan los regímenes “...un *shock* puede ser seguido por un período volátil, no sólo por los efectos GARCH, sino también por el cambio a un régimen de mayor varianza...” (Marcucci, 2005, p.8). En esta línea, los autores agregan que cuando no se reconocen los regímenes se están efectuando estimaciones de los parámetros de volatilidad que “promedian” lo que estaría

sucediendo en distintos estados y por ende son excesivamente “elevadas” (“bajas”) en períodos de “alta” (“baja”) volatilidad³³.

Por otra parte, la mejora en la capacidad descriptiva que implican estos modelos radica en que crean estructuras más complejas que permiten modelizar datos generados por distintos mecanismos económicos, lo que al incorporarse a la estructura de la varianza condicional le otorgan flexibilidad (Klaassen, 2002; Gray, 1996)³⁴. No obstante, en los primeros estudios con esta combinación de técnicas, realizados por Cai (1994) y Hamilton y Susmel (1994), la flexibilidad se encontraba limitada debido a que se recogían sólo efectos ARCH dentro de los regímenes. Esto se explica porque la incorporación de un parámetro autorregresivo en una ecuación sujeta a cambios de régimen se traduce en una dependencia del proceso de toda su trayectoria temporal pasada, que dificulta seriamente la estimación. Este problema será tratado con más detalle en el capítulo 7 sobre modelos estadísticos, donde se desarrolla la presentación del modelo MRS-GARCH y su método de estimación.

Como fuera señalado anteriormente, las dinámicas ARCH son limitadas y la incorporación del efecto GARCH resulta clave para explicar la persistencia de volatilidad dentro de los regímenes, que es un fenómeno característico de los mercados cambiarios. La investigación de Gray (1996) es la primera en proponer un modelo que incorpora efectos GARCH y resolver el problema de dependencia temporal, y posteriormente el trabajo de Klaassen (2002) propone una modificación a éste, para hacer un uso más eficiente de la información en la estimación. Su propuesta de cambios de régimen para la varianza condicional de un modelo GARCH(1,1) se especifica como:

$$V(\varepsilon_t / \tilde{r}_t, I_{t-1}) = \sigma_{\tilde{r}_t}^2 = \omega_{r_t} + \alpha_{r_t} \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_{r_t} E_{t-1}[V(\varepsilon_{t-1} / \tilde{r}_{t-1}, I_{t-2}) / r_t]$$

En este sentido, trabajar tanto con parámetros ARCH como GARCH, que además varían a través de los distintos estados, brinda descripciones ajustadas de los episodios del mercado en relación a trabajar sólo con efectos ARCH, ya que permite un abordaje mucho más rico en términos de caracterización de los regímenes. Al respecto, señala Klaassen (2002) que los estados de “nerviosismo” pueden ser caracterizados como períodos donde la sensibilidad a los *shocks* recientes es muy importante –“elevados” parámetros ARCH- aunque sus efectos mueren lentamente, sin dar lugar a mucha inercia en la volatilidad -

³³ Es importante aclarar que el término “promediar” no es utilizado en la literatura para aludir a un promedio aritmético de los parámetros de diferentes regímenes, sino para referirse a una situación donde se están escondiendo diferentes parámetros, por lo que la acepción del término es más amplia.

³⁴ Gray (1996) destaca la flexibilidad que suponen estos modelos en términos de que la incorporación de cambios de régimen de Markov permite reconocer un comportamiento no lineal y diferentes procesos de ajustes en la serie, mientras que Klaassen (2002) hace énfasis en el significado económico de la flexibilidad, entendida como la capacidad de descripción más ajustada de los episodios del mercado y la dinámica dentro del régimen.

“bajos” parámetros GARCH- debido a que cumplen con el rol de “aliviar tensiones”. De modo inverso, los estados de “calma” pueden describirse como períodos donde los *shocks* no tienen mayores impactos -“bajos” parámetros ARCH-, aunque la inercia en volatilidad es importante -“elevados” parámetros GARCH-. De este modo, la utilidad de estas técnicas queda justificada también porque descubre estimaciones “promedio” que se esconden detrás de los modelos GARCH. A modo de síntesis, los modelos MRS-GARCH permiten encontrar tendencias y volatilidades en los tipos de cambio diferenciadas según el régimen en el que se encuentre la economía.

Por último, una de las principales utilidades de estos modelos es que construyen inferencias acerca de la probabilidad de que una cierta observación o realización de los retornos del tipo de cambio pertenezca a un cierto régimen y de la probabilidad de transición entre ellos. Este tipo de inferencias en un modelo que captura estados endógenamente, resulta particularmente interesante para detectar momentos de cambios de régimen en lugar de suponerlos. Por ejemplo, la investigación de (Chaudhuri y Klaassen, 2001) sobre los mercados de acciones asiáticos encuentra que la volatilidad “alta” se condice con momentos de crisis institucionales, políticas o inestabilidad macroeconómica, que ocurren anteriormente a la manifestación de la crisis económica de 1997. Adicionalmente, las inferencias sobre la probabilidad de que una observación pertenezca a un cierto régimen y de la transición entre ellos, permiten contar con la duración esperada de cada estado y con la varianza de la duración, lo que es particularmente útil para aproximarse a conocer la duración de períodos de turbulencia.

6. Antecedentes Empíricos

Este capítulo expone sintéticamente los principales antecedentes empíricos de investigaciones que utilizan los modelos estadísticos presentados en el capítulo anterior, destacando los objetivos que persiguen, a los efectos de proporcionar un resumen sobre las aplicaciones que se les ha dado a estas técnicas. En general, las investigaciones empíricas sobre los retornos de los tipos de cambio buscan recoger el comportamiento de su tendencia, de su varianza, o incluso ambas. Si bien la preocupación de este trabajo está en la volatilidad y sus posibles regímenes o estados, debido a que existen antecedentes empíricos que encuentran cambios en la tendencia de los retornos, se opta por trabajar con una especificación que los reconozca, y por ende se resumen algunos trabajos en esta línea. Luego se exponen algunos estudios sobre la volatilidad de los tipos de cambio, y finalmente aquellos que encuentran niveles o estados en la misma.

Como se podrá ver, las preocupaciones de los trabajos empíricos son variadas, aunque en términos generales, el principal objetivo que persiguen es proporcionar un ajuste estadístico para la dinámica de los retornos del tipo de cambio. En particular, este es el objetivo que persiguen los trabajos que utilizan los modelos MRS-GARCH. Por otra parte, los trabajos que emplean sólo una de las técnicas han tenido diversos objetivos adicionales, tales como aportar al conocimiento acerca del funcionamiento de los sistemas cambiarios y de la política monetaria, encontrar movimientos comunes entre monedas, detectar cuáles son los momentos de quiebres estructurales causados por crisis económicas, y valorar instrumentos de cobertura financieros.

6.1. La Volatilidad del Tipo de Cambio Nominal

Como fuera mencionado, las investigaciones empíricas sobre los retornos de tipo de cambio muestran que los datos de alta frecuencia indican agrupamiento temporal de la volatilidad. Esta característica ha sido utilizada por los modelos ARCH y GARCH para encontrar movimientos comunes entre monedas, aportar conocimiento sobre el rol de la política monetaria, y en términos generales ha sido empleada sencillamente para describir la evolución temporal de las paridades cambiarias. Por ejemplo, los trabajos de Hsieh (1989a;1989b) sólo buscan analizar el ajuste estadístico de distintos modelos GARCH para algunas paridades europeas.

Para encontrar movimientos comunes entre los retornos de las monedas, las investigaciones comienzan con un análisis individual de cada mercado utilizando modelos del tipo ARCH, que posteriormente se extienden para dar cuenta del movimiento común. Estos análisis se motivan en la observación de que las economías comparten características en ciertos momentos del tiempo, como políticas monetarias o cambiarias, crisis o *shocks* financieros, o se encuentran integradas a mercados comunes. En particular, el estudio de Diebold y Nerlove (1989) para varias paridades europeas en el período del Sistema Monetario Europeo encuentra que todas las monedas tienen períodos comunes de volatilidad, dados por las crisis económicas y los cambios en la política monetaria de Estados Unidos. En la misma línea, el trabajo de Hong (1992) estudia las principales paridades europeas en este período para analizar si la introducción de este sistema disminuyó la volatilidad de los tipos de cambio. Sus estimaciones indican una elevada persistencia de la volatilidad de los tipos de cambio y encuentra que con la introducción del sistema cambian los parámetros que describen a este proceso. Por otra parte, Ho y Tsui (2008) estudian la volatilidad de paridades asiáticas, y detectan una elevada persistencia que interpretan como una memoria infinita en el proceso. También extienden el análisis univariado para considerar que las economías que estudian están integradas a mercados comunes y que pueden existir efectos de derrame³⁵.

Para las paridades latinoamericanas, el trabajo de Ruiz (2007) busca movimientos comunes en su volatilidad y concluye que los movimientos suelen ser específicos de cada país, salvo por algunas excepciones, entre las que se encuentra un vínculo entre Uruguay y Argentina. Otro tipo de investigación que busca similitudes entre las volatilidades cambiarias, puede verse en Griebeler (2010) que analiza si la volatilidad de los tipos de cambio de algunas economías emergentes se comporta de manera diferente a las de ciertas economías desarrolladas. En otra línea de estudio sobre las paridades latinoamericanas, Grydaki y

³⁵ El trabajo de Hong (1992) incluye otras monedas además de las europeas y analiza las paridades no sólo con el Dólar Norteamericano, sino también con el Marco Alemán y la Lira Italiana. Por otra parte, el estudio de Ho y Tsui (2008) considera las paridades no sólo con el Dólar Norteamericano, sino también con el Yen Japonés.

Fountas (2010) se preocupan por analizar los determinantes de su volatilidad, y encuentran que el grado de apertura financiera de la economía afecta significativamente la volatilidad de todas las monedas que estudian. Por otra parte, también se ha mostrado que la reciente crisis financiera internacional aumentó la volatilidad de las paridades de las economías emergentes, en particular de las latinoamericanas, dentro de las que se incluye el Peso Uruguayo, y adicionalmente se ha encontrado que existen efectos de contagio regionales en contextos de crisis (Courdet et. al., 2010).

Por último, estas técnicas han sido utilizadas de diferente forma en investigaciones recientes que buscan conocer el funcionamiento de la política monetaria en economías latinoamericanas. Por ejemplo, el estudio de Maya y Gomez (2008) analiza si existen efectos de apalancamiento en las volatilidades cambiarias que evidencien una mayor sensibilidad a la apreciación, entendiendo que esto puede ser un síntoma de “miedo a la flotación”³⁶. En este sentido, el trabajo de Fernández (2003) estudia varios modelos asimétricos para la volatilidad del Peso Chileno, incluyendo algunos con umbrales y saltos, para conocer si efectivamente aumentó con el pasaje a un sistema de flotación. Para la misma paridad, Morandé y Tapia (2002) se hacen esta pregunta, buscando concluir además sobre la hipótesis de “miedo a la flotación”, para lo que realizan un análisis incluyendo fundamentos y dividen su período considerando cambios en el contexto internacional. Los autores concluyen que no hay evidencia significativa de que Chile haya sufrido de “miedo a la flotación” en los primeros años de implementación del sistema de flotación.

En esta línea de investigación el único antecedente a nivel nacional, que se encontró en la revisión bibliográfica, que realiza un análisis de la volatilidad para conocer sobre el funcionamiento de la política monetaria es el trabajo de Aboal et. al. (2006). Para conocer sobre el “miedo a la flotación”, en la primera parte de la investigación se estima un modelo GARCH trabajando con subperíodos para estudiar si la volatilidad aumentó con el pasaje a un sistema de flotación, lo que entienden que es un indicio de mayor flexibilidad cambiaria. Los autores encuentran que efectivamente la volatilidad aumentó con el pasaje a un sistema de flotación. Por último, en contextos de flotación una estimación de volatilidad puede utilizarse para conocer sobre la incertidumbre de devaluación, como señala Arce (2001), que es sumamente importante en economías altamente dolarizadas como Bolivia, que es su caso de estudio.

6.2. El Nivel del Tipo de Cambio Nominal

Algunas investigaciones empíricas recientes encuentran que los retornos de los tipos de cambio oscilan entre períodos de apreciación y depreciación de distinta variabilidad. La

³⁶ Este estudio analiza paridades con el Dólar Norteamericano y con el Euro.

identificación de regímenes en las tendencias de los retornos de las paridades con modelos de cambios de régimen de Markov ha contribuido a una diversidad de objetivos. En particular, estas técnicas han sido utilizadas para caracterizar el funcionamiento empírico de los sistemas cambiarios, para aportar a la comprensión de cómo se determinan los tipos de cambio, y en términos generales se han empleado para identificar momentos de quiebre estructural, así como para analizar una dinámica alternativa a la caminata al azar.

En esta última línea de investigación, los trabajos de Cheung y Elarndsson (2005) y Yuan (2008) son análisis puramente estadísticos para el comportamiento de algunos tipos de cambio europeos a partir del comienzo del período de flotación internacional en 1973. Estos trabajos encuentran que se pueden identificar oscilaciones entre períodos de apreciación y depreciación de distinta variabilidad, y concluyen que los modelos de cambios de régimen de Markov proveen un mejor ajuste para los retornos que las caminatas al azar. Otras conclusiones interesantes de estos trabajos son que los resultados de estimación pueden mejorar si se consideran distintos regímenes para la tendencia y la volatilidad, o si se incorpora un tercer régimen o filtros de suavización.

El trabajo de Bazdresch y Werner (2005) también tiene como objetivo estudiar si existen regímenes en la tendencia de los retornos cambiarios, considerando un período más reciente para el Peso Mexicano. El autor encuentra que existe un régimen de apreciación y baja volatilidad, y otro de depreciación con alta volatilidad. Es interesante destacar que analizan dos modelos que extienden el análisis para considerar variables económicas como explicativas de los regímenes, y no encuentran que ninguno sea significativo. En una línea de investigación similar, el trabajo de Aboal et. al. (2005) es el único antecedente a nivel nacional que se encontró en la revisión bibliográfica que aplica cambios de régimen de Markov a los cambios en la cotización uruguaya en el período 1983-2003. El trabajo encuentra un estado apreciado y uno depreciado con una probabilidad de permanencia relativamente menor. Adicionalmente, también en este estudio se realiza un análisis que incorpora variables para explicar los regímenes, y se encuentra que las variables económicas no resultan significativas, mientras que sí existen efectos condicionados para ciertas variables políticas. Es importante aclarar que, la preocupación de dicho trabajo está en los regímenes para el nivel de los cambios en la cotización, y no en la volatilidad cambiaria como en esta investigación³⁷.

³⁷ En este sentido, es necesario tener en cuenta que el estudio de Aboal et. al. (2005) analiza un período que no es de flotación cambiaria y se enmarca en una perspectiva de largo plazo con un enfoque de economía política, lo que permite comprender la preocupación por el nivel en los cambios de la cotización. En este sentido, el trabajo además utiliza datos de baja frecuencia, y la literatura empírica identifica heterocedasticidad en los *shocks* y agrupamiento temporal de la volatilidad en datos de alta frecuencia. Un trabajo en una línea de investigación similar, es el de Bonomo y Terra (1999) para el Real Brasileño, que analiza los modelos de cambios de régimen de Markov a la luz del sistema político imperante y la proximidad a los procesos electorales.

Por otra parte, las investigaciones con modelos de cambios de régimen de Markov también han contribuido al objetivo de comprender la determinación de los tipos de cambio, a partir del marco teórico de *Chartists & Fundamentalists* de Frankel y Froot (Vigfusson, 1997; Dewatcher, 2001). Los estudios concluyen que estos modelos pueden aproximar bien el funcionamiento de un mercado cambiario con estos dos tipos de agentes, y que en particular, logran replicar bien el componente que no obedece a fundamentos. Una conclusión interesante de Vigfusson (1997), es que la “etiqueta” de agentes que son “fundamentalistas” y otros que son “chartistas” no parece apropiada para caracterizar a los regímenes del mercado, sino que resulta mejor describirlos en términos de regímenes de “alta” y “baja” volatilidad.

Por último, los modelos de cambios de régimen de Markov también han sido útiles para dar cuenta de los cambios en la dinámica de los tipos de cambio provocados por crisis financieras y por alteraciones en la política monetaria. Por ejemplo, la investigación de Ismail e Isa (2006) identifica quiebres estructurales para los tipos de cambio de economías asiáticas emergentes en los momentos de crisis financiera³⁸. Por otra parte, en Masson (2001) esta técnica se emplea para caracterizar el funcionamiento empírico de los sistemas cambiarios, analizando si se cumple la solución de “dos polos” para los tipos de cambio, a partir de los resultados de estimación de las probabilidades de transición. En una línea similar Pontines y Siregar (2010) estudian si el comportamiento de los tipos de cambio de algunas economías asiáticas emergentes evidenció una menor flexibilización para la apreciación, con el cambio hacia una política monetaria orientada a la adopción de metas de inflación. Los autores consideran que este tipo de señal puede visualizarse en los resultados de estimación de las probabilidades de persistencia de los diferentes regímenes.

6.3. Estados de la Volatilidad del Tipo de Cambio Nominal

La aplicación de cambios de régimen de Markov a especificaciones de volatilidad resulta fructífera por varios motivos. Como fuera mencionado en el capítulo anterior, esta combinación de modelos permite una descripción mucho más rica de la dinámica de los retornos del tipo de cambio. Adicionalmente, ha sido señalado que esta mezcla permite capturar mejor la dinámica de los mercados, en relación a las técnicas que trabajan sólo con una especificación de heterocedasticidad condicional, o sólo con cambios de régimen de Markov. En este sentido, la investigación de Parikakis y Syriopoulos (2008) muestra que la utilización únicamente de modelos de cambios de régimen no logra recoger toda la persistencia de la volatilidad en momentos de nerviosismo de los mercados.

³⁸ Este trabajo analiza las paridades contra la Libra Esterlina.

En general, las aplicaciones de los modelos MRS-GARCH a los retornos del tipo de cambio son escasas, y han sido utilizadas únicamente con la finalidad estadística de proporcionar mejores ajustes para la dinámica de los mercados, particularmente en relación a los modelos GARCH. Sin embargo, sí existen investigaciones sobre los tipos de cambio que buscaron capturar las mismas cuestiones que intentan resolver los modelos MRS-GARCH, aunque utilizando otras estrategias. Por ejemplo, el trabajo de Courdet et. al. (2010) incorpora regímenes de modo determinístico con umbrales para investigar si existen respuestas no lineales de las volatilidades realizadas de las monedas latinoamericanas, considerando la crisis financiera internacional reciente dentro de su período de estudio. La conclusión del trabajo es que la volatilidad cambiaria aumenta más que proporcionalmente al estrés financiero global.

Los únicos antecedentes empíricos que utilizan modelos MRS-GARCH para estudiar los retornos de los tipos de cambio, son los trabajos realizados por Klaassen (2002) y Haas et. al. (2004), aunque se encontraron en la revisión bibliográfica algunos estudios para el precio de otros activos financieros³⁹. El objetivo de los trabajos con los retornos de tipos de cambio es encontrar mejores ajustes estadísticos que los modelos GARCH y proporcionar así descripciones más adecuadas de los episodios de “calma” y “nerviosismo” en los mercados, dar cuenta del rol de “aliviar tensiones” de los estados de “nerviosismo”, conocer cuándo se producen los cambios entre ellos, y estimar con qué probabilidad se producen estas alternaciones.

Por último, los modelos MRS y los modelos GARCH se pueden utilizar para valorar derivados financieros, aunque no se encontró en la revisión bibliográfica un trabajo que empleara modelos MRS-GARCH. La utilidad de los modelos GARCH radica en que pueden capturar las *volatility smiles* que se observan en el precio de los derivados, que no pueden recogerse con el modelo *Black-Scholes*, y los modelos MRS son una forma de aproximarse a los posibles saltos o quiebres en los mercados del activo subyacente, a través del reconocimiento de cambios repentinos, aunque no permiten capturar las discontinuidades en el proceso, como señalan Bollen y Raisal (2003).

³⁹ En este sentido, se puede ver el trabajo de Chaudhuri y Klaassen (2001) que los utiliza para estudiar los mercados accionarios asiáticos, el de Gray (1996) que los utiliza para la tasa de interés de los Bonos del Tesoro de Estados Unidos, y el de Marcucci (2005) que los emplea para analizar el *Standard & Poors 500*.

7. Modelos Estadísticos

Este capítulo presenta formalmente los dos modelos estadísticos que serán utilizados y el método por el cual se estiman tradicionalmente en la literatura. En primer lugar, se desarrolla el modelo GARCH, que será utilizado para recoger la volatilidad del tipo de cambio (sección 7.1), y luego la cadena de Markov y su aplicación a series temporales (sección 7.2), que será incorporada tanto en la ecuación de media condicional de los retornos, como en su varianza condicional. Esta exposición busca proporcionar elementos para comprender la presentación de los modelos de MRS-GARCH (sección 7.3), que en los trabajos de referencia es elaborada aludiendo al tratamiento más amplio de aplicación de cambios de régimen de Markov a series temporales.

Todos estos modelos se estiman por cuasi máximo verosimilitud, que es una estimación máximo verosímil condicional a perturbaciones normales que provee resultados robustos a distribuciones poblacionales no normales. La elección del método se fundamenta en la dificultad de estimar estos modelos bajo el supuesto de otras distribuciones y el hecho estilizado de que los retornos financieros se caracterizan por distribuciones que no son normales. Por otra parte, en tanto todos estos modelos son no lineales, para estimarlos es necesario recurrir a procedimientos iterativos. En el capítulo se desarrolla una presentación del modelo y luego su método de estimación, y en el Anexo B se muestran algunos desarrollos estadísticos complementarios que son insumos o productos de la estimación de los modelos MRS.

7.1. Heterocedasticidad Condicional Autorregresiva

7.1.1. Presentación del Modelo

Como fuera señalado anteriormente, la volatilidad del tipo de cambio nominal en datos de alta frecuencia no es constante en el tiempo, sino que exhibe períodos de agrupamiento de realizaciones “altas” y “bajas”, y se caracteriza por la ocurrencia de valores “atípicos”. El modelo generalizado de heterocedasticidad condicional autorregresiva (GARCH) de Bollerslev (1986) ha probado ser útil en recoger estas características. Considerando que los retornos s_t se definen como los cambios en el precio de un activo financiero medidos en logaritmos, la especificación GARCH(m,n) para la volatilidad del activo se puede representar a través de las siguientes tres ecuaciones:

$$(7.1) \quad s_t = \mu + \varepsilon_t$$

$$(7.2) \quad \varepsilon_t = \sqrt{\sigma_t^2} a_t$$

$$(7.3) \quad V(\varepsilon_t / I_{t-1}) = \sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^{i=m} \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^{j=n} \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

Donde a_t es una secuencia de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas con media nula y varianza unitaria⁴⁰. Se conoce como parámetros ARCH y GARCH a α_i y β_j respectivamente, mientras que el parámetro ω representa un término de tendencia en el proceso. Los parámetros deben cumplir con la restricción de ser positivos ($\omega > 0, \alpha_i \geq 0, \beta_j \geq 0$) debido a que pertenecen a una ecuación de varianza, donde las variables en consideración también son positivas. Como señala Tsay (2005), el set de información I_{t-1} contiene realizaciones pasadas de la serie de retornos.

Como se puede observar, esta especificación de la varianza condicional de los *shocks* implica que éstos no son independientes (Diebold y López, 1995). Más aún, intuitivamente dado que el modelo GARCH propone una especificación para la volatilidad que incorpora el propio valor pasado de la variable, es una especificación ARMA para los *shocks* cuadráticos (Bollerslev, 1986). Básicamente, que el proceso sea autorregresivo significa que las realizaciones pasadas de la variable tienen impactos en sus valores corrientes, y que esto sea de modo condicional a ellas significa que la varianza va cambiando, con lo que el proceso tiene memoria.

⁴⁰ En la práctica se puede asumir que siguen distintas distribuciones. Lo usual es emplear la normal, t-student, y en algunos casos se utiliza la GED (*Generalized Error Distribution*) (Tsay, 2005).

Siguiendo a Tsay (2005), para visualizar a la estructura GARCH(m,n) como un proceso del tipo ARMA se considera una secuencia η_t tal que $\eta_{t-i} = \varepsilon_{t-i}^2 - \sigma_{t-i}^2$, y reescribiendo la ecuación (5.2) se obtiene:

$$(7.4) \quad \varepsilon_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^{i=\max(m,n)} (\alpha_i + \beta_i) \varepsilon_{t-i}^2 + \eta_t - \sum_{j=1}^{j=n} \beta_j \eta_{t-j}$$

De esta forma se observa de la ecuación (7.4) que el modelo GARCH(m,n) para ε_t se corresponde a una estructura ARMA(p,m) para la serie ε_t^2 donde $p = \max(m, n)$. A su vez, como señala Tsay (2005), la secuencia η_t en la estructura ARMA de la ecuación (7.4) es una diferencia de martingalas, aunque no es una secuencia de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas.

Considerando la expresión del GARCH como un proceso del tipo ARMA, la varianza incondicional del modelo queda dada por la ecuación (7.5), y la estacionariedad débil del proceso queda garantizada por su existencia, dada por la condición (7.6):

$$(7.5) \quad E(\varepsilon_t^2) = \frac{\omega}{1 - \sum_{i=1}^{i=\max(m,n)} (\alpha_i + \beta_i)}$$

$$(7.6) \quad \sum_{i=1}^{i=\max(m,n)} (\alpha_i + \beta_i) < 1.$$

La suma de parámetros ARCH y GARCH, se conoce en la literatura como el indicador de persistencia del modelo, y como fuera señalado previamente, las estimaciones suelen indicar una persistencia elevada. Otra de las características principales de los procesos GARCH, es que su distribución incondicional es leptocúrtica, a pesar de que la función de distribución de probabilidad elegida sea gaussiana (Diebold y López, 1995; Mantenga y Stanley, 2000). De todas formas, el grado de leptocurtosis que recoge la distribución incondicional puede no ser suficiente para captar la elevada leptocurtosis que muestran algunos retornos financieros, pudiendo ser útil trabajar con supuestos de distribuciones condicionales como t-Student o GED (Bollerslev et. al., 1992).

7.1.2. Método de Estimación

Siguiendo a Hamilton (1994) y Zivot (2009) si suponemos que las perturbaciones son normales, a partir de las ecuaciones (7.1) a (7.3), la log verosimilitud muestral condicional a la historia de realizaciones de la variable de interés resulta:

$$(7.7) \quad f(s_t / I_t, \lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_t^2}} \exp\left\{-\frac{(s_t - \mu)^2}{2\sigma_t^2}\right\}$$

Donde $\lambda = (\mu, \omega, \alpha, \beta)$ es el vector que contiene el conjunto de parámetros respecto del cual se maximiza. Para estimar se definen valores iniciales para los parámetros λ , y la función de log verosimilitud puede ser maximizada utilizando técnicas numéricas de optimización. El autor señala que los procedimientos más utilizados en la literatura se basan en el algoritmo de Newton-Raphson de la forma:

$$(7.8) \quad \hat{\lambda}_{n+1} = \hat{\lambda}_n - \partial_n H(\hat{\lambda}_n)^{-1} S(\hat{\lambda}_n)$$

Donde λ_n denota el vector de parámetros estimados del modelo en la iteración n , el escalar ∂_n representa el largo de los pasos de iteración, el vector $S(\lambda_n)$ es el gradiente y $H(\lambda_n)$ es la matriz hessiana de la log verosimilitud en la iteración n que se estima utilizando algoritmos. El parámetro que denota el largo de los pasos de iteración ∂_n se elige de forma tal que $L(\lambda_{n+1}) > L(\lambda_n)$.

7.2. Cambios de Régimen de Markov

7.2.1. Presentación del Modelo

Una serie temporal autorregresiva que sigue un proceso distinto entre subperíodos puede representarse considerando que el término constante y el parámetro autorregresivo varían acorde a los cambios en el proceso generador dados por la variable de régimen r_t ⁴¹:

$$(7.9) \quad y_t = c_{r_t} + \phi_{r_t} y_{t-1} + \varepsilon_t \quad \text{con } \varepsilon_t \sim iid N(0, \sigma^2)$$

Para comprender el comportamiento de la serie temporal es necesario caracterizar la dinámica que sigue la variable de régimen. La propuesta de Hamilton (1989) consiste en modelizarla como una cadena de Markov de N estados no observables, siendo r_t independiente de ε_t para todo momento del tiempo. Esta técnica se conoce como modelo de cambios de régimen de Markov (MRS).

⁴¹ Los cambios de régimen de Markov estarán en las dos ecuaciones que caracterizan el modelo. La ecuación de media condicional asociada al nivel de los retornos del tipo de cambio nominal y la ecuación de varianza condicional asociada a la volatilidad del tipo de cambio nominal. Debido a esto, la presentación del modelo de cambios de régimen de Markov se efectúa a partir de un proceso autorregresivo genérico y_t , donde esta variable no tiene ningún significado económico particular en este problema.

El régimen r_t es una variable aleatoria discreta que representa los distintos estados por los que atraviesa la economía y asume tantos valores enteros como estados consideremos que existen. Hamilton (1994) señala que es útil representarla mediante un vector aleatorio ξ que al momento t será equivalente a un vector que es la columna j -ésima de la matriz identidad de dimensión $(N \times N)$, donde j es el estado en el que se encuentra la economía en su momento siendo N la cantidad de estados posibles:

$$(7.10) \quad \xi_t = \begin{cases} (1,0,0,\dots,0)' & \text{si } r_t = 1 \\ (0,1,0,\dots,0)' & \text{si } r_t = 2 \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ (0,0,0,\dots,1)' & \text{si } r_t = N \end{cases}$$

Para construir el modelo de cambio de régimen es necesario definir una ley que gobierne la probabilidad de transición del estado ξ_t al estado ξ_{t+1} . La cadena de Markov supone una dependencia temporal entre éstos, donde el valor que tome el estado en un momento de tiempo r_{t+1} depende de su propio valor pasado, es decir $r_t, r_{t-1}, r_{t-2}, \dots, r_{t-q}$. Siguiendo a Hamilton (1989) suponemos que el proceso es de primer orden y entonces la dependencia se limita únicamente al valor más reciente que tomó el estado.

$$(7.11) \quad P(r_{t+1} = j / r_t = i, r_{t-1} = k, \dots) = P(r_{t+1} = j / r_t = i) = p_{ij}$$

Donde las probabilidades dadas por p_{ij} se conocen como probabilidades de transición e indican la probabilidad de que el estado i sea seguido del estado j . Éstas se recogen en una matriz P de dimensión $(N \times N)$, conocida como matriz de transición⁴².

$$(7.12) \quad P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{21} & \dots & p_{N1} \\ p_{12} & p_{22} & \dots & p_{N2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{1N} & p_{2N} & \dots & p_{NN} \end{bmatrix}$$

Considerando que en un momento la economía se encuentra en un cierto estado ($r_t = i$) es posible hacer inferencia -condicional a esta información- acerca del estado en el que se encontrará en el momento siguiente (ξ_{t+1}), mediante el empleo de estas probabilidades de transición. La esperanza condicional de este vector son los posibles valores que asume (columnas de una matriz identidad) multiplicados por su probabilidad de ocurrencia, condicional a la información de que se parte de la columna i -ésima de la matriz P :

⁴² Por cómo se construye la matriz, la suma de los elementos de cada columna es equivalente a la unidad.

$$(7.13) \quad E(\xi_{t+1} / r_t = i) = \begin{bmatrix} p_{i1} \\ p_{i2} \\ \dots \\ p_{iN} \end{bmatrix}$$

Dado que esto no es más que la columna i -ésima de la matriz P , y recordando que el vector ξ_t es equivalente a la i -ésima columna de la matriz de identidad si se parte de $r_t = i$, el resultado puede ser reescrito como:

$$(7.14) \quad E(\xi_{t+1} / \xi_t) = P\xi_t$$

Esto implica que una cadena de Markov se puede expresar como un vector autorregresivo de primer orden para ξ_t con coeficientes dados por la matriz de transición P :

$$(7.15) \quad \xi_{t+1} = P\xi_t + v_{t+1} \quad \text{donde} \quad v_{t+1} = \xi_{t+1} - E(\xi_{t+1} / \xi_t, \xi_{t-1}, \dots)$$

El vector v_t sólo puede tomar un set finito de valores, en promedio es nulo y además su valor es imposible de predecir tomando como base los estados previos del proceso. Debido a que v_t es una diferencia entre ξ_{t+1} y su valor esperado condicional, es una secuencia de diferencias martingalas. Adicionalmente, bajo ciertas condiciones para la matriz de transición P , la cadena de Markov es un proceso estacionario en covarianza⁴³.

