

Expectativas en las tasas de interés y noticias de política monetaria de EEUU¹

Gilberto Anzaldo²

Universidad Anáhuac, México

Guillermo Benavides³

Universidad del Valle de México, México

Resumen

El evento conocido como Taper Tantrum está relacionado con la alta volatilidad ocurrida en los mercados de capitales de Estados Unidos entre abril y junio de 2013, lo que aparentemente fue consecuencia de un conjunto de anuncios de la FED destinados a incrementar la tasa de interés estando a niveles relativamente bajos desde las crisis financieras de 2008-2009. La presente investigación estima el valor esperado del nivel de las tasas de interés (T-Note de 10 años) de un agente representativo y sus variaciones significativas en torno al Taper Tantrum. Para lograr ese objetivo se estima la densidad neutral-al-riesgo de la tasa de interés extraída de los precios de las opciones, la cual tiene información implícita sobre las expectativas. Los resultados obtenidos indican que la metodología propuesta mide implícitamente las expectativas en el mercado de deuda. La hipótesis del trabajo es que los anuncios de los formuladores de políticas durante el Taper Tantrum tienen un efecto estadísticamente significativo en los mercados de capital.

Clasificación JEL: C22, E52, G13, G14

Palabras clave: Densidades de riesgo-neutral, tasas de interés, taper tantrum

Interest Rates Expectations and Monetary Policy News in the US

Abstract

The Taper Tantrum event is related to the high volatility experienced in the US stock markets between April and June 2013. The apparent cause was a set of announcements made by the Fed as a means to increase the interest rate, which was at relative low levels since the financial crises of 2008-2009. This research estimates the expected value of the level of interest rates (10-year T-Note) of a representative agent, and its significant variations, around the Taper Tantrum. For this purpose, the risk-neutral density of the interest rate extracted from option prices, which has implicit information on the expectations, is estimated. The obtained results

¹Las opiniones expresadas en este documento son solo de los autores y no necesariamente representan la opinión del Banco de México. Agradecemos los comentarios hechos por los árbitros y el editor de la revista. También agradecemos a los participantes de la Conferencia Internacional de Finanzas del IMEF 2017 en la Universidad Anáhuac y participantes en la Conferencia de Investigación de la Universidad del Valle de México, Octubre 2017, por sus valiosos comentarios. Cualquier error que todavía se tenga es completa responsabilidad de los autores.*Sin fuente de financiamiento declarada para el desarrollo de la investigación

²Autor para correspondencia. anzaldo.gilberto@hotmail.com

³Universidad del Valle de México. Email: guillermo.benavides@uvmnet.edu

Abstract

indicate that the proposed methodology implicitly measures the expectations in the debt market. The working hypothesis is that the announcements of policymakers made during the Taper Tantrum have a statistically significant effect on US stock markets.

JEL Classification: C22, E52, G13, G14

Keywords: interest rates, risk-neutral densities, taper tantrum

1. Introducción

Las decisiones de Política Monetaria, que implementa un Banco Central, buscan promover la estabilidad financiera y el crecimiento económico empleando diversas herramientas, siendo, una de las más importantes la tasa de interés de referencia (Barro et al. 1997)⁴. Esta última refleja el nivel de confianza sobre el futuro desempeño de la economía e incide sobre las decisiones de inversión de las instituciones financieras (FRS, 2014), (IMF, 2015), (Tseng, 2013). Para una persona que toma decisiones financieras la tasa de interés es el indicador económico que mayor cantidad de información contiene (Cornyn y Mays, 1997). Su interpretación puede expresarse de forma sucinta (Hellwig, 2014). Por ejemplo, una disminución en el valor de la tasa de interés es un indicio de que se desea estimular el crecimiento económico promoviendo el consumo de corto plazo. En contraparte, cuando esta aumenta, la autoridad monetaria desea evitar un posible sobrecalentamiento en la economía. Esta lógica económica motiva al inversionista a tomar decisiones sobre comprar o vender instrumentos de deuda gubernamental (Banco de México, 2015b), lo cual a la postre, influye en el nivel de la tasa de interés.⁵

En el año 2008, dada la crisis económica mundial, las acciones conjuntas del Departamento del Tesoro y de la Reserva Federal de los EEUU. (FED) propiciaron una política monetaria expansiva. Lo anterior ayudó a aumentar la compra de casas nuevas logrando que el sector de la construcción de los EEUU., pasará el bache económico del año 2009, al igual que, se estimularon otros sectores económicos relevantes. Para finales del año 2012, la tendencia positiva en la demanda de inmuebles, así como el constante crecimiento en los niveles de empleo, eran las señales que indicaban la recuperación de la economía. Se pensaba que el éxito alcanzado fue consecuencia de implementar una política expansiva entre los años 2008 a 2012.

Los estímulos económicos proporcionados por el Departamento del Tesoro alcanzaron un monto de \$184,000 millones de dólares americanos (mdd) en instrumentos de deuda y \$282,000 mdd con la emisión de bonos del tesoro. Estos fueron colocados en su gran mayoría con relativamente pequeños inversionistas de Wall Street (Gandel, 2013). Por su parte, la FED compró mensualmente instrumentos financieros por un valor de \$85,000 mdd, con el propósito de inyectar liquidez al mercado financiero norteamericano y con ello, coadyuvar en el crecimiento económico. Estas acciones propiciaron que la tasa de interés se redujera a un punto donde se promoviesen las inversiones de capital debido a que su financiamiento era muy bajo y con ello aumentó el consumo de corto plazo (Christie, 2013) y (Hargreaves, 2013). Estas acciones son conocidas como la ‘Quantitative Easing’: QE1, QE2 y QE3.⁶ Básicamente consistía en la compra masiva de títulos de

⁴Dependiendo de las atribuciones de cada Banco Central, las herramientas que inciden sobre la Política Monetaria, en lo general son, según (Mishkin, 2007): La emisión y distribución de billetes, la supervisión de los agentes económicos y financieros, vigilar el buen funcionamiento de los sistemas de pagos y realizar política monetaria, asignar el valor de la tasa de interés de referencia a través de las operaciones de mercado abierto y ser prestamista de última instancia.

⁵Por el momento, el concepto de tasa de interés es general, aunque más adelante se hará énfasis en la diferencia entre tasas de interés de corto y largo plazo.

⁶El orden de la numeración en los QE_i (i=1,2,3), depende cronológicamente del punto del tiempo en el cual se implementó. Por ejemplo, QE1 se lleva a cabo en noviembre de 2008. El QE2 se refiere al segundo evento, bajo similares características que el anterior, pero que se activa dos años después en noviembre de 2010. Finalmente, el QE3 con similares objetivos se implementa en septiembre 2013.

deuda con el objetivo de proveer a la economía, a través de los mercados, con mayor cantidad de circulante. De acuerdo a informes de las mencionadas instituciones gubernamentales, esto ayudaría a abaratar el dinero con tasas nominales más bajas, dada el aumento en la oferta monetaria, lo que a su vez, podría incentivar la inversión privada a través, en su mayoría, de los canales de crédito.