7.2.2. Método de Estimación

Los parámetros poblacionales que describen la serie temporal gobernada por los cambios de régimen de Markov son los parámetros de la serie autorregresiva y las probabilidades de transición entre los estados que subyacen a la serie. El objetivo final será tener una estimación de estos parámetros utilizando como información todas las realizaciones de la serie, que sí son observables, a diferencia de los estados por los que atraviesa el proceso, que no lo son. Se considera en un vector $Y_{t-1} = (y_{t-1}, y_{t-2}, \dots)$ que contiene todas las realizaciones pasadas de la serie temporal. Entonces la log verosimilitud del problema es:

$$(7.16) \quad L(\theta) = \sum_{t=1}^{t=T} \log f(y_t / Y_{t-1}, \theta) \quad \text{donde} \quad \theta = (p_{ij}, \mu_1, \mu_2, \phi_1, \phi_2, \sigma^2)$$

⁴³ En el Anexo B se desarrollan la ergodicidad y predicción en cadenas de Markov y también el caso particular para una cadena de dos estados, que es el que se trabaja en esta investigación.

Considerando que los parámetros que asume el proceso autorregresivo están dados por el valor que tome la variable de régimen en cada momento del tiempo para esas realizaciones de la serie y que sólo se modelizará con dos estados posibles, el problema planteado en la ecuación (7.16) puede reescribirse como:

$$(7.17) \quad f(y_t / Y_{t-1}, \theta) = \sum_{r_t=1}^{r_t=2} f(y_t / r_t = j, Y_{t-1}, \alpha) P(r_t = j / Y_{t-1}, \theta)$$

donde $\alpha = (\mu_1, \mu_2, \phi_1, \phi_2, \sigma^2)$

Como señala Hamilton (1990), la dificultad de la estimación radica en algunos problemas que surgen para el tratamiento de estos modelos, en la medida que las realizaciones de la serie temporal sí son observables, pero los estados por los que atraviesa no lo son. Para comenzar a resolver el problema, siguiendo la estructura de la presentación de Hamilton (1994), se supone que el analista de algún modo conoce con certidumbre el valor de θ . Aún así, destaca que no se puede saber en qué régimen se encontraba el proceso en cada momento de la muestra y lo mejor que se puede hacer es hacer inferencia, por lo que las probabilidades en la ecuación (7.17) constituyen una inferencia que realiza el analista.

Su objetivo será elaborar una adivinanza sobre cuán probable es que la observación t -ésima haya sido generada por el régimen j . Ésta es el valor esperado para dicha probabilidad, condicional a las realizaciones de la serie al momento $t-1$ y su conocimiento acerca de los parámetros poblacionales θ ⁴⁴:

$$(7.18) \quad \hat{\xi}_{t/t-1} = E(\xi_t / Y_{t-1}, \theta) = \begin{bmatrix} P(r_t = 1 / Y_{t-1}, \theta) \\ P(r_t = 2 / Y_{t-1}, \theta) \end{bmatrix}$$

Por otra parte, las densidades condicionales de la serie a un cierto régimen en la ecuación (7.17) pueden agruparse en un vector de dos elementos, ya que suponemos que las densidades condicionales sólo dependen del régimen actual:

$$(7.19) \quad \eta_t = \begin{bmatrix} f(y_t / r_t = 1, Y_{t-1}; \alpha) \\ f(y_t / r_t = 2, Y_{t-1}; \alpha) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{ \frac{-(y_t - c_1 - \phi_1 y_{t-1})^2}{2\sigma^2} \right\} \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{ \frac{-(y_t - c_2 - \phi_2 y_{t-1})^2}{2\sigma^2} \right\} \end{bmatrix}$$

⁴⁴ Como señala Klaassen (2002) estas probabilidades se conocen como ex-ante debido a que se definen condicionales al momento de tiempo inmediatamente anterior al del régimen. Las probabilidades filtradas son aquellas condicionales al mismo momento de tiempo del régimen y las suavizadas son las que utilizan toda la información muestral para inferir el régimen en un momento dado del tiempo.

Considerando las ecuaciones (7.19), y (7.18) que definen los componentes del problema de optimización dado en (7.17), éste puede reescribirse en términos vectoriales como⁴⁵:

$$(7.20) \quad f(y_t/Y_{t-1}, \theta) = 1'(\hat{\xi}_{t/t-1} \Theta \eta_t)$$

Por otra parte, se puede observar que la densidad condicional de y_t multiplicada por las probabilidades de que se esté en un régimen de un cierto tipo en ese momento de tiempo, es decir el lado derecho de la ecuación (7.17), equivale a la densidad conjunta de y_t y r_t :

$$(7.21) \quad f(y_t/r_t = j, Y_{t-1}, \alpha)P(r_t = j/Y_{t-1}, \theta) = f(y_t, r_t = j/Y_{t-1}, \theta)$$

Considerando la forma en la que se escribió el problema en la ecuación (7.20), esta densidad conjunta representa el elemento j -ésimo del vector $(\hat{\xi}_{t/t-1} \Theta \eta_t)$. Al dividirla por la densidad condicional de la ecuación (7.20) se obtiene la distribución condicional del régimen:

$$(7.22) \quad \frac{f(y_t, r_t = j/Y_{t-1}, \theta)}{f(y_t/Y_{t-1}, \theta)} = P(r_t = j/y_t, Y_{t-1}, \theta) = P(r_t = j/Y_t, \theta)$$

Esto es el elemento j -ésimo del vector $\hat{\xi}_{t/t}$. Generalizando para los distintos regímenes se toman los vectores completos y se obtiene:

$$(7.23) \quad \hat{\xi}_{t/t} = \frac{(\hat{\xi}_{t/t-1} \Theta \eta_t)}{1'(\hat{\xi}_{t/t-1} \Theta \eta_t)}$$

Por otra parte, si este resultado se incorpora en la esperanza de la ecuación (7.15), que expresaba la cadena de Markov como vectores autorregresivos, se pueden obtener predicciones para los sucesivos valores que tomará este vector. Es decir:

$$(7.24) \quad \hat{\xi}_{t+1/t} = P \cdot \hat{\xi}_{t/t}$$

En Hamilton (1994) se muestra que para un valor dado de θ la inferencia y predicción óptima de las probabilidades de ocurrencia de los regímenes para cada momento t surge de la iteración de estas dos últimas ecuaciones -(7.24) y (7.23)-, lo que puede ser expresado en forma esquemática como sugiere Pena (2003):

⁴⁵ El símbolo Θ indica una multiplicación elemento por elemento.

$$(7.25) \hat{\xi}_{t/t-1} \rightarrow \hat{\xi}_{t/t} \rightarrow \hat{\xi}_{t+1/t} \rightarrow \hat{\xi}_{t+1/t+1} \dots \quad \text{con } \hat{\xi}_{1/0} \text{ conocido}$$

Para comenzar el proceso de iteración se requiere un valor inicial para el vector dado por $\rho = \hat{\xi}_{1/0}$. Una opción consiste en tomar un vector fijo que no esté relacionado con θ , formado por constantes no negativas tal que $1' \rho = 1$ ⁴⁶. En este caso, Hamilton (1990) muestra que la estimación máximo verosímil del vector, es la inferencia suavizada sobre el estado inicial, es decir:

$$(7.26) \hat{\rho} = \hat{\xi}_{1/T}$$

Por otra parte, también muestra que para esta elección de vector inicial, si las probabilidades de transición sólo están sujetas a ser no negativas y cumplir con la condición de que $(p_{i1} + p_{i2} + \dots + p_{iN}) = 1$, entonces la estimación de las mismas satisface:

$$(7.27) \hat{p}_{ij} = \frac{\sum_{t=2}^T P(r_t = j, r_{t-1} = i / Y_T, \hat{\theta})}{\sum_{t=2}^T P(r_{t-1} = i / Y_T, \hat{\theta})}$$

Lo que significa que las probabilidades de transición entre regímenes se pueden expresar como el número de veces que el estado i fue seguido por los posibles estados j , dividido el número de veces que el proceso se encontró en el estado i , utilizando las inferencias suavizadas de los estados. Estas probabilidades permiten completar la caracterización de la cadena de Markov, empleando toda la información dada por las realizaciones de la serie temporal hasta el momento T ⁴⁷.

Retomando la log verosimilitud a optimizar, ahora las densidades condicionales del proceso autorregresivo pueden optimizarse respecto al vector α ponderadas por las probabilidades de pertenencia al régimen dadas por $\hat{\xi}_{1/T}$, con lo que el problema resulta:

$$(7.28) \sum_{t=1}^T \left(\frac{\partial \log \eta_t}{\partial \alpha'} \right)' \hat{\xi}_{t/T} = 0$$

⁴⁶ Otra alternativa es considerar el vector de probabilidades ergódicas o incondicionales, que es la estrategia seguida por Engel y Hamilton (1990) en su estudio de cadenas de Markov en tipos de cambio. Hamilton (1990) señala que la opción de tomar un vector fijo es que permite que luego quede libremente parametrizado, en lugar de atado a los valores supuestos de una cadena ergódica, lo que adicionalmente presenta la ventaja de permitir la posibilidad de cambios de régimen persistentes.

⁴⁷ La forma en la que se obtienen las probabilidades suavizadas está presentada en el Anexo B.

El vector η_t contiene las densidades condicionales de la ecuación (7.19) y las derivadas planteadas en la ecuación (7.28) forman una matriz cuya primera columna contiene las condiciones de optimización para los parámetros del proceso autorregresivo en el primer estado, y la segunda columna contiene las correspondientes al segundo estado.

En Hamilton (1994) se muestra que estas condiciones de optimización de los parámetros del proceso autorregresivo son tales que satisfacen la condición de ortogonalidad de mínimos cuadrados ordinarios ponderados, donde cada observación es ponderada por la probabilidad de que provenga de un régimen dado. Adicionalmente, en la medida que las condiciones para los parámetros contenidos en α constituyen ecuaciones no lineales es necesario recurrir a un procedimiento iterativo. El autor destaca que estas condiciones sugieren utilizar los mismos métodos iterativos del problema de mezcla de distribuciones normales independientes e idénticamente distribuidas. El procedimiento iterativo implica comenzar con una adivinanza inicial $\theta^{(0)}$ para la que se pueden evaluar las condiciones de optimización obtenidas para α y las ecuaciones (7.26) y (7.27) que permiten obtener un valor $\theta^{(1)}$. El proceso continúa hasta que los valores que permite alcanzar el parámetro θ en la log verosimilitud del problema se estacionan⁴⁸.

7.3. Cambios de Régimen Aplicados a Heterocedasticidad

7.3.1. Presentación del Modelo

La alta persistencia en la volatilidad y las oscilaciones de períodos de apreciación y depreciación en los tipos de cambio ha motivado la aplicación de cambio de régimen de Markov (MRS) a las especificaciones de volatilidad GARCH. El modelo MRS(2)-GARCH(1,1) consiste en una descripción del proceso de cambios de régimen y de la media y varianza condicionales, conjunto con un supuesto sobre la distribución de los shocks o innovaciones. En este sentido, debido a que la preocupación central está en la volatilidad, siguiendo a Klaassen (2002) se propone una estructura sencilla para la media condicional.

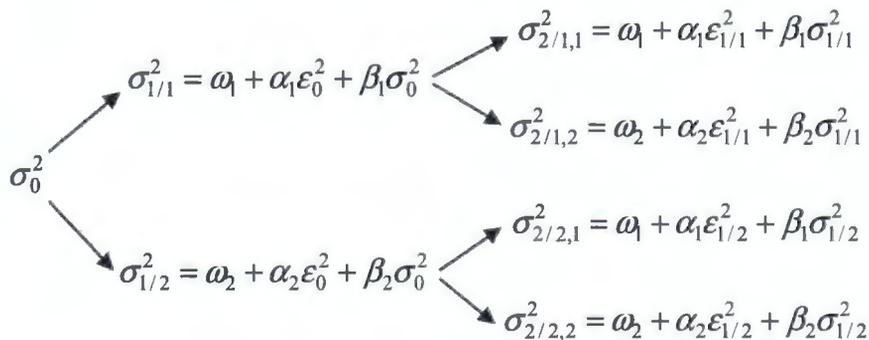
$$(7.29) \quad s_t = \mu_{r_t} + \varepsilon_t$$

$$(7.30) \quad \varepsilon_t = \sqrt{\sigma_{r_t}^2} a_t$$

⁴⁸ Las condiciones del problema con una variable temporal de estado distribuida independiente e idénticamente se obtienen a través del planteo del lagrangiano del problema y su derivación se puede ver en Hamilton (1994), p.685-689. Este problema con una variable temporal de estado distribuida independiente e idénticamente es presentado en Hamilton (1994) como una introducción al problema de cadenas de Markov en series temporales. Por otra parte, al respecto de la iteración, es importante señalar que el autor ha ensayado dos tipos de procedimientos (Hamilton, 1990). En Hamilton (1989) se utiliza para la iteración un filtro no lineal, mientras que en Hamilton (1990) se propone trabajar con una variante del algoritmo de EM. El criterio que utiliza para detener las iteraciones es cuando la diferencia dada por los θ de un paso de iteración hacia el otro es menor a 10^{-8} . En la bibliografía consultada no se encontró ninguna sugerencia explícita para el valor inicial de la iteración. Para un breve desarrollo de ambas estrategias se puede ver Kim y Nelson (1999).

La aplicación directa de los cambios de régimen de Markov a la ecuación de volatilidad del GARCH dada por (7.3) genera dificultades en el tratamiento del modelo. Esto se explica porque la incorporación de cambios de régimen en una ecuación con un parámetro autorregresivo elevadamente persistente se traduce en la necesidad de considerar la dependencia en la trayectoria temporal, que en caso de contemplarla completamente, dificulta seriamente la estimación⁴⁹. Gray (1996) muestra que esto puede visualizarse a través de la representación del problema en un diagrama:

Diagrama 7.1: Aplicación directa de MRS a modelos GARCH



Este diagrama puede encontrarse en Gray (1996), p.35. El subíndice en los parámetros de la ecuación de varianza representa el régimen (1 o 2) en el que se encuentra el proceso en ese momento de tiempo. El subíndice en las variables (varianza condicional, shocks cuadráticos pasados) indica primero el momento de tiempo, y luego a partir de “/”, el régimen o trayectoria de regímenes.

Como se puede observar, cada varianza condicional depende no sólo del régimen actual sino de toda la historia pasada del proceso ya que el árbol no es recombinante. Es decir, si se toman por ejemplo las varianzas condicionales del segundo momento de tiempo, que se encuentran en un régimen del tipo 2, es necesario considerar que pudieron haber provenido tanto de un régimen del tipo 1 como del tipo 2. Siguiendo la notación de Klaassen (2002) esta situación de aplicación directa de cambios de régimen de Markov a modelos GARCH se expresa en una ecuación de varianza condicional de la siguiente forma:

$$(7.31) \quad V(\varepsilon_t / \tilde{r}_t, I_{t-1}) = \sigma_{\tilde{r}_t}^2 = \omega_{r_t} + \alpha_{r_t} \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_{r_t} V(\varepsilon_{t-1} / \tilde{r}_{t-1}, I_{t-2})$$

Entonces el proceso de la volatilidad queda condicionado a un set de información dado por la trayectoria completa de los regímenes $\tilde{r}_t = (r_{t-1}, r_{t-2}, \dots)$, que no es observable, y las realizaciones pasadas de la variable de interés $(s_{t-1}, s_{t-2}, \dots)$ contenidas en I_{t-1} y que sí son observables para el investigador. En esta especificación, el intercepto (ω_{r_t}), el parámetro ARCH (α_{r_t}) y el parámetro GARCH (β_{r_t}) dependen únicamente del régimen actual. Sin

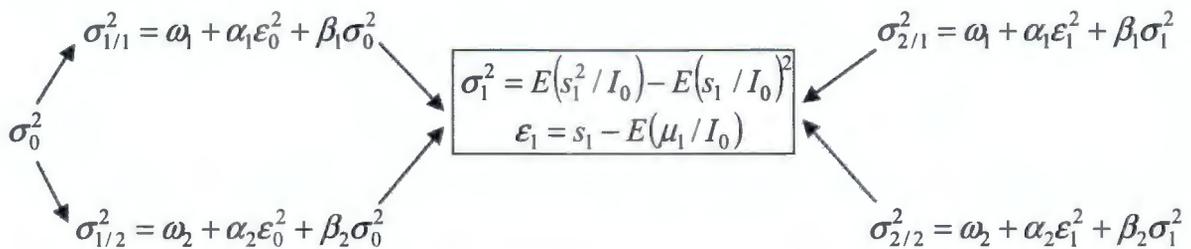
⁴⁹ En la exposición del modelo original de cambios de régimen de Markov de Hamilton (1989) se supone que la variable de interés sólo depende del régimen actual. La literatura sobre incorporación de cambios de régimen de Markov a especificaciones de heterocedasticidad condicional se ha preocupado de no efectuar dicha simplificación y discutir cómo tratarla.

embargo, el término $V(\varepsilon_{t-1}/\tilde{r}_{t-1}, I_{t-2})$ depende de toda la trayectoria pasada del régimen, específicamente de r_{t-1} y de $V(\varepsilon_{t-2}/\tilde{r}_{t-2}, I_{t-3})$. Esto hace que la volatilidad corriente dada por $V(\varepsilon_t/\tilde{r}_t, I_{t-1})$ dependa de toda la trayectoria del régimen pasada y del régimen actual.

Como el analista no observa los regímenes, es necesario considerar todas las posibles trayectorias temporales al computar la verosimilitud muestral, lo que dificulta la estimación ya que el número posible de trayectorias del régimen crece exponencialmente con t . Esto motivó que las primeras aplicaciones de cambios de régimen de Markov se realizaran a modelos ARCH, ya que al no incluir un término autorregresivo (GARCH) no presentan estas dificultades (Cai, 1994; Hamilton y Susmel, 1994)⁵⁰.

La investigación de Gray (1996) es la primera que mantiene el término GARCH y vuelve tratable a la estimación. Su propuesta consiste en tomar el valor que se esperaba con la información disponible al momento $t-2$ para el componente autorregresivo de la ecuación (7.31) dado por $V(\varepsilon_{t-1}/\tilde{r}_{t-1}, I_{t-2})$. Puesto en términos del Diagrama 7.1, la propuesta básicamente consiste en volver el árbol recombinante al tomar esperanzas, como puede verse a continuación.

Diagrama 7.2: Propuesta MRS-GARCH de Gray (1996)



Este diagrama puede encontrarse en Gray (1996), p.36. El subíndice en los parámetros de la ecuación de varianza representa el régimen (1 o 2) en el que se encuentra el proceso en ese momento de tiempo. El subíndice en las varianzas condicionales y media condicional, indica primero el momento de tiempo, y luego –en caso que corresponda- a partir de “/”, se señala el régimen o trayectoria de regímenes.

Donde la varianza condicional en el momento uno, que se encuentra en el cuadro central del Diagrama 7.2, surge de considerar que los cambios de régimen en la ecuación (7.29), asumiendo una distribución condicional normal para cada régimen, implican que la variable s_t es una mezcla de distribuciones normales. Es decir, la variable tiene dos distribuciones con distinta probabilidad⁵¹:

⁵⁰ Estrictamente lo que se realiza en estos trabajos es usar modelos donde la varianza condicional, si bien no tiene término GARCH, depende no sólo del régimen actual sino adicionalmente de algunos pocos más relativamente recientes. Como éstos no son demasiados en cantidad, resulta relativamente sencillos considerar la trayectoria en la estimación de la verosimilitud muestral.

⁵¹ Esto es básicamente lo que ya fuera planteado en la ecuación (7.17) donde las densidades condicionales se encuentran ponderadas por la probabilidad de que se esté en un régimen dado considerando todo momento de tiempo.

$$s_t = \begin{cases} N(\mu_{1t}, \sigma_{1t}^2) & \text{con probabilidad } p_{1t} \\ N(\mu_{2t}, \sigma_{2t}^2) & \text{con probabilidad } (1-p_{1t}) \end{cases}$$

Entonces las ecuaciones del recuadro en el Diagrama 7.2 se especifican como:

$$\begin{aligned} \sigma_1^2 &= E(s_1^2 / I_0) - E(s_1 / I_0)^2 = p_1(\mu_{1/1}^2 + h_{1/1}) + (1-p_1)(\mu_{1/2}^2 + h_{1/2}) - [p_1\mu_{1/1} + (1-p_1)\mu_{1/2}]^2 \\ \varepsilon_1 &= s_1 - E(\mu_1 / I_0) = s_1 - [p_1\mu_{1/1} + (1-p_1)\mu_{1/2}] \end{aligned}$$

De este modo σ_{t-1}^2 no es dependiente de toda la trayectoria temporal pasada y puede utilizarse como valor rezagado de la varianza condicional del momento t , y construir $\sigma_{1/t}^2$ y $\sigma_{2/t}^2$, que siguen procesos GARCH, mientras la trayectoria queda contemplada al tomar esperanzas.

Como concluye Gray (1996), debido a que en esta propuesta la varianza condicional depende sólo del régimen actual, la estimación del modelo se vuelve tratable. En concreto la especificación que sugiere el autor es⁵²:

$$(7.32) \quad V(\varepsilon_t / \tilde{r}_t, I_{t-1}) = \sigma_{\tilde{r}_t}^2 = \omega_{r_t} + \alpha_{r_t} \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_{r_t} E_{t-2} [V(\varepsilon_{t-1} / \tilde{r}_{t-1}, I_{t-2})]$$

Como se puede observar, la varianza condicional corriente depende únicamente del régimen actual r_t y no de toda la trayectoria dada por \tilde{r}_{t-1} , ya que se toma la esperanza del componente autorregresivo de la ecuación de volatilidad, dado por la varianza condicional del momento inmediatamente anterior, con la información disponible al momento de tiempo previo a esta última realización de volatilidad. Si bien esta propuesta ha resultado útil para resolver el problema de dependencia en la trayectoria temporal que señalaban los trabajos de Cai (1994) y Hamilton y Susmel (1994), recientemente Klaassen (2002) ha destacado que la propuesta de Gray (1996) no utiliza la información de modo completamente eficiente.

La especificación que sugiere Klaassen (2002) introduce dos cambios en el tratamiento del componente autorregresivo de la volatilidad. En primer lugar, propone tomar su valor esperado pero utilizando la información que está disponible en ese mismo momento de tiempo, por lo que la esperanza queda condicional al mismo momento que la volatilidad rezagada. En segundo lugar, el autor propone que este valor esperado debe considerar también el régimen actual en el que se encuentra el proceso, ya que es clave hacerlo si se

⁵² El subíndice en la esperanza utilizada en la ecuación (7.32), que se presenta a continuación, denota el momento al cual se está tomando el set de información de las realizaciones pasadas de los retornos.

quiere dar cuenta de la posibilidad de elevada persistencia entre los regímenes, y en términos generales es importante porque r_t contiene información acerca de r_{t-1} .

Entonces, la ecuación para la volatilidad de Klaassen (2002) puede expresarse como:

$$(7.33) \quad V(\varepsilon_t / \tilde{r}_t, I_{t-1}) = \sigma_{\tilde{r}_t}^2 = \omega_{r_t} + \alpha_{r_t} \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_{r_t} E_{t-1}[V(\varepsilon_{t-1} / \tilde{r}_{t-1}, I_{t-2}) / r_t]$$

Al igual que en los modelos GARCH, todos los parámetros de la ecuación de volatilidad deben ser positivos cualquiera sea el régimen del proceso, y la suma de los parámetros ARCH y GARCH debe ser menor a la unidad dentro de cualquiera de los regímenes. Los modelos MRS-GARCH, también pueden ser estimados con distintos supuestos para la distribución de los *shocks* considerando distintas distribuciones para la secuencia de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas a_t en la ecuación (7.30). No obstante, debido a que la incorporación de regímenes permite identificar una fuente adicional de persistencia en la volatilidad, se considera que trabajar con perturbaciones normales es suficiente y que emplear distribuciones más gruesas es superfluo, como fuera señalado (Haas et. al., 2004; Gray, 1996)⁵³. Es decir, en este trabajo se considera que:

$$(7.34) \quad \varepsilon_t / I_{t-1}, \tilde{r}_t \sim N[0, V(\varepsilon_t / \tilde{r}_t, I_{t-1})]$$

7.3.2. Método de Estimación

En estos modelos los cambios de régimen de Markov se encuentran aplicados tanto a la ecuación de media como de varianza condicional. Los parámetros de estas dos regresiones que caracterizan al modelo quedan determinados por el estado por el que atraviesa la economía. Dado que éste no es observable, resulta necesario recurrir a procedimientos iterativos, al igual que como fuera planteado en el apartado 7.2.2. La diferencia principal radica en que ahora la densidad condicional se maximiza también respecto a los parámetros de la ecuación de varianza que cambian con los regímenes.

La log verosimilitud a optimizar consiste en la sumatoria de densidades condicionales de la serie s_t a sus realizaciones pasadas dadas por I_{t-1} y el vector que comprende a todos los parámetros a estimar en el problema dado por $\theta = (p_{ij}, \mu_1, \mu_2, \omega_1, \omega_2, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2)$:

$$(7.35) \quad L(\theta) = \sum_{t=1}^{t=T} f(s_t / I_{t-1}, \theta)$$

⁵³ Sobre este aspecto se profundizará al final del capítulo 8 cuando se presenten las líneas de avance en el análisis estadístico.

Debido a que los parámetros de las ecuaciones de media y varianza condicional asumen valores acorde al régimen en el que se encuentra el proceso, la densidad condicional puede reformularse considerando densidades condicionales a ciertos parámetros que se encuentran dados $\gamma = (\mu_1, \mu_2, \omega_1, \omega_2, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2)$ ponderadas por las probabilidades de ocurrencia de los regímenes, es decir:

$$(7.36) \quad f(s_t / I_{t-1}, \theta) = \sum_{r_t=1}^{r_t=2} f(s_t / r_t = j, I_{t-1}, \gamma) P(r_t = j / I_{t-1}, \theta)$$

Las probabilidades de ocurrencia de cada régimen pueden obtenerse a través de un procedimiento iterativo, tal y como fuera planteado en las ecuaciones (7.23) a (7.25). La única diferencia radica en una simplificación de lo expuesto anteriormente, que realizan las investigaciones de Gray (1996) y Klaassen (2002). Éstos trabajan con probabilidades condicionadas únicamente a las realizaciones pasadas de la serie s_t contenidas en I_{t-1} , por lo que las probabilidades señaladas en (7.36) se convierten en $P(r_t = j / I_{t-1})$. De forma análoga al modelo de cambios de régimen de Markov, estas probabilidades de estar en un cierto régimen serán utilizadas para estimar las probabilidades de transición a través de la ecuación (7.27).

Por otro lado, el primer miembro del lado derecho de la ecuación (7.36) contiene a la densidad condicional de la serie s_t a un régimen dado. Ésta no es más que un vector con dos densidades correspondientes a cada posible estado:

$$(7.37) \quad \eta_t = \begin{bmatrix} f(s_t / r_t = 1, I_{t-1}; \gamma) \\ f(s_t / r_t = 2, I_{t-1}; \gamma) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1^2}} \exp\left\{-\frac{(s_t - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right\} \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_2^2}} \exp\left\{-\frac{(s_t - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right\} \end{bmatrix}$$

Donde las densidades asumen una distribución normal debido al supuesto establecido sobre las perturbaciones y las varianzas condicionales en cada densidad se corresponderían en forma genérica a la expresión (7.31). La estimación con estas densidades no es directa, debido a la dependencia en la trayectoria temporal introducida por el parámetro GARCH en la varianza $\sigma_{r_t}^2$. La propuesta de Klaassen (2002) para resolverla requiere tomar el calor esperado de este componente autorregresivo en la ecuación de varianza, dado por el término $E_{t-1}[V(\varepsilon_{t-1} / \tilde{r}_{t-1}, I_{t-2}) / r_t]$ de la ecuación (7.33). Para estimar este valor esperado se requiere de un ponderador para la variable en cuestión, que Klaassen (2002) establece como:

$$(7.38) \quad P(r_{t-1} = i / r_t = j, I_{t-1}) = \frac{P(r_{t-1} = i / I_{t-1})P(r_t = j / r_{t-1} = i, I_{t-1})}{P(r_t = j / I_{t-1})}$$

Donde el segundo miembro del numerador $P(r_t = j / r_{t-1} = i, I_{t-1})$ se corresponde a las probabilidades de transición y las otras dos son las probabilidades de estar en un cierto régimen, que se estiman en la misma lógica que los modelos de cambios de régimen de Markov, tal y como fuera señalado anteriormente.

Siguiendo a Hamilton (1994), las probabilidades de estar en un cierto régimen se consideran en la maximización de las densidades condicionales planteadas en (7.37) respecto al vector de parámetros γ , como fuera planteado en (7.28) para las cadenas de Markov en series temporales. Estas densidades se corresponden a una ecuación de media condicional con un término constante y una especificación de varianza condicional del tipo GARCH. Para obtener las condiciones de optimización para los parámetros de la regresión que se derivan de la ecuación (7.37), se sigue el método para los modelos GARCH desarrollado en el apartado 7.12. De este modo, el problema de estimación de un modelo MRS(2)-GARCH(1,1) se resume en la optimización conjunta de dos modelos GARCH(1,1) acorde al régimen en el que se encuentra la economía.

PARTE III

RESULTADOS Y REFLEXIONES

8. Resultados y Análisis

En este capítulo se presentan los resultados y análisis de la estimación estadística de este trabajo de investigación. En primer lugar, se muestran los principales indicadores descriptivos del retorno del tipo de cambio nominal del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano durante el período 2005-2009 (apartado 8.1). Como se podrá ver, los retornos indican agrupamiento temporal de la volatilidad del tipo de cambio y presentan leptocurtosis, por lo que no son una sucesión de *shocks* del tipo ruido blanco gaussianos. Luego se presentan los resultados de la estimación de un modelo GARCH(1,1) que busca recoger estas características (apartado 8.2), y en consonancia con los hallazgos de varios trabajos empíricos se encuentra que las estimaciones implican una elevada persistencia de la volatilidad. Debido a esto, pueden estar ocurriendo quiebres estructurales en la serie, y las estimaciones del modelo GARCH(1,1) podrían estar escondiendo lo que sucede en distintos estados del mercado.

Por este motivo, se estimó un modelo MRS(2)-GARCH(1,1) para evaluar si la incorporación de regímenes permite disminuir la persistencia y en términos generales para proporcionar una descripción más ajustada de la dinámica del tipo de cambio según estados subyacentes en el proceso (apartado 8.3). Los parámetros estimados son altamente significativos, y se identifica un régimen de alta volatilidad que tiene una persistencia, duración esperada y desvío de la duración relativamente menores en comparación con el régimen de baja volatilidad. Adicionalmente, los resultados muestran que el mercado cambiario ingresó en un régimen de alta volatilidad a comienzos de 2007. Luego de las estimaciones, se presentan las medidas de bondad de ajuste que muestran que el modelo MRS(2)-GARCH(1,1) se desempeña mejor que el GARCH(1,1) para describir la volatilidad (apartado 8.4). Por último, se presentan algunas posibles líneas de avance en el análisis estadístico (apartado 8.5).

8.1. Estadística Descriptiva

Esta investigación utiliza 1134 datos diarios del tipo de cambio nominal del período 30/06/05 al 05/01/10. La serie de datos fue facilitada por el Centro de Investigaciones Económicas (CINVE), elaborada a partir de los datos publicados por el Banco Central del Uruguay (BCU). Para la estimación de los modelos estadísticos se utiliza el programa de la investigación de Marcucci (2005), desarrollado en MATLAB⁵⁴.

Durante el período de análisis, el tipo de cambio sufrió una leve apreciación hasta fines del año 2005 y se mantuvo relativamente estable durante el año 2006, para atravesar luego dos períodos fuertes de apreciación. Como se observa en el Gráfico 8.1 a continuación, la única interrupción sucedió en el tercer trimestre de 2008, a partir de la quiebra de *Lehman Brothers* cuando todas las monedas atravesaron un período de fuerte volatilidad y depreciación hasta comienzos de 2009.

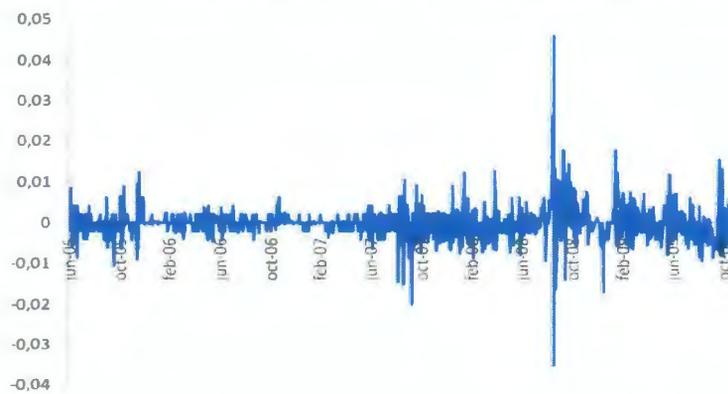


Fuente: CINVE. Elaborados en base a los datos publicados por el BCU.

Si bien no resulta inmediato desprender la dinámica del tipo de cambio del Gráfico 8.1, como fuera mencionado, si su comportamiento fuera el de una caminata al azar sus retornos serían equivalentes a una sucesión de *shocks* independientes e idénticamente distribuidos. En cambio, la inspección visual del Gráfico 8.2 sugiere que una variabilidad de cierta magnitud en los retornos suele acompañarse de una variabilidad de magnitud similar, indicando agrupamiento temporal de la volatilidad del tipo de cambio.