Para mediados del mes de abril e inicios del mes de mayo de 2013 había rumores de un incremento en las tasas de interés de los bonos del tesoro de 10 años. Dichos rumores se alimentaron de los reportes sobre los pagos de nómina del mes de abril y de las expectativas hacia el incremento de las tasas de interés de la próxima reunión del Comité Federal de Mercado Abierto (FOMC-Federal Open Market Committee) (Dwyer, Rosner y Shuktyeva, 2013). Sin embargo, la volatilidad en los mercados no experimentó sobresaltos durante la primera quincena del mes de mayo. Fue el 22 de mayo de 2013, cuando Ben Bernanke quien fungiera como el entonces presidente del Banco Central Estadounidense, tuvo una audiencia ante el Congreso de Estados Unidos, en la cual, sugirió que la FED podría comenzar a reducir el monto de compras de bonos relevantes a los conocidos programas de estímulo. Solo bastó que el Sr. Bernanke dijera que existía esa posibilidad para que los mercados reaccionarán de manera abrupta. Fue hasta el 18 de junio de ese mismo año, que se realizó un anuncio formal de política monetaria por parte de la FOMC (Comité de Operaciones de Mercado Abiertas). Sin embargo, los mercados ya había reaccionado como consecuencia del mensaje de Bernanke, que aparentemente, abrió (aunque dijera ‘posiblemente’) esa posibilidad. El día siguiente (el 19 de junio), durante una conferencia de prensa, Bernanke volvió a insistir sobre la posibilidad de que las compras de los bonos (o bien la dinámica de compras de estos) podrían reducirse hacia finales de ese año. Esto último consolidó el fenómeno de sobre reacción de los mercados, y a su vez, el período conocido en la literatura como el Exabrupto de la FED (Taper Tantrum en inglés).

Cabe destacar que a inicios del mes de mayo se consideraba que la economía norteamericana estaba en franca recuperación, dando pie a pensar al Departamento del Tesoro que era factible reducir el nivel de la deuda pública de \$1.1 billones de dólares a \$650,000 mdd; la diferencia de 450,000 mdd sería cubierta aumentando los impuestos. Por su parte, la FED consideraba que la economía contaba con las condiciones macroeconómicas para incrementar la tasa de interés y reducir la emisión de la deuda gubernamental. Como lo explica Yousuf en su nota periodística, se entendió que el plan consistiría en una reducción del 50 % a la compra de bonos del Tesoro y de instrumentos hipotecarios que para ese momento sumaban \$2.5 billones de dólares. Así mismo, incrementaría la tasa de interés de referencia. Las proyecciones de la FED indicaban una caída en el desempleo al 7.6 % en la industria de la construcción como consecuencia de la ejecución del plan para ese año (Yousuf, 2013). Esta disminución era 10 % menor comparado con el peor momento de la crisis; mientras tanto, el resto de las políticas de estímulo económico continuarían sin cambio alguno.⁷ A la postre, a finales de mayo de ese año, los mercados financieros reaccionaron abruptamente a la baja. El Dow Jones Industrial Average (DJIA) cayó 1.3 %, el Standard and Poors 500 (S&P 500) cayó 1.4 % y el National Association of Securities Dealers Automated Quotation (NASDAQ) cayó 1.1 %. Por su parte, los tenedores de bonos de deuda, empezaron a venderlos provocando que la tasa del bono de 10 años aumentase de 2.20 % a 2.36 % en menos de 24 horas. Este incremento en la tasa fue el más alto que se hubiese registrado desde al año 2012 (Baldwin, 2015), (Yousuf, 2013), (CNN Money, 2013) y (Popkit, 2013). Lo que se puede apreciar respecto a lo ocurrido en mayo de 2013 es un cambio en las expectativas sobre el futuro nivel de la tasa de interés. Lo interesante de lo anterior, es que no hubo en sí cambio en la mencionada tasa por parte de la FED, sino más bien, se generó un escenario de reacción por parte de los inversionistas basados en sus expectativas dado el entorno de incertidumbre que prevaleció en esa época.

⁷La decisión era respaldada por el criterio técnico que se había establecido desde el inicio del programa de compra. Dejar de comprar bonos del Gobierno de los EEUU., así como instrumentos financieros relacionados con las hipotecas, cuando el desempleo fuese menor o igual al 6.5 %. Se dejarían de tomar las acciones de estímulo a la economía del país. Situación que ocurriría dentro de un año a la fecha del anuncio.

Ante lo ocurrido respecto a la vorágine financiera derivada de los cambios en las expectativas de los agentes, el Presidente de la FED declaró inmediatamente que el programa de estímulo económico continuaría sin cambios por un tiempo indefinido, enfatizando que no modificaría el nivel de la tasa de interés de referencia. Nuevamente a este conjunto de señales que recibieron los mercados financieros por parte de la FED se le conoce como el Taper Tantrum. Varios documentos de investigación han analizado el referido tema del ‘Taper Tantrum’. Por ejemplo (Sahay et al. 2014) identifican el evento como un cambio en la política monetaria de lo que se conocía como expansión monetaria ‘monetary easing’, a uno en el cual, a través de declaraciones y comunicados de miembros (ejecutivos) de la FED, se le da a entender a los agentes financieros sobre la adopción de una posible tendencia alcista en las tasas de interés. En particular, los referidos autores tratan de explicar el por qué los mercados reaccionaron de la manera en que lo hicieron, y subsecuentemente, cuáles serían las lecciones del referido episodio. Adicionalmente, (Wu y Xia, 2016) abordan el tema poniendo mayor énfasis en analizar los efectos de la aplicación de la política monetaria no convencional, es decir, utilizar acciones de política monetaria no utilizadas comúnmente, como por ejemplo, la compra masiva de títulos de deuda por parte del Banco Central, con el fin de inyectar liquidez a la economía del país. Se suele recurrir al mencionado tipo de acciones ante eventos extraordinarios, como lo fue la crisis financiera de 2008.

En el presente documento de investigación se analiza cuantitativamente la reacción que tienen los agentes financieros cuando sus expectativas sobre el futuro de las tasas de interés de largo plazo para el Dólar Estadounidense, no están alineadas ante noticias, o comunicados, relevantes que emite la FED. El análisis se enfoca en el período del Taper Tantrum, lo cual, complementa la literatura existente alrededor de tiempo. La relevancia de medir la reacción conjunta de los referidos agentes subyace en que estos valoran en gran medida el poder que el Instituto Central tiene para cambiar la tasa de interés objetivo (tasa líder) y por ende, influenciar a distintas tasas de interés para diferentes horizontes de tiempo. Se espera que la contribución del presente trabajo sea que se cuantificó las expectativas de los agentes financieros sobre las tasas de interés de largo plazo utilizando la información de instrumentos derivados (opciones sobre futuros de tasas de interés) con un método estándar de estimación de densidades de riesgo-neutral, las cuales, dan información del sentir del mercado, a través del cálculo de una distribución implícita en la metodología de valuación de las referidas opciones, y que hasta la fecha en el mejor de nuestro conocimiento, solo se ha utilizado para tasas de interés de corto plazo y con análisis detallado para períodos distintos al conocido como el Taper Tantrum.⁸ Con los resultados de la presente investigación, se espera añadir información relevante al tema conocido en la literatura sobre la influencia en variables financieras derivadas de noticias relevantes de tipo macroeconómico; i.e., comunicados de un Banco Central. La información que proporciona la FED de Minneapolis sobre los 10yrs T-Notes de los EEUU, es a partir del 2013/10/17. Nuestro estudio abarca información del 2013/01/04 al 2013/06/19, lo cual indica que el estudio realizado considera observaciones que están más cercanas al evento bajo estudio.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera. En la Sección 2 se presenta el objetivo del estudio, en la Sección 3 se detalla la metodología para el análisis y respuesta a nuestra pregunta de investigación, en la siguiente sección (Sección 4) se presentan los resultados, en la Sección 5 se detallan las conclusiones. Finalmente, se incluye al final del documento un apéndice y la bibliografía relevante.

⁸ Cabe destacar que existe una limitante en términos de la interpretación de las RNDs. Esto es debido a que las estimaciones de la referidas RNDs asemejan el comportamiento de los agentes financieros ante condiciones de neutralidad-al-riesgo, lo cual, no siempre es la realidad para los referidos agentes. Normalmente, estos ajustan su probabilidad subjetiva de acuerdo a sus aversiones al riesgo, lo cual, puede ser distinto a un mundo de riesgo-neutral. Sin embargo, como se detalla en Abarca, Benavides y Rangel (2012), dado que los modelos utilizados para estimar estas probabilidades emplean una medida de martingala equivalente de la probabilidad objetiva (real) que fija los precios de los activos, como si los agentes fueran riesgo-neutrales, la densidad de probabilidad resultante puede ser utilizada bajo esa premisa y por ende, se considera con fines de pronóstico.

2. Objetivo

Desde la perspectiva del mercado de capitales algunos analistas del sector financiero ya estaban descontando un aumento en las tasas de interés de largo plazo, dado el incremento de las tasas de los créditos hipotecarios (de 3.3 % a 3.91 % para los créditos de 30 años, y de 2.56 % a 3.03 % para los créditos a 15 años) además, que no era factible para el gobierno seguir manteniendo bajas las tasas de interés dado que ello podría sobrecalentar la economía (Market Watch, 2015).

Otros estudios revelaron que el crecimiento en el número de empleos creados había sido consecuencia del incremento en la población de los EEUU., más que un efecto de las políticas expansivas del gobierno para promover el crecimiento de la economía. Esto indicaba que cualquier cambio en la política monetaria provocaría una caída en los mercados financieros que adquieren los bonos de deuda e hipotecarios. Cualquier cambio en el statu quo sería la señal que los mercados interpretarían como: ¡Vendan ahora!, este evento ralentizaría la actividad industrial del sector inmobiliario, provocando la pérdida de lo que se había ganado. Se tendría un efecto inflacionario antes de que terminase el año 2014⁹.

Por su parte, para la autoridad monetaria, el anuncio sobre los cambios en el programa de estímulo económico encajaba perfectamente desde la perspectiva económica, debido a que la reducción de \$45,000 mdd mensuales que se podría aplicar a un año de distancia era una cifra pequeña en comparación a las operaciones que la misma FED realizaba en la compra y venta de bonos del Tesoro por \$350,000 mdd. La reducción sería del 0.4 % del total de las operaciones realizadas al mes. Por otra parte, los \$2.5 billones de dólares representaban el 20 % de la deuda total, que para ese momento rondaba los \$16 billones de dólares. Estas acciones coadyuvaban a disminuir el nivel de endeudamiento del gobierno federal en el corto plazo (Gandel, 2013).

Lo anterior conduce a concluir que las perspectivas económicas futuras de la economía norteamericana no eran similares. Para la FED todo estaba marchando por buen camino de acuerdo al plan económico definido durante el año 2008 y era el momento de subir la tasa de referencia. Mientras tanto, los mercados financieros tenían opiniones diferentes acerca de las causas del fortalecimiento económico; sin embargo, lo que sí tenían en común era que cualquier movimiento en la tasa de interés impactaría negativamente en el desarrollo de la economía. Dado lo anterior, se propone en el presente documento como pregunta de investigación ¿Cómo cambiaron las expectativas sobre las tasas de interés de largo plazo durante el episodio denominado Taper Tantrum del año 2013?

Para dar respuesta a la pregunta de investigación es indispensable medir el sentir de los mercados financieros ante los posibles cambios de la tasa de interés de referencia, para ello se cuantificó la expectativa que estos tenían con la información implícita que poseen los instrumentos derivados¹⁰ dada la naturaleza forward-looking (mira hacia adelante) que los referidos instrumentos poseen. Se empleará la técnica de “mezcla de log normales” la cual, permite construir una función de distribución de probabilidad que ayudará a describir la tasa de interés que se deberá tener, el inversionista representativo, en mente en el mercado de capitales como expectativas de la tasa de interés.

La mezcla de log normales ha sido empleada por diversos bancos centrales¹¹ para medir los niveles de

⁹Nota del autor: Se hicieron analogías con lo ocurrido hace más de tres cuartos de siglo, cuando en 1937, la misma FED, anunciaba que no contaba con el poder para tomar acciones en materia de política monetaria, que en conjunto con una reducción de gasto por parte del gobierno federal y un aumento en las tasas de interés, llevaron a la economía por una espiral descendente hacia la gran depresión de los años 1930s.

¹⁰Instrumento derivado: También conocido como derivado financiero. Es un contrato que genera pagos u obligaciones, los cuales dependen del precio de un activo financiero (Subyacente), como materias primas, divisas, bonos, precios de acciones, índices de mercado o algún valor predefinido. Ejemplos de estos instrumentos son: opciones, futuros, forwards y swaps, (Banco de México, 2015), (OECD, 2001b).

¹¹Los Bancos Centrales que han reportado el uso de la mezcla de log normales son: Banco de Inglaterra, Banco de Canadá, el Sistema de Bancos de la FED, Banco de México y el Fondo Monetario Internacional (FMI).

riesgo en los mercados de derivados. Esta técnica ha permitido medir la diferencia entre los precios esperados con los precios pactados antes de que se llegue a la fecha de ejecución del contrato. Esta aplicación a-posteriori ha permitido tomar acciones preventivas por parte de los reguladores del sistema financiero de diversos países (Díaz de León y Casanova, 2004). La técnica asume implícitamente dos distribuciones que describen la presencia de eventos opuestos que se mezclan. Por ejemplo, un evento de alza de tasas de interés versus un evento en el cual las mismas no suban.

Para los efectos de esta investigación, la estimación de las curvas será a-priori. Esto permitirá cuantificar las expectativas de la tasa de interés de los EEUU., del día 22 de mayo de 2013. En el mejor de nuestro conocimiento cabe señalar que este tipo de estudios sólo se ha realizado en distintos instrumentos derivados pero no en la valoración de las expectativas de la tasa de interés aplicado al caso de EEUU. post-crisis 2009, en específico, durante el Taper Tantrum.

3. Metodología

Existen dos formas más comunes de estimar las funciones de densidad de probabilidad, los métodos paramétricos y los no paramétricos. Los primeros suponen, a-priori, que los precios tienen una distribución de probabilidad que describe el comportamiento de los activos subyacentes. Por lo general, se presume una función log normal o la mezcla de estas y posteriormente se estiman los parámetros.

Los métodos no paramétricos construyen las distribuciones de probabilidad a partir de las observaciones de los precios de los subyacentes. En algunas investigaciones se ha utilizado la distribución “smile”, la cual, es una técnica que se recomienda cuando no se tienen los precios de todas las acciones. Esta falta de información es habitual detectarla en los mercados no regulados (OTC-Over the Counter) (Díaz de León y Casanova, 2004), (Abarca, Benavides y Rangel: 2012).