⁵⁴ Esta investigación puede encontrarse en la revista *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, publicada actualmente por *Berkeley Electronic Press* y anteriormente por *MIT Press*. Su *Advisory Panel* está integrado por: Jess Benhabib (New York University), William A. Brock (University of Wisconsin-Madison), Jean-Michel Grandmont (CREST-CNRS), James D. Hamilton (University of California-San Diego), José Sheinkman (Princeton University), Halbert White (University of California-San Diego). La revista está patrocinada por *The Society of Nonlinear Dynamics and Econometrics*. Por otra parte, la elección de utilizar este programa y trabajar en MATLAB se debe a que el modelo MRS-GARCH no se encuentra disponible en otros paquetes estadísticos. Salvo por el paquete DeOptim en R elaborado por David Ardia, que permite realizar estimaciones de modelos MRS-GARCH por métodos bayesianos, en el resto de los paquetes estadísticos no se encontró algún desarrollo que permita estas estimaciones. En STATA se pueden estimar modelos MRS-ARCH (comando SWARCH) y existen algunos programas disponibles en GAUSS para modelos MRS-ARCH. También hay programas en GAUSS para modelos MRS de varianza en el sitio web que proporcionan Kim y Nelson (1999). Por último, se encontró un código en RATS para MRS-GARCH de una investigación que aún no ha sido publicada, y que utiliza la especificación de Gray (1996).

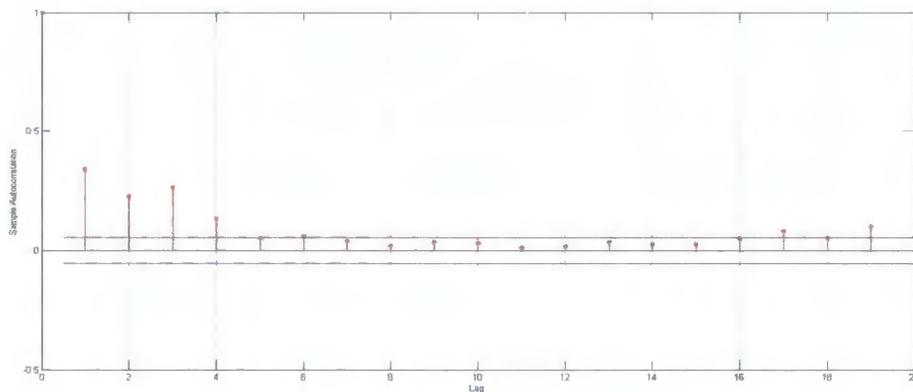
Gráfico 8.2: Retornos del Tipo de Cambio Nominal UYU/USD 2005-2009⁵⁵



Fuente: CINVE. Elaborados en base a los datos publicados por el BCU.

Aparentemente, la variabilidad de los retornos del tipo de cambio es relativamente “baja” y son seguidos por observaciones similares en el período que transcurre desde mediados de 2005 hasta mediados de 2007. Lo mismo estaría sucediendo desde mediados de 2007 hasta fines de 2009, pero con realizaciones de volatilidad considerablemente más “elevadas”. La dependencia temporal en el segundo momento de la serie de retornos puede visualizarse a partir del Gráfico 8.3 que muestra la autocorrelación muestral de los errores cuadráticos, entendidos como la diferencia cuadrática entre los retornos y su media muestral.

Gráfico 8.3: Autocorrelación Muestral de los Errores Cuadráticos



Como sugiere Tsay (2005), se puede corroborar que la dependencia en los errores cuadráticos es significativa utilizando el Test de Autocorrelación de Ljung-Box-Pierce y el Test de Engle para detectar efectos ARCH (Engle, 1982). Este test equivale a emplear el estadístico F sobre una regresión lineal de los residuos cuadráticos (ε_t^2) y contrastar la hipótesis nula de que los parámetros de dicha regresión son todos cero:

⁵⁵ Este es el mismo gráfico que se presentó en el capítulo 5 correspondiente al marco analítico del trabajo, salvo que se muestra la escala de la variación, ya que el objetivo en este apartado, es analizar concretamente el comportamiento del tipo de cambio nominal del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano en un cierto período histórico.

$$\varepsilon_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_m \varepsilon_{t-m}^2 + e_t \quad \text{para } t = m+1, \dots, T$$

$$H_0 = \alpha_1 = \dots = \alpha_m = 0$$

Donde e_t denota el término de error, m es un entero positivo, y T es el tamaño muestral.

$$SSR_0 = \sum_{t=m+1}^T (\varepsilon_t^2 - \bar{w})^2 \quad \text{donde } \bar{w} = (1/T) \sum_{t=1}^T \varepsilon_t^2 \text{ que es la media muestral de } \varepsilon_t^2$$

$$SSR_1 = \sum_{t=m+1}^T \hat{e}_t^2 \quad \text{donde } \hat{e}_t \text{ es el residuo obtenido por mínimos cuadrados}$$

$$F = \frac{(SSR_0 - SSR_1) / m}{SSR_1 / (T - 2m - 1)}$$

Este estadístico se distribuye asintóticamente chi-cuadrado con m grados de libertad bajo la hipótesis nula. La decisión es rechazarla si $F > \chi_m^2(\alpha)$ donde $\chi_m^2(\alpha)$ es el 100*(1- α) percentil más alto de la distribución χ_m^2 o el p-valor de F es menor a α .

Como se muestra en el Cuadro 8.1, tanto la hipótesis nula de este test como el de Ljung-Box-Pierce son rechazadas de modo altamente significativo para 10, 15 y 20 rezagos.

Cuadro 8.1: Tests de Heterocedasticidad

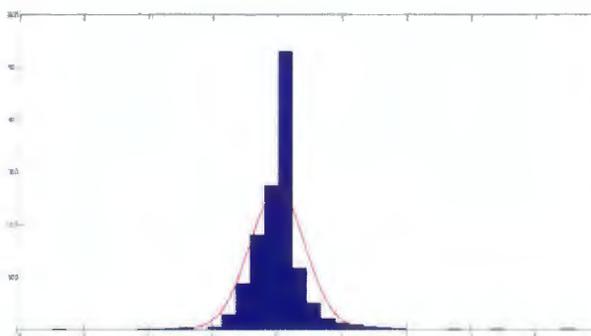
rezagos	Test Engle			Test Ljung-Box-Pierce		
	10	15	20	10	15	20
p-value	1,11e-16	4,14e-14	3,08e-12	0	0	0
stat	97,71	97,35	97,82	367,15	371,40	407,75
cvalue	18,31	24,99	31,41	18,30	24,99	31,41

Adicionalmente, la inspección visual de los retornos (Gráfico 8.2) sugiere que no es infrecuente la ocurrencia de valores "atípicos". Como puede verse en el Cuadro 8.2 a continuación, la curtosis es muy superior a la de una distribución normal, sugiriendo que la descripción de los retornos requiere de la utilización de colas gruesas de distribución. Esto también puede visualizarse en el histograma de los retornos (Gráfico 8.4).

Cuadro 8.2: Estadística Descriptiva de los Retornos

Media	Mediana	Varianza	Desvío Estándar	Asimetría	Curtosis
-0,016	0	0,184	0,429	1,388	21,960

Gráfico 8.4: Histograma de los Retornos



La dependencia en los retornos, incluso considerando una gran cantidad de rezagos, y las colas gruesas que presenta su distribución muestral, motivan la estimación de especificaciones GARCH para la volatilidad del tipo de cambio nominal. Adicionalmente, dado que la serie puede estar sujeta a tendencias de apreciación, se estimará una dinámica para el tipo de cambio nominal considerando un término constante.

8.2. Modelo GARCH(1,1)

El modelo GARCH (1,1) que se estima, puede resumirse en las siguientes ecuaciones, que fueron presentadas en el capítulo anterior:

$$(7.1) \quad s_t = \mu + \varepsilon_t$$

$$(7.2) \quad \varepsilon_t = \sqrt{\sigma_t^2} a_t$$

$$(7.3) \quad V(\varepsilon_t / I_{t-1}) = \sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

Donde s_t denota el retorno del tipo de cambio, es decir $s_t = \ln(TC_t / TC_{t-1})$ y μ es un término que representa la tendencia de apreciación o depreciación. La volatilidad del tipo de cambio, es decir la varianza condicional de los retornos, está dada por σ_t^2 y depende de un término de tendencia en la volatilidad dado por ω , el parámetro α que indica la sensibilidad del proceso a los *shocks* recientes, y el parámetro β que constituye una señal de la persistencia.

Es importante aclarar que el orden que se eligió para el modelo GARCH obedece a que Bollerslev et. al. (1992), en su extensa revisión bibliográfica de la aplicación de estas técnicas a los tipos de cambio nominales, señalan que alcanza con trabajar con modelos de bajo orden para capturar la dinámica de la serie. Adicionalmente, los principales antecedentes empíricos de esta investigación, también utilizan modelos GARCH(1,1) para

los tipos de cambio. Los resultados de la estimación de este modelo se presentan a continuación.

Cuadro 8.3: Estimación GARCH(1,1)

Parámetro	Valor...(<i>ErrorStd</i>)
μ	-0,0158 (0,007)**
ω	0,0071 (0,001)***
α	0,3046 (0,026)***
β	0,6583 (0,021)***
$\alpha + \beta$	0,9629

En el cuadro ***, **, * indica significación al 1%, 5% y 10%.

Como se puede observar, todos los parámetros son altamente significativos e indican una elevada persistencia de la volatilidad (0,96). Esto último, es un hallazgo común en las investigaciones empíricas de volatilidad con modelos GARCH, como fuera mencionado en capítulos previos. Esto ha dado lugar a la hipótesis de quiebres estructurales en la volatilidad, que estarían produciendo el comportamiento aparentemente integrado en varianza. De ser así, existirían distintos estados en la volatilidad del tipo de cambio que no estarían siendo reconocidos, lo que implica que los parámetros del modelo GARCH(1,1) están presentando una situación “promedio”. Por este motivo, se procede a estimar un modelo que incorpore cambios de régimen de Markov a esta especificación.

8.3. Modelo MRS(2)-GARCH(1,1)

El modelo MRS(2)-GARCH(1,1) puede resumirse en las siguientes ecuaciones, que fueron presentadas en el capítulo anterior:

$$(7.29) \quad s_t = \mu_{\tilde{r}_t} + \varepsilon_t$$

$$(7.30) \quad \varepsilon_t = \sqrt{\sigma_{\tilde{r}_t}^2} a_t$$

$$(7.33) \quad V(\varepsilon_t / \tilde{r}_t, I_{t-1}) = \sigma_{\tilde{r}_t}^2 = \omega_{\tilde{r}_t} + \alpha_{\tilde{r}_t} \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_{\tilde{r}_t} E_{t-1} [V(\varepsilon_{t-1} / \tilde{r}_{t-1}, I_{t-2}) / r_t]$$

A diferencia del modelo que se describió en el apartado anterior, esta especificación incorpora una variable de régimen r_t que se comporta como una cadena de Markov de dos estados. Esta elección de trabajar con dos estados obedece a que el objetivo de este trabajo, al igual que el de Klaassen (2002), es evaluar si la incorporación de los mismos contribuye a describir mejor la dinámica de las serie y no se busca determinar cuántos regímenes pueden haber en ella. La estimación del modelo proporciona estimaciones de los parámetros de media y varianza en cada uno de los dos regímenes y también de las probabilidades de permanencia en ellos, con su consecuente duración esperada y varianza de la duración, así como la probabilidad incondicional de estar en cada régimen.

Como resultado principal, se identifican satisfactoriamente dos regímenes para los retornos del tipo de cambio nominal, donde el régimen 1 es de baja volatilidad y el régimen 2 es de alta volatilidad. Como se puede observar, todos los parámetros son altamente significativos, salvo la tendencia de los retornos en el régimen de alta volatilidad, que no es significativa. En ambos estados la tendencia de los retornos es de apreciación, aunque ésta es considerablemente más fuerte en el régimen de alta volatilidad. En el Cuadro 8.4 que se presenta a continuación se resumen los principales resultados de estimación.

Cuadro 8.4: Estimación MRS(2)-GARCH(1,1)

Régimen 1: Baja Volatilidad		Régimen 2: Alta Volatilidad	
μ_1	-0,0176 (0,006)***	μ_2	-0,0576 (0,038)
ω_1	0,0034 (0,001)***	ω_2	0,1033 (0,031)***
α_1	0,1967 (0,065)***	α_2	0,2008 (0,078)**
β_1	0,5734 (0,040)***	β_2	0,7594 (0,198)***
$\alpha_1 + \beta_1$	0,7701	$\alpha_2 + \beta_2$	0,9602
p_{11}	0,9259 (0,018)***	p_{22}	0,7055 (0,114)***
$1 - p_{11}$	0,0741	$1 - p_{22}$	0,2945
$E(D_1)$	13,4953	$E(D_2)$	3,3956
$\sqrt{V(D_1)}$	12,9856	$\sqrt{V(D_2)}$	2,8520
π_1	0,7989	π_2	0,2010

En el cuadro ***, **, * indica significación al 1%, 5% y 10%.

Como se puede observar en este cuadro, la estimación de los parámetros de la ecuación de varianza condicional muestra que el régimen de alta volatilidad presenta una sensibilidad levemente superior a los *shocks* recientes, dada por la diferencia en los parámetros ARCH. Adicionalmente, a diferencia de los resultados de la investigación de Klaassen (2002), el estado de alta volatilidad también presenta una mayor inercia relativa, dada por los parámetros GARCH. Esto se traduce en una persistencia en la volatilidad para dentro de este régimen (0,96) apenas inferior a la proporcionada por el modelo GARCH (1,1). Sin embargo, la persistencia dentro del régimen de baja volatilidad (0,77) es considerablemente inferior a la de la estimación del modelo GARCH (1,1). Este resultado se encuentra en línea con los hallazgos de las investigaciones con modelos MRS-GARCH para los tipos de cambio, que concluyen que la incorporación de regímenes en la volatilidad disminuye su persistencia, y que subyacen dos estados diferentes que se están ocultando en el modelo GARCH, como fuera señalado en capítulos previos⁵⁶.

⁵⁶ Es importante señalar que el análisis de resultados que se presentará a continuación caracteriza los regímenes que se encontraron y los períodos que se identifican en la serie temporal. El modelo que se estima es una serie temporal univariada, y por tanto no es correcto metodológicamente mostrar que los resultados de estimación están implicando alguna correlación con otras variables. No obstante, debido a que la técnica permite, encontrar momentos de quiebre en la serie generando regímenes diferentes, y caracterizar estadísticamente las observaciones dentro de los regímenes, es posible esbozar algunas hipótesis interpretativas de los resultados a

Por otra parte, la probabilidad de escaparse del régimen de alta volatilidad (29,5%) es considerablemente mayor a la probabilidad de escaparse de uno de baja volatilidad (7,4%), por lo que la duración esperada del régimen de alta volatilidad (3,4 días) es inferior a la del régimen de baja volatilidad (13,5 días). Asimismo, la relación entre las probabilidades de escape explica también las probabilidades incondicionales de los regímenes. La probabilidad de que una observación cualquiera se corresponda a un régimen de baja volatilidad (79,8%) es más elevada que la probabilidad de que pertenezca a uno de alta (20,1%), ya que es más fácil escaparse de este último régimen, que abandonar el de baja volatilidad⁵⁷.

Sin embargo, a pesar de esta facilidad, las probabilidades suavizadas indican que el 80,8% de las observaciones de la muestra se corresponden a un régimen de alta volatilidad, mientras que el 19,2% restante se corresponde a un régimen de baja volatilidad. La coherencia entre estos resultados y las probabilidades incondicionales, diametralmente opuestas, puede comprenderse a la luz de las probabilidades de permanencia en cada régimen y la duración esperada, así como de la persistencia de la volatilidad dentro de cada régimen. Para ello se presentan a continuación en el Gráfico 8.5 las probabilidades suavizadas para el régimen de baja volatilidad, y en el Gráfico 8.6 las de alta volatilidad.

Gráfico 8.5: Probabilidad Suavizada del Régimen de Baja Volatilidad (1)

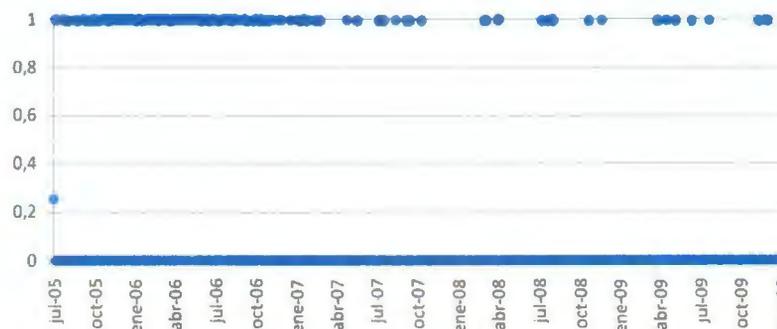
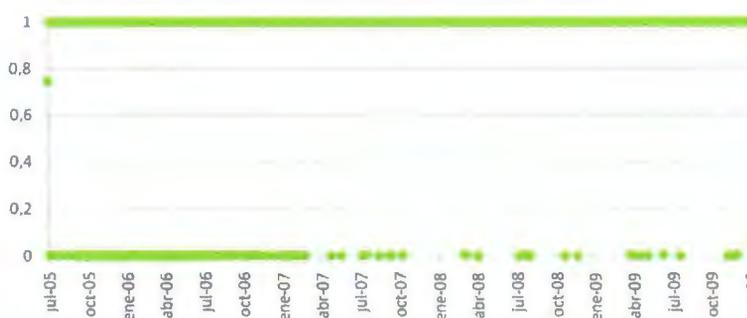


Gráfico 8.6: Probabilidad Suavizada del Régimen de Alta Volatilidad (2)



partir de la observación del comportamiento de otras variables, sugiriendo posibles correlaciones que podrán ser estudiadas. Esto es justamente lo que se realiza en el apartado sobre las posibles líneas de investigación futura desarrollado en el próximo capítulo.

⁵⁷ En el Anexo B se muestra cómo se vinculan las probabilidades incondicionales o ergódicas para una cadena de Markov de dos estados con las probabilidades de transición. En el mismo anexo, se puede ver el cálculo de la duración esperada para el régimen y de la varianza de la duración. Las probabilidades suavizadas a las que se hará referencia, también se pueden ver en este anexo, como ya fuera mencionado anteriormente.

En el eje inferior del Gráfico 8.5 se puede apreciar que la amplia mayoría de las observaciones son con probabilidad nula de un régimen de baja volatilidad, mientras que en el eje superior del Gráfico 8.6 se observa que la amplia mayoría de las observaciones pertenecen a un régimen de alta volatilidad. Sin embargo, como se puede ver en el eje superior del Gráfico 8.5, hasta comienzos de 2007 muchas observaciones son con probabilidad cierta de un régimen de baja volatilidad. Complementariamente, en el eje inferior del Gráfico 8.6, se observa que las primeras observaciones de la muestra se corresponden con probabilidad nula al régimen de alta volatilidad. En este sentido, resulta interesante considerar la distribución de las observaciones en regímenes antes y después de comienzos de 2007, como se resume en el Cuadro 8.5 que se presenta a continuación⁵⁸.

Cuadro 8.5: Distribución de las Observaciones

	Julio 2005 - Enero 2007	Febrero 2007 - Diciembre 2009	Total
Días de Baja Volatilidad	188	30	218
Días de Alta Volatilidad	221	696	917
Total	409	726	1135
% Días de Baja Volatilidad	45,96	4,13	
% Días de Alta Volatilidad	54,03	95,86	

Se puede observar que en el período que transcurre hasta comienzos de 2007 casi el 46% de las observaciones son de un régimen de baja volatilidad, mientras que desde ese momento hasta fines de 2009, el 95,9% de las realizaciones son de alta volatilidad. Del análisis combinado de la persistencia de la volatilidad dentro de cada régimen y de las probabilidades de permanencia en los regímenes, puede comprenderse la dinámica del tipo de cambio durante todo el período.

Por un lado, la persistencia de la volatilidad dentro de cada régimen indica el grado de agrupamiento temporal en las realizaciones, y complementariamente el margen que existe para que se produzcan realizaciones de volatilidad diferente. Por otra parte, las probabilidades de permanencia en un cierto régimen indican las chances de mantenerse en un estado, y complementariamente las de escapar de él. A su vez, éstas determinan la duración esperada de cada régimen, lo que considerando la cantidad de observaciones que pertenecen a cada estado en los períodos de la muestra, permite contar con una estimación de cuántas veces en promedio el mercado habría ingresado en un régimen dado, durante un cierto período de tiempo.

De la consideración de la cantidad de ingresos promedio a un régimen, que se asocian a la probabilidad de permanencia en él, y de la persistencia de la volatilidad dentro del régimen,

⁵⁸ En el Anexo C de este trabajo se presentan las probabilidades suavizadas para cada una de las observaciones de los retornos del tipo de cambio (1134) del período de análisis. Adicionalmente, es importante destacar que la clasificación de las observaciones por régimen se realiza con el criterio de que la probabilidad suavizada de que una observación pertenezca a un régimen dado sea superior a 0,5. Como se puede ver en los Gráficos 5 y 6 y en el Anexo C, las probabilidades suavizadas de esta estimación son aproximadamente 1 o 0, lo que permite identificar claramente a qué régimen pertenece cada observación.

es posible comprender el Cuadro 8.5 que muestra la distribución de las observaciones en dos períodos de análisis. A continuación en el Cuadro 8.6, puede verse la cantidad de veces que en promedio el mercado habría ingresado a cada régimen.

Cuadro 8.6: Ingresos en cada Régimen

	Julio 2005 - Enero 2007		Febrero 2007 - Diciembre 2009	
	Baja Volatilidad	Alta Volatilidad	Baja Volatilidad	Alta Volatilidad
Cantidad de Días	188	221	30	696
% Cantidad de Días	45,96	54,03	4,13	95,86
Duración Esperada	13,49	3,39	13,49	3,39
Ingresos Promedio	13,93	65,08	2,22	204,97

Durante el segundo período, la amplia mayoría de las observaciones pertenece al régimen de alta volatilidad (95,9%). Dentro de este tipo de estados, la persistencia de la volatilidad es alta (0,96), por lo que las realizaciones de elevada volatilidad tienden a producir otras de magnitud similar, dejando poco espacio para que se produzcan realizaciones de baja volatilidad. Adicionalmente, si se considera que la probabilidad de permanencia en este tipo de régimen es sumamente elevada (70,5%), puede comprenderse la gran cantidad de observaciones que pertenecen al régimen de alta volatilidad durante este período.

Desde otra perspectiva, como se observa en el Cuadro 8.6, en este segundo período hay 696 observaciones que se corresponden a un régimen de alta volatilidad, lo que considerando una duración esperada para este régimen de 3,4 días, implica que el mercado habría ingresado en promedio más de 200 veces en un estado de este tipo. Por otra parte, sólo hay 30 observaciones que son de un régimen de baja volatilidad, y considerando que la duración esperada para este régimen es de 13,5 días, esto significa que en promedio sólo 2,2 veces el mercado habría ingresado en un régimen de baja volatilidad.

Dentro de un régimen de este tipo la persistencia es relativamente menor (0,76), dejando más espacio para que se produzcan realizaciones diferentes, es decir, de alta volatilidad, que una vez que se producen, tienen una elevada persistencia (0,96) y en un régimen de alta volatilidad la probabilidad de permanecer en él es considerablemente elevada (70,5%). Visto de otro modo, la elevada probabilidad de permanencia en un régimen de baja volatilidad (92,5%) explica la poca cantidad de veces que se estima que se produjo un ingreso a este tipo de estado, que combinada con una persistencia interna de la volatilidad relativamente baja, permite comprender la magra cantidad de realizaciones de baja volatilidad durante este segundo período.

Por otra parte, el primer período de la muestra se reparte prácticamente igual entre realizaciones de baja (45,9%) y alta volatilidad (54%). En este sentido, como se observa en el Cuadro 8.6, hay 221 observaciones que son del régimen de alta volatilidad, y

considerando que la duración esperada de este estado es de 3,4 días, se puede concluir que en promedio el mercado ingresó 65 veces en un estado de este tipo. Por otro lado, 188 realizaciones pertenecen al régimen de baja volatilidad, que tiene una duración relativamente superior de 13,5 días, por lo que el mercado ingresó en promedio sólo 13,9 veces a un régimen de baja volatilidad.

Sin embargo, visto desde otra perspectiva, una vez que se ingresa en este tipo de estado la probabilidad de permanencia en él es sumamente elevada (92,5%), lo que es equivalente a sostener que tiene una duración considerable. Si bien la persistencia de la volatilidad al interior del régimen es relativamente menor (0,77), de todos modos es considerable y sugiere que las realizaciones de baja volatilidad tienden a acompasarse de otras de magnitud similar, que a su vez se corresponden a un régimen persistente (92,5%). Esto explica la gran cantidad de realizaciones de baja volatilidad que se observan en este período. No obstante, esta persistencia a la interna del régimen deja un espacio relativamente grande para que se produzcan realizaciones de elevada volatilidad. Debido a los motivos señalados anteriormente, una vez que se ingresa en un régimen de alta volatilidad, existe una elevada probabilidad de permanecer en él (70,5%) y al interior del régimen la persistencia de la volatilidad es considerablemente superior (0,96), generando realizaciones similares, que a su vez se corresponden a un régimen persistente (70,5%), lo que explica la gran cantidad de realizaciones de alta volatilidad dentro de este período.

De este modo, el primer período puede entenderse considerando que la persistencia relativamente menor dentro del régimen de baja volatilidad, que de todos modos resulta considerable, se ve compensada con una probabilidad de permanencia relativamente más elevada en este régimen. Por otra parte, la persistencia relativamente mayor dentro del régimen de alta volatilidad, resulta parcialmente contrarrestada por la probabilidad de permanencia relativamente menor en este régimen. Esto permite comprender los resultados mixtos, en términos de cantidades similares de observaciones de alta y baja volatilidad, durante este primer período. A modo de síntesis, durante el primer período el mercado transitó por un régimen mixto, con muchas realizaciones de baja volatilidad, que pueden comprenderse a partir de la considerable persistencia de la volatilidad que presentan las realizaciones dentro de este tipo de régimen (0,77), y fundamentalmente debido al efecto que tiene la mayor probabilidad de permanencia en este estado (92,5%).

Por otra parte, el mercado ingresó claramente en un régimen de alta volatilidad a comienzos de 2007, a pesar de que la probabilidad que tenía de escapar del régimen de baja volatilidad era sumamente baja (7,4%). Principalmente la gran persistencia de la volatilidad dentro de este tipo de estados (0,96), combinada con una elevada probabilidad de permanencia en el régimen (70,5%), permiten comprender que el mercado haya seguido

transitando por este régimen. Por otra parte, merece destacarse que si bien la baja probabilidad de escape, o lo que es lo mismo, complementariamente, las probabilidades de permanecer en cada régimen, son elevadas, ninguna implica un estado absorbente. Es decir, hay una probabilidad no nula en cada momento del tiempo de que el proceso cambie de régimen. Adicionalmente, estas probabilidades de cambio son diferentes de 0,5 y altamente significativas, por lo que el proceso de cambios de régimen no se corresponde con una caminata al azar.

8.4. Comparación del Ajuste

Este trabajo evalúa la bondad del ajuste de la volatilidad de ambos modelos a partir de siete indicadores que recopila Marcucci (2005), utilizados en diversas investigaciones empíricas. A continuación se presentan los indicadores, donde $\sigma_{t/t-1}^2$ representa la volatilidad realizada, dada por la diferencia cuadrática entre los retornos del tipo de cambio y su media muestral, mientras que $\hat{\sigma}_{t/t-1}^2$ representa la volatilidad estimada por los modelos estadísticos.

$$\begin{aligned}
 MSE1 &= T^{-1} \sum_{t=1}^T (\sigma_{t/t-1} - \hat{\sigma}_{t/t-1})^2 & MAD1 &= T^{-1} \sum_{t=1}^T |\sigma_{t/t-1} - \hat{\sigma}_{t/t-1}| \\
 MSE2 &= T^{-1} \sum_{t=1}^T (\sigma_{t/t-1}^2 - \hat{\sigma}_{t/t-1}^2)^2 & MAD2 &= T^{-1} \sum_{t=1}^T |\sigma_{t/t-1}^2 - \hat{\sigma}_{t/t-1}^2| \\
 QLIKE &= T^{-1} \sum_{t=1}^T \left[\log \hat{\sigma}_{t/t-1}^2 + \frac{\sigma_{t/t-1}^2}{\hat{\sigma}_{t/t-1}^2} \right] & HMSE &= T^{-1} \sum_{t=1}^T \left(\frac{\sigma_{t/t-1}^2}{\hat{\sigma}_{t/t-1}^2} - 1 \right)^2 \\
 LL &= T^{-1} \sum_{t=1}^T \left[\log \left(\frac{\sigma_t^2}{\hat{\sigma}_t^2} \right) \right]^2
 \end{aligned}$$

Todos los indicadores son alguna forma de diferencia entre la volatilidad estimada y la volatilidad realizada. Los indicadores del tipo *MSE* (*Mean Squared Errors*) son expresiones del error medio de estimación. La función de pérdida por error de estimación *MSE1* refleja los errores medios de estimación del modelo, y el indicador *MSE2* también, pero considera una función de pérdida por error de estimación cuadrática sobre los pronósticos, como señala Engel (1994). Los indicadores del tipo *MAD* (*Mean Absolute Deviation*) son mejores cuando los retornos tienen colas gruesas (Meese y Rogoff, 1983), o como menciona Marcucci (2005), son más robustos a valores atípicos que los indicadores del tipo *MSE* pero imponen la misma penalización a las sobre e infra estimaciones. El indicador *HMSE* (*Heteroskedasticity Mean Squared Errors*) se motiva en que, si bien los indicadores

del tipo *MSE* son candidatos naturales para evaluar comparativamente las estimaciones de dos modelos que buscan estimar la media condicional, es menos obvio que lo sean en contextos de heterocedasticidad, como señalan Bollerslev y Ghysels (1996). Por este motivo, los autores proponen realizar los análisis de ajuste con el indicador *HMSE*, que es una medida de pérdida por error de estimación cuadrático medio, que es relativa o está ajustada por las estimaciones heterocedásticas.

Por otra parte, la medida *LL* (*Logarithmic Loss*) es análoga a *MSE2*, con la diferencia de que este indicador toma las variables en términos logarítmicos, como señala Marcucci (2005). El autor destaca que este indicador asigna mayor peso a los errores de estimación cuando la varianza condicional estimada es baja y un menor peso cuando los errores de estimación son elevados en un contexto de alta volatilidad realizada. Por último, el indicador *QLIKE* es una medida de la pérdida por error de estimación tomando en cuenta una función de log verosimilitud gaussiana (Marcucci, 2005). En el Cuadro 8.7 a continuación se muestran los indicadores para ambos modelos, comenzando con los criterios AIC (*Akaike Information Criteria*) y BIC (*Bayesian Information Criteria*), señalando con “*” el modelo que proporciona el mejor ajuste para cada indicador.

Cuadro 8.7: Bondad de Ajuste

GARCH(1,1)		MRS(2)-GARCH(1,1)	
PERS	0,963	PERS	0,960*
AIC	0,511	AIC	0,391*
BIC	0,529	BIC	0,435*
LOGL	-285,945	LOGL	-211,937*
MSE1	0,146	MSE1	0,100*
MSE2	1,703	MSE2	0,645*
QLIKE	-1,334	QLIKE	-1,325*
LL	11,599*	LL	11,744
MAD1	0,227	MAD1	0,217*
MAD2	0,259	MAD2	0,200*
HMSE	7,687	HMSE	7,636*

AIC es calculado como $-2\log(L)/T + 2k/T$ donde k es la cantidad de parámetros y T el número de observaciones. BIC es calculado como $-2\log(L)/T + k/T \log(T)$.

Como se puede observar, el modelo MRS(2)-GARCH(1,1) proporciona el mejor ajuste para la volatilidad, según prácticamente todos los indicadores analizados. El único que brinda mejores resultados para el modelo GARCH(1,1) es *LL* que penaliza las predicciones asimétricamente asignando un mayor peso a los errores de estimación cuando se trata de

realizaciones de baja volatilidad, que justamente no son la preocupación principal de los modelos MRS-GARCH, ya que buscan resolver de algún modo las estimaciones excesivamente elevadas de los modelos GARCH.

8.5. Líneas de Avance en el Análisis Estadístico

En este apartado se desarrollan, en primer lugar, cuatro extensiones que se pueden efectuar al trabajo estadístico que aquí se realizó, que no son sencillas de aplicar, o se ha señalado que no proporcionan buenos resultados, o no se están en línea directa con los objetivos de esta investigación, aunque puede ser interesante ensayarlas con otros fines. Luego se plantean dos posibles líneas para avanzar en el análisis estadístico del proceso de la volatilidad, donde una ha sido poco estudiada aún, y la otra presenta serias dificultades para aplicarse en la práctica, aunque puede ser muy importante para caracterizar correctamente el proceso que sigue la volatilidad.