En presente documento de investigación, se utilizó la perspectiva paramétrica, con la mezcla de log normales basada en la información de mercado disponible de los precios de los contratos sobre futuros de la tasa de interés a 10 años de los EEUU.¹² El referido método utiliza opciones que se conocen como RND (Risk-Neutral Density). Para tal efecto existen cuatro formas generales para obtener dichas densidades de riesgo neutral implícitas de los precios de las opciones. De acuerdo a (Bahra, 1997) y (Micu, 2004) estas son:

1. Realizar un supuesto sobre el proceso estocástico que sigue el precio del activo obteniéndose la densidad de riesgo neutral (RND) (Bates, 1991) y (Malz, 1997).
2. Hacer un supuesto paramétrico acerca de la RND donde los parámetros se calculan minimizando la distancia entre los precios de las opciones observadas y aquellos estimados a través de la especificación funcional (por ejemplo, el método de mezcla de log normales (véase a Rubinstein , 1994), (Melick y Thomas, 1997) y (Bahra, 1997). Adicionalmente, otros métodos de minimización entre precios observados y precios teóricos de opciones (véase a Ortiz-Ramírez, Venegas-Martínez y Durán-Bustamante, 2014) los cuales, estiman los parámetros de volatilidad estocástica a través de procesos de minimización con funciones de pérdida cuadrática. Para la aplicación de la metodología de redes neuronales artificiales véase a (Andreou, Charalambous y Martzoukos, 2008).

¹²Opciones: Son contratos que otorgan al comprador el derecho, mas no la obligación, de ejercer la compra (una opción CALL) o la venta (una opción PUT) que haya acordado al momento de firmar el contrato y pagado una prima, en el cual, se especificó, el tipo de subyacente (materia prima, índice accionario, tasa de interés, etc.), el precio de ejercicio (Strike Price) y la vigencia del acuerdo (Vigencia). Dependiendo si la decisión de ejercer el contrato se realizará hasta el término del contrato, a esta operación se le conoce como opción Estilo-Europea. En caso de que pueda determinarse terminarlo antes de tiempo, puede ser una opción Estilo-Americana (OECD, 2001a).

3. La RND se deriva directamente de una especificación paramétrica de la función de valuación de la opción ‘Implied Volatility Smile’ (Shimko, 1993) y (Madan y Milne, 1994).
4. La RND se estima de una forma no paramétrica; es decir, sin restricciones de tipo paramétrico en la dinámica de precios del activo subyacente, la función de valuación de la opción o la función de la RND terminal se estima como lo señalan (Bliss y Panigirtzoglou, 2004), (Aït-Sahalia y Lo, 1998) y (Bondarenko, 2003)¹³. Adicionalmente, también se estiman aplicando la metodología de Máxima Entropía (véase Venegas-Martínez, 2005).

Tomando en cuenta la certeza relativa de los resultados y la sencillez para llevar a cabo el cálculo de las densidades, las formas expresadas en los incisos 2) y 3) son, hoy en día, las más utilizadas en la literatura académica. De estos dos métodos resaltan los trabajos realizados por (Melick y Thomas, 1997) así como de (Bliss y Panigirtzoglou, 2004). Para los efectos de esta investigación se utilizó el segundo método, el cual, parte del supuesto que los precios para opciones europeas call (Ecuación 1) y put (ecuación 2) en el tiempo t se pueden definir como el valor presente de la suma de los pagos esperados (Bahra, 1997).

$$c(X, T) = e^{-rT} \int_X^{\infty} q(S_T) (S_T - X) dS_T \quad (1)$$

$$p(X, T) = e^{-rT} \int_X^{\infty} q(S_T) (X - S_T) dS_T, \quad (2)$$

donde $c(X, T)$ es el precio de la opción call, X es el precio de ejercicio, T es el tiempo para la expiración de la opción expresado en años, r es la tasa de interés libre de riesgo compuesta en tiempo continuo, S es el precio del activo subyacente, $q(S_T)$ es la función de densidad log normal y $p(X, T)$ es el precio de la opción put. En teoría, cualquier especificación funcional para la función de densidad, $q(S_T)$ se puede utilizar para las ecuaciones (1) y (2), y sus parámetros, se pueden obtener con el método de optimización numérica Newton-Raphson. Para estimar $q(S_T)$, de las ecuaciones (1) y (2), se define una función de densidad log normal expresada en la ecuación (3) como lo define (Ritchey, 1990).

$$q(S_T) = \sum_{i=1}^k [\theta_i L(\alpha_i, \beta_i; S_T)] \quad (3)$$

donde $L(\alpha_i, \beta_i; S_T)$ es la función de densidad log normal i en el k -ésimo componente de la mezcla. Este último indica el total de log normales que se utilizaron en la mezcla considerando los parámetros α_i , β_i (por ejemplo, para el caso de una mezcla de dos log normales el valor de k será igual a dos).¹⁴ La definición de α_i y β_i se expresa de la siguiente forma:

$$\alpha_i = \ln S + \left(\mu_i - \frac{1}{2} \sigma_i^2 \right) T \quad (4)$$

$$\beta_i = \sigma_i \sqrt{T}, \text{ para cada } i, \quad (5)$$

en donde μ_i representa la esperanza de la serie i -ésima y σ_i su desviación estándar. La ponderación de

¹³En inglés la densidad de riesgo neutral se le conoce como ‘Risk-Neutral Density Function’ y comúnmente se abrevia RND.

¹⁴Una de las ventajas del método de mezcla de lognormales (MLN) es que en teoría, asemeja una situación de dos eventos contrarios extremos. Por ejemplo, que haya una guerra o que no la haya, que gane un candidato o que no gane (Melick y Thomas: 1997). Para el caso del presente análisis, la analogía es que el Banco Central suba la tasa de interés o que no la suba. Cada evento representa una distribución lognormal individual. La mezcla de estas se motiva para considerar la probabilidad conjunta de ocurrencia de ambos eventos contrarios extremos. Para un estudio sobre la estabilidad de los parámetros en la MLN el lector puede también consultar a Benavides y Mora 2008.

las probabilidades θ_i , debe satisfacer las siguientes condiciones.

$$\sum_{i=1}^k \theta_i = 1, \theta_i > 0, \text{ para cada } i - \text{sima} \quad (6)$$

Se sabe que en una significativa cantidad de mercados financieros, las opciones se negocian con un rango de precios de ejercicio relativamente pequeño. Considerando lo anterior, existen limitantes para el número de parámetros de las distribuciones que se puedan estimar a partir de los datos.

Considerando la escasez de rangos, normalmente se utilizan mezclas de dos log normales para obtener los parámetros óptimos, $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ y θ . Bajo este supuesto los valores de las opciones call y put expresadas en las ecuaciones (1) y (2) se pueden expresar de la siguiente forma:

$$c(X, T) = e^{-rT} \int_X^\infty [\theta L(\alpha_1, \beta_1; S_T) + (1 - \theta) L(\alpha_2, \beta_2; S_T)] (S_T - X) dS_T \quad (7)$$

$$p(X, T) = e^{-rT} \int_X^\infty [\theta L(\alpha_1, \beta_1; S_T) + (1 - \theta) L(\alpha_2, \beta_2; S_T)] (X - S_T) dS_T, \quad (8)$$

ambas expresiones, call (7) y put (8), se refieren al mismo activo subyacente y mismo plazo al vencimiento. Por ende, sería consistente si se incluyen ambos conjuntos de precios en un problema de minimización de una sola función objetivo. La idea es encontrar los parámetros óptimos $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ y θ que minimicen la diferencia entre los precios teóricos y los observados. El problema de optimización queda expresado en la siguiente ecuación:

$$\text{Min}_{\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \theta} \sum_{i=1}^n [c(X_i, T) - \hat{c}_i]^2 + \sum_{i=1}^n [p(X_i, T) - \hat{p}_i]^2 + \left[\theta e^{\alpha_1 + \frac{1}{2}\beta_1^2} + (1 - \theta) e^{\alpha_2 + \frac{1}{2}\beta_2^2} - e^{rT} S_T \right]^2, \quad (9)$$

con las restricciones siguientes: $\alpha_1, \alpha_2 > 0, \beta_1, \beta_2 > 0$ y $0 \leq \theta \leq 1$, sobre el rango observado de los precios de ejercicio $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$. Las funciones $c(X_i, T)$ y $p(X_i, T)$ son los precios teóricos (estimados) para las opciones call y put, mientras que $\hat{c}_i$ y $\hat{p}_i$ son los precios observados de los calls y puts respectivamente. Una vez que se obtuvieron los parámetros óptimos se estimó la RND de acuerdo a las ecuaciones (7) y (8)¹⁵.

En resumen, se tienen los siguientes puntos referentes en el proceso de estimación de la RND.

- *Se presume una función de valuación para opciones- “calls” y “puts” europeas- con la fórmula Black-Scholes; o bien, para las opciones americanas se emplea la aproximación de Barone-Adesi y Whaley véase a (Barone-Adesi y Whaley, 1987).*¹⁶
- *Los precios de mercado observados para las opciones “call” y “put” con diferentes precios de ejercicio se utilizan.*
- *Los óptimos de las α' s, β y θ minimizan las diferencias al cuadrado entre los precios teóricos del modelo de valuación de opciones i.e., Black-Scholes (Black y Scholes, 1973) y los precios de mercado observados (incluyendo un componente que contiene la diferencia al cuadrado entre la media de la distribución y los precios forward o de futuros; Ecuación 9).*

¹⁵Cabe destacar que las ecuaciones (7) y (8) deben de ser transformadas a una forma-cerrada ('closed-form') para llevar a cabo la estimación (Liu et al. 2004). Para ver a detalle la derivación que las transforma a la forma-cerrada el lector puede referirse a (Bahra, 1997) en el apéndice del mencionado documento de investigación.

¹⁶Cabe mencionar que en la literatura sobre valuación de opciones Estilo-Americanas se tienen distintas metodologías. Por mencionar un par de estas (además de Barone-Adesi y Whaley), están los trabajos de (Andersen and Broadie, 2004), en el cual, utilizan un algoritmo con simulaciones para obtener valuación de Opciones Americanas multidimensionales; y, (Venegas-Martínez, 2008), quien profundiza en conceptos de riesgo e incertidumbre en la metodología de valuación de los referidos instrumentos derivados.

Una de las desventajas de la metodología utilizada es la inestabilidad en el caso de baja volatilidad y relativa alta curtosis (Cooper: 1999; y, Cheng: 2010). También se tiene la posibilidad de múltiples soluciones y óptimos locales, lo cual, es un problema que enfrentan básicamente todos los procedimientos que buscan la optimización a través de métodos numéricos. En ocasiones, el problema de inestabilidad se asume con el objetivo de no perder certeza en los resultados (Micu: 2005) Se espera que las desventajas previamente mencionadas no afecten cualitativamente los resultados. Lo anterior considerando que se realizaron algunas pruebas de robustez, cambiando los parámetros iniciales y la muestra y a grandes rasgos los resultados cualitativamente hablando se sostienen.

En el presente documento de investigación, las estimaciones se realizaron con datos con una frecuencia diaria del 02/01/2012 al 31/12/2013 para días de negociación (excluyendo sábados y domingos) para un total de 522 observaciones. Se utiliza un rango de 18 precios de ejercicio, los cuales son 9 inferiores al precio de ejercicio at-the-money (donde $S=X$), y 9 superiores a este último. La fuente de los datos fueron: El sistema de información financiera Bloomberg y la página Web del Banco de México. Las opciones calls y puts utilizadas fueron de mercados reconocidos, específicamente el Chicago Board of Options Exchange (CBOE) obtenidas a través de una terminal de Bloomberg.

4. Resultados

Con la información de las opciones de CBOE se observó que la media implícita del bono del tesoro a 10 años mostró que las expectativas de la tasa de interés se encontraban entre el 2.37 % y el 2.75 % entre los días 4 y 5 de mayo de 2013, como se muestra con la elipse de la Gráfica 1. Esta diferencia es estadísticamente significativa como lo indica la prueba del Estadístico-F, Anova del Cuadro 1.

Cuadro 1. Prueba de igualdad estadística de los momentos de la distribución anterior versus el momento posterior al evento del 'Exabrupto'.

Pruebas de Igualdad Estadística. Antes de Mayo 2013 vs Después de Mayo 2013

Media	Mediana	Varianza
0.0263**	0.0143**	0.0495**

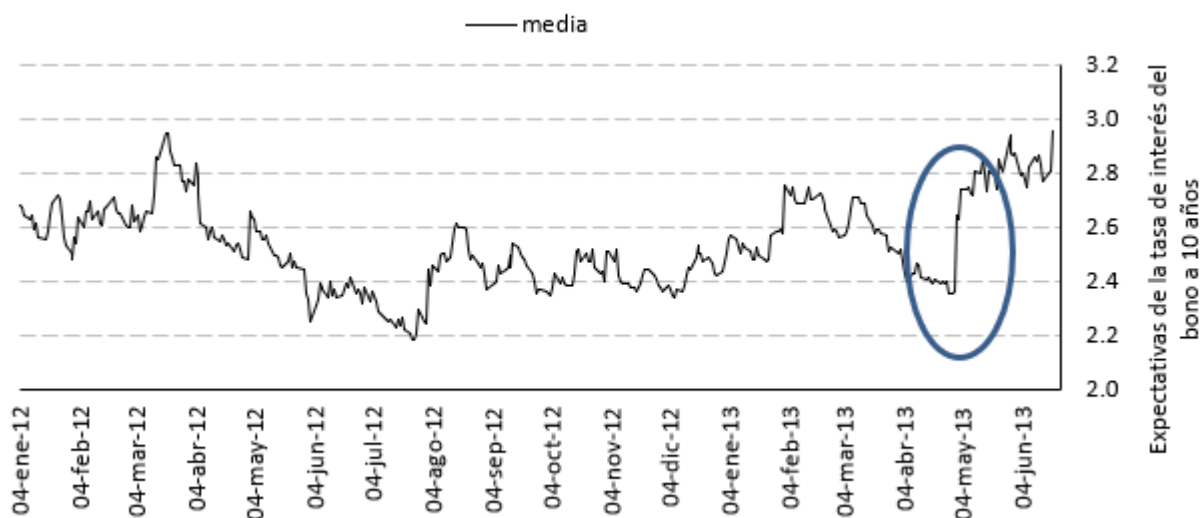
Hipótesis nula: Los momentos de la distribución son estadísticamente iguales. * El estadístico reportado es el valor p-valor. Media = Prueba-t. Mediana = Wilcoxon/Mann-Whitney. Varianza = Siegel-Tukey. **/ Rechazo de la hipótesis nula al 5 % nivel de confianza.

Fuente: Elaboración propia con datos de CBOE obtenidos de Bloomberg.