En primer lugar, una extensión que no es sencilla de realizar, pero que sí se ha destacado que puede ser fructífera, consiste en efectuar las estimaciones de estos modelos por métodos bayesianos en lugar de emplear máximo verosimilitud. Ardia y Hoogerherdie (201) señalan que esto se debe principalmente a que la función objetivo de estos problemas es no lineal y los óptimos locales pueden ser muchos, por lo que los resultados de optimización obtenidos con métodos tradicionales de máximo verosimilitud son sensibles a la elección de los valores iniciales para el procedimiento iterativo. En este sentido, el programa de Marcucci (2005) que se utiliza en esta investigación considera varios puntos iniciales en sus rutinas de optimización, lo que contribuye a evitar estos problemas, aunque no permite asegurarse de que no sucedan. Debido a que la estimación con estos métodos, merece un estudio en sí mismo, no se profundizará en estas cuestiones. Para más referencias sobre métodos bayesianos en los modelos que se estiman en este trabajo, se puede ver un libro recientemente publicado por David Ardia, vinculado a su disertación de Ph.D.⁵⁹.

Otra extensión posible que puede ser interesante, aunque no hay un consenso sobre su pertinencia, es la estimación de estos modelos utilizando distribuciones condicionales de

⁵⁹ En Piger (2007) se puede ver una presentación de ambas estrategias. Se desarrolla la aplicación de cambios de régimen de Markov a series temporales, mostrando la estimación por máximo verosimilitud y también por métodos bayesianos, así como las posibles extensiones a modelos VAR (*Vector Autorregresive*) y a marcos multivariados con probabilidades de transición variables. Por otra parte, el libro y la disertación de Ardia no se encuentran en las referencias bibliográficas de esta investigación, ya que no constituyeron parte de la bibliografía consultada debido a que la estimación con estos métodos es una investigación en sí misma. De todas formas se entiende que es pertinente la alusión, debido a que puede resultar útil para investigaciones futuras interesadas en avanzar en el tratamiento estadístico de la volatilidad realizado en esta investigación. En el sitio web personal de David Ardia <http://perso.unifr.ch/david.ardia/> se puede encontrar información al respecto. Hay un resumen de su libro "*Financial Risk Management with Bayesian Estimation of GARCH Models. Theory and Applications*", editado en 2008, con un vínculo a su disertación de Ph.D. "*Bayesian Estimation of Single-Regime and Regime-Switching GARCH Models. Applications to Financial Risk Management*", y una crítica del libro publicada en la revista "*Mathematical Reviews*" en 2010.

colas más gruesas, como la distribución t-Student. Por un lado, Klaassen (2002) señala que trabajar con estas distribuciones puede ser útil para capturar aún mejor la leptocurtosis y los datos “atípicos”, y además darle estabilidad a los regímenes, ya que no se registrarían tantos cambios entre los estados, en la medida que los datos no serían tan frecuentemente asignados como “atípicos” en relación al caso de la distribución normal, haciendo que se produzcan menos cambios de régimen.

Sin embargo, Haas et. al. (2004) entienden que es redundante trabajar con modelos de cambios de régimen, que en esencia están capturando estados que se componen de realizaciones de volatilidad “atípicas”, y además trabajar con distribuciones que buscan recoger colas gruesas. Adicionalmente, Gray (1996) aporta otra crítica sumamente importante en relación a la utilización de colas más gruesas como la t-Student, al destacar que este tipo de análisis reportan estimaciones imprecisamente grandes de los parámetros de grados de libertad de la distribución. En este sentido, si bien podría ser interesante realizar este tipo de estimaciones, esta última observación junto a la señalada redundancia de trabajar con distribuciones t-Student y cambios de régimen, sustenta que las estimaciones del trabajo se hayan efectuado condicionales a una distribución normal.

Una tercera extensión al trabajo estadístico realizado aquí consiste en estimar un modelo MRS-ARMA-GARCH, que permita una estructura más flexible para la media condicional de los retornos que la que se trabajó aquí, como realiza Piplack (2007). Como fuera señalado, el objetivo de esta investigación está en la volatilidad cambiaria, al igual que las investigaciones de Haas et. al. (2004), Marcucci (2005) y Klaassen (2002), en las que por ese motivo, se opta por trabajar con una especificación para la media condicional sumamente sencilla. No obstante, a la luz de los resultados de estimación hallados aquí para los parámetros de la media condicional, puede ser interesante realizar un trabajo que busque profundizar en su especificación. Por último, las estimaciones de los modelos GARCH(1,1) y MRS(2)-GARCH(1,1) pueden emplearse para evaluar la capacidad predictiva de los modelos. Si bien este análisis puede ser útil para brindar mayor soporte empírico al diagnóstico de mejor bondad de ajuste del modelo MRS(2)-GARCH(1,1), el objetivo principal de esta investigación no es obtener predicciones para la volatilidad cambiaria, sino explorar una mejor descripción para la dinámica del tipo de cambio durante 2005-2009, a los efectos de caracterizar el comportamiento histórico de la serie y reflexionar sobre sus implicaciones teóricas en los enfoques para aproximarse al mercado, así como acerca de algunos factores que puedan estar explicándola.

En cuanto a las líneas para avanzar en el análisis estadístico de la volatilidad, existen básicamente dos posibilidades. La primera consiste en intentar aplicar algunas propuestas de tests estadísticos, recientemente expuestas en documentos de trabajo, para

proporcionar un mayor soporte empírico a los modelos MRS-GARCH. Estos desarrollos son muy recientes, y en general no se encuentran en los antecedentes empíricos publicados en revistas, que sirvieron de insumo para esta investigación. En parte, esto puede obedecer a que, como los procesos GARCH exhiben una elevada persistencia que implicaría que el proceso no es estacionario, su tratamiento motiva la incorporación de distintos estados o regímenes por los que atraviesa la serie, que es la solución que habitualmente se ensaya en los análisis económicos para este tipo de situaciones.

En este sentido, el eje de la discusión está en la segunda línea de avance en el análisis estadístico de la volatilidad, que implica preguntarse si la elevada persistencia de los modelos GARCH obedece a quiebres estructurales que no están siendo reconocidos o a que existe una memoria infinita en el proceso que sigue la volatilidad. La correcta distinción de ambos fenómenos desde el punto de vista empírico es sumamente compleja, aunque efectuar un diagnóstico es muy importante para avanzar en la correcta caracterización del proceso que sigue la volatilidad cambiaria. Por estos motivos, de las dos posibles líneas de avance en el análisis estadístico, se entiende que la más provechosa está en intentar diagnosticar si la elevada persistencia del modelo GARCH obedece a quiebres estructurales o a una memoria infinita en el proceso, en lugar de realizar tests para dar mayor soporte empírico a una aplicación de cambios de régimen a un proceso de alta persistencia como el GARCH⁶⁰.

Al respecto de la primera línea de avance, una de las formas de buscar mayor soporte empírico para los modelos MRS-GARCH consiste en analizar si existen quiebres estructurales en la varianza condicional. Este tipo de análisis no se encontraron en los trabajos empíricos que utilizan estos modelos, señalados en el capítulo seis de esta investigación. Como señala Smith (2006): “Dada la importancia que se ha dado a los tests de quiebres estructurales al especificar la media, es curioso que a pesar de las literalmente miles de aplicaciones de modelos GARCH, sólo un puñado de tests de quiebres estructurales han sido implementados para ellos” (Smith, 2006, p.1). El autor realiza en su trabajo una simulación de datos de retornos con y sin quiebres estructurales y para esos datos artificiales estima un modelo GARCH bajo la hipótesis de que no existen quiebres y los somete a algunos tests que han sido utilizados en la literatura para reconocer quiebres. El trabajo concluye que los tests tradicionales presentan problemas para el análisis de la volatilidad de los retornos⁶¹.

⁶⁰ La reflexión que se presenta a continuación está motivada en una discusión estadística sobre el tratamiento de la volatilidad, y no en el tratamiento específico de la volatilidad cambiaria del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano.

⁶¹ El problema de detectar quiebres estructurales es complejo si no se conoce el momento en el que se producen, ya que en ese caso los tests tradicionales de quiebres estructurales como el test de Chow, no tienen distribuciones estándares y el problema se complejiza aún más si se quiere dar cuenta de múltiples quiebres. El autor señala que algunos se desempeñan bastante mal en presencia de colas gruesas o muestras pequeñas y otros no son capaces de detectar cambios en los parámetros que afectan la dinámica de la volatilidad y no necesariamente a la volatilidad incondicional. Los tests que se desempeñan mejor son los del tipo LM (*Lagrange Multiplier*) de Andrews y Ploberger, aunque tienen baja potencia para detectar aumentos pequeños en el parámetro GARCH cuando el ARCH está fijo, incluso en muestras grandes.

Otro tipo de análisis que puede ser interesante realizar en los modelos MRS-GARCH, pero que también ha sido poco explorado, es intentar determinar cuántos tipos de regímenes puede haber en la serie de volatilidad. En este sentido, por ejemplo Haas et. al (2004) lo que hacen es comparar el ajuste de modelos MRS-GARCH con tres regímenes en relación a una especificación de estos modelos con dos estados. En particular, sería interesante poder testear la alternativa de que existe un sólo tipo de estado contra la alternativa de que existen dos, que es una forma de aproximarse a conocer si es pertinente utilizar cambios de régimen. La literatura empírica señala que no es inmediato analizar esto con tests de LR (*Likelihood Ratio*) debido a que, en la hipótesis nula de que no hay regímenes los parámetros del modelo quedan no identificados, como resume Piger (2007) en su capítulo de libro. Este problema ha sido tratado con los tests propuestos por Hansen y García en algunas aplicaciones de cambios de régimen de Markov a series temporales, aunque en la revisión bibliográfica que se realizó para este trabajo de investigación, no se encontró alguna aplicación o variante de estos tests para el caso de los modelos MRS-GARCH.

Por último, la segunda línea para avanzar en el análisis estadístico del proceso de la volatilidad implica realizar ciertos tests que presentan varios problemas para concluir acerca de sus características, pero que son interesantes en tanto la utilización de este tipo de modelos generalmente "...(*ponen*) una considerable confianza en '*eyeballing*' figures, más que en el uso de tests estadísticos rigurosos..." (Rosser, 2007, p. 13)⁶². En este sentido, hay algunas estrategias empíricas con objetivos más amplios que las resumidas previamente, que buscan caracterizar al proceso que sigue la volatilidad analizando si la no linealidad es estocástica o caótica, cuán larga es la memoria del proceso, y si es posible distinguir este fenómeno de los quiebres estructurales. Al respecto, el único trabajo que se encontró en la revisión bibliográfica que resume conjuntamente los dos tipos de estrategias seguidas en la literatura -memoria infinita y quiebres estructurales-, mostrando los inconvenientes de identificar estadísticamente qué tipo de fenómeno caracteriza al proceso de la volatilidad, es el de Brock y DeLima (1995).

Por ejemplo, los autores destacan que el estudio de la no linealidad que debería haber en los datos para especificar modelos del tipo ARCH, se ha efectuado con el test de Brock-Dechert-Scheinkman (BDS), que tiene como hipótesis nula que los datos son independientes e idénticamente distribuidos, y usan un procedimiento que es robusto a no linealidades caóticas y estocásticas. La robustez al caos determinístico es sumamente importante debido a que, como señala Prokhorov (2001), los modelos de caos se sustentan en que no hay autocorrelación en los datos, ya que parecen un ruido blanco aunque no lo sean, al igual que suponen los modelos estocásticos del tipo ARCH.

⁶² Estrictamente, Rosser (2007) retoma este tipo de críticas que existen en la literatura en relación a los trabajos de los econofísicos en general. En el entendido de que esta crítica es válida especialmente para los modelos estadísticos que se desarrollaron aquí, es que se alude a esta referencia.

Sin embargo, el rechazo de la hipótesis nula en estos tests puede deberse a factores diferentes a una no linealidad no reconocida, como la omisión de no estacionariedad y la no existencia de momentos condicionales de la distribución. En este sentido, se señala que “...la cuestión principal en finanzas no parece ser la *incapacidad* de detectar departidas de la linealidad porque los rechazos a ésta son frecuentes. El asunto central es encontrar las razones del rechazo.” (Brock y De Lima, 1995, p.14). Como señalan los autores, esto gira la discusión hacia la posibilidad de que las colas gruesas en la distribución de los retornos sea la responsable de los rechazos, y centra el problema en la longitud de la memoria del proceso y la no estacionariedad. Distinguir empíricamente entre ambos fenómenos es sumamente complejo, como se detallará a continuación a partir de lo que resumen los autores, aunque podría ser interesante realizar algún test que permita aproximarse al problema.

Para distinguir entre procesos de memoria corta y larga se puede utilizar el estadístico de Rangos Redimensionados (R/S) de Hurst. Sin embargo, se ha mostrado que este tipo de análisis se encuentra sesgado en el caso de presencia de dependencia temporal de corto plazo en las series. Otro test que se puede utilizar es el de Geweke y Porter-Hudak (GPH), que no está contaminado por dicha dependencia, pero sí presenta problemas en muestras pequeñas. Adicionalmente, como muestran algunos resultados “...los tests GPH y R/S tienen problemas de robustez frente a cambios en los niveles de las series, que en términos de testear la memoria larga en la volatilidad, significaría que estos dos tests tienen problemas de robustez para los cambios de nivel en la varianza...” (Brock y De Lima, 1995, p.39). Esto es confirmado por Brock y De Lima (1995) al realizar una simulación de Monte Carlo, para analizar si los datos generados por un modelo MRS-ARCH parecen un proceso de volatilidad de memoria larga frente a los tests R/S y GPH.

Los procesos con memoria larga en la volatilidad pueden modelizarse a partir de las extensiones de las especificaciones GARCH que consideran fractales, como los modelos FIGARCH. En relación a este tipo de procesos estocásticos integrados, es necesario tener en cuenta que “...la robustez de los hallazgos de memoria larga en el proceso de la varianza de los retornos de las acciones aún no ha sido abordada. En primer lugar, no hay muchos argumentos económicos disponibles para apoyar estos hallazgos estadísticos...” (Brock y De Lima, 1995, p.29-30). También destacan los autores que “...hay estudios que proveen evidencia de que la no estacionariedad en la varianza puede sesgar los resultados de los métodos estadísticos de Mandelbrot a favor de un modelo estable...” (Brock y De Lima, 1995, p.21). Por estos motivos, en principio la incorporación de regímenes para analizar el proceso de volatilidad interpretando que no es estacionaria y no que tiene una memoria infinita parece sumamente apropiada.

9. Reflexiones Finales

En este apartado se resumen las principales conclusiones de la investigación, en términos de las preguntas e hipótesis planteadas, y de sus objetivos generales y específicos (apartado 9.1). Los resultados muestran que existe evidencia empírica en contra de la caminata al azar debido a la presencia de agrupamiento temporal en la volatilidad y colas gruesas en la distribución de los retornos. Por otra parte, se encuentra que el modelo MRS(2)-GARCH(1,1) proporciona un mejor ajuste de la volatilidad en relación al modelo GARCH(1,1) y las estimaciones muestran que el proceso que gobierna los cambios de estado de la volatilidad tampoco se comporta como una caminata al azar. Los resultados empíricos permiten alcanzar el objetivo general del trabajo, en términos de contribuir a una discusión del análisis del mercado cambiario desde un enfoque alternativo al neoclásico ortodoxo.

En la segunda parte de este capítulo se desarrollan algunas hipótesis interpretativas motivadas en dos resultados concretos de la estimación del modelo MRS(2)-GARCH(1,1). El hallazgo sobre el momento en el que se introduce el mercado cambiario en un estado de alta volatilidad, al mismo tiempo que la economía norteamericana se adentraba en crisis, señala que puede ser interesante desarrollar investigaciones que profundicen en los canales de contagio financiero. Por otra parte, la caracterización del estado de alta volatilidad en términos de una relativamente menor duración y varianza de la duración en comparación al de baja volatilidad, motiva algunas reflexiones sobre el rol que puede estar jugando la política monetaria en un sistema de flotación cambiaria. En particular, éstas se sustentan en investigaciones que encuentran que las intervenciones de la autoridad monetaria pueden ser efectivas para disminuir la volatilidad.

9.1. Principales Conclusiones

Esta investigación encuentra que los retornos del tipo de cambio nominal del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano en el período 2005-2009 exhiben agrupamiento temporal de la volatilidad y leptocurtosis, por lo que los retornos no son una sucesión de *shocks* del tipo ruido blanco, en línea con los hallazgos de la literatura empírica en finanzas desarrollada a partir de la década de 1980. Para capturar estos hechos estilizados se estima un modelo GARCH (1,1), como tradicionalmente se hace en la literatura empírica, cuyos parámetros resultan altamente significativos. De este modo, se alcanza un resultado en términos de la primera hipótesis del trabajo, que sostenía que el comportamiento del tipo de cambio no es una caminata al azar.

Por otra parte, se encuentra que los parámetros del modelo GARCH(1,1) implican una persistencia elevada, por lo que siguiendo la literatura empírica de mediados de la década de 1990 que buscó resolver este problema considerando que obedece a quiebres estructurales que no están siendo reconocidos, se estimó un modelo MRS(2)-GARCH(1,1). Los resultados de la estimación muestran que los parámetros son altamente significativos e indican que efectivamente se escondían distintos estados en la volatilidad del modelo GARCH(1,1). De hecho, como sucede en otros trabajos empíricos que utilizan esta combinación de técnicas, se encuentra que la persistencia de la volatilidad disminuye, al mismo tiempo que emerge un régimen que se caracteriza por una volatilidad considerablemente inferior.

Adicionalmente, de la evaluación comparativa de la bondad de ajuste de ambos modelos se concluye que la dinámica del tipo de cambio puede capturarse mejor con un modelo MRS(2)-GARCH(1,1) en relación al modelo GARCH(1,1). Más aún, las estimaciones indican que el proceso que gobierna los cambios de régimen tampoco es una caminata al azar, ya que las probabilidades de cambio de régimen son significativamente muy diferentes a 0,5, como implicaría un proceso de lanzar una moneda. Estos resultados permiten concluir sobre la segunda hipótesis de la investigación que afirmaba que existen cambios de estado en la volatilidad y adicionalmente se encontró que estos no son de la forma de caminata al azar.

Por otra parte, en este trabajo se resumieron explicaciones en finanzas alternativas a la teoría neoclásica ortodoxa bajo las que se puede generar el comportamiento empírico que describen los modelos estadísticos que aquí se estiman. Dado que estas técnicas probaron ser útiles para describir la dinámica del mercado cambiario uruguayo, los resultados empíricos que se alcanzan sugieren la necesidad de considerar formas alternativas de aproximación al análisis del mercado. De esta forma, se cumple con el objetivo general de

esta investigación, de contribuir a ampliar la discusión acerca de los enfoques teóricos de análisis del mercado cambiario en sistemas de flotación. Los elementos que tienen en común las dos investigaciones que se resumieron en el capítulo tres, es que parten de un análisis donde la racionalidad de los agentes no opera en el sentido tradicional que se supone en economía y los individuos interactúan.

En el trabajo de Arthur et. al. (1996) los agentes forman sus expectativas a través de una racionalidad inductiva donde aprenden de sus experiencias pasadas, y cuando exploran nuevos “modelos mentales” de sus creencias acerca del comportamiento del mercado a una tasa “realista”, se genera una dinámica GARCH en los mercados de activos financieros. Por otra parte, en el trabajo de Brock y Le Baron (1995) la persistencia en la volatilidad se genera cuando los agentes adaptan sus creencias al mercado a una tasa más “lenta” en relación a la velocidad a la que opera el propio mercado. Los autores señalan que los quiebres y saltos abruptos, obedecen a la interacción entre estos agentes, dando sustento a la necesidad de considerar componentes “psicológicos” y “sociológicos” en los mercados.

En este sentido, las sugerencias teóricas de los resultados empíricos que se alcanzan en esta investigación señalan que es útil considerar agentes heterogéneos en interacción que forman sus expectativas de modo diferente a la racionalidad tradicional en economía. En relación a este último aspecto, sería interesante calibrar estos modelos para el mercado cambiario uruguayo, sustentados en que los agentes exploran de tanto en tanto nuevos “modelos mentales” aprendiendo del mercado, y que lo hacen a una tasa más lenta que el ritmo del propio mercado, sugiriendo que hay un proceso de adaptación, y que de la consideración de su interacción se pueden comprender los cambios repentinos. Más aún, como se señala en el trabajo de Brock y Le Baron (1995), sería interesante estimar la tasa de adaptación y el componente de interacción sociológica entre los agentes. Los resultados empíricos aquí alcanzados sustentan este tipo de investigaciones.

Por último, la estimación del modelo MRS(2)-GARCH(1,1) permitió identificar dos subperíodos en el análisis. El primer período que transcurre hasta comienzos de 2007 se caracteriza por realizaciones mixtas de alta y baja volatilidad en el mercado, mientras el segundo período que va hasta fines de 2009 es enteramente de realizaciones de alta volatilidad. La observación del momento en el que se ingresa en un estado de este tipo, sustenta la motivación que estaba detrás de la hipótesis de quiebres estructurales, en términos de la potencial relevancia de la reciente crisis financiera internacional. En este sentido, en el próximo apartado se esbozan algunas hipótesis interpretativas de los resultados alcanzados en esta investigación a la luz del comportamiento de otras variables, que podrá ser objeto de estudio de investigaciones futuras que extiendan el análisis aquí realizado.

9.2. Líneas de Investigación Futura

En este apartado se reflexiona sobre cómo se pueden complementar las explicaciones para la volatilidad que se resumieron en el capítulo tres, a partir de la consideración de otros elementos en el análisis. Es importante destacar que las hipótesis interpretativas que se desarrollan a continuación sustentan un análisis que incluya variables explicativas para la volatilidad, y en este sentido son extensiones a los modelos del tipo GARCH. Como fuera señalado en el capítulo tres, reconocer el comportamiento GARCH en los mercados no tiene ningún tipo de explicación dentro del marco de pensamiento ortodoxo en finanzas. Más aún, la consideración de variables explicativas para la volatilidad del tipo de cambio no contradice el enfoque teórico alternativo bajo el cual se puede generar el comportamiento de volatilidad que describen los modelos estadísticos que se utilizaron en esta investigación⁶³.

Las extensiones que se proponen a continuación consisten en incluir variables explicativas al modelo MRS-GARCH, las que afectan a la especificación de volatilidad dentro de cada régimen, a la caracterización del régimen mismo, y a la transición entre regímenes. La consideración de que puede resultar provechoso incluir variables explicativas en el modelo MRS-GARCH se sustenta fundamentalmente en dos resultados de esta investigación. En primer lugar, la observación de que la economía ingresa en un nuevo régimen de alta volatilidad al mismo tiempo que comienza la crisis internacional financiera reciente, motiva extender el modelo MRS-GARCH para considerar como variables explicativas algunos indicadores de tensión financiera global. En segundo lugar, la caracterización de regímenes que se obtuvo del análisis estadístico de este trabajo en términos de las duraciones y varianzas relativas de cada uno, motivan el estudio del rol de la política monetaria en este período de flotación. El objetivo es únicamente hacer una reflexión que contextualice los resultados alcanzados en esta investigación a la luz de estas dos observaciones, sin buscar llegar a conclusiones acabadas sobre estos aspectos, que merecen un estudio en sí mismo.

Al respecto de los impactos de la crisis financiera internacional reciente, los resultados de esta investigación son importantes ya que encuentran que el quiebre del mercado cambiario está a comienzos de 2007. Sin embargo, algunas investigaciones recientes elaboran sus análisis tomando otros puntos de inflexión para la volatilidad de los mercados cambiarios de las economías emergentes. Por ejemplo, el trabajo de Courdet et. al. (2010)

⁶³ La aclaración es pertinente, ya que la hipótesis de mercados eficientes es consistente con el enfoque de fundamentos para el nivel de los retornos, donde la evolución de ciertas variables queda capturada en el set de información de los agentes. Sin embargo, lo que aquí se propone son extensiones a la especificación de volatilidad, y es necesario recordar que bajo el enfoque neoclásico ortodoxo la volatilidad es "constante". Por otra parte, los fundamentos podrían estar operando directamente sobre la volatilidad del tipo de cambio, o de modo indirecto a través de la modificación de las conductas de los agentes. Por ejemplo, las variables explicativas podrían alterar el set de información con el que operan los agentes, la tasa a la que reaccionan frente a cambios en el mercado, y la tasa a la que exploran nuevos "modelos mentales", entre otros varios efectos. En este sentido, es pertinente aclarar que, en las reflexiones que aquí se presentan, no se elabora un desarrollo de los mecanismos posibles de transmisión.

toma mediados de 2007, cuando se hace más visible el comienzo de la crisis financiera con los problemas de *Bearn Stearns*, y el trabajo de Gallego et. al. (2010) considera que los mercados emergentes fueron resistentes hasta la quiebra de *Lehman Brothers* en el segundo trimestre de 2008. Así, uno de los principales aportes de esta investigación es que detecta endógenamente un momento de cambio de régimen de la volatilidad que no es el que se identifica en otros estudios, y coincide con el comienzo de la crisis como se puede ver a continuación. Esto sugiere que puede ser interesante profundizar en cuáles son los canales y mecanismos de contagio financiero⁶⁴.

Gráfico 9.1.: Retornos del Dow Jones Industrial Average

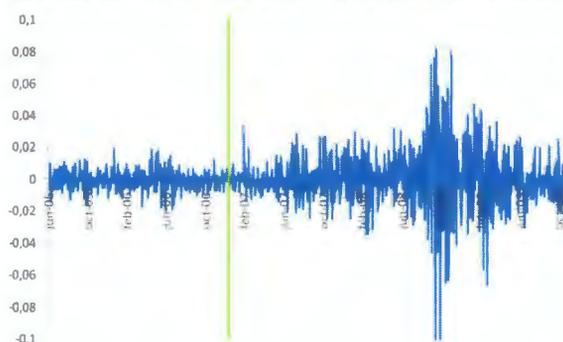


Gráfico 9.2.: Retornos del Standard & Poors 500

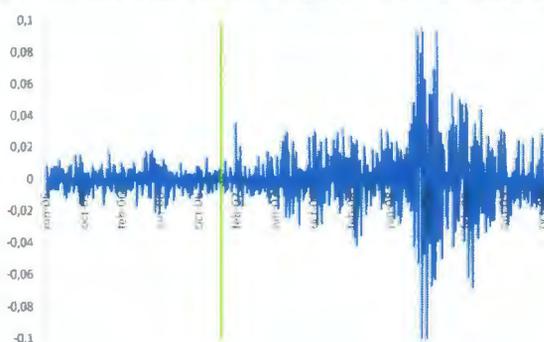


Gráfico 9.3.: Riesgo País Uruguay

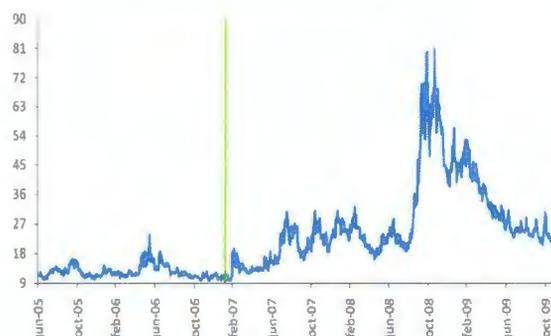
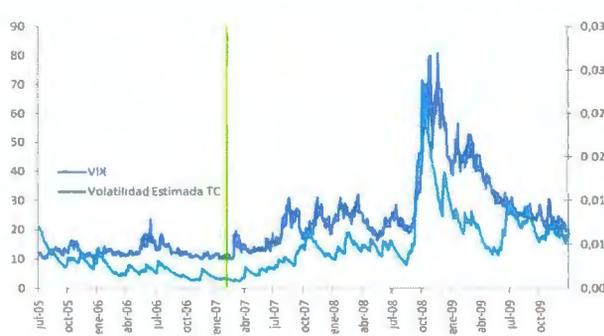


Gráfico 9.4.: Volatilidad del Tipo de Cambio y VIX



Fuente: Bloomberg. Datos proporcionados por Alejandro Pena⁶⁵.

Sin embargo, lo interesante de la investigación de Courdet et. al. (2010) es que incluye varios indicadores de tensión financiera global en su modelo estadístico para la volatilidad cambiaria. La técnica que utilizan busca captar regímenes con variables explicativas, o como explican las autoras, respuestas no lineales de la volatilidad cambiaria frente a la evolución de algunos indicadores financieros. En este sentido, entienden que es esperable que la

⁶⁴ El estudio de Courdet et. al. (2010) toma varios tipos de cambio de economías emergentes, considerando latinoamericanas y asiáticas fundamentalmente. El trabajo incluye el tipo de cambio del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano. Se estiman modelos GARCH para las volatilidades, y después se aplica un modelo STR (*Smooth Transition Regression*) a las volatilidades realizadas. Como señala Tsay (2005), la ventaja de utilizar cadenas de Markov para detectar regímenes en lugar de hacerlo con estos modelos, es que permiten detectar endógenamente el quiebre. Por otra parte, como su nombre lo dice, en estos modelos la transición entre regímenes es "suave". Para más referencias se puede consultar el cuadro bibliográfico del Anexo A de esta investigación.

⁶⁵ El VIX (*Volatility Index*) es un indicador de riesgo financiero sumamente utilizado que promedia la volatilidad implícita en opciones *put* del *Standard & Poors 500*. Cuando alcanza valores elevados, los mercados están en una ola de pesimismo, y el *Standard & Poors 500* alcanza valores mínimos. El *Standard & Poors 500* es un índice de capitalización de 500 acciones de las principales empresas industriales y el *Dow Jones Industrial Average* es un indicador de la evolución de 30 acciones de primera línea de empresas industriales líderes. El riesgo país para Uruguay se mide con el indicador EMBI+ elaborado por JP Morgan.

volatilidad haya aumentado en el escenario de crisis, pero que su objetivo es examinar si la relación entre ellas se exacerbó durante este período agitado, es decir, si la volatilidad cambiaria se incrementó más que proporcionalmente al estrés global. El resultado de la investigación es que la reacción de la volatilidad fue efectivamente mayor, y que los cambios están gobernados por la evolución del VIX, por lo que resultaría interesante ahondar en estimaciones con variables explicativas en el modelo MRS-GARCH que se estudió en este trabajo.

Por otra parte, en tiempos de crisis cobra una relevancia particular la discusión sobre cómo medir los riesgos financieros en una economía. Una forma de aproximarse a ellos es a partir del precio de derivados financieros que sirven como cobertura frente a movimientos en el precio del activo subyacente. En particular, se puede considerar el precio de una opción *call*, que es un instrumento que brinda el derecho de comprar el activo subyacente a un precio estipulado en un cierto momento de tiempo, aunque no obliga a hacerlo. Para determinar el precio teórico de este instrumento, el modelo más utilizado es el de Black-Scholes, que es un desarrollo sobre el supuesto de que el precio del activo en cuestión se comporta como un movimiento browniano. En este sentido, se aplican todas las críticas a las caminatas al azar realizadas en el capítulo tres de esta investigación, con particular énfasis en el cuestionamiento empírico que suponen las observaciones de realización de valores extremos y colas gruesas.

Modelizaciones que pretendan recoger adecuadamente la probabilidad de escenarios de crisis y su riesgo asociado, deben ser capaces de capturar estos hechos estilizados. Esta investigación encuentra que el tipo de cambio se caracteriza por exhibir agrupamiento de la volatilidad y leptocurtosis, mostrando la necesidad de construir análisis en entornos no normales que asignen una mayor probabilidad a la realización de valores extremos, en línea con las *volatility smiles* que se detectan en los instrumentos de cobertura. Adicionalmente, la identificación de cambios de régimen en la volatilidad del tipo de cambio sugiere la necesidad de elaborar mediciones que reconozcan los posibles saltos en la volatilidad del activo subyacente para valorar los instrumentos financieros.

Esta es la línea del estudio de Pena (2009), que destaca la relevancia de reconocer cambios bruscos en el tipo de cambio, debido a que en estos casos se “activa” el riesgo cambiario crediticio. En dicho trabajo, el riesgo cambiario crediticio se mide a partir del precio de una opción *call*, lo que permite utilizar los resultados de la literatura de derivados, aplicados a este riesgo. En este sentido, el autor señala que los aumentos en la volatilidad del activo subyacente, en este caso el tipo de cambio, se traducen en un nivel de riesgo más elevado, así como también los aumentos en la tasa de interés doméstica, o las disminuciones en la tasa de interés internacional, aumentan el riesgo de los deudores en moneda extranjera.

Debido a que el contexto reciente se caracteriza por presentar ambos tipos de fenómenos, se vuelve sumamente relevante una medición de riesgo apropiada. Entonces, por los motivos anteriormente señalados, puede ser interesante elaborar esta medida extendiendo el trabajo de Pena (2009) para capturar el riesgo a través de la valuación del activo subyacente, dado por el tipo de cambio, con modelos MRS-GARCH.