Cabe destacar que existen otras pruebas de este tipo para evaluar las densidades estimadas con metodologías propuestas. Por ejemplo, se conoce el procedimiento empleado en Wright (2016), en el cual, se puede evaluar la densidad a través de una probabilidad integral transformada que permite identificar si esta última es uniforme e independiente a través del tiempo. Lo anterior permite evaluar la robustez de la densidad de la estimación. Para el caso en el presente documento de investigación, no sería factible el método de Wright (2016) considerando que se requiere de planteamientos explícitos de variables estado, las cuales, no se especifican con el método aquí utilizado de mezcla de lognormales. Sin embargo, las métricas aquí utilizadas para la referida evaluación (Estadístico-F, Anova) de las densidades son de uso común en la literatura estadística. Adicionalmente a este último, Benavides y Mora (2008) muestran pruebas de igualdad estadística entre dos métodos estándar en la literatura, siendo uno paramétrico vs. otro no paramétrico.

Posteriormente, se aplicó la prueba de corte estructural siguiendo la metodología de (Quandt, 1960) y (Andrews, 1993), en la cual, se busca algún quiebre estadístico (corte estructural) que pueda tener la serie de tiempo una vez que se le ha ajustado un modelo econométrico. Para este caso se utilizó un modelo

autorregresivo de orden once, considerando la identificación sugerida a través del correlograma aplicado a la serie de tiempo de la media y prueba de criterio de información de Schwartz Bayesian Information Criterion (SBIC). El resultado de la prueba mostró un corte estructural en mayo de 2013, coincidiendo con el mes del evento que se está analizando en el presente documento de investigación. Los resultados se pueden observar en el Cuadro 2¹⁷.



Gráfica 1. Comportamiento de la media implícita del bono del tesoro a 10 años extraídos con los precios de las opciones con un horizonte de 2 -4 meses.

Fuente: Elaboración propia con datos de CBOE obtenidos de Bloomberg.

Cuadro 2. Prueba de corte estructural siguiendo la metodología de Quandt-Andrews

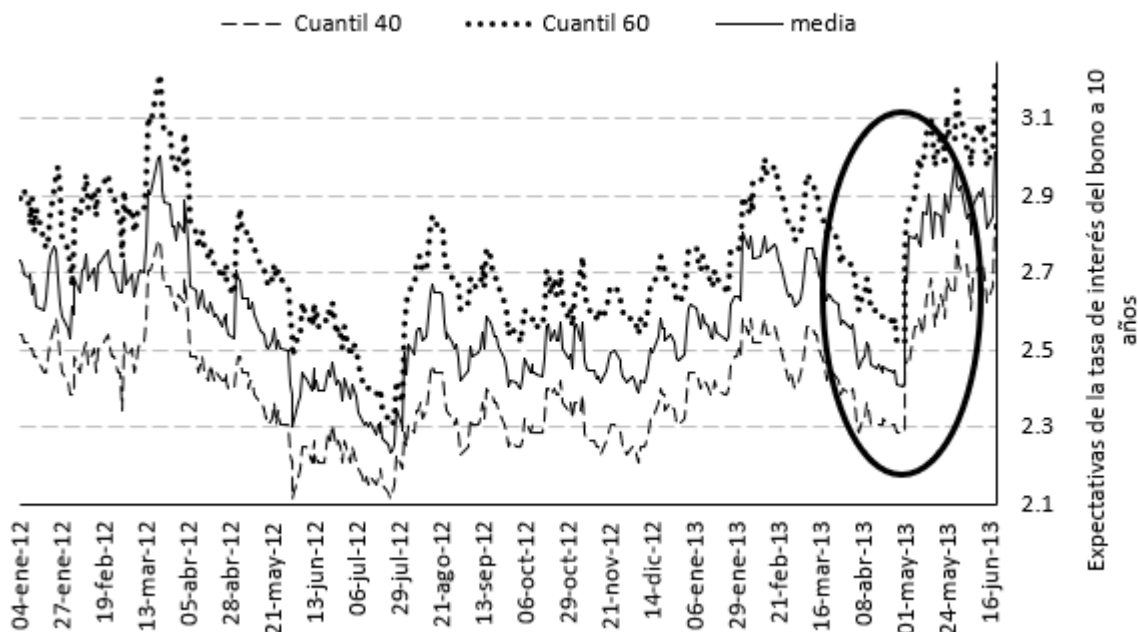
Valor Max Wald (F-estadístico)	Valor	Prob.
may-2013	82.37	0.00**

Hipótesis nula: El quiebre estructural es igual a cero. * El estadístico de prueba es el F-estadístico con su valor de probabilidad. Quandt-Andrews: 1992 ('Unknown breakpoint test'). **/ Rechazo de la hipótesis nula al 5% nivel de confianza.

Fuente: Elaboración propia con datos de CBOE obtenidos de Bloomberg.

Para ahondar en el estudio del evento disruptivo del mes de mayo de 2013 se estimaron los cuantiles 40 y 60 respecto a la media implícita de las densidades de riesgo-neutral para determinar si la tasa del bono a 10 años pudiese ser inferior al 2.50% (este porcentaje fue considerado como un umbral relevante de la tasa de interés observada en los años recientes porque representaría una variación relevante en el mercado de deuda cuyas tasas eran muy bajas). El resultado obtenido indicó que este valor era factible de ser esperado porque se percibía un incremento de la incertidumbre en el mercado como se muestra en el cuantil 60 para los días 4 y 5 de mayo de 2013, como se muestra en la elipse de la Gráfica 2.

¹⁷Para mayor información de la metodología de Quandt-Andrews, véase el apéndice del presente documento.



Gráfica 2. Comportamiento de la probabilidad de que la media implícita, del bono del tesoro a 10 años, sea superior al 2.50 %.

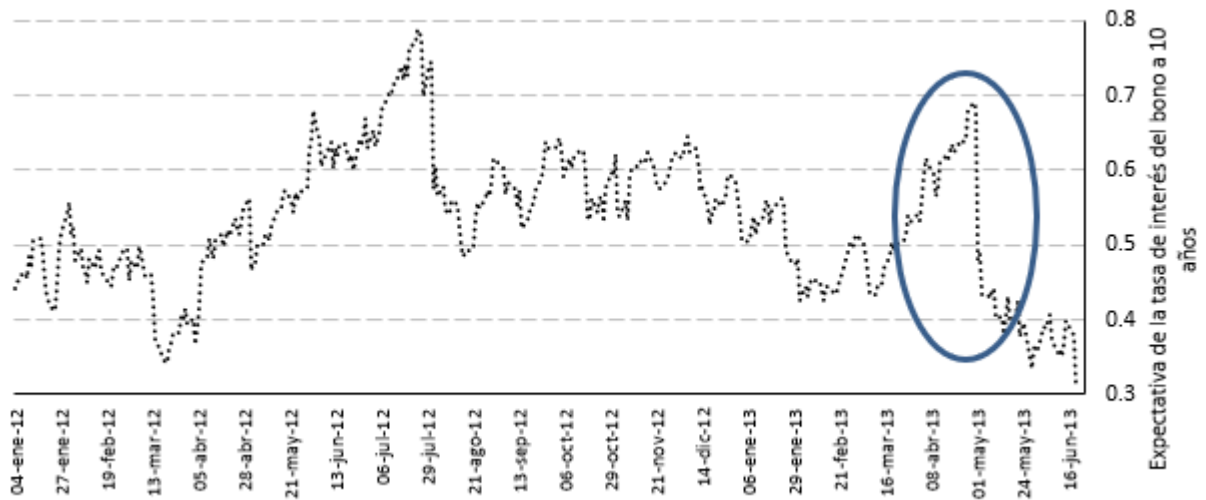
Fuente: Elaboración propia con datos de CBOE obtenidos de Bloomberg.

La información noticiosa que se tenía disponible antes del Taper Tantrum indicaba que los participantes del mercado financiero se encontraban en una situación de incertidumbre como se indica en el óvalo de la Gráfica 2. Para medirla, se construyeron dos gráficos adicionales para plasmar las probabilidades de que la variación de la tasa de interés estuviese en el rango de $\pm 2.50\%$. En el caso de un incremento superior al 2.50% se encontró que, en los contratos de derivados del CBOE, la probabilidad de que este evento ocurriese durante el mes de mayo de 2013 aumentó. Los agentes pasaron de tasas implícitas en promedio del 2.30% a valores cercanos al 3.00% (ver óvalo Gráfica 2). Por su parte, la probabilidad implícita de que las tasas bajaran, de acuerdo a los referidos instrumentos derivados cayó de alrededor del 0.70 al 0.40 indicando que este evento era poco factible como se muestra en el óvalo de la Gráfica 3.

Para corroborar que el mercado estaba esperando un decremento en la tasa de interés se procedió a estimar las probabilidades de que la tasa fuese mayor al 2.50% . El resultado que se obtuvo reveló que el mismo mercado estaba apostando a que la tasa subiría dado que se experimentó un aumento de la probabilidad de 0.3600 a 0.60426 como se muestra en el óvalo de la Gráfica 4. Con base en esta evidencia se puede aseverar que la incertidumbre sobre el futuro del valor de la tasa de interés se gestó en los primeros días del mes de abril de 2013, es decir, alrededor 50 días antes de la declaración de Bernanke ante el 21 de mayo del mismo año¹⁸.

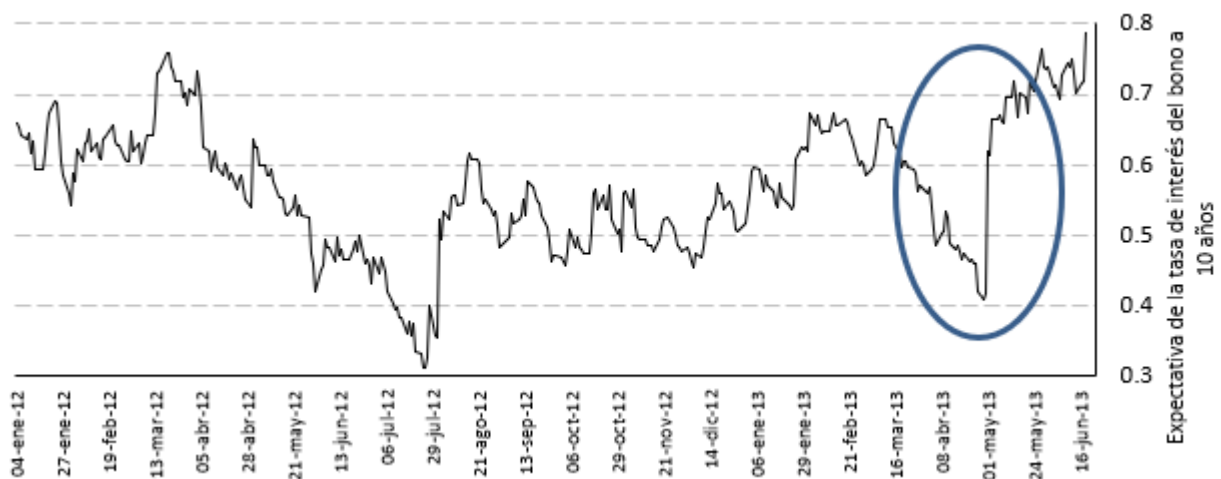
Con la anterior afirmación se procedió a empalmar las gráficas 3 y 4 para formar la Gráfica 5. Este ejercicio permitió observar con claridad que en los mercados de derivados se estaba acumulando la incertidumbre sobre el futuro de la tasa del bono a 10 años durante el mes de mayo de 2013, con un cambio muy abrupto hacia el alza (línea continua) que sobrepasó el cuantil 60 para el 21 de mayo de 2013, fecha del anuncio de Bernanke ante el FOMC. Por su parte se presentó para ese mismo día que había opiniones contrarias a un aumento superior al 2.50% que estaban por debajo del cuantil 40 (línea punteada).

¹⁸Nota del autor: La cifra de 50 días se obtuvo al calcular la diferencia entre las fechas entre el 21/mayo/2013 (día del anuncio de Bernanke ante el FOMC) y el 01/abril/2013 (fecha empleada para realizar el cómputo dado que fue a principios de este mes cuando se observó que se empezó a gestar la incertidumbre sobre el valor futuro de la tasa de interés de 10 años).



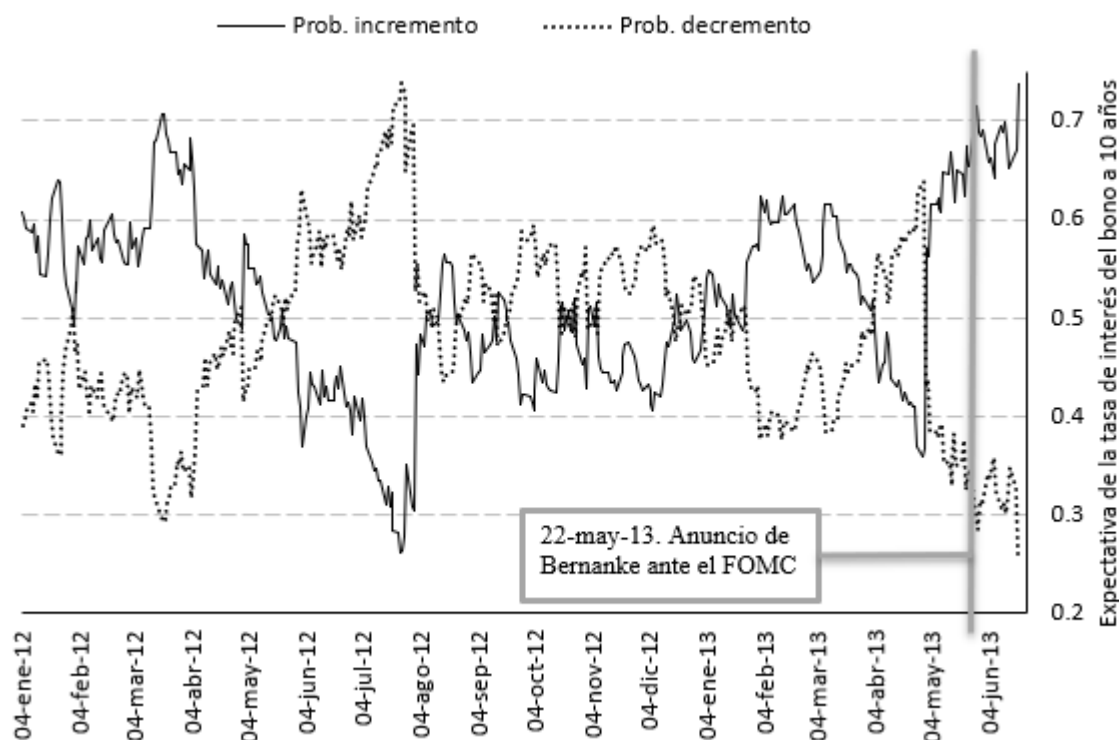
Gráfica 3. Comportamiento de la probabilidad de que la media implícita, del bono del tesoro a 10 años, fuese inferior al 2.50 %. El eje vertical representa la probabilidad de que el evento ocurra.