Por último, es interesante considerar que los esquemas monetarios con régimen de tasa de interés pueden asociarse a una mayor volatilidad cambiaria, y por este motivo quizás la orientación de la política monetaria desde fines de 2007 pudo haber contribuido también a la mayor volatilidad que se observa dentro de este régimen⁶⁶. No obstante, los resultados de la estimación indican que el régimen de alta volatilidad es relativamente débil frente al de baja volatilidad, en términos de una menor duración esperada y un menor desvío de la duración. Si la crisis financiera internacional operó reforzando la volatilidad y un régimen de tasas debería haber operado en el mismo sentido, quizás las intervenciones de la autoridad monetaria en el mercado cambiario estén operando de modo tal, que expliquen en alguna medida la menor duración del régimen de alta volatilidad⁶⁷.

En esta línea, algunas investigaciones para economías desarrolladas encuentran que si bien durante ciertos períodos las intervenciones aumentaron la volatilidad, durante otros tuvieron un efecto estabilizador sobre los tipos de cambio (BonserNeal, 1996; Aguilar y Nydahl, 2000; Dominguez, 1998; Hillerbrand y Schnabl; 2004). En general los estudios se realizan con modelos GARCH dividiendo la muestra en subperíodos de análisis que se motivan en cambios relevantes en la política monetaria. Adicionalmente, también existen estudios recientes para economías emergentes que muestran que las intervenciones pueden resultar estabilizadoras en términos de reducción de la volatilidad cambiaria (Kamil, 2008; Caskurlu et. al., 2008; Domac y Mendoza, 2004; Rogers, y Siklos, 2003; Kim et. al., 2000), aplicando también el mismo tipo de estrategia empírica. En concreto, para Uruguay el estudio de Aboal et. al. (2006) encuentra que las intervenciones tienen un efecto negativo sobre la volatilidad cambiaria siempre que los montos sean pequeños⁶⁸.

⁶⁶ Para más referencias, puede verse el Comunicado del Comité de Política Monetaria (COPOM) con fecha 4 de setiembre de 2007.

⁶⁷ En el Anexo A se resumen en el cuadro bibliográfico los resultados y la metodología de las investigaciones que se presentan a continuación en el texto sobre los impactos de las intervenciones en los tipos de cambio. Es importante realizar dos aclaraciones al respecto de este tipo de estudios. En primer lugar, son las intervenciones esterilizadas las que afectan al tipo de cambio. En segundo lugar, este tipo de análisis de política monetaria suele ser complejo por el problema de endogeneidad o simultaneidad que surge, en tanto es criticable que las intervenciones sean exógenas, lo que dificulta alcanzar una conclusión acerca de la causalidad entre intervenciones y tipo de cambio. No obstante, la relación entre ambas variables puede ser sostenida al menos en términos de correlaciones, que es más débil que sostener una causalidad. En general, un abordaje completo de la relación implica estudiar no sólo los impactos de las intervenciones en la volatilidad, sino además una estimación de la función de reacción de la autoridad monetaria que permita conocer a qué obedecen las intervenciones. Si bien esto no elimina el potencial problema de endogeneidad, permite obtener una mejor caracterización de la relación. En general las funciones de reacción se estiman con modelos *probit* o *logit*. Una aplicación con este abordaje completo para la economía uruguaya, que estudia los impactos de las intervenciones en el tipo de cambio y una función de reacción para conocer sobre la motivación de las intervenciones, puede encontrarse en Aboal et. al. (2006).

⁶⁸ Los estudios de Roger y Siklos (2003) y de BonserNeal (1996) no utilizan modelos GARCH aunque sí trabajan con otros indicadores de volatilidad y estudian por submuestras según los cambios que ocurrieron en la política monetaria. La investigación de Roger y Siklos (2003) es particularmente interesante, porque a diferencia de los otros trabajos sobre volatilidad cambiaria e intervenciones, considera también la curtosis del tipo de cambio. La propuesta es que las intervenciones deberían reaccionar a los cambios en la volatilidad más

Como fuera señalado en el capítulo cinco, existen una serie de ventajas asociadas a trabajar los cambios de estado en el proceso con cambios de régimen de Markov, en relación a dividir la muestra en subperíodos. Adicionalmente, en un marco de análisis multivariado, los modelos MRS pueden proporcionar resultados interesantes debido a que brindan la posibilidad de que la respuesta del tipo de cambio a otras variables sea no lineal, es decir existe la posibilidad de impactos asimétricos. Justamente, para el caso de análisis de la relación entre las intervenciones y el tipo de cambio, permitir esta posibilidad es muy importante porque puede llegar a cuestionar la creencia de que las intervenciones en el mercado cambiario siempre producen una mayor volatilidad. Este tipo de conclusiones pueden fundamentar las intervenciones de la autoridad monetaria, al señalar que serían efectivas bajo ciertos contextos. En este sentido, sería interesante extender el modelo MRS-GARCH que se estimó aquí para considerar cómo median en el tipo de cambio las intervenciones en el mercado, como realizan Macedo et. al. (2003). Para el caso concreto del mercado cambiario uruguayo esto podría verse como una extensión al modelo GARCH con explicativas de Aboal et. al. (2006) que incorpora modelos de cambios de régimen de Markov.

Este tipo de extensiones puede proporcionar resultados sumamente interesantes. Por ejemplo, la investigación de Beine et. al. (2003), con un modelo MRS que toma como variable explicativa a las intervenciones, encuentra que éstas pueden ser estabilizadoras cuando el tipo de cambio está en un régimen de alta volatilidad, mientras que pueden ser desestabilizadoras si el mercado estaba en un régimen de baja volatilidad. El autor destaca que este tipo de hallazgos aportan evidencia a favor del canal de la señal, en tanto la ambigüedad de la señal, dada por las intervenciones, estaría determinada por el estado del mercado en el que se producen. Esta es la respuesta no lineal a la que se hizo referencia anteriormente, y que parece sumamente interesante de investigar, ya que sustentan la hipótesis de que las intervenciones pueden estar siendo efectivas, explicando así la debilidad del régimen de alta volatilidad que prima desde comienzos de 2007.

Si bien el principal efecto de las intervenciones sería que debilitan el régimen de alta volatilidad, también se puede observar en los gráficos que se presentan a continuación, que las intervenciones que ocurrieron durante este período pueden estar contribuyendo a que el mercado se salga del régimen de alta volatilidad, aunque tiende a ingresar de nuevo en él, quizás por los impactos locales de la crisis financiera internacional, como fuera señalado. En el panel superior se muestran las intervenciones del BCU como una variable *dummy* donde 1 corresponde a intervenir y 0 a no intervenir, y en el panel inferior se muestran las probabilidades suavizadas del régimen de alta volatilidad donde 1 corresponde a que se está en este régimen y 0 a que se está en uno de baja volatilidad.

que a la volatilidad en sí misma, que es esperable dentro de esquemas de flotación cambiaria, por lo que en su estimación de función de reacción, consideran también la curtosis.

Gráfico 9.5.: Intervenciones y Volatilidad del Tipo de Cambio



Fuente: CINVE. Elaborados en base a los datos publicados por el BCU.

En línea con esta hipótesis, los resultados alcanzados en esta investigación sobre la menor duración promedio del régimen de alta volatilidad y el hecho de que el desvío de esta duración es pequeño, podrían interpretarse como el resultado de una política de intervenciones que fue relativamente efectiva en reducir la volatilidad del tipo de cambio. En otras palabras, una manifestación de la efectividad estaría dada por el desvío pequeño de una duración breve en el régimen de alta volatilidad, indicando que la situación de elevada volatilidad no se suele apartar demasiado de su corta duración esperada. En este sentido, podría ser válida la conclusión de la investigación de Beine et. al. (2003), para el mercado cambiario uruguayo, acerca de que las intervenciones permiten mitigar la volatilidad cambiaria cuando ésta se encuentra en un régimen elevado a partir del canal de la señal.

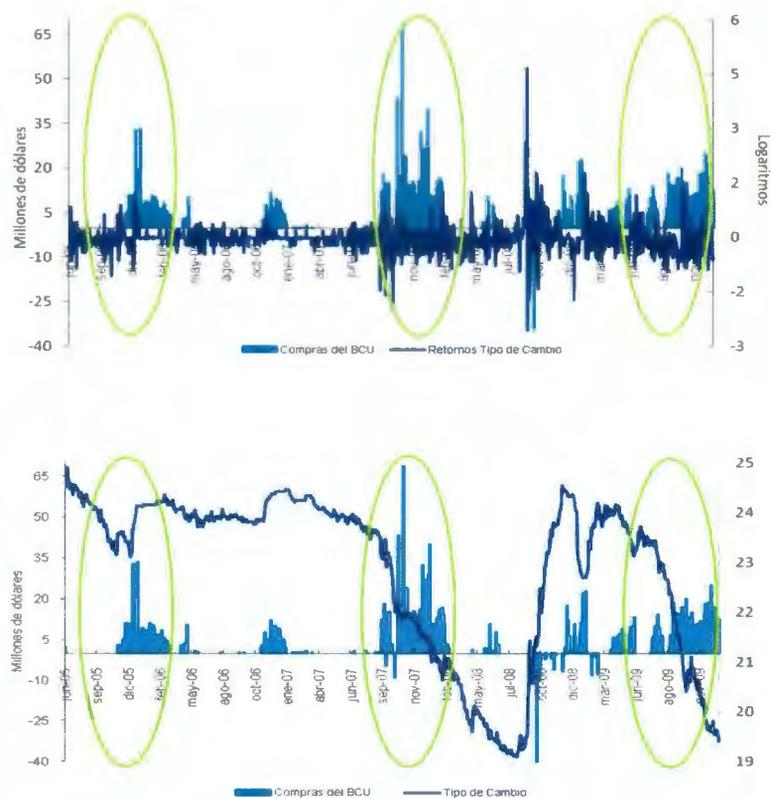
Por otra parte, es necesario tener en cuenta que en el último trimestre de 2008, cuando la volatilidad realizada alcanza los valores más altos de todo el período, se abandona temporarily el régimen de tasa de interés y se declara explícitamente que constituye un objetivo de la autoridad monetaria disminuir la volatilidad del tipo de cambio⁶⁹. En este sentido, la afirmación realizada anteriormente sobre la efectividad de las intervenciones podría significar una política relativamente exitosa, en el caso de que las intervenciones hayan perseguido este objetivo. Lo relativo de la afirmación obedece a que de todos modos, el mercado se encuentra en un régimen de alta volatilidad a partir de 2007. En este sentido, podría pensarse que las intervenciones de la autoridad monetaria fueron exitosas dadas las restricciones con las que opera, en un escenario de crisis financiera internacional

⁶⁹ Para más referencias, puede verse el Comunicado del Comité de Política Monetaria (COPOM) con fecha 15 de octubre de 2008.

que estaría afectando al mercado. De todos modos, es importante mantener la perspectiva de que este éxito relativo es hipotético, en tanto también existe evidencia empírica que encuentra que las intervenciones son desestabilizadoras. De hecho, en el Gráfico 9.5 las intervenciones coinciden también con realizaciones de alta volatilidad, aunque éstas podrían obedecer a otros factores, como la crisis financiera internacional reciente, o a otros efectos de la política monetaria. Por este motivo, lo que aquí se pretende aportar es meramente una reflexión sobre el rol de las intervenciones en el período de alta volatilidad del mercado cambiario, que pueda servir para investigaciones futuras.

Por último, merece una reflexión la cuestión de si las intervenciones potencialmente efectivas fueron el resultado de una política que explícitamente persiguió el objetivo de disminuir la volatilidad, o si la intervención se produjo con otros objetivos y como efecto secundario disminuyó la volatilidad. Para responder formalmente a este tipo de interrogantes es necesario estimar funciones de reacción de la autoridad monetaria, que buscan determinar a qué obedecen sus acciones. No obstante, de la inspección visual del Gráfico 9.6 que se presenta a continuación con la evolución del tipo de cambio, su volatilidad, y las compras de dólares del BCU, sugiere algunas hipótesis al respecto, que podrán ser objeto de estudio de investigaciones futuras.

Gráfico 9.6.: Intervenciones, Tipo de Cambio y Volatilidad



Fuente: CINVE. Elaborados en base a los datos publicados por el BCU.

En el panel inferior se muestra que las intervenciones más grandes se suceden en momentos de apreciación del tipo de cambio, que a partir de 2007 son momentos también de alta volatilidad. En este sentido, podría ser interesante estimar la función de reacción del BCU para conocer si las acciones responden a la volatilidad, a la tendencia del tipo de cambio, o a ambas, como se realiza en Aboal et. al. (2006) para el período 2003-2005. De las observaciones planteadas aquí surgen tres hipótesis posibles sobre las acciones de intervención de la autoridad monetaria. En un extremo, una posibilidad es que las intervenciones hayan obedecido a otro tipo de factores diferentes a la volatilidad del tipo de cambio, a pesar de ser un objetivo declarado, entre los que se puede encontrar la tendencia en la evolución del tipo de cambio y otras diversas motivaciones, ya que éstas pueden ser múltiples⁷⁰. Otra posibilidad es que la autoridad deliberadamente haya perseguido el objetivo de disminuir la volatilidad a través de las intervenciones del mercado, lo que resulta sensato dado que explícitamente declaró que la volatilidad cambiaria constituía una de sus preocupaciones, y que adicionalmente no haya tenido una meta sobre el nivel del tipo de cambio.

Por otra parte, la última posibilidad es considerar una hipótesis de objetivos mixtos sobre el tipo de cambio, donde la autoridad tendría una preocupación tanto por la volatilidad como por la tendencia. De hecho, la inspección visual de los dos paneles del Gráfico 9.6 sugiere que la autoridad monetaria estaría eligiendo intervenir, dentro de los momentos de alta volatilidad, en aquellos que adicionalmente son momentos de apreciación de la moneda. Por último, sea cual sea el objetivo que la motivara, los resultados de las estimaciones que aquí se alcanzan sugieren que quizás las intervenciones estén siendo relativamente efectivas para estabilizar al mercado, dentro de las restricciones con las que opera la política monetaria. De todos modos, todas estas observaciones son meramente reflexiones, y para alcanzar conclusiones sobre estos problemas, es necesario realizar un trabajo de investigación.

9.3. Aportes de la Investigación

Esta investigación realiza aportes tanto teóricos, como empíricos y aplicados. Desde el punto de vista teórico, este trabajo resume las pocas explicaciones que existen en la literatura económica para el comportamiento GARCH y MRS-(G)ARCH (capítulo 3), que ha probado ser útil para describir la dinámica de varios mercados financieros, y en particular podría emplearse para el mercado cambiario uruguayo. En este sentido, la apuesta de este trabajo de investigación fue a proporcionar algunas explicaciones teóricas para un

⁷⁰ De hecho, las economías emergentes pueden sufrir de “miedo a flotar”, como fuera señalado en el capítulo dos de esta investigación. Desde esta perspectiva, puede ser interesante considerar algunas investigaciones que utilizan modelos MRS para analizar la dinámica del tipo de cambio en sistemas de bandas cambiarias, como el trabajo de Engel y Hakkio (1994) que encuentra que la posición en la banda incide en la variable de régimen, o el estudio de Bekaert y Gray (1998) con saltos en modelos GARCH.

comportamiento empíricamente documentado, que no suelen brindarse en la literatura aplicada. Como fuera mencionado en el capítulo, si bien es conocido que los modelos que aquí se estiman no pueden explicarse en el marco de pensamiento ortodoxo en finanzas, aún no hay muchos avances acerca de cuáles serían los elementos de análisis que sí pueden explicarlos.

Al respecto es pertinente la observación de Andreou et. al. (2001) en relación a los modelos del tipo GARCH de que “Las formas funcionales particulares han sido justificadas en términos de la aparente analogía con los correspondientes modelos del tipo ARMA para la media condicional. Si bien son plausibles, estas formas funcionales son *ad hoc*, y su única justificación subyace en su validez empírica. La adecuación estadística es una justificación necesaria, sin embargo la justificación teórica para la forma funcional de la varianza condicional es aún una pregunta abierta.” (Andreou et. al. 2001, p. 210-211)⁷¹. Por otra parte, el principal aporte de este capítulo fue situar en el pensamiento económico estas explicaciones alternativas al enfoque ortodoxo, elaborando adicionalmente una relación entre los supuestos estocásticos de las estructuras subyacentes en los mercados financieros y los enfoques de pensamiento en economía. Esta tarea se realizó a partir de una recopilación de trabajos que buscan establecer esta conexión, debido a que no es inmediata ya que, como señala Mirowski (2005), la historia de los procesos estocásticos en la economía moderna aún no está escrita.

Desde la perspectiva empírica, el principal aporte de esta investigación es la estimación de un modelo MRS-GARCH para describir la dinámica del tipo de cambio del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano en un período de flotación cambiaria. En este sentido, una de las contribuciones más importantes de este trabajo es la presentación estadística de los modelos MRS-GARCH (capítulo 7), que no se encuentra disponible en manuales de referencia y puede utilizarse para otros activos financieros, así como la estimación para el tipo de cambio del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano, que no tiene ningún antecedente (capítulo 8), ni se encuentra disponible para realizarse en los paquetes estadísticos tradicionales⁷².

Al respecto del primero de estos dos aportes, una contribución importante del trabajo es la presentación de los modelos estadísticos que se utilizan, a partir de los conceptos que subyacen en ellos (capítulo 5), lo que facilita la aproximación a la estrategia empírica, y no se suele presentar en las investigaciones aplicadas, por lo que se construyó a partir de la

⁷¹ Sobre la falta de modelos teóricos, incluso se ha afirmado que “...ellos no han evolucionado lo suficiente para guiar la especificación de un modelo empírico sobre los datos diarios del mercado accionario...” (Brock y De Lima, 1995, p.14 citado del trabajo de Gallant, Rossi y Tauchen “*Stock Prices and Volumes*”, 1992, p.202).

⁷² Estos modelos no están desarrollados en Hamilton (19994), o en Tsay (2005), ni en otros manuales que se consultaron al comienzo del trabajo de investigación, como el de Brockwell y Davis (*Introduction to Time Series and Forecasting*), el de Wooldridge (Introducción a la Econometría), o el de Greene (Análisis Econométrico).

recopilación de algunas ideas clave de los modelos estadísticos, señaladas en este tipo de trabajos. Esta aproximación conceptual para el desarrollo estadístico formal (capítulo 7) es importante sobre todo considerando las escasas explicaciones y justificaciones teóricas que se han brindado para utilizar estos modelos estadísticos. Complementariamente, buscando fortalecer la presentación estadística del problema de análisis de volatilidad se señalaron algunas extensiones y se desarrollaron posibles líneas de avance en su análisis estadístico (capítulo 8), con el objetivo de aportar elementos para investigaciones futuras que busquen concentrarse en los aspectos estadísticos de estos modelos.

En relación al segundo de los aportes, establecido en términos de la estimación del modelo MRS-GARCH sin antecedentes a nivel nacionales, es importante destacar que el modelo aún tiene escasas aplicaciones a nivel internacional. No obstante, existe una gran cantidad de investigaciones empíricas que utilizan modelos GARCH y modelos MRS para los tipos de cambio, así como diversos estudios que señalan la relevancia de reconocer cambios de régimen o de estado en su volatilidad, lo que proporciona una amplia literatura de antecedentes empíricos que sustentan los modelos MRS-GARCH. En este sentido, otro de los aportes de esta investigación como documento de trabajo, es el cuadro de resumen bibliográfico de las investigaciones aplicadas (capítulo 6) desarrollado en el Anexo A, donde se muestran los distintos usos de estas técnicas, los resultados de cada estudio, el modelo estadístico que utilizan, y algunos comentarios sobre la metodología.

La revisión bibliográfica efectuada abarca 47 investigaciones sobre tipo de cambio nominal y 42 paridades. El cuadro permite una rápida inspección visual para los investigadores que estén interesados en realizar trabajos utilizando estas técnicas y sugiere varios temas de investigación, tanto en las líneas que fueran señaladas en el apartado anterior, como en otras posibles. En este sentido, es importante destacar que existen escasos antecedentes de investigación de la volatilidad del tipo de cambio del Peso Uruguayo con el Dólar Norteamericano, que a su vez es un tema sumamente relevante para una economía pequeña, abierta y dolarizada como la uruguaya (capítulo 2), y por este motivo, el análisis realizado aquí es una contribución importante. En términos generales, como señala Ruiz (2007), existen pocos estudios de las propiedades que tienen los datos de alta frecuencia de tipo de cambio de las economías latinoamericanas.

Por último, esta investigación aporta elementos de análisis a problemas económicos concretos, brindando reflexiones sobre los posibles impactos de la crisis financiera internacional reciente y el rol de la política monetaria en flotación cambiaria (capítulo 9). En este sentido, los resultados de estimación del modelo MRS-GARCH sobre el momento en el que el mercado se introduce en un régimen de alta volatilidad, sugiere que puede ser interesante una investigación más profunda sobre los posibles mecanismos de contagio

financiero y sustenta el estudio de la potencial relación del mercado cambiario uruguayo con otros mercados. Adicionalmente, la caracterización que resultó de los regímenes sustenta la hipótesis de que las intervenciones en el mercado cambiario de la autoridad monetaria pueden estar resultando efectivas para disminuir la volatilidad. En este sentido, la investigación aporta soporte empírico y sustenta la relevancia de dos hipótesis que podrán ser objeto de investigaciones futuras.

Bibliografía

- [1] Aboal, D., Fernández, D., Peyrous, N. (2005). "Política Cambiaria Endógena: Una Aplicación de Modelos de Cambio de Régimen de Markov". *Jornadas Anuales del Banco Central del Uruguay*. URL: <http://www.bcu.gub.uy/autoriza/peiees/jor/2005/iees03j3060805.pdf>
- [2] Aboal, D., Lanzilotta, B., Perera, M. (2006). "¿Flotación de jure y de facto?: La Política Monetaria-Cambiaria en el Período Pos Crisis en Uruguay". *Jornadas Anuales del Banco Central del Uruguay*. URL: <http://www.cinve.org.uy/aboal/working%20papers/PMPC.pdf>.
- [3] Aguliar, J., Nydahl, S. (1998). "Central Bank Intervention and Exchange Rates: The Case of Sweden." Sveriges Riksbank. Working Paper Series, No. 54. URL: <http://www.riksbank.se/upload/1024/98nr54.pdf>
- [4] Andreou, E., Pittis, N., Spanos, A. (2001). "On Modelling Speculative Prices: The Empirical Literature". *Journal of Economic Surveys*. Vol. 15, No. 2, pp. 187-220.
- [5] Anufriev, M., Branch, W. (2009). "Introduction to Special Issue on Complexity in Economics and Finance". *Journal of Economic Dynamics and Control*. Vol. 33, No. 5, pp. 1019-1022.
- [6] Arce, L. (2001). "Incertidumbre y Dolarización en Bolivia". *Revista Análisis del Banco Central de Bolivia*. Vol. 4, No. 2, pp. 31-56. URL: <http://www.bcb.gob.bo/webdocs/20publicaciones/RevistaAnalisis/2001/dic/Capitulo2finalfinal.pdf>
- [7] Ardia, D., Hoogerherdie, L. (2010). "Efficient Bayesian estimation and combination of GARCH-type models". Capítulo preparado para el libro *Rethinking Risk Measurement and Reporting - Volume II: Examples and Applications from Finance*. Risk Books, London. Bocker, K (Ed.). URL: <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/22919/1/bayesianGARCH.pdf>
- [8] Arthur, W. (1992). "On Learning and Adaptation in the Economy". *Santa Fe Institute*. Working Paper, No. 92-07-038. URL: <http://www.santafe.edu/media/workingpapers/92-07-038.pdf>
- [9] Arthur, W. (1994). "Inductive Reasoning and Bounded Rationality". *The American Economic Review*. Vol. 84, No. 2, pp. 406-411.
- [10] Arthur, W. (1995). "Complexity in Economic and Financial Markets". *Complexity*. Vol. 1, No. 1, pp. 20-25.

- [11] Arthur, W., Durlauf, S., Lane, D. (1997). "Introduction: Process and Emergence in the Economy". Introduction to the book *The Economy as an Evolving Complex System II*. Edited by Arthur, Durlauf, and Lane, Addison Wesley, Reading, Mass, 1997. URL: http://tuvalu.santafe.edu/~wbarthur/Papers/Pdf_files/ADL_Intro.pdf
- [12] Arthur, W., Holland, J., LeBaron, B., Palmer, R., Tayler, P. (1996). "Asset Pricing Under Endogenous Expectations in an Artificial Stock Market". *Santa Fe Institute*. Working Paper, No. 96-12-093. URL: <http://www.santafe.edu/media/workingpapers/96-12-093.pdf>.
- [13] Bazdresch, S., Werner, A. (2005). "Regime switching models for the Mexican peso". *Journal of International Economics*. Vol. 65, pp.185-201.
- [14] Bekaert, G., Gray, S. (1998). "Target zones and exchange rates: An empirical investigation". *Journal of International Economics*. Vol. 45, pp. 1-35.
- [15] Beine, M., Laurent, S., Lecourt, C. (2003). "Official central bank interventions and exchange rate volatility: Evidence from a regime-switching analysis". *European Economic Review*. Vol. 47, No.5, pp. 891-911.
- [16] Bollen, N., Raisel, E. (2003). "The performance of alternative valuation models in the OTC currency options market". *Journal of International Money and Finance*. Vol. 22, pp. 33-64.
- [17] Bollerslev, T. (1986). "Generalized Autorregressive Conditional Heteroskedasticity". *Journal of Econometrics*. Vol. 31, pp. 307-327.
- [18] Bollerslev, T., Chou, R., Kroner, K. (1992). "ARCH modeling in finance: a review of the theory and empirical evidence". *Journal of Econometrics*. Vol. 52, pp. 5-59.
- [19] Bollerslev, T., Ghysels, E. (1996). "Periodic Autorregressive Conditional Heteroskedasticity". *Journal of Business & Economic Statistics*. Vol. 14, No. 2, pp. 139-151.
- [20] Bonomo, M., Terra, C. (1999). "The Political Economy of Exchange Rate Policy in Brazil". *Inter-American Development Bank*. Working Paper No. 103. URL: <http://ssrn.com/abstract=1814647>
- [21] Bonser-Neal, C. (1996). "Does Central Bank Intervention Stabilize Foreign Exchange Rates?". *Federal Reserve Bank of Kansas City*. Economic Review, First Quarter 1996, pp. 43-57.

- [22] Brock, W., DeLima, P. (1995). "Nonlinear Time Series, Complexity Theory and Finance". *Santa Fe Institute*. Working Paper, No. 95-09-077. URL: <http://www.santafe.edu/media/workingpapers/95-09-077.pdf>
- [23] Brock, W., LeBaron, B. (1995). "A Dynamic Structural Model for Stock Return Volatility and Trading Volume". *National Bureau of Economic Research*. Working Paper, No. 4988. URL: <http://www.nber.org/papers/w4988>
- [24] Cai, J. (1994). "A Markov Model of Switching-Regime ARCH". *Journal of Business & Economic Statistics*. Vol. 12, No. 3, pp.309-316
- [25] Calvo, C., Reinhart, G. (2002). "Fear of Floating". *The Quarterly Journal of Economics*. Vol. 117, No. 2, pp. 379-408.
- [26] Caskurlu, T., Pinar, M., Salih, A., Salman, F. (2008). "Can Central Bank Interventions Affect the Exchange Rate Volatility? Multivariate GARCH Approach Using Constrained Nonlinear Programming". *The Central Bank of the Republic of Turkey*. Research and Monetary Policy Department. Working Paper, No. 08/06. URL: http://www.tcmb.gov.tr/research/discus/WP_0806ENG.pdf
- [27] Cayazzo, J., García, A., Gutiérrez, E., Heysen, S. (2006). "Toward an Effective Supervision of Partially Dollarized Banking Systems". *International Monetary Fund*. Working Paper, No. 06/32. URL: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2006/wp0632.pdf>
- [28] Chaudhuri, K., Klaassen, F. (2001). "Have East Asian Stock Markets Calmed Down? Evidence from a Regime-Switching Model". *University of Amsterdam*, Mimeo. URL: http://www1.fee.uva.nl/pp/klaassen/index_files/g22.pdf
- [29] Cheung, Y., Elarndsson, U. (2005). "Exchange Rates and Markov Switching Dynamics". *Journal of Business & Economic Statistics*. Vol. 23, No. 3, pp. 314-320.
- [30] Colander, D., Holt, R., Rosser, J. (2004). "The Changing Face of Mainstream Economics". *Review of Political Economy*. Vol. 16, No. 4, pp. 485-499.
- [31] Courdet, V., Couharde, C., Mignon, V. (2010). "Exchange rate flexibility across financial crises". *Centre d'études prospective et d'informations internationales*. Document de Travail, No. 2010-08. URL : <http://www.cepii.fr/anglaisgraph/workpap/pdf/2010/wp2010-08.pdf>

- [32] Cornell, W., Dietrich, K. (1978). "The Efficiency of the Market for Foreign Exchange Under Floating Exchange Rates". *The Review of Economics and Statistics*. Vol. 60, No. 1, pp. 111-120.
- [33] De Liso, N., Filatrella, G. (2002). "Econophysics: The emergence of a new field?". *Economia Politica*. Vol. XIX, pp. 297-334.
- [34] Dewachter, H. (2001). "Can Markov Switching Models Replicate Chartists Profits in the Foreign Exchange Market?" . *Journal of International Money and Finance*. Vol. 20, pp. 25-41.
- [35] Diebold, F., López, J. (1995). "Modeling volatility dynamics". *Federal Reserve Bank of New York*. Research Paper, No. 9522. URL: http://www.newyorkfed.org/research/staff_reports/research_papers/9522.pdf
- [36] Diebold, F., Nerlove, M. (1989). "The Dynamics of Exchange Rate Volatility: A Multivariate Latent Factor ARCH Model". *Journal of Applied Econometrics*. Vol. 4, pp. 1-21.
- [37] Domac, I., Mendoza, A. (2004). "Is There Room for Foreign Exchange Interventions under an Inflation Targeting Framework? Evidence from Mexico and Turkey". *World Bank*. Policy Research. Working Paper, No. 3288. URL: <http://ssrn.com/abstract=610332>
- [38] Dominguez, K. (1998). "Central bank Intervention and exchange rate volatility". *Journal of International Money and Finance*. Vol. 17, pp. 161-190.
- [39] Engel, C. (1994). "Can the Markov switching model forecast exchange rates?". *Journal of International Economics*. Vol. 36, pp. 151-165.
- [40] Engel, C., Hakkio, C. (1994). "The Distribution of Exchange Rates in the EMS". *National Bureau of Economic Research*. Working Paper, No. 4834. URL: <http://www.nber.org/papers/w4834>
- [41] Engel, C., Hamilton, J. (1990). "Long Swings in the Dollar: Are They in the Data and Do Markets Know it?". *The American Economic Review*. Vol. 80, No. 4., pp. 689-713.
- [42] Engle, R. (1982). "Autorregresive Conditional Heteroskedasticity with estimates of the variance of U.K. inflation". *Econometrica*. Vol. 50, No. 4, pp. 987-1008.
- [43] Fama, E. (1965). "Random Walks in Stock-Market Prices". *Financial Analysts Journal*. Vol. 21, pp. 55-59.

- [44] Fama, E. (1970). "Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work". *Journal of Finance*. Vol. 25, No. 2, pp. 383-417.
- [45] Fernández, V. (2003). "How Sensitive is Volatility to Exchange Rate Regimes". *Universidad de Chile*. Centro de Economía Aplicada, Documento de Trabajo, No. 135. URL: <http://www.dii.uchile.cl/~ceges/publicaciones/ceges37.pdf>
- [46] Foster, J. (2005). "From Simplistic to Complex Systems in Economics". *Cambridge Journal of Economics*. Vol. 29, No. 6, pp. 873-892.
- [47] Frenkel, J. (1981). "Flexible Exchange Rates, Prices, and the Role of "News": Lessons from the 1970s". *The Journal of Political Economy*. Vol. 89, No. 4, pp. 665-705.
- [48] Gallego, S., Molina, L., Serena, J. (2010). "La crisis financiera global en América Latina y Europa del Este. Un análisis comparado". *Banco de España*. Boletín Económico Mayo 2010, pp. 78-92.
- [49] Gray, S. (1996). "Modeling the Conditional Distribution of Interest Rates as Regime-Switching Process". *Journal of Financial Economics*. Vol. 42, pp.27-62.
- [50] Griebeler, M. (2010). "Models for Forecasting Exchange Rate Volatility: A Comparison between Developed and Emerging Countries". *Jornadas Anuales del Banco Central del Uruguay*. URL: <http://www3.bcu.gub.uy/autoriza/peiees/jor/2010/iees03j3251010.pdf>
- [51] Grydaki, M., Fountas, S. (2010). "What explains nominal exchange rate volatility? Evidence from the Latin American Countries". *University of Macedonia*. Department of Economics, Discussion Paper, No. 10/2010. URL: <http://econlab.uom.gr/~econwp/pdf/dp102010.pdf>
- [52] Haas, M., Mittnik, S., Paoella, M. (2004). "A New Approach to Markov-Switching GARCH Models". *Journal of Financial Econometrics*. Vol. 2, No. 4, pp. 493-530.
- [53] Hamilton, J. (1989). "A New Approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and the Business Cycle". *Econometrica*. Vol. 52, No. 2, pp. 357-384.
- [54] Hamilton, J. (1990). "Analysis of Time Series Subject to Changes in Regime". *Journal of Econometrics*. Vol. 45, pp. 39-70.
- [55] Hamilton, J. (1994). "Time Series Analysis". *Princeton University Press*. Princeton, New Jersey.