Fuente: Elaboración propia con datos de CBOE obtenidos de Bloomberg.



Gráfica 4. Comportamiento de la probabilidad de incremento de que la media implícita, del bono del tesoro a 10 años, fuese superior a 2.50 %. El eje vertical representa la probabilidad de éxito.

Fuente: Elaboración propia con datos de CBOE obtenidos de Bloomberg.



Gráfica 5. Empalmando las probabilidades de que la media implícita, del bono del tesoro a 10 años, fuese inferior (línea punteada) o superior (línea continua) al 2.50 %. El eje vertical representa la probabilidad de éxito.

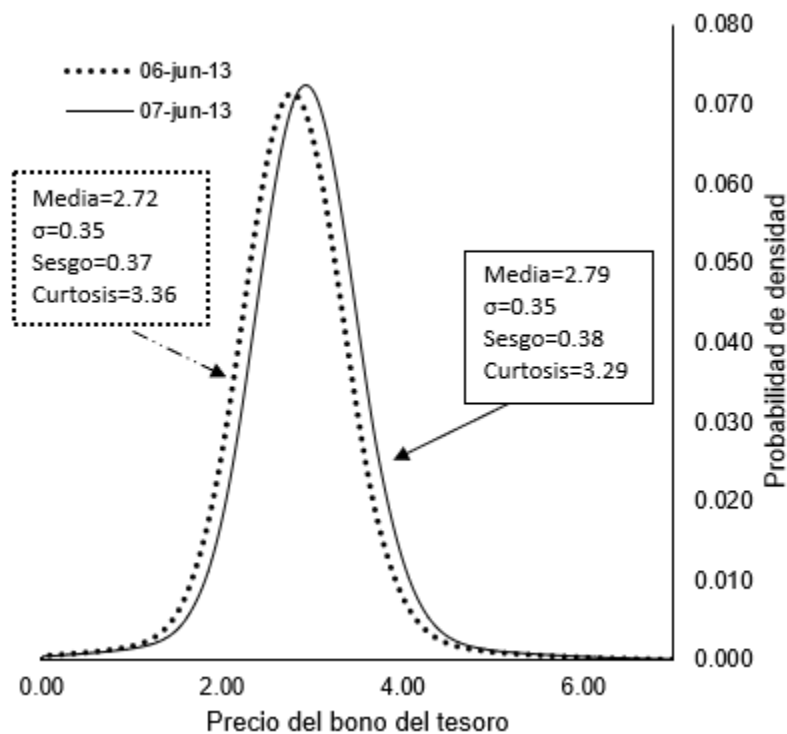
Fuente: Elaboración propia con datos de CBOE obtenidos de Bloomberg.

Se puede observar en la Gráfica 5 que después del segundo anuncio de Bernanke, el mismo día 22 de mayo de 2013, donde declara que las políticas de apoyo continuarían sin cambios (línea de color gris clara), el mercado financiero continuaba con alta incertidumbre hasta inicios del mes de junio de 2013 (aproximadamente 15 días después del anuncio) superando el cuantil 70 para aquellas posturas que apostaban a un alza por arriba del 2.50 % (línea continua) para el día 19 de junio de 2013 y estando por debajo del cuantil 30 para las posturas que consideraban una tasa inferior al 2.50 % (línea puntada). Aunque en otras fechas de la gráfica se ven distancias considerables entre los cuantiles relevantes (marzo, julio 2012), las pruebas de corte estructural muestran a mayo-2013 como el mes y año, en el cual, se tiene el quiebre estadístico de la serie. Cabe destacar que esa misma fecha de mayo-2013 es donde se tiene la mayor distancia entre los referidos cuantiles.

La alta volatilidad en los contratos de futuros de la tasa de interés a 10 años llegó a registrar variaciones diarias entre 2.72 % a 2.79 % (7 puntos base). Esto representa una variación de 2.57 % como se presenta en la Gráfica 6 donde se puede apreciar que el sesgo tiene un valor entre 0.37 y 0.38 lo que indica que las expectativas del mercado se encontraba en la cola derecha más larga de la distribución, siendo esto una indicativo de que se percibía un alto riesgo en el corto plazo. Por su parte, los valores de la curtosis al encontrarse entre 3.36 y 3.29, indicaba que las transacciones de las opciones consideraban una tasa promedio que rondaba el 2.72 % y el 2.79 %. En ambos casos, las probabilidades rondaban el 0.07.

La volatilidad continuó un trimestre después del Taper Tantrum, al observarse una variación de 11 puntos base en las expectativas de la tasa de interés. De 2.61 % (con una probabilidad de 0.11) a 2.72 % (con una probabilidad de 0.07); es decir, una variación del 4.21 % como se muestra en la Gráfica 7. Los valores del sesgo y de la curtosis confirman la presencia del nerviosismo en los mercados de derivados considerando la discrepancia de estos valores comparados con los de una distribución normal (sesgo=0, curtosis=3). Sin

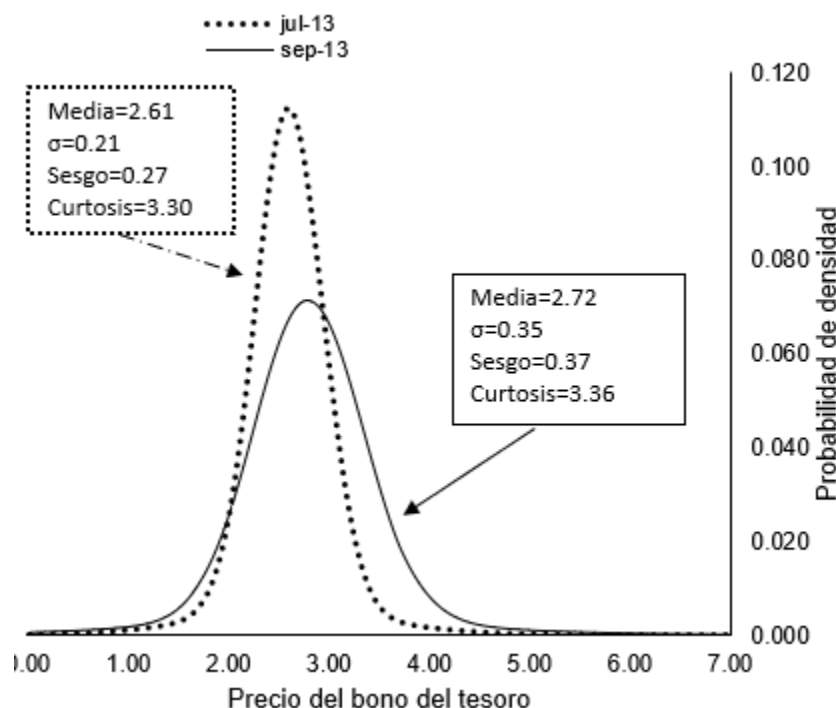
embargo, la variación de los 11 puntos base se presentó en un escenario donde se pudo constatar que la política monetaria continuo sin cambios 90 días después del Taper Tantrum. Para ahondar en el análisis, se escogieron un par de días continuos al azar, que fueron el 6 y 7 de junio