- [56] Hamilton, J. (2005). "Regime Switching Models". Elaborado para: *Palgrave Dictionary of Economics*. Durlauf, S., Blume, L. URL <http://dss.ucsd.edu/~jhamilto/palgrav1.pdf>
- [57] Hamilton, J., Susmel, R. (1994). "Autorregresive conditional heteroskedasticity and changes in regime". *Journal of Econometrics*. Vol. 64, pp. 307-333.
- [58] Hillebrand, E., Schnabl, G. (2006). "A Structural Break in the Effects of Japanese Foreign Exchange Intervention on Yen/Dollar Exchange Rate Volatility". *European Central Bank*. Working Paper, No. 650. URL: <http://www.ecb.int/pub/pdf/scpwps/ecbwp650.pdf>
- [59] Ho, K., Tsui, A. (2008). "Volatility Dynamics in Foreign Exchange Rates: Further Evidence from the Malaysian Ringgit and Singapore Dollar". *Singapore Center for Applied and Policy Economics*, Department of Economics. Working Paper, No. 2008/05. URL: <http://www.fas.nus.edu.sg/ecs/pub/wp-scape/0805.pdf>
- [60] Hong, K. (1992). "Impact of EMS Membership on its Nominal Exchange Rate Volatility: An Approach with Univariate and Multivariate GARCH Models". *Seoul Journal of Economics*. Vol. 5, No. 1, pp. 51-74.
- [61] Hsieh, D. (1989a). "Testing for Nonlinear Dependence in Daily Foreign Exchange Rates". *The Journal of Business*. Vol. 62, No. 3, pp. 339-368.
- [62] Hsieh (1898b). "Modelling Heteroscedasticity in Daily Foreign-Exchange Rates". *Journal of Business & Economic Statistics*. Vol. 7, No. 3, pp. 307-317.
- [63] Ismail, M., Isa, Z. (2006). "Modelling Exchange Rates Using Regime Switching Models". *Sains Malaysiana*. Vol. 35, No. 2, pp. 55-62.
- [64] Johnson, C. (2000). "Un modelo de intervención cambiaria". *Banco Central de Chile*. Documento de Trabajo, No. 90. URL: <http://www.bcentral.cl/eng/studies/working-papers/pdf/dtbc90.pdf>
- [65] Jovanovic, F. (2008). "The Construction of the Canonical History of Financial Economics". *History of Political Economy*. Vol. 40, No. 2, pp. 213-242.
- [66] Jovanovic, F. (2010). "Efficient markets theory: historical perspectives". *Encyclopedia of Quantitative Finance*. Rama Cont (Eds): John Wiley & Sons.

- [67] Kamil, H. (2008). "Is Central Bank Intervention Effective Under Inflation Targeting Regimes? The Case of Colombia". *International Monetary Fund*. Working Paper, No. 08/88. URL: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2008/wp0888.pdf>
- [68] Kim, S., Kortian, T., Sheen, J. (2000). "Central bank intervention and exchange rate volatility. Australian evidence". *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*. Vol., 10, No. 3-4, pp. 381-340.
- [69] Kim, C., Nelson, C. (1999). "State Space Models with Regime Switching. Classical and Gibbs sampling Approaches with Applications". *The MIT Press*. Cambridge, Massachusetts.
- [70] Klaassen, F. (2002). "Improving GARCH Volatility Forecasts". *Empirical Economics*. Vol. 27, pp.363-394.
- [71] Lamoreux, C., Lastrapes, D. (1990). "Persistence in Variance, Structural Change, and the GARCH Model". *Journal of Business & Economic Statistics*. Vol. 8, No. 2, pp.225-234.
- [72] Lastrapes, W. (1989). "Exchange Rate Volatility and U.S. Monetary Policy: An ARCH Application". *Journal of Money, Credit, and Banking*. Vol. 21, No. 1, pp. 66-77.
- [73] LeRoy, S. (1989). "Efficient Capital Markets and Martingales". *Journal of Economic Literature*. Vol. 27, No. 4, pp. 1583-1621.
- [74] Lucas, R. (1976). "Econometric policy evaluation: a critique". *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*. Vol. 1, pp. 19-46.
- [75] Macedo, J., Nunes, L., Brites, P. (2003). "Central Bank Intervention Under Target Zones: The Portuguese Escudo in the ERM". Nova School of Business and Economics. Working Paper, No.435. URL: <http://fesrvsd.fe.unl.pt/WPFEUNL/WP2003/wp435.pdf>
- [76] Mandelbrot, B. (1963). "The Variation of Certain Speculative Prices". *The Journal of Business*. Vol. 36, No. 4, pp. 394-419.
- [77] Mandelbrot, B., Hudson, R. (2009). "The (mis) Behavior of Markets. A Fractal View of Financial Turbulence". *Basic Books*, New York: 2004 (*paperback*, 2006, *added preface*, 2009).
- [78] Mantenga, R., Stanley, H. (2000). "An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance". *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom.

- [79] Marcucci, J. (2005). "Forecasting stock market volatility with regime switching GARCH models". *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*. Vol. 9, No. 4, Article No. 6.
- [80] Masson, P. (2001). "Exchange rate regime transitions". *Journal of Development Economics*. Vol. 64, pp. 571-586.
- [81] Maya, C., Gómez, K. (2008). "What exactly is 'bad news' in foreign exchange markets? Evidence from Latin American Markets". *Cuadernos de Economía*. Vol. 45, pp.161-183.
- [82] McCauley, J. (2009). "Dynamics of Markets. The New Financial Economics". *Cambridge University Press*, New York.
- [83] Meese, R., Rogoff, K. (1983). "Empirical Exchange Rate Models of the Seventies: Do they fit out of sample?". *Journal of International Economics*. Vol. 14, pp.3-24.
- [84] Mikosch, T. (1999). "Elementary Stochastic Calculus: With Finance in View". *World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.*
- [85] Mirowski, P. (1992). "Do economists suffer from physics envy?". *Finnish Economic Papers*, Vol. 5, No. 1, pp.61-68.
- [86] Mirowski, P. (2002). "Machine Dreams: Economics Become a Cyborg Science". *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom.
- [87] Mirowski, P. (2005). "Twelve Theses concerning the History of Postwar Neoclassical Price Theory". *History of Political Economy*. Vol. 38; pp. 343-379.
- [88] Mirowski, P. (2007). "Markets come to bits: Evolution, computation and Markomata in economic science". *Journal of Economic Behavior & Organization*. Vol. 63, pp. 209-242.
- [89] Morandé, F., Tapia, M. (2002). "Exchange Rate Policy in Chile: From the Band to Floating and Beyond". *Banco Central de Chile*. Documento de Trabajo, No. 152. URL: <http://www.bcentral.cl/eng/studies/working-papers/pdf/dtbc152.pdf>
- [90] Parikakis, G., Syriopoulos, T. (2008). "Forecasting Volatility movements using Markov Switching Regimes". European Financial Management Association, Annual Conference. URL: <http://www.efmaefm.org/OEFMAMEETINGS/EFMA%20ANNUAL%20MEETINGS/2008-athens/Parikakis.pdf>

- [91] Pena, A. (2003). "Caracterización empírica del ciclo económico en Uruguay". Trabajo de Investigación Monográfica, Maestría de Economía Internacional. Departamento de Economía, Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de la República.
- [92] Pena, A. (2009). "El riesgo cambiario crediticio medido a partir de opciones". *Revista de Economía del Banco Central del Uruguay*, Vol. 16, No. 2, pp. 219-256.
- [93] Perron, P. (1989). "The great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis". *Econometrica*. Vol. 57, No. 6, pp.1361-1401.
- [94] Piger, J. (2007). "Econometrics: Models of Regime Changes". Elaborado para *Encyclopedia of Complexity and System Science*. URL: <http://darkwing.uoregon.edu/~jpiger/Models%20of%20Regime%20Changes.pdf>
- [95] Piplack, J. (2007). "Estimating and forecasting asset volatility and its volatility : a Markov-switching range model". University of Maastricht, Department of Economics, Working Paper. URL: http://www.personeel.unimaas.nl/b.candelon/congress2007/Paper_092007_Weekly_Data.pdf
- [96] Pontines, V., Siregar, R. (2010). "Exchange Rate Asymmetry and Flexible Exchange Rates under Inflation Targeting Regimes: Evidence from Four East and Southeast Asian Countries". *Munich Personal RePEc Archive*. Working Paper, No. 25260. URL: http://mpa.ub.uni-muenchen.de/25260/1/MPRA_paper_25260.pdf
- [97] Prokhorov, A. (2001). "Nonlinear Dynamics and Chaos Theory in Economics: a Historical Perspective". URL: <https://www.msu.edu/~prohorov/paper.pdf>.
- [98] Rogers, J., Siklos, P. (2003). "Foreign Exchange Market Intervention in Two Small Open Economies: The Canadian and Australian Experience". *Journal of International Money and Finance*. Vol. 22, No. 3, pp. 393-416.
- [99] Rosser, J. (1999). "On the Complexities of Complex Economic Dynamics". *Journal of Economic Perspectives*. Vol. 13, No. 4, pp. 169-192.
- [100] Rosser, J. (2006). "Econophysics". *The New Palgrave Dictionary of Economics*, 2nd Edition. URL: <http://cob.jmu.edu/rosserjb/>.
- [101] Rosser, J. (2007). "Econophysics and Economic Complexity". URL: <http://cob.jmu.edu/rosserjb/>
- [102] Ruiz, I. (2007). "Common Volatility across Latin American Foreign Exchange Markets". *Applied Financial Economics* (Forthcoming). Sam Houston State University.

Department of Economics and International Business, Working Paper, No. 07-02. URL: http://www.shsu.edu/~tcq001/paper_files/wp07-02.pdf

- [103] Samuelson, P. (1965). "Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly". *Industrial Management Review*. Vol. 6, No. 2, pp. 41-49.
- [104] Schinckus, C. (2009). "Economic uncertainty and econophysics". *Physica A*. Vol. 388, No. 20, pp. 4415-4423.
- [105] Schwartz, A. (2000). "The rise and fall of foreign exchange market intervention". *National Bureau of Economic Research*. Working Paper, No. 7751.
- [106] Smith, D. (2006). "Testing for Structural Breaks in GARCH models". *Simon Fraser University*. Working Paper. URL: <http://www.sfu.ca/~drsmith/research/structuralbreakgarch3.pdf>
- [107] Tsay, R. (2005). "Analysis of Financial Time Series". *Wiley Interscience*. New Jersey.
- [108] Valderas, J., Alba, J., Olmedo, E. (2002). "Modelización estocástica en los mercados financieros: Un puente entre lo simple y lo complejo". *Revista de Encuentros Multidisciplinares*. No. 12, pp. 38-47.
- [109] Velásquez, T. (2009). "Chaos Theory and the Science of Fractals, and their Application in Risk Management". *Copenhagen Business School*. Thesis, MSc. URL: http://studenttheses.cbs.dk/bitstream/handle/10417/804/Tania_velasquez.pdf?sequence=3.
- [110] Vigfusson, R. (1997). "Switching between chartists and fundamentalists: a Markov regime-switching approach". *International Journal of Finance & Economics*. Vol. 2, pp. 291-305.
- [111] Yuan, C. (2008). "Forecasting Exchange Rates: The Multi-State Markov-Switching Model with Smoothing". *University of Maryland, Baltimore County*. Department of Economics, Working Paper, No. 09-115. URL: http://www.umbc.edu/economics/workpapers/wp_09_115.pdf
- [112] Zivot, E. (2009). "Practical Issues in the Analysis of Univariate GARCH Models". *Handbook of Financial Time Series*. Andersen, T., Davis, R., Kreiss, J., Mikosch, T. (Eds). Springer Verlag.

Anexo A: Investigaciones Aplicadas⁷³

No.	Autor	Período	Paridad	Objetivo	Modelo	Resultados	Comentarios
83	Meese, R., Rogoff, K. (1983)	Mensual; Diario (Canasta); 1973-1981	USD/GBP; USD/DEM; USD/JPY; CANASTA (11 TC)	1) Comparar el ajuste fuera de la muestra de series temporales y modelos estructurales para el TC.	Frenkel-Bilson; Dornbusch-Frankel; Hooper-Morton; AR; RW	1) Los estructurales se desempeñan mal incluso basando predicciones en valores realizados de las explicativas. 2) Ningún modelo en ningún horizonte alcanza menor RMSE que el RW sin drift. También es mejor considerando subperíodos. Igual no predice bien. Explicación: Cambios; NL	1) Una ec. gral. para los 3 modelos. Explicativas: diferencias EEUU con extranjero en oferta dinero EEUU (log), PIB, r; y diferencia inflación esperada actual y LP; SCC de EEUU y extran. Estimación: VAR. Problema: lograr estimadores consistentes (endogeneidad). 2) Horizonte predicción: 1; 3; 6; 12 meses (datos forward). Medidas: MSE; RSME; MAD. Método estimación: OLS; GLS; IV. Fuera de muestra: 1976. Subperíodos: Pol. Monet; elecciones.
32	Cornell, B., Dietrich, K. (1978)	Diario; 1973-1975	CAD/USD; CHF/USD; NLG/USD; DEM/USD; GBP/USD; JPY/USD	1) Explorar si los mercados cambiarios han sido eficientes (en sentido débil) durante el período de flotación.	Test Autocorr.; Test Reglas Técnicas; Análisis Distrib.	1) La autocorrelación de los retornos es pequeña o cero. Evidencia a favor HME. 2) Reglas técnicas no dan ganancias para GBP; CAD; JPY. En las otras, se rechaza que el riesgo explique exceso de retornos. 3) Evidencia de: leptocurtosis, colas gruesas, agrupamiento volatilidad.	1) Motivación análisis autocorrelación: basado en hipótesis de RW de los retornos, donde éstos no dependen de rezago. Refinan análisis usando forward y regresiones y conclusiones no cambian. 2) Se analizan dos reglas técnicas: Alexander y MA (10,15,25, 50 días). Supuesto: no se gana interés sobre los fondos invertidos. 3) La evidencia sobre la distribución, puede ser consistente con HME (shock por un problema temporario).
47	Frenkel, J. (1981)	Mensual; 1973-1979	USD/GBP; USD/FRF; USD/DEM	1) Caracterizar la flotación, estudiando: relación entre spot y forward (HME), volatilidad, relación tasa de interés con tipo de cambio, y relación inflación con tipo de cambio.	RL	1) La RL de forward contra spot en logs concluye que no rechaza cte distinta de cero y coef distinto de uno (apoya HME). 2) No hay autocorrelación en logs spot (12). 3) Análisis Volatilidad verifica los RW.	1) La RL se hace con OLS y después se hace IV. Igual después verifican que no es necesario y se puede hacer OLS. 2) El análisis de volatilidad que hacen es porque las fluctuaciones deberían ser por "noticias" no anticipadas, y entonces no se puede predecir usando rezagos de precios forward.
36	Diebold, F., Nerlove, M. (1989)	Semana; 1973-1985	CAD/USD; FRF/USD; DEM/USD; ITL/USD; JPY/USD; GBP/USD; CHF/USD	1) Estudiar especificaciones de heterocedasticidad univariadas para estos TC. 2) Encontrar factor común latente a los efectos ARCH de cada moneda.	ARCH (normal)	1) Media parece "RW". Por las dudas ponen AR(3). Encuentran no normalidad debido a leptocurtosis (no asimetría). 2) Univariado: AR y constante no son significativos. Los ARCH sí. Todas tienen periodos comunes de volatilidad (crisis y cambios de política EEUU).	1) Se estima ARCH univariado que da pie al ARCH multivariado de factor latente (modifica covarianzas). Estiman ARCH (12). Los ARCH se estiman con restricción a parámetros decrecientes. 2) Multivariado: Las europeas se relacionan fuerte con factor común (la menor es ITL: menos integrada a EMS). El comportamiento temporal del factor común es similar al del DEM (economía líder). GBP tampoco responde tanto a factor.
41	Engel, C., Hamilton, J. (1990)	Cuatrimestral; 1973-1988	DEM/USD; FRF/USD; GBP/USD	1) Rechazan RW a favor de MRS, que se desempeña mejor incluso fuera de la muestra. Preguntas: "long swings" son una parte sistemática del proceso generador? los mercados lo perciben?	MRS (normal)	1) Los "long swings" son una característica del proceso generador de datos de TC; MRS mejor dentro y fuera muestra. 2) No encuentran que se cumpla la paridad de interés: los forward deberían predecir bien y no pasa. Explicaciones: que no se sostenga paridad por aversión al riesgo debida a las grandes diferencias en volatilidad.	1) "long swings" son desafío a teoría (ej: overshooting; valores de forward pers "erroneos"; peso problem). 2) Estudian modelo "segmented trends", simplificación del MRS. 3) Para ver si mercados perciben "swings" testean paridad interés descubierta. 4) Período insample: 1973-1983. 5) Los resultados de Meese pueden deberse justamente a que no está reconociendo los quiebres estructurales. 6) Hacen test BDS: no hay no linealidades. 7) C&F puede explicar pers.
39	Engel, C. (1994)	Cuatrimestral; Mensual; 1973-1991	JPY/USD; GBP/USD; CAD/USD; ITL/USD; FRF/USD; DEM/USD	1) Estudiar si los MRS sirven para describir TC en flotación. Comparar su ajuste con RW sin tendencia dentro y fuera de la muestra.	MRS (normal)	1) Según criterio MSE el MRS no genera predicciones mejor que RW o precios forward (quizás sea bueno incluir un 3er estado). 2) Los MRS son superiores para predecir la dirección del cambio del TC. 3) Los dos estados difieren en media y varianza. Para muchas monedas, hay evidencia de "long swings".	1) In sample: 1973-1986, out of sample 1986-1991. 2) No hay frecuencia natural: que funcione MRS usando cuatrimestrales no significa que sirva para mensuales. 3) Prob alta de permanencia en un régimen explica los "long swings". Encuentran esto para varias monedas. 4) Prox geográfica menor prob permanencia. 5) JPY y GBP contra todas las demás. 6) Aunque RW es caso particular de MRS no se puede testear formal la nula. 7) Si out of sample cambia el proceso: evidencia de MRS.

⁷³ Los trabajos se presentan en el orden en el que fueron referenciados en el texto del documento. La columna "No." corresponde al número con el que aparece la investigación citada en la bibliografía, de modo de conectar con la información bibliográfica completa. En la columna "Paridad" se escribe la abreviación para la misma, y se proporciona al final de los cuadros un nomenclátor con el nombre de cada una y el país. Algunas abreviaciones importantes utilizadas en las demás son: NL (No Linealidad); OLS (Ordinary Least Squares); GLS (Generalized Least Squares); RL (Regresión Lineal); IV (Implied Volatilities); HME (Hipótesis Mercados Eficientes); RW (Random Walk); TVTP (Time Varying Transition Probabilities); FTP (Fixed Transition Probabilities); EMS (European Monetary System); STR (Smooth Transition Regression); STAR (Smooth Transition AR); SETAR (Self-Exciting Threshold Autorregresive); CBI (Central Bank Intervention); GED (Generalized Error Distribution); IT (Inflation Targeting); RIN (Reservas Internacionales Netas); BM (Base Monetaria).

No.	Autor	Período	Paridad	Objetivo	Modelo	Resultados	Comentarios
52	Haas, M., Mitnik, S., Paoella, M. (2004)	Diario; 1978-2003	JPY/USD; GBP/USD; SGD/USD	1) Estudiar el ajuste de TC con cambios de régimen, con alguna modificación para facilitar la interpretación de los modelos.	MRS GARCH (normal)	1) Los modelos (c) no captan toda la curtosis. Los modelos (b) y (c) ajustan bien (menor para 5GD), y alcanza con 2 regímenes. Para dos TC ajusta mejor (b) sugiriendo importancia de asimetrías. 2) Predicción: (c) normal pobre, el mejor es (a) con 3, por poco en relación a (b).	1) Estiman: (a) MRS GARCH con 2 y 3 regímenes (normal), (b) MN GARCH que es una mezcla de normales, también con 2 y 3 regímenes, (c) GARCH con tstudent y normal. 2) No es claro que existan los momentos más altos (evidencia reciente dice que sí), y por eso mejor usar normal. Alcanza con usar GARCH y MRS para capturar exceso de curtosis.
70	Klaassen, F. (2002)	Diario; 1978-1997	GBP/USD; DEM/USD; JPY/USD	1) Estudiar si la incorporación de regímenes disminuye la persistencia. 2) Importa porque el objetivo es tener mejores predicciones (son muy altas en alta volatilidad).	MRS GARCH (tstudent)	1) Encuentran: (b) mejor que (a), pero alta persistencia. Con (d): más agrupamiento de volatilidad en régimen alto que bajo. 2) Mejor ajuste y predicción de MRS GARCH sobre (b): tanto en tiempos de régimen alto y bajo.	1) MRS GARCH tiene doble flexibilidad. Klaassen mejora Gray: incorpora toda la información al aislar del análisis a los regímenes no observados. 2) 5 modelos: Sin régimen, uno de varianza constante (a) y un GARCH (1,1) (b). Con régimen, uno de varianza constante (c), y uno con ARCH (d). No captan toda la heterocedasticidad: (b), (c), (d). 3) Usar tstudent aumenta la estabilidad de los regímenes.
61	Hsieh, D. (1989a)	Diario; 1974-1983	GBP/USD; CAD/USD; DEM/USD; JPY/USD; CHF/USD	1) Estudiar si hay no linealidades en los TC y entonces no son RW. 2) Estudiar qué tipo de no linealidades hay: caos determinístico o estocástico y multiplicativo o aditivo.	GARCH (normal) (tstudent) (ged)	1) Encuentran evidencia de no linealidad, y con análisis del tercer momento concluyen que es en la varianza (multiplicativo) y no en la media (aditivo). 2) Las perturbaciones no parecen comportarse normal. Con tstudent ajusta bien (salvo GBP y JPY). Lo mismo con ged.	1) Aplica tests de no linealidad (BDS y Tsay) para estudiar si efectivamente es deseable utilizar modelos de este tipo (el ARCH es uno de ellos). 2) Luego intenta ver cuál es el tipo de no linealidad para saber qué tipo de modelo usar. Si el proceso es aditivo (en la media) o si es multiplicativo (en la varianza). Concluye a favor de usar no linealidades en varianza: GARCH.
62	Hsieh, D. (1989b)	Diario; 1974-1983	GBP/USD; CAD/USD; DEM/USD; JPY/USD; CHF/USD	1) Estudiar especificaciones para el TC con varios modelos y varios tipos de perturbaciones. 2) Realizar un estudio que cubra un período de tiempo largo, dado que la mayoría no lo hacen.	ARCH; GARCH; EGARCH (normal) (tstudent) (GED) (mezclas)	1) Modelos GARCH dan mejores resultados de ajuste que los correspondientes ARCH (normales) para todas menos GBP. 2) Los modelos EGARCH ajustan mejor que los GARCH, y la distribución más aceptada es la mezcla normal-lognormal.	1) La solución para la alta persistencia en la varianza de los GARCH parece asociarse a la implementación de EGARCH. Los resultados para este modelo no dan varianza integrada.
60	Hong, K. (1992)	Semanal; 1973-1988	DEM; FRF; BEF; NLG; IEP; DKK; ITL; CAD; USD; ATS; CHF; JPY; SEK; NOK	1) Estudiar si la introducción del EMS disminuyó la volatilidad entre esas monedas y cómo se comportó con las no-EMS.	GARCH (tstudent)	1) Suma de parámetros indica alta persistencia (con GARCH muy altos). 2) Los GARCH normales (tstudent) no (sí) logran replicar la curtosis muestral. 3) Introducción EMS: volatilidad cae (aumenta) entre europeas (con EEUU). El EMS por sí mismo no baja la volatilidad.	1) Para los EMS: TC contra DEM e ITL (para eliminar impactos posible del DEM como moneda de reserva o líder). Para no EMS: TC son contra USD y GBP (por los mismos motivos). 2) Testea raíz unitaria en TC (favorable con una tendencia). Luego GARCH univariados: alta persistencia; y encuentra que los parámetros cambian con introducción EMS. Multivariado ajusta mejor.
59	Ho, K., Tsui, A. (2008)	Diario; 1986-2007	MYR; SGD	1) Estudiar si hay asimetrías en la volatilidad y si hay efectos de memoria de largo plazo con varios GARCH.	GARCH (normal)	1) Evidencia débil (fuerte) de asimetrías contra USD (JPY). Evidencia también depende del modelo GARCH usado. Shocks decaen hiperbólico (cualquier GARCH). 2) Evidencia de memoria larga, más allá del numerario, en cualquier tipo de modelo GARCH.	1) Las paridades se estudian contra USD y también JPY. Estudios recientes muestran que las estimaciones son sensibles al numerario. 2) Debido a que hay efectos derrame en los mercados estudian GARCH bivariados. También trabajan con varios tipos de GARCH asimétricos. 3) Correlación entre ellas sólo cuando se miden contra JPY. 4) Hacen test BDS.
102	Ruiz, I. (2007)	Diario; Semanal 1994-2005	ARS; BOB; BRL; COP; CLP; DOP; GTQ; MXN; PYG; PEN; UYU; VEB	1) Estudiar si hay movimientos comunes en TC en AL. Fundamento: porque si bien no hay coordinación formal macro, ciertos cambios metieron interdependencia en mercados.	ARCH (normal)	1) Las monedas muestran varianza cambiante en el tiempo, aunque los movimientos de volatilidad suelen ser específicos de cada país. 2) Todas las series presentan efectos ARCH (menos VEB, ARS casi que tampoco) y son no normales. 3) BRS; PYG; UYU vinculados. 4) Fuerte mov común ARS; UYU en sentido opuesto.	1) Mov común se estudia con ARCH de factores comunes. El espíritu de estos modelos es el de cointegración. 2) Analizar mov comunes puede ser útil para saber si uno se puede cubrir o no con otra moneda. 3) Además permiten conocer sobre el grado de integración financiera. 4) Fundamentan la elección del período en que se comenzó a ir hacia flotación. 5) Durante los 90 solo hay evidencia débil de mov común volatilidad en AL, y no apoyan contagio. 6) Todas son contra USD.

No.	Autor	Periodo	Paridad	Objetivo	Modelo	Resultados	Comentarios
50	Griebeler, M. (2010)	Diario; 1999-2008	BRL/USD; MXN/USD; SGD/USD; EUR/USD; JPY/USD; GBP/USD	1) Estudiar si los mercados emergentes son más sensibles a shocks positivos que negativos, y si los desarrollados no exhiben este patrón.	ARCH; GARCH; EGARCH; TARCH (normal)	1) No hay relación entre ser emergente y su mejor ajuste según modelo simétrico o asimétrico. 2) Encuentran efecto de apalancamiento para BRL, MXN, JPY. (Sustento modelo asimétrico). 3) Para estos países efectivamente ajustan mejor los asimétricos: shocks negativos más importantes.	1) Volatilidad: medida de incertidumbre; vinculada a cambios en la demanda de moneda doméstica, atada a entradas y salidas de capitales. Importante en emergentes. 2) Hace tests para especificar media condicional: ADF al TC, después se queda con retornos, estudia posibilidad de ARIMA. 3) ARCH orden 1,2,3; GARCH orden 1. Para BRL mejor ARCH(3). 4) Los asimétricos son: TARCH-M; EGARCH-M. 5) No evalúa outofsample por crisis.
51	Grydaki, M., Fountas, S. (2010)	Mensual; 1979-2009	ARS/USD; BOB/USD; CLP/USD	1) Encontrar determinantes de volatilidad en AL, incluyendo covarianzas de ellos.	GARCH (normal)	1) Los determinantes de volatilidad TC son variabilidad en oferta monetaria e inflación. Las variaciones del PIB también son importantes pero sólo en países en flotación. La flotación aumenta volatilidad sólo en países de TC fijo o TC flotante. 2) Todas las paridades tienen efectos ARCH. 3) Apertura financiera es significativa en volatilidad.	1) Incluyen covarianzas de determinantes porque piensan que el mov conjunto de dos variables macro pueden afectar a la volatilidad. 2) El tipo de GARCH multivariado que eligen es AR-AS-BEKK. 3) Los determinantes: volatilidad PBI; volatilidad agregados monetarios; grado de apertura financiera; sistema cambiario. 4) Para ver el impacto de determinantes hacen test de causalidad de Granger. 5) Se hace estudio de corto y largo plazo. 6) Grado apertura se mide con desviación de paridad descubierta y sistema cambiario.
31	Courdet, V., Couharde, C., Mignon, V. (2010)	Mensual; 1994-2009	ARS;BRL;CLP; COP;MXN;PEN;UYU;VEB;CNY; IDR;INR;KRW;MYR;PHP;SGD;THB	1) Estudiar si aumentó la flexibilidad (volatilidad) de TC de emergentes con la crisis y si hay relación con el estrés de los mercados financieros globales.	STR; GARCH (normal)	1) La flexibilidad de TC aumenta más que proporcional al estrés global. Hay efectos de contagio regionales (vecinos: AL/Asia/Medio). 2) Suben las volatilidades (menos VEB) con depreciación, seguida de apreciación. 3) Las que más alforjaron vínculo con USD: BRL, CLP, MXN, RUB. 4) Encuentran contagio en régimen lineal para UYU.	1) Todas las paridades son contra el USD. Además de las mencionadas, se incluyen: ILS, KWD, MAD, RUB, ZAR. Indicadores de tensión global: VIX, MSCI_W, MSCI_EM, EMBI, CRB, GSCI. 2) El mecanismo de transmisión, puede desestabilizarse en crisis dando lugar a cambios abruptos en la relación. (No linealidad). 3) Variable que gobierna cambios: VIX, CRB. Velocidad de ajuste y riqueza: relación positiva. Umbrales dependen: variable y país.
81	Maya, C., Gómez, K. (2008)	Diario; 2000-2007	BRL; CLP; PEN; COP; MXN	1) Averiguar si hay efecto apalancamiento en TC de AL, porque puede ser una manifestación del "miedo a flotar".	GARCH; EGARCH (tStudent) (GED)	1) Encuentran memoria larga y simetría. Es asimétrica sólo en BRL y PEN, lo que consideran que puede ser por "miedo a flotar", ya que él genera efectos colaterales en tasa de interés e inflación que el mercado puede entender como "malas noticias". 2) Evidencia soporta GED.	1) Apalancamiento, hace que los mercados sean más sensibles a apreciación, mientras otros a depreciación (importante valorar opciones). 2) Las paridades analizadas son contra EUR, y USD. 3) Todas tienen elevada leptocurtosis (sobre todo con USD), y BRL y PEN muestran asimetría. 4) Evidencia caída hiperbólica sobre todo en BRL y COP (USD y EUR). 5) Estima casos específicos del modelo ARFIMA-HYPAPARCH 6) No cambios estructurales (test estabilidad Hansen).
45	Fernandez, V. (2003)	Diario; 1991-2001	CLP/USD	1) Examinar si el TC es más volátil en flotación como se suele afirmar.	GARCH (normal)	1) Con flotación la volatilidad aumentó, aunque no mucho, contradiciendo las creencias. 2) Los modelos con umbrales tienen la mitad de curtosis en flotación, sugiriendo que se volvió menor la probabilidad de valores extremos en flotación.	1) Datos: momentos de alta volatilidad dentro de la banda: 1998 (tasas altas); 1999. En flotación en 2000 (precio petróleo), 2001 (Argentina). 2) Usan estimador EWMA. 3) Hay corr con riesgo TC de Argentina pero no se sostiene en el tiempo. 4) Una parte del análisis la hacen con datos intradiarios. 5) Nivel: test de Perron; Retornos leptocúrticos. 6) Modelos: NGARCH, VGARCH, AGARCH, QGARCH, GJR GARCH, TGARCH, TSGARCH, EGARCH, ESTGARCH, Component GARCH.
89	Morande y Tapia (2002)	Diario; Semanal; Mensual; 1990-2002	CLP/USD	1) Cómo funcionó el mercado cambiario luego de la banda y si hay miedo a flotar. Evaluación del sistema según: pass through, volatilidad TC, efectos hoja de balance. (Hay más objetivos).	GARCH (normal)	1) Hay evidencia de mayor volatilidad TC con régimen de flotación, pero no de las demás variables macro (estabilidad). 2) No encuentran efectos significativos de fundamentos en volatilidad cambiaria. 3) La volatilidad estuvo estable salvo con el tequila, y con Brasil (1999) y Argentina (2001). 4) No hubo FOF significativo	1) Para análisis parten en 2 periodo (dejar afuera Set2001 de alta volatilidad inter y regional): 1999-2001; 2001-2002. 2) Análisis con determinantes de volatilidad: diferencial tasas; PBI; oferta de dinero. 3) En toda la década no se ven tendencias en volatilidad, aunque desde 1999 aumentó y más en 2001. 4) La volatilidad la estiman después con un GARCH(2,1)-M.
2	Aboal, D., Lanzilotta, B., Perera, M. (2006)	Mensual; Diario; 1998-2005	UYU/USD	1) Analizar si el régimen de jure se parece al de facto. Para eso se estudia la volatilidad y qué cosas la afectan y después una función de reacción del BCU.	GARCH (normal)	1) Motivación CBI: metas base monetaria, inflación y disminución volatilidad cambiaria. Impactos CBI: nivel y volatilidad del TC. Régimen: flotación sucia. 2) Los periodos 2 y 3 son los de mayor volatilidad. 3) En 2005 las intervenciones son más probables en contexto mayor volatilidad (recordar endogeneidad). 4) Presencia del BCU tiene efecto negativo en vol si son pequeñas	1) GARCH para el periodo entero, y como ven que el desvío estándar es muy grande con las crisis y cambios por estiman partiendo en 3 periodos: 1998-2001; 2001-2003; 2003-2005. 2) Explicativas función reacción: intervención rezagada, medidas vol y rezago, dif BM (2003-2005), meta inflación. Hip: BCU tiene objetivo en nivel, vol. o ambas; 2 periodos: 2005. 5) Efecto intervenciones: ec volatilidad con LRM; UBI, periodos: 2003-2005, mediados 2005. 6) No estacionariedad: ARCH de componentes permite varianza de largo plazo que converge a un valor inversamente a persistencia del GARCH.

No.	Autor	Período	Paridad	Objetivo	Modelo	Resultados	Comentarios
6	Arce, L. (2001)	Mensual; 1989-2001	BOB/USD	1) Analizar factores de la dolarización con modelo CAPM, tomando como proxy de la incertidumbre de devaluación a la volatilidad con GARCH.	GARCH (normal)	1) Dolarización depende de ritmo devaluación, incertidumbre devaluación e inercia en dolarización.	1) En el GARCH encuentran dos periodos de volatilidad: 1989-1994; 1994-2001. Dicen que el segundo período está influenciado por cambios en normativa. 2) Analiza un modelo de cointegración entre la volatilidad del GARCH, los retornos del TC y el grado de dolarización con el modelo CAPM.
29	Cheung, Y., Elarndsson, U. (2005)	Cuatrimstral; Mensual; 1973-1988	DEM/USD; GBP/USD; FRF/USD	1) Testear MRS contra RW a partir de estudiar cuántos regímenes hay, aplicando Monte Carlo. 2) Estudiar contrastes donde la nula es tanto RW como MRS (sesgo no rechazo).	MRS (normal)	1) No encuentran evidencia fuerte a favor de MRS con los cuatrimestrales de Engel y Hamilton (1990), incluso al ampliar la muestra. Con datos mensuales sí. 2) Concluyen que la frecuencia y tamaño de la muestra son claves. Hay sólo 2 regímenes.	1) Usa varios valores aleatorios iniciales (250) para comparar las estimaciones, para reforzar el hallazgo de mínimo global. 2) También se trabaja con muestra ampliada hasta 1998. 3) Se testea RW contra MRS tomando como nula tanto al RW como al MRS. Con datos cuatrimestrales (mensuales) se encuentran sólidos resultados de que no (sí) hay evidencia para rechazar la que sea la nula (RW).
111	Yuan, C. (2008).	Cuatrimstral; 1973-2007	CAD/USD; AUD/USD; GBP/USD; JPY/USD	1) Estudiar ajuste de MRS (2) con y sin filtro y MRS (3) con filtro. 2) Estudiar si MRS dan mejores predicciones que los RW, y ajuste de MRS (2) contra MRS (3).	MRS (normal)	1) Incluir un filtro en MRS (2) mejora ajuste y predicción contra RW. Lo mismo con incluir un tercer régimen. 2) Los MRS filtrados son mejores que RW. Resultados sensibles al suavizador filtro. 3) Las tendencias de TC no obedecen a fundamentos (modelo monetario).	1) Utilizan filtros (HP-Kalman) para suavizar los posibles outliers que puedan provocar el no ajuste de los MRS. Esto explica que sin filtro, los MRS no se desempeñan mejor que los RW. 2) Consideran que los estudios que no dan ajuste es porque no reconocen un tercer régimen intermedio (restringen media nula). 3) Fundamentos: Oferta monetaria, PIB, tasa interés, tasa inflación.
13	Bazdresch, S., Werner, A. (2005)	Diario; 1996-2001	MXN/USD	1) Encontrar si MRS logra describir la dinámica del MXN de periodos de poca volatilidad interrumpidos repentinamente por otros de alta. Contrastar contra RW.	MRS-AR (normal)	1) Un régimen con tendencia de apreciación y baja volatilidad (estable), y otro con tendencia a la depreciación y alta volatilidad (inestable). AR no significativo. 2) La mejor predicción: RW. 3) Peso Problem: Las expectativas de mercado pueden entenderse con MRS.	1) Además estiman dos MRS con TVTP. Primero: dependen de fundamentos (diferencial retorno bonos EEUU, y luego agregan: tasas LP de TB m/e, tasas interés CP m/n, ratio X/M, déficit fiscal, crédito bancario, desvío BM de target). Segundo: dependen de la duración. Ningun modelo es significativo. 2) Testear con TVTP contra FTP es como testear modelos para fundamentos del TC contra modelos de equilibrios múltiples.
1	Aboal, D., Fernández, D., Peyrou, N. (2005)	Mensual; 1980-2003	UYU/USD	1) Identificar regímenes en el TC. 2) Estudiar qué variables pueden explicar la evolución del TC.	MRS/FTP; MRS/TVTP (normal)	1) FTP: Un régimen con tendencia leve de apreciación (significativo) con menor varianza que el otro de depreciación (no significativo). Éste es alto con las crisis. 2) TVTP: Variables eco no significativas. Variables pol que sí son: shock regional, plan estabilización, post electoral.	1) Marco de economía política para comprender al TC, con modelos de crisis cambiarias de segunda generación. 2) El régimen de markov es el régimen cambiario imperante, y los beneficios de la autoridad monetaria dependen de su valor. 3) Agentes racionales forward looking. 4) Explicativas: tiempo electoral; shocks regionales; IRBU; plan estabilización; crecimiento; M2/RIN, RIN, SBC; TCR Arg; TCR Bras. 5) Mencionan que los tests de Hansen y García se usan para ver N contra N+1.
20	Bonomo, M., Terra, C. (1999)	Mensual; 1964-1997	BRL/USD	1) Estudiar si MRS ajusta bien el TC. Luego analizar a la luz del sistema político y proximidad a elecciones, en qué régimen se encuentra el proceso.	MRS/FTP; MRS/TVTP (normal)	1) MRS con FTP: un régimen de apreciación con menor probabilidad de permanencia que el de depreciación. 2) MRS con TVTP: régimen de apreciación tiene más probabilidad de ocurrir en democracia, y previo a elecciones.	1) Estudio sobre el TCR, pero señala que bajo rigideces de precios, la variable relevante es TC y entonces emplea MRS. 2) Marco de análisis: depreciación buena para balanza de pagos y mala para la inflación. 3) Considera la influencia de ciclos políticos en el TCR, a partir de un modelo con dos hacedores de política (sector transable y no transable).
110	Vigfusson, R. (1997)	Diario; 1983-1992	CAD/USD	1) Testear empíricamente el modelo C&F con MRS. No se ha testeado el C&F porque es no observable y MRS supera esto. Departe del C&F ya que considera un régimen C y otro F.	MRS (normal)	1) Regla MA (AR) para los C: alta (baja) persistencia del régimen C y menor (mayor) varianza; grandes cambios en TC son en régimen F; los F dominan fuerte en las colas, y en el resto los C. 2) Etiqueta regímenes. Incorrecto: C y F. Correcto: "alta" y "baja" volatilidad.	1) El estudio departe de la hipótesis de mercados eficientes, según la que los C (noise traders) serán eliminados y el TC va hacia sus fundamentos. La importancia relativa de cada grupo cambia en el tiempo. 2) Estiman con TVTP con AR para C y PPP para F y MA para C y TOT para F no aportan. Para F no hay resultados distintos. Para C la regla es MA.

No.	Autor	Período	Paridad	Objetivo	Modelo	Resultados	Comentarios
34	Dewachter, H. (2001)	Semanal; 1973-1997	DEM/USD; GBP/USD; FRF/USD; JPY/USD	1) Evaluar MRS contra RW y analizar si la especificación MRS ayuda a comprender la rentabilidad de las reglas técnicas de intercambio en el mercado.	MRS (normal)	1) Alta persistencia de los regímenes para proceso de media y varianza. 2) Dos regímenes depreciación con mayor volatilidad que el de apreciación y rechazo al RW (todas las monedas). 3) Como regla, MRS es tan bueno como MA (30), (rentabilidad y predicción).	1) Como no encuentran tendencia en MRS, trabajan con un proceso de régimen para la media y otro para la varianza y ahí sí encuentran. La literatura dice que es clave para ver tendencias. 2) Como MRS es un caso particular de las reglas de intercambio, lo aplican y trabajan con reglas MA para describir el mercado. 3) Para saber si la rentabilidad de los chartistas es generada por MRS simulan con Monte Carlo. Evidencia a favor.
63	Ismail, M., Isa, Z. (2006)	Mensual; 1990-2005	MYR/GBP; SGD/GBP; THB/GBP	1) Contrastar modelos lineales con los de cambio de régimen (MRS y TAR).	MRS-AR; SETAR; (normal)	1) Quiebres estructurales para SGD en 1992 y para MYR y THB en 1997. 2) Basándose en criterios de información, concluyen que el mejor modelo es MRS-AR para todas las monedas.	1) Se parte del análisis de una serie AR para los TC. Se realizan tests para detectar uno y múltiples quiebres estructurales.
80	Masson, P. (2001)	Anual; 1974-1997 (G); 1990-1998 (L)	167 (G) paridades; 110 (L) paridades	1) Estudiar si la solución de "dos polos" del TC se cumple con un MRS (3). Los regímenes: fijo, flotación, intermedio. Analizar si probabilidades de transición son absorbentes.	MRS (normal)	1) Regímenes de flotación y fijo no son absorbentes (salvo fijo (G) en los 90) y entonces rechaza los "dos polos". 2) Los 90: más probabilidad de "dos polos" (G y L) que para la muestra de los 80 (G). Pero más probabilidad el intermedio que la flotación (G). En (L) al revés.	1) Trabaja con clasificación de datos de Gosh (G) y Levy Yeyatti (L). 2) Estudia por subperíodos, comenzando en los 80 y también los 90 por separado para (G). Tanto con (L) como con (G) rechaza los "dos polos" (no son absorbentes fijo y flotación). 2) Estudia después por separado según grado de desarrollo países. Con datos (L) se rechazan "dos polos". Con (G) fijo es absorbente.
96	Pontines, V., Siregar, R. (2010)	Mensual; 1990-2006	KRW/USD; THB/USD; PHP/USD; IDR/USD	1) Estudiar si la mayor flexibilidad cambiaria con la adopción de metas de inflación, ocurre más para un lado del mercado que el otro. (Resistencia a la apreciación).	STAR(2); MRS (normal)	1) Descriptiva: Más volatilidad en flotación, salvo PHP. EMP muestra presión de apreciación, acompañado con acumulación de RIN: hipótesis "leaning". 2) El STAR: umbral alto es grande y el bajo pequeño, entonces menor tolerancia a apreciación. MRS: concluye favorable.	1) La asimetría de lados del mercado en MRS la ven a través de las probabilidades de persistencia en cada régimen. 2) Trabajan con dos muestras. Una previa a la crisis (1990-1996). Otra que comienza cuando se aplica IT (2000-2006). Para ésta se hacen las estimaciones. 3) Elaboran un índice de presión del mercado cambiario (EMP).
90	Parikakis, G., Syriopoulos, T. (2008)	Diario; 2000-2007	USD/EUR; GBP/EUR; BRL/EUR; MXN/EUR	1) Estudiar si MRS otorga mejores predicciones que RW. 2) Estudiar si las asimetrías se deben a quiebres.	MRS (normal) (tStudent)	1) Se rechaza la hipótesis del RW a favor del MRS para todas excepto BRL y MXN. 2) Algunas cotizaciones tienen volatilidad muy correlacionada. En particular en el régimen de alta volatilidad.	1) También se testea el modelo de Dueker y Neely (2007) que busca reglas ex ante de comercio trabajando la paridad descubierta. Rechazo para BRL y MXN. 2) La no significatividad de MRS para BRL y MXN señalan se puede deber a uso de pocos datos y alta volatilidad en este período para estos países. 3) MRS no logra recoger por sí solo toda la persistencia en la volatilidad.
16	Bollen, N., Raisal, E. (2003)	Diario; 1997-1999	GBP/USD; JPY/USD	1) Comparar modelos de valuación de opciones contra el estándar tradicional de Black Scholes usando modelos que permitan "volatility smiles".	GARCH; JUMP DIFFUSION; MRS	1) Todos los modelos son mejores en relación a constant volatility de Black-Scholes. 2) El mejor modelo de todos es Jump Diffusion. 3) Dentro de la muestra para GBP mejor GARCH y para JPY da lo mismo. 4) Fuera de la muestra el GARCH es mejor que MRS, y para JPY un poco mejor el Jump.	1) Evalúan ajuste dentro y fuera de la muestra. 2) Usan el Jump porque permiten captar discontinuidades, que MRS y GARCH no pueden. Pero el Jump no proporciona una estructura para la variación temporal en la volatilidad. 3) La falla de modelos MRS y GARCH para ajustar opciones on the money puede deberse a su incapacidad para capturar los momentos más altos de la distribución de retornos. Esto da soporte a los Jump.
92	Pena, A. (2009)	Diario; 2008-2009	UYU/USD	1) Obtener buenas estimaciones para el TC que es el activo subyacente de una opción call que es un instrumento de cobertura. Preocupación: riesgo cambiario crediticio.	JUMP; KOU; MERTON	1) El valor de la opción con saltos es mayor a la que no los tiene, como la de Black-Scholes que supone movimiento browniano continuo. 2) El precio teórico que tendría el instrumento de cobertura es útil para tener una medida de riesgo.	1) El riesgo se activa con fuertes subas del TC y entonces para capturarlas bien usa modelos de saltos. 2) Parte del modelo de Merton que establece el valor de una deuda como una posición larga sin riesgo más una call. El modelo de Black-Scholes sirve para valor call, pero lo usa incorporando saltos. 3) Son importantes sobre todo con la crisis internacional reciente donde se vio saltos en todos los activos.

No.	Autor	Período	Paridad	Objetivo	Modelo	Explicativas	Resultados	Comentarios
75	Macedo et. al. (2003)	Diario; 1989-1998	PTE/DEM	1) Estudiar cómo las CBI influyeron en la convertibilidad al EUR y estabilidad del TC.	MRS-EGARCH - TVTP (tStudent)	Intervención; Desviación paridad	1) CBI afectan media y varianza de TC cuando la volatilidad está baja, y la varianza cuando volatilidad está alta. 2) Durante el 1er subperíodo: CBI aumenta prob de salirse del régimen de baja vol. y disminuye la vol del régimen de alta.	1) Modelo permite que CBI afecten media, var y prob de transición entre regímenes. 2) Da cuenta de impactos asimétricos de variables explicativas en la volatilidad. 3) Post estimación: distribución normal era mejor para caracterizar alta volatilidad. 4) Consideran 3 subperíodos: 189-1992; 1992-1993; 1993-1998. 5) CBI en vol no es concluyente: parecen afectar a través de prob trans.
21	Bonser-Neal, C. (1996)	Diario; 1985-1991	DEM/USD; JPY/USD	1) Estudiar si las intervenciones de FED, BB y BOJ reducen la volatilidad.	IV-RL (normal)	SP 500; Anuncios: M, SBC, CPI, PPI, VAB, Desempleo; Intervenciones (3); Volatilidad rezagada.	1) Período Completo: no (sí) hay evidencia (débil) de que reduce (aumenta). Período Plaza: no hay evidencia de que hubo algún impacto. Período Louvre (Post): evidencia de que aumenta (disminuye o no hay).	1) Argumentos. CBI estabilizan: reducen la vol al parar ataques especulativos. CBI desestabiliza: aumenta la vol al generar incertidumbre o alentar ataques. 2) Para medir bien el impacto, la vol se tiene que medir de forma que considere la corriente y las expectativas. Medida: IV (forward looking), GARCH (backward looking). 3) Parte del período en 4: acuerdos internacionales TC.
3	Aguilar, J., Nydahl, S. (2000)	Diario; 1993-1996	SEK/USD; DEM/USD	1) Estudiar el impacto de las intervenciones (RB) en volatilidad, sin analizar la efectividad de los canales.	IV-RL; GARCH (normal)	Intervención (RB); Diferencial tasas; Anuncios; Volatilidad propia y de la otra rezagada.	1) Como no se encuentran efectos de intervenciones (ni dummy) en media o varianza, se estima partiendo la muestra. (GARCH). 2) Submuestra 95 (96) efecto positivo (negativo) intervenciones en la media (GARCH).	1) Análisis: GARCH bivariado para estudiar en un sistema ambas cotizaciones. Muestra completa y submuestras. 2) Muestra completa: parámetros ARCH/GARCH y correlación monedas significativos. Submuestras: Diferencial tasas no significativo, Anuncios sí para 93 y 95; Correlación sólo 94. 3) (Sub) Muestra IV contra DEM (USD) dummy intervenciones es desestabilizadora; (no/sí) desestabiliza (95/93).
38	Dominguez, K. (1998)	Diario; 1977-1994	DEM/USD; JPY/USD	1) Estudiar relación entre intervenciones y volatilidad. 2) Concluir sobre la calidad de la señal	IV-RL; GARCH (normal)	Intervención (3); Noticias; Diferencial tasas interés	1) Las intervenciones (FED) aumentan las volatilidades para el período completo, y para la submuestra de los '80 las disminuye. 2) Las intervenciones secretas y las noticias tienen efecto significativo.	1) Testea causalidad reversa con una función de reacción prohib para las intervenciones. Rechaza. 2) Faltan varios datos del mercado de opciones. 3) Se usan submuestras en el estudio, según los cambios preanunciados en el régimen de intervención. 4) Estudia el efecto de las intervenciones de los tres BC de forma cruzada entre ellos.
58	Hillerbrand, E.; Schnabl, G (2004)	Diario; 1991-2004	JPY/USD	1) Estudiar si las intervenciones impactan en la volatilidad	GARCH (normal)	Intervención (BOJ); Nikkei; DOW	1) Los efectos para la muestra global no son concluyentes. 2) Estimación por segmentos: del 90 al 97 efecto positivo, del 97 al 00 ambiguo, del 02 al 04 positivo.	1) Estiman con coeficientes locales para permitir un quiebre, que además luego es confirmados por GARCH. 2) Estiman funciones de reacción para estudiar si el nivel y volatilidad del TC afectan a la decisión de intervenir. No rechaza la media y si la volatilidad (no hay simultaneidad).
67	Kamil, H. (2008)	Diario; 2004-2007	COP/USD	1) Estudiar impacto de intervenciones en nivel del TC en flotación (IT). Trabaja el problema de simultaneidad.	GARCH (normal)	Intervención; Diferencial tasas; EMBI; Dummy días de intervención por regla BDR; Anuncios IT	1) Período 04-06: las intervenciones (compra) logran depreciar, pero el efecto se desvanece rápido. Baja volatilidad. Período 07: no tienen efectos. Contrarrestada la suba de tasas y más expectativa inflación. No afecta volatilidad.	1) Submuestras: cambia la política (posible impacto distinto). Coord política monetaria y CBI incide en si hay impactos. Avanzar en IT los limita: intervenciones para alterar nivel no son creíbles porque la preocupación es IT. 2) TRY, MXN, CLP intervienen distinto que el resto (ojo con lectura conclusiones). BDR tiene regla de intervención. 3) Estima función de reacción y esa es VI para luego GARCH.
26	Caskurlu, T., Pinar, M., Salih, A., Salman, F. (2008)	Diario; 2002-2005	TRY/USD; TRY/EUR	1) Estudiar si con flotación (2001), las intervenciones lograron reducir la volatilidad (estabilizar) como dice CBT.	GARCH (normal)	Intervención (CBT); Volatilidad EUR/USD	1) Ratio de volatilidades estimadas 10 días antes y después de intervención: son efectivas. 2) Su modelo es mejor que BEKK. Los dos muestran efecto estabilizador. 3) USD: Subasta y Tasa dan resultados contradictorios.	1) Dificultades de GARCH univariado hacen que elijan uno multivariado de programación no lineal (NLP). 2) Mitiga endogeneidad ser emergente: movimientos en el mercado cambiario no afectan al resto del mundo, pero los del resto del mundo sí a la economía local. 3) Se analiza (descripción) evolución temporal de las 4 formas de intervención (directa anunciada y no, subasta, tasa).

No.	Autor	Periodo	Paridad	Objetivo	Modelo	Explicativas	Resultados	Comentarios
37	Domac, I., Mendoza, A. (2004)	Diario; 2001; 1996-2001	TRY/USD; MXN/USD	1) Estudiar efecto de las intervenciones en volatilidad bajo flotación para comprenderlas a la luz de IT.	EGARCH (GED)	Intervención; Reportes BC; Instrumento Política (MXN: reservas; TRY:tasa); MXN: retorno Brady	1) Monto y frecuencia de intervenciones global lograron mitigar volatilidad de ambas. La frecuencia importa más para MXN. Separando sólo ventas significativo. 2) Instrumento afecta positivo (negativo) volatilidad en MXN (TRY).	1) La intervención sensata juega un rol clave en combatir shocks a inflación y estabilidad financiera en marco IT. 2) Usan EGARCH porque además de medir efecto global de las intervenciones, permite ver efectos de compra y venta. Utilizan una curva de impacto de noticias (NIC) para ver sensibilidad de la volatilidad. 3) Realizan ADF y PP para ver quiebres en retornos TC.
98	Rogers, J.; Siklos, P. (2003)	Diario; 1989-1998	CAD/USD; AUD/USD	1) Estudiar relación de las intervenciones en la volatilidad y curtosis. 2) Estimar funciones de reacción de ambos BC.	IV-RL	Intervención (2); Noticias; IV y su Curtosis; Commodities; Acciones; Diferencial tasas; Política	1) Estimación funciones de reacción: ambos BC presentan "leaning against the wind". 2) Las intervenciones (no) sí han tenido efecto en la volatilidad en Australia (Canadá) y en curtosis.	1) Incluyen variables dummy para dar cuenta de los cambios de programas de los BC. Para Canadá, no es significativo mostrando que las submuestras quizás no se correspondan a las prácticas del BC. 2) Se encuentra que la variable de target de inflación tiene un efecto significativo y positivo en la volatilidad. Esto se interpreta como credibilidad de la política monetaria.
68	Kim, S., Kortian, T., Sheen, J. (2000)	Diario; 1983-1997	AUD/USD	1) Estudiar efecto de intervenciones en flotación, considerando distintos periodos de la política.	EGARCH (tstudent)	Intervención; Dummies: días, tamaño intervención, dirección acumulada, anuncio	1) Media: Tamaño afecta positivo. En (1) y (3) lo mueve en dirección adecuada. Anuncio no significativo. 2) Varianza: Intervención positivo (simultaneidad) pero dirección acumulada negativo (estabiliza) Tamaño y Anuncio no significativas.	1) Dentro del periodo de flotación que estudian, hay 5 subperiodos acorde al cambio en intervenciones: 83-86 (1), 86-91 (2), 91-93 (3), 93-95 (4), 95-97 (5). Usa intervenciones secretas y anunciadas. 2) Usan un EGARCH porque permite coeficientes negativos en la ecuación de varianza, reconociendo posible estabilizador. 3) Mitiga simultaneidad: tamaño y dirección acumulada.
15	Beine et. al. (2003)	Semanal; 1985-1995	DEM/USD; JPY/USD	1) Estudiar si existen impactos asimétricos de las CBI en el TC.	GARCH; MRS-TVTP (normal)	Intervención (FED, BB, BOJ); Dummies; Acumulada; Coordinaciones	1) Depende del nivel de volatilidad prevalente, si CBI son estabilizadoras. 2) MRS mejor que GARCH in sample y out of sample. 3) CBI explican el cambio entre regímenes. 4) Si mercado calmo (nervios), CBI (coord) sube (baja) vol	1) Poca evidencia de que CBI afecten el nivel del TC. Cuando hay, las compras se asocian a depreciación ("remando"). Sobre la vol, la literatura señala que aumenta. 2) Los modelos GARCH con explicativas asumen impactos lineales de las CBI. 3) Modelos MRS permiten resultados de las CBI distintos según estado prevalente. 4) Canal de señal: la misma será o no ambigua según estado eco.
40	Engel, C.; Hakko, C. (1994)	Semanal; 1979-1992	FRF/DEM; ITL/DEM; USD/DEM; JPY/DEM	1) Estudiar si ajusta MRS/FTP para monedas EMS. 2) Estudiar si la posición en la banda incide en regímenes	MRS/FTP; MRS/TVTP (normal)	Distancia del TC al borde superior de la banda	1) Realineamientos del TC provienen de una distribución "volátil", pero no se cumple el inverso. 2) El comportamiento del TC en el borde depende de qué estado provenga.	1) Para FRF, USD, YEN la muestra se extiende hasta 23/10/93. 2) Idea de regímenes surge a partir de la identificación de outliers con criterio de distancias. 3) Muestra impactos en la elección óptima de portafolio, derivados de distintas distribuciones del activo.
14	Bekaert, G., Gray, S. (1998)	Semanal; 1973-1993	FRF/DEM	1) Comprender la dinámica del TC bajo bandas.	J-GARCH (normal)	(C): Realineado, Posición TC. (S): Reservas, Posición TC, Diferencial inflación y tasas.	1) Media: TC está en borde superior (inferior), distribución asimétrica a la izquierda (derecha). Reversión a la media no lineal. CBI en los bordes. Volatilidad: Aumenta en los bordes y GARCH significativo. 2) Los saltos bajan pers.	1) Krugman (1991), si banda es creíble: reversión no lineal a la media, y vol depende de distancia a los bordes. 2) Dentro de la banda es creíble (C): densidad normal truncada, condicional a no saltos. Por otra parte: modelo de saltos (S) con media condicional proporcional al desvío. 3) Saltos evolucionan con probit con pendiente de curva de rendimientos como explicativa (TC se ve en tasas).

Monedas

ARS	Peso Argentino	ITL	Lira Italiana
ATS	Chelín Austríaco	JPY	Yen Japonés
AUD	Dólar Australiano	KRW	Won Coreano
BEF	Franco Belga	MAD	Dirham Marroquí
BOB	Boliviano	MXN	Peso Mexicano
BRL	Real Brasileño	MYR	Ringgit Malayo
CAD	Dólar Canadiense	NLG	Florín Holandés
CHF	Franco Suizo	NOK	Corona Noruega
CLP	Peso Chileno	PEN	Sol Peruano
CNY	Yuan Chino	PHP	Peso Filipino
COP	Peso Colombiano	PTE	Escudo Portugués
DEM	Marco Alemán	PYG	Guaraní
DKK	Corona Danesa	RUB	Rublo Ruso
DOP	Peso Dominicano	SEK	Corona Sueca
EUR	Euro	SGD	Dólar de Singapur
FRF	Franco Francés	THB	Baht Tailandés
GBP	Libra Esterlina	TRY	Lira Turca
GTQ	Quetzal	USD	Dólar Norteamericano
IDR	Rupia Indonesia	UYU	Peso Uruguayo
IEP	Libra Irlandesa	VEB	Bolívar Venezolano
ILS	Shekel Israelí	ZAR	Rand Sudafricano
INR	Rupia India		

Anexo B: Desarrollos Estadísticos

B.1 Cadenas de Markov Ergódicas

Si la cadena de Markov es irreducible, es decir que no hay estados absorbentes en la economía, y adicionalmente los valores propios de la matriz de transición P pertenecen al círculo unitario entonces la cadena será ergódica. Debido a que las columnas de esta matriz suman la unidad, entonces el escalar uno será valor propio de P . El vector propio asociado a este valor propio se denota como π y en el caso que la cadena sea ergódica se le denomina vector de probabilidades ergódicas. Partiendo de la definición de vector propio y recordando que π es el asociado al valor propio unitario, sabemos que se cumple que:

$$(B.1) \quad P\pi = \pi$$

Para visualizar las implicaciones de la ergodicidad resulta útil expresar a la matriz de transición a partir de una matriz T de dimensión $(N \times N)$ que por columnas tiene a los vectores propios de P y otra matriz denotada por Δ , también de dimensión $(N \times N)$, que es diagonal y contiene a los valores propios asociados. Aplicando fórmulas para matrices particionadas es posible lograr una nueva expresión que involucra a la matriz de transición del estilo $PT = T\Delta$. Si adicionalmente consideramos que los valores propios son distintos entre sí, entonces los vectores propios son linealmente independientes y existe la inversa de la matriz T , por lo que la expresión útil para la matriz de transición se convierte en $P = T\Delta T^{-1}$. De esta forma, el producto de ésta por sí misma h veces resulta:

$$(B.2) \quad P^h = T\Delta^h T^{-1}$$

En tanto la cadena de Markov sea ergódica la matriz diagonal Δ tiene por elemento (1,1) a la unidad y el resto son inferiores a ésta, por lo que Δ^h converge a una matriz que tiene como elemento de coordenadas (1,1) a la unidad y ceros en el resto de los lugares. Por esto la matriz P en el límite será el producto de la primera columna de T (dada por x) y la primera fila de T^{-1} (dada por y'). Es decir:

$$(B.3) \quad \lim_{h \rightarrow \infty} P^h = xy'$$

A su vez, la primera columna de T es el vector propio de P correspondiente al valor propio unitario, por lo que $x = \pi$. A los efectos de identificar a y' retomamos la descomposición matricial que planteamos para P dada por $PT = T\Delta$. Trasponiendo dicha ecuación y postmultiplicando por T^{-1} tenemos que:

$$(B.4) \quad P'T^{-1} = T^{-1}'\Delta$$

Esto significa que las columnas de T^{-1}' corresponden a los vectores propios de P' . Entonces en particular, la primera columna de T^{-1}' es proporcional al vector propio de P' , que como se mostró es el vector compuesto de elementos unitarios, asociado con el valor propio unidad. Siendo que y' es la primera fila de T^{-1} se tiene que:

$$(B.5) \quad y = \alpha 1$$

Utilizando que $y = \alpha 1$ y $x = \pi$ en la ecuación (B.3) tenemos que:

$$(B.6) \quad \lim_{h \rightarrow \infty} P^h = \pi \alpha 1'$$

Como P^h es una matriz de probabilidades de transición cada una de sus columnas debe sumar la unidad, y también como se sabe que el vector de probabilidades ergódicas fue normalizado de manera tal que cumple la condición de que $1'\pi = 1$, necesariamente se desprende que la constante normalizada α debe ser uno. Se alcanza entonces el resultado:

$$(B.7) \quad \lim_{h \rightarrow \infty} P^h = \pi 1'$$

B.2 Predicción en Cadenas de Markov

Retomando la expresión hallada de la cadena de Markov como vector autorregresivo dada por (7.15) y realizando sucesivas iteraciones resulta posible plantear el vector aleatorio que representa el estado en que estará la economía dentro de h períodos:

$$(B.8) \quad \xi_{t+h} = P^h \xi_t + P^{h-1} v_{t+1} + \dots + P^2 v_{t+h-2} + P v_{t+h-1} + v_{t+h}$$

Donde P^h es la matriz de transición multiplicada por sí misma h veces, y v_{t+i} son los shocks o innovaciones. Se desprende de este resultado que la predicción para h períodos adelante de una cadena de Markov puede ser calculada a partir de:

$$(B.9) \quad E(\xi_{t+h} / \xi_t, \xi_{t-1}, \dots) = P^h \xi_t$$

Adicionalmente, si la cadena de Markov es ergódica esta matriz converge al vector de probabilidades ergódicas, resultado que se alcanzó en la ecuación (B.7), lo que implica que:

$$(B.10) \quad E(\xi_{t+h} / \xi_t, \xi_{t-1}, \dots) = P^h \xi_t \xrightarrow{P} \pi' \xi_t = \pi$$

Entonces la predicción para el régimen en que se encontrará la economía h períodos adelante resulta independiente del estado actual en el que se está. En este sentido, el vector de probabilidades ergódicas también puede ser visto como indicador de la probabilidad incondicional de cada uno de los estados por los que atraviesa la economía:

$$(B.11) \quad E(\xi_t) = \pi = P(r_t = j)$$

Por otra parte tomando esperanzas en la ecuación (B.8) que nos permitió expresar al vector aleatorio representativo del régimen como un proceso de vectores autorregresivos, tenemos que:

$$(B.12) \quad E(\xi_{t+1}) = P E(\xi_t)$$

Considerando el resultado de esta ecuación (B.12) y asumiendo estacionariedad, se tiene la expresión (B.1) que caracteriza a π como el vector propio de la matriz P asociado al valor propio unitario. Para una cadena de Markov ergódica este vector propio es único, y entonces el vector de probabilidades ergódicas π puede ser interpretado como un vector de probabilidades incondicionales. Una cadena de Markov ergódica es un proceso estacionario en covarianza.

B.3 Aplicación a una Cadena de Markov de Dos Estados

Los valores propios λ de la matriz de transición de probabilidades P para cualquier cadena de Markov de N estados se obtienen de la solución a $|P - \lambda I_N| = 0$. Considerando dos estados, los valores propios satisfacen:

$$(B.13) \quad \begin{vmatrix} p_{11} - \lambda & 1 - p_{22} \\ 1 - p_{11} & p_{22} - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

Desarrollando se tiene la solución para los valores propios de la matriz de transición:

$$\begin{aligned} (p_{11} - \lambda)(p_{22} - \lambda) - (1 - p_{11})(1 - p_{22}) &= 0 \\ p_{11}p_{22} - (p_{11} + p_{22})\lambda + \lambda^2 - 1 + p_{11} + p_{22} - p_{11}p_{22} &= 0 \\ \lambda^2 - (p_{11} + p_{22})\lambda - 1 + p_{11} + p_{22} &= 0 \end{aligned}$$

$$(B.14) \quad (\lambda - 1)(\lambda + 1 - p_{11} - p_{22}) = 0$$

Entonces los valores propios para una cadena de dos estados de Markov están dados por $\lambda_1 = 1$ y $\lambda_2 = -1 + p_{11} + p_{22}$. El segundo valor propio, λ_2 , va a estar dentro del círculo unitario siempre que $0 < p_{11} + p_{22} < 2$. Debido a que la cadena debe ser irreducible para ser ergódica, entonces también se debe cumplir que $p_{11} < 1$ y $p_{22} < 1$. La estimación de esta investigación, resulta en una cadena de Markov ergódica ($p_{11} = 0,9259$ y $p_{22} = 0,7055$).

El vector propio asociado con λ_1 para la cadena de dos estados resulta ser:

$$(B.15) \quad \pi = \begin{bmatrix} (1 - p_{22}) / (2 - p_{11} - p_{22}) \\ (1 - p_{11}) / (2 - p_{11} - p_{22}) \end{bmatrix}$$

Como fuera mencionado, el vector propio de una cadena ergódica proporciona lo que se conocen como probabilidades ergódicas o incondicionales. El primer elemento de este vector se corresponde con la probabilidad incondicional de que el proceso se encuentre en el régimen 1, mientras que el segundo elemento es el correspondiente al régimen 2.

Se puede llegar a la misma conclusión si se recuerda que una cadena de Markov de dos estados también puede ser representada por un proceso AR(1). Si se denota con ξ_{1t} al primer elemento del vector ξ_t , entonces ξ_{1t} es una variable aleatoria que es igual a la unidad cuando $r_t = 1$ y es igual a cero en caso contrario. Para el caso de la cadena de dos

estados, el segundo elemento de ξ_t es entonces $1 - \xi_{1t}$. Entonces la ecuación (7.15) del capítulo siete sobre la representación de la cadena como proceso autorregresivo puede ser escrita en términos matriciales:

$$(B.16) \begin{pmatrix} \xi_{1,t+1} \\ 1 - \xi_{1,t+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{11} & 1 - p_{22} \\ 1 - p_{11} & p_{22} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \xi_{1,t} \\ 1 - \xi_{1,t} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_{1,t+1} \\ v_{2,t+1} \end{pmatrix}$$

La primera fila de la ecuación anterior sostiene que:

$$(B.17) \xi_{1,t+1} = (1 - p_{22}) + (-1 + p_{11} + p_{22})\xi_{1,t} + v_{1,t+1}$$

Esta expresión es reconocida como un proceso AR(1) con un término constante $(1 - p_{22})$ y un coeficiente autorregresivo equivalente a $(-1 + p_{11} + p_{22})$. Notemos que este coeficiente autorregresivo resulta ser el segundo valor propio de P , que surgió de la ecuación (B.3.2). Cuando $p_{11} + p_{22} > 1$, el proceso es probable que persista a permanecer en su estado actual y la variable $\xi_{1,t}$ va a presentar correlación serial positiva, mientras que cuando $p_{11} + p_{22} < 1$ el proceso es más probable que cambie de estado en relación a quedarse en el estado actual, produciendo así una correlación serial negativa. Recordando que la media de un proceso autorregresivo de primer orden está dada por $c/(1 - \phi)$, entonces la representación dada por la ecuación (B.17) implica que:

$$(B.18) E(\xi_{1,t}) = \frac{1 - p_{22}}{2 - p_{11} - p_{22}}$$

Donde esta expresión reproduce el cálculo realizado anteriormente sobre el valor para la probabilidad ergódica π_1 , obtenido en (B.15).

B.4 Probabilidades Suavizadas

Las probabilidades de transición especificadas en la ecuación (7.27) requieren de las probabilidades suavizadas que se obtienen con el algoritmo de Kim y los resultados para los retornos aquí analizados se presentan en el Anexo C de este trabajo. En forma vectorial, el algoritmo puede expresarse como sugiere Hamilton (1994):

$$(B.19) \hat{\xi}_{t/T} = \hat{\xi}_{t/t} \Theta \left\{ P' \left(\hat{\xi}_{t+1/T} (+) \hat{\xi}_{t+1/t} \right) \right\}$$

Donde el signo $(+)$ denota división elemento a elemento de los vectores. Las probabilidades suavizadas dadas por $\hat{\xi}_{t/T}$ se obtienen iterando la ecuación (B.19) hacia

atrás para $t = T - 1, T - 2, \dots, 1$. Esta iteración comienza con un valor $\hat{\xi}_{T/T}$ que se obtiene de la ecuación (7.23) tomando $t = T$ ⁷⁴.

B.5 Duración y Varianza del Régimen

Las probabilidades de transición estimadas contienen información útil acerca de la duración esperada de cada régimen y su variación. La cuestión relevante radica en conocer cuánto durará en promedio un régimen cualquiera, dado que actualmente nos encontramos en él. Si denotamos a la duración esperada para el régimen como D , siguiendo a Kim y Nelson (1999) se tiene que:

$$\text{Si } r_t = j \text{ y } r_{t+1} \neq j \Rightarrow D = 1 \text{ y } P(D = 1) = (1 - p_{jj})$$

$$\text{Si } r_t = j \text{ y } r_{t+1} = j \Rightarrow D = 2 \text{ y } P(D = 2) = p_{jj}(1 - p_{jj})$$

$$\text{Si } r_t = j \text{ y } r_{t+1} = r_{t+2} = j \Rightarrow D = 3 \text{ y } P(D = 3) = p_{jj}^2(1 - p_{jj})$$

Considerando la definición de esperanza y razonando para los sucesivos períodos se tiene que:

$$E(D) = \sum_{j=1}^{j=\infty} jP(D = j)$$

$$E(D) = 1P(r_{t+1} \neq j / r_t = j) + 2P(r_{t+2} \neq j, r_{t+1} = j / r_t = j) + 3P(r_{t+3} \neq j, r_{t+2} = r_{t+1} = j / r_t = j) + \dots$$

Incorporando en esta ecuación las probabilidades encontradas anteriormente resulta que:

$$E(D) = 1(1 - p_{jj}) + 2p_{jj}(1 - p_{jj}) + 3p_{jj}^2(1 - p_{jj}) + \dots = \frac{1}{1 - p_{jj}}$$

Por otra parte, la variación de esta duración esperada puede obtenerse sencillamente como muestra Pena (2003):

$$V(D) = E[D - E(D)]^2 = E(D^2) - E(D)^2 = E(D_j^2) - \frac{1}{(1 - p_{jj})^2}$$

⁷⁴ Un desarrollo completo del algoritmo de Kim puede verse en el Anexo del capítulo veintidós del libro de Hamilton (1994), y una presentación más profunda que aquí aunque más esquemática que la de este libro, puede verse en el libro de Kim y Nelson (1999) en las páginas 68-70.

Entonces el problema radica en el cálculo de $E(D^2)$, que Pena (2003) muestra que se puede expresar como:

$$E(D^2) = \frac{1 + p_{ij}}{(1 - p_{ij})^2}$$

Por lo que, operando se puede encontrar que la varianza de la duración del régimen se puede expresar como:

$$V(D) = \frac{p_{ij}}{(1 - p_{ij})^2}$$

Anexo C: Resultados de las Estimaciones

Fecha	Baja (1)	Alta (2)									
01-07-05	0,2549	0,7451	20-09-05	0,9965	0,0035	06-12-05	0,9999	0,0001	21-02-06	0,9992	0,0008
04-07-05	0,0000	1,0000	21-09-05	0,0000	1,0000	07-12-05	0,9999	0,0001	22-02-06	0,0000	1,0000
05-07-05	0,9997	0,0003	22-09-05	0,9959	0,0041	08-12-05	0,9992	0,0008	23-02-06	0,9957	0,0043
06-07-05	0,9993	0,0007	23-09-05	0,0000	1,0000	09-12-05	0,0000	1,0000	24-02-06	0,0000	1,0000
07-07-05	0,0000	1,0000	26-09-05	0,9961	0,0039	12-12-05	0,9994	0,0006	27-02-06	0,9993	0,0007
08-07-05	0,0000	1,0000	27-09-05	0,0000	1,0000	13-12-05	0,9993	0,0007	28-02-06	0,9999	0,0001
11-07-05	0,0000	1,0000	28-09-05	0,9994	0,0006	14-12-05	0,0000	1,0000	01-03-06	0,9999	0,0001
12-07-05	0,0000	1,0000	29-09-05	0,9999	0,0001	15-12-05	0,9994	0,0006	02-03-06	0,9999	0,0001
13-07-05	0,0000	1,0000	30-09-05	0,9999	0,0001	16-12-05	0,9999	0,0001	03-03-06	0,9999	0,0001
14-07-05	0,0000	1,0000	03-10-05	0,9992	0,0008	17-12-05	0,9999	0,0001	06-03-06	0,9999	0,0001
15-07-05	0,0000	1,0000	04-10-05	0,0000	1,0000	18-12-05	0,9999	0,0001	07-03-06	0,9992	0,0008
18-07-05	0,0000	1,0000	05-10-05	0,0000	1,0000	20-12-05	0,9999	0,0001	08-03-06	0,0000	1,0000
19-07-05	0,0000	1,0000	06-10-05	0,9963	0,0037	21-12-05	0,9999	0,0001	09-03-06	0,0000	1,0000
20-07-05	0,0000	1,0000	07-10-05	0,0000	1,0000	22-12-05	0,9999	0,0001	10-03-06	0,9994	0,0006
21-07-05	0,9994	0,0006	10-10-05	0,9959	0,0041	22-12-05	0,9992	0,0008	13-03-06	0,9999	0,0001
22-07-05	0,9993	0,0007	11-10-05	0,0000	1,0000	23-12-05	0,0000	1,0000	14-03-06	0,9999	0,0001
25-07-05	0,0000	1,0000	12-10-05	0,0000	1,0000	26-12-05	0,9994	0,0006	15-03-06	0,9999	0,0001
26-07-05	0,0000	1,0000	13-10-05	0,0000	1,0000	27-12-05	0,9999	0,0001	16-03-06	0,9992	0,0008
27-07-05	0,0000	1,0000	14-10-05	0,0000	1,0000	28-12-05	0,9992	0,0008	17-03-06	0,0000	1,0000
28-07-05	0,9965	0,0035	17-10-05	0,0000	1,0000	29-12-05	0,0000	1,0000	20-03-06	0,9959	0,0041
29-07-05	0,0000	1,0000	18-10-05	0,0000	1,0000	30-12-05	0,0000	1,0000	21-03-06	0,0000	1,0000
01-08-05	0,0000	1,0000	19-10-05	0,9994	0,0006	02-01-06	0,9964	0,0036	22-03-06	0,0000	1,0000
02-08-05	0,9960	0,0040	20-10-05	0,9999	0,0001	03-01-06	0,0000	1,0000	23-03-06	0,0000	1,0000
03-08-05	0,0000	1,0000	21-10-05	0,9999	0,0001	04-01-06	0,9959	0,0041	24-03-06	0,9960	0,0040
04-08-05	0,0000	1,0000	22-10-05	0,9992	0,0008	05-01-06	0,0000	1,0000	27-03-06	0,0000	1,0000
05-08-05	0,0000	1,0000	24-10-05	0,0000	1,0000	06-01-06	0,9994	0,0006	28-03-06	0,9994	0,0006
08-08-05	0,0000	1,0000	25-10-05	0,9994	0,0006	09-01-06	0,9999	0,0001	29-03-06	0,9999	0,0001
09-08-05	0,0000	1,0000	26-10-05	0,9999	0,0001	10-01-06	0,9999	0,0001	30-03-06	0,9992	0,0008
10-08-05	0,0000	1,0000	27-10-05	0,9999	0,0001	11-01-06	0,9999	0,0001	31-03-06	0,0000	1,0000
11-08-05	0,0000	1,0000	28-10-05	0,9992	0,0008	12-01-06	0,9992	0,0008	03-04-06	0,0000	1,0000
12-08-05	0,0000	1,0000	31-10-05	0,0000	1,0000	13-01-06	0,0000	1,0000	04-04-06	0,9994	0,0006
15-08-05	0,0000	1,0000	01-11-05	0,0000	1,0000	16-01-06	0,9958	0,0042	05-04-06	0,9993	0,0007
16-08-05	0,9969	0,0031	02-11-05	0,9964	0,0036	17-01-06	0,0000	1,0000	06-04-06	0,0000	1,0000
17-08-05	0,0000	1,0000	03-11-05	0,0000	1,0000	18-01-06	0,0000	1,0000	07-04-06	0,9993	0,0007
18-08-05	0,0000	1,0000	04-11-05	0,9994	0,0006	19-01-06	0,0000	1,0000	10-04-06	0,9999	0,0001
19-08-05	0,0000	1,0000	07-11-05	0,9999	0,0001	20-01-06	0,0000	1,0000	11-04-06	0,9999	0,0001
22-08-05	0,0000	1,0000	08-11-05	0,9999	0,0001	23-01-06	0,0000	1,0000	12-04-06	0,9992	0,0008
23-08-05	0,9965	0,0035	09-11-05	0,9992	0,0008	24-01-06	0,0000	1,0000	18-04-06	0,0000	1,0000
24-08-05	0,0000	1,0000	10-11-05	0,0000	1,0000	25-01-06	0,0000	1,0000	19-04-06	0,0000	1,0000
25-08-05	0,0000	1,0000	11-11-05	0,9994	0,0006	26-01-06	0,9995	0,0005	20-04-06	0,9994	0,0006
26-08-05	0,0000	1,0000	14-11-05	0,9993	0,0007	27-01-06	0,9993	0,0007	21-04-06	0,9999	0,0001
29-08-05	0,0000	1,0000	15-11-05	0,0000	1,0000	30-01-06	0,0000	1,0000	24-04-06	0,9999	0,0001
30-08-05	0,0000	1,0000	16-11-05	0,9994	0,0006	31-01-06	0,9994	0,0006	25-04-06	0,9999	0,0001
31-08-05	0,0000	1,0000	17-11-05	0,9993	0,0007	01-02-06	0,9999	0,0001	26-04-06	0,9999	0,0001
01-09-05	0,0000	1,0000	18-11-05	0,0000	1,0000	02-02-06	0,9992	0,0008	27-04-06	0,9992	0,0008
02-09-05	0,0000	1,0000	21-11-05	0,9994	0,0006	03-02-06	0,0000	1,0000	28-04-06	0,0000	1,0000
05-09-05	0,9994	0,0006	22-11-05	0,9999	0,0001	06-02-06	0,0000	1,0000	02-05-06	0,0000	1,0000
06-09-05	0,9999	0,0001	23-11-05	0,9999	0,0001	07-02-06	0,9994	0,0006	03-05-06	0,9995	0,0005
07-09-05	0,9992	0,0008	24-11-05	0,9992	0,0008	08-02-06	0,9999	0,0001	04-05-06	0,9999	0,0001
08-09-05	0,0000	1,0000	25-11-05	0,0000	1,0000	09-02-06	0,9999	0,0001	05-05-06	0,9999	0,0001
09-09-05	0,0000	1,0000	28-11-05	0,9994	0,0006	10-02-06	0,9999	0,0001	08-05-06	0,9999	0,0001
12-09-05	0,9961	0,0039	29-11-05	0,9993	0,0007	13-02-06	0,9992	0,0008	09-05-06	0,9999	0,0001
13-09-05	0,0000	1,0000	30-11-05	0,0000	1,0000	14-02-06	0,0000	1,0000	10-05-06	0,9999	0,0001
14-09-05	0,0000	1,0000	01-12-05	0,9995	0,0005	15-02-06	0,9994	0,0006	11-05-06	0,9999	0,0001
15-09-05	0,0000	1,0000	02-12-05	0,9993	0,0007	16-02-06	0,9999	0,0001	12-05-06	0,9992	0,0008
16-09-05	0,0000	1,0000	03-12-05	0,0000	1,0000	17-02-06	0,9999	0,0001	15-05-06	0,0000	1,0000
19-09-05	0,0000	1,0000	05-12-05	0,9994	0,0006	20-02-06	0,9999	0,0001	16-05-06	0,9994	0,0006

Fecha	Baja (1)	Alta (2)									
17-05-06	0,9999	0,0001	10-08-06	0,0000	1,0000	08-11-06	0,9972	0,0028	05-02-07	0,0000	1,0000
18-05-06	0,9992	0,0008	11-08-06	0,0000	1,0000	09-11-06	0,0000	1,0000	06-02-07	0,0000	1,0000
19-05-06	0,0000	1,0000	14-08-06	0,9995	0,0005	10-11-06	0,0000	1,0000	07-02-07	0,0000	1,0000
22-05-06	0,0000	1,0000	15-08-06	0,9993	0,0007	13-11-06	0,0000	1,0000	08-02-07	0,0000	1,0000
23-05-06	0,9995	0,0005	16-08-06	0,0000	1,0000	14-11-06	0,0000	1,0000	09-02-07	0,0000	1,0000
24-05-06	0,9999	0,0001	17-08-06	0,0000	1,0000	15-11-06	0,0000	1,0000	12-02-07	0,0000	1,0000
25-05-06	0,9992	0,0008	18-08-06	0,0000	1,0000	16-11-06	0,0000	1,0000	13-02-07	0,9966	0,0034
26-05-06	0,0000	1,0000	21-08-06	0,0000	1,0000	17-11-06	0,0000	1,0000	14-02-07	0,0000	1,0000
29-05-06	0,9959	0,0041	22-08-06	0,0000	1,0000	20-11-06	0,0000	1,0000	15-02-07	0,0000	1,0000
30-05-06	0,0000	1,0000	23-08-06	0,9969	0,0031	21-11-06	0,0000	1,0000	16-02-07	0,9964	0,0036
31-05-06	0,9957	0,0043	24-08-06	0,0000	1,0000	22-11-06	0,0000	1,0000	21-02-07	0,0000	1,0000
01-06-06	0,0000	1,0000	28-08-06	0,0000	1,0000	23-11-06	0,0000	1,0000	22-02-07	0,0000	1,0000
02-06-06	0,9994	0,0006	29-08-06	0,9969	0,0031	24-11-06	0,9971	0,0029	23-02-07	0,9966	0,0034
05-06-06	0,9999	0,0001	30-08-06	0,0000	1,0000	27-11-06	0,0000	1,0000	26-02-07	0,0000	1,0000
06-06-06	0,9999	0,0001	31-08-06	0,9970	0,0030	28-11-06	0,9973	0,0027	27-02-07	0,0000	1,0000
07-06-06	0,9999	0,0001	01-09-06	0,0000	1,0000	29-11-06	0,0000	1,0000	28-02-07	0,0000	1,0000
08-06-06	0,9992	0,0008	04-09-06	0,0000	1,0000	30-11-06	0,0000	1,0000	01-03-07	0,0000	1,0000
09-06-06	0,0000	1,0000	05-09-06	0,9995	0,0005	01-12-06	0,0000	1,0000	02-03-07	0,0000	1,0000
12-06-06	0,9994	0,0006	06-09-06	0,9993	0,0007	04-12-06	0,0000	1,0000	05-03-07	0,0000	1,0000
13-06-06	0,9993	0,0007	07-09-06	0,0000	1,0000	05-12-06	0,0000	1,0000	06-03-07	0,0000	1,0000
14-06-06	0,0000	1,0000	08-09-06	0,0000	1,0000	06-12-06	0,0000	1,0000	07-03-07	0,0000	1,0000
15-06-06	0,9959	0,0041	11-09-06	0,9961	0,0039	07-12-06	0,0000	1,0000	08-03-07	0,0000	1,0000
16-06-06	0,0000	1,0000	12-09-06	0,0000	1,0000	08-12-06	0,0000	1,0000	09-03-07	0,0000	1,0000
19-06-06	0,0000	1,0000	13-09-06	0,0000	1,0000	11-12-06	0,0000	1,0000	12-03-07	0,0000	1,0000
20-06-06	0,9960	0,0040	14-09-06	0,0000	1,0000	12-12-06	0,0000	1,0000	13-03-07	0,0000	1,0000
21-06-06	0,0000	1,0000	15-09-06	0,0000	1,0000	13-12-06	0,0000	1,0000	14-03-07	0,0000	1,0000
22-06-06	0,0000	1,0000	18-09-06	0,0000	1,0000	14-12-06	0,0000	1,0000	15-03-07	0,0000	1,0000
23-06-06	0,9994	0,0006	19-09-06	0,0000	1,0000	15-12-06	0,0000	1,0000	16-03-07	0,0000	1,0000
26-06-06	0,9999	0,0001	20-09-06	0,0000	1,0000	18-12-06	0,0000	1,0000	19-03-07	0,0000	1,0000
27-06-06	0,9992	0,0008	21-09-06	0,0000	1,0000	19-12-06	0,9970	0,0030	20-03-07	0,0000	1,0000
28-06-06	0,0000	1,0000	22-09-06	0,0000	1,0000	20-12-06	0,0000	1,0000	21-03-07	0,0000	1,0000
29-06-06	0,9994	0,0006	25-09-06	0,0000	1,0000	21-12-06	0,0000	1,0000	22-03-07	0,0000	1,0000
30-06-06	0,9993	0,0007	26-09-06	0,9963	0,0037	22-12-06	0,0000	1,0000	23-03-07	0,0000	1,0000
03-07-06	0,0000	1,0000	27-09-06	0,0000	1,0000	26-12-06	0,0000	1,0000	26-03-07	0,0000	1,0000
04-07-06	0,0000	1,0000	28-09-06	0,0000	1,0000	27-12-06	0,0000	1,0000	27-03-07	0,0000	1,0000
05-07-06	0,0000	1,0000	29-09-06	0,9995	0,0005	28-12-06	0,0000	1,0000	28-03-07	0,0000	1,0000
06-07-06	0,0000	1,0000	02-10-06	0,9993	0,0007	29-12-06	0,0000	1,0000	29-03-07	0,0000	1,0000
07-07-06	0,9963	0,0037	03-10-06	0,0000	1,0000	02-01-07	0,0000	1,0000	30-03-07	0,0000	1,0000
10-07-06	0,0000	1,0000	04-10-06	0,0000	1,0000	03-01-07	0,9970	0,0030	02-04-07	0,0000	1,0000
11-07-06	0,9958	0,0042	05-10-06	0,0000	1,0000	04-01-07	0,0000	1,0000	03-04-07	0,0000	1,0000
12-07-06	0,0000	1,0000	06-10-06	0,0000	1,0000	05-01-07	0,0000	1,0000	04-04-07	0,0000	1,0000
13-07-06	0,0000	1,0000	09-10-06	0,9966	0,0034	08-01-07	0,9964	0,0036	09-04-07	0,0000	1,0000
14-07-06	0,0000	1,0000	10-10-06	0,0000	1,0000	09-01-07	0,0000	1,0000	10-04-07	0,0000	1,0000
17-07-06	0,0000	1,0000	11-10-06	0,0000	1,0000	10-01-07	0,9960	0,0040	11-04-07	0,0000	1,0000
18-07-06	0,0000	1,0000	12-10-06	0,9994	0,0006	11-01-07	0,0000	1,0000	12-04-07	0,0000	1,0000
19-07-06	0,9995	0,0005	13-10-06	0,9993	0,0007	12-01-07	0,0000	1,0000	13-04-07	0,0000	1,0000
20-07-06	0,9999	0,0001	17-10-06	0,0000	1,0000	15-01-07	0,0000	1,0000	16-04-07	0,0000	1,0000
21-07-06	0,9992	0,0008	18-10-06	0,0000	1,0000	16-01-07	0,0000	1,0000	17-04-07	0,0000	1,0000
24-07-06	0,0000	1,0000	19-10-06	0,9963	0,0037	17-01-07	0,9995	0,0005	18-04-07	0,0000	1,0000
25-07-06	0,9994	0,0006	20-10-06	0,0000	1,0000	18-01-07	0,9999	0,0001	19-04-07	0,0000	1,0000
26-07-06	0,9993	0,0007	23-10-06	0,0000	1,0000	19-01-07	0,9992	0,0008	20-04-07	0,0000	1,0000
27-07-06	0,0000	1,0000	24-10-06	0,0000	1,0000	22-01-07	0,0000	1,0000	24-04-07	0,9971	0,0029
28-07-06	0,9994	0,0006	25-10-06	0,9964	0,0036	23-01-07	0,9960	0,0040	25-04-07	0,0000	1,0000
31-07-08	0,9999	0,0001	26-10-06	0,0000	1,0000	24-01-07	0,0000	1,0000	26-04-07	0,0000	1,0000
01-08-06	0,9992	0,0008	27-10-06	0,0000	1,0000	25-01-07	0,0000	1,0000	27-04-07	0,0000	1,0000
02-08-06	0,0000	1,0000	30-10-06	0,9961	0,0039	26-01-07	0,0000	1,0000	30-04-07	0,0000	1,0000
03-08-06	0,9995	0,0005	31-10-06	0,0000	1,0000	29-01-07	0,9967	0,0033	02-05-07	0,0000	1,0000
04-08-06	0,9993	0,0007	01-11-06	0,0000	1,0000	30-01-07	0,0000	1,0000	03-05-07	0,0000	1,0000
07-08-06	0,0000	1,0000	03-11-06	0,0000	1,0000	31-01-07	0,0000	1,0000	04-05-07	0,0000	1,0000
08-08-06	0,9959	0,0041	06-11-06	0,0000	1,0000	01-02-07	0,0000	1,0000	07-05-07	0,0000	1,0000
09-08-06	0,0000	1,0000	07-11-06	0,0000	1,0000	02-02-07	0,0000	1,0000	08-05-07	0,0000	1,0000

Fecha	Baja (1)	Alta (2)	Fecha	Baja (1)	Alta (2)	Fecha	Baja (1)	Alta (2)
23-04-09	0,0000	1,0000	22-07-09	0,0000	1,0000	19-10-09	0,0000	1,0000
24-04-09	0,0000	1,0000	23-07-09	0,0000	1,0000	20-10-09	0,0000	1,0000
27-04-09	0,0000	1,0000	24-07-09	0,0000	1,0000	21-10-09	0,0000	1,0000
28-04-09	0,0000	1,0000	27-07-09	0,0000	1,0000	22-10-09	0,0000	1,0000
29-04-09	0,0000	1,0000	28-07-09	0,0000	1,0000	23-10-09	0,0000	1,0000
30-04-09	0,0000	1,0000	29-07-09	0,0000	1,0000	26-10-09	0,0000	1,0000
04-05-09	0,0000	1,0000	30-07-09	0,0000	1,0000	27-10-09	0,0000	1,0000
05-05-09	0,0000	1,0000	31-07-09	0,0000	1,0000	28-10-09	0,0000	1,0000
06-05-09	0,9964	0,0036	03-08-09	0,0000	1,0000	29-10-09	0,0000	1,0000
07-05-09	0,0000	1,0000	04-08-09	0,0000	1,0000	30-10-09	0,0000	1,0000
08-05-09	0,0000	1,0000	05-08-09	0,0000	1,0000	03-11-09	0,0000	1,0000
11-05-09	0,0000	1,0000	06-08-09	0,0000	1,0000	04-11-09	0,0000	1,0000
12-05-09	0,0000	1,0000	07-08-09	0,0000	1,0000	05-11-09	0,0000	1,0000
13-05-09	0,0000	1,0000	10-08-09	0,0000	1,0000	06-11-09	0,0000	1,0000
14-05-09	0,0000	1,0000	11-08-09	0,0000	1,0000	09-11-09	0,0000	1,0000
15-05-09	0,0000	1,0000	12-08-09	0,0000	1,0000	10-11-09	0,9963	0,0037
19-05-09	0,0000	1,0000	13-08-09	0,0000	1,0000	11-11-09	0,0000	1,0000
20-05-09	0,0000	1,0000	14-08-09	0,0000	1,0000	12-11-09	0,0000	1,0000
21-05-09	0,0000	1,0000	17-08-09	0,0000	1,0000	13-11-09	0,0000	1,0000
22-05-09	0,0000	1,0000	18-08-09	0,0000	1,0000	16-11-09	0,0000	1,0000
25-05-09	0,0000	1,0000	19-08-09	0,0000	1,0000	17-11-09	0,0000	1,0000
26-05-09	0,0000	1,0000	20-08-09	0,0000	1,0000	18-11-09	0,0000	1,0000
27-05-09	0,0000	1,0000	21-08-09	0,0000	1,0000	19-11-09	0,0000	1,0000
28-05-09	0,0000	1,0000	24-08-09	0,0000	1,0000	20-11-09	0,0000	1,0000
29-05-09	0,0000	1,0000	26-08-09	0,0000	1,0000	23-11-09	0,9968	0,0032
01-06-09	0,0000	1,0000	27-08-09	0,0000	1,0000	24-11-09	0,0000	1,0000
02-06-09	0,0000	1,0000	28-08-09	0,0000	1,0000	25-11-09	0,0000	1,0000
03-06-09	0,0000	1,0000	31-08-09	0,0000	1,0000	26-11-09	0,0000	1,0000
04-06-09	0,0000	1,0000	01-09-09	0,0000	1,0000	27-11-09	0,0000	1,0000
05-06-09	0,0000	1,0000	02-09-09	0,0000	1,0000	30-11-09	0,9960	0,0040
08-06-09	0,0000	1,0000	03-09-09	0,0000	1,0000	01-12-09	0,0000	1,0000
09-06-09	0,0000	1,0000	04-09-09	0,0000	1,0000	02-12-09	0,0000	1,0000
10-06-09	0,0000	1,0000	07-09-09	0,0000	1,0000	03-12-09	0,0000	1,0000
11-06-09	0,9962	0,0038	08-09-09	0,0000	1,0000	04-12-09	0,0000	1,0000
12-06-09	0,0000	1,0000	09-09-09	0,0000	1,0000	07-12-09	0,0000	1,0000
15-06-09	0,0000	1,0000	10-09-09	0,0000	1,0000	08-12-09	0,0000	1,0000
16-06-09	0,0000	1,0000	11-09-09	0,0000	1,0000	09-12-09	0,0000	1,0000
17-06-09	0,0000	1,0000	14-09-09	0,0000	1,0000	10-12-09	0,0000	1,0000
18-06-09	0,0000	1,0000	15-09-09	0,0000	1,0000	11-12-09	0,0000	1,0000
22-06-09	0,0000	1,0000	16-09-09	0,0000	1,0000	14-12-09	0,0000	1,0000
23-06-09	0,0000	1,0000	17-09-09	0,0000	1,0000	15-12-09	0,0000	1,0000
24-06-09	0,0000	1,0000	18-09-09	0,0000	1,0000	16-12-09	0,0000	1,0000
25-06-09	0,0000	1,0000	21-09-09	0,0000	1,0000	17-12-09	0,0000	1,0000
26-06-09	0,0000	1,0000	22-09-09	0,0000	1,0000	18-12-09	0,0000	1,0000
29-06-09	0,0000	1,0000	23-09-09	0,0000	1,0000	21-12-09	0,0000	1,0000
30-06-09	0,0000	1,0000	24-09-09	0,0000	1,0000	22-12-09	0,0000	1,0000
01-07-09	0,0000	1,0000	25-09-09	0,0000	1,0000	23-12-09	0,0000	1,0000
02-07-09	0,0000	1,0000	28-09-09	0,0000	1,0000	24-12-09	0,0000	1,0000
03-07-09	0,0000	1,0000	29-09-09	0,0000	1,0000	28-12-09	0,0000	1,0000
06-07-09	0,0000	1,0000	30-09-09	0,0000	1,0000	29-12-09	0,0000	1,0000
07-07-09	0,0000	1,0000	01-10-09	0,0000	1,0000	30-12-09	0,0000	1,0000
08-07-09	0,0000	1,0000	02-10-09	0,0000	1,0000	04-01-10	0,0000	1,0000
09-07-09	0,0000	1,0000	05-10-09	0,0000	1,0000	05-01-10	0,0000	1,0000
10-07-09	0,0000	1,0000	06-10-09	0,0000	1,0000			
13-07-09	0,0000	1,0000	07-10-09	0,0000	1,0000			
14-07-09	0,0000	1,0000	08-10-09	0,0000	1,0000			
15-07-09	0,0000	1,0000	09-10-09	0,0000	1,0000			
16-07-09	0,0000	1,0000	13-10-09	0,0000	1,0000			
17-07-09	0,0000	1,0000	14-10-09	0,0000	1,0000			
20-07-09	0,0000	1,0000	15-10-09	0,0000	1,0000			
21-07-09	0,9971	0,0029	16-10-09	0,0000	1,0000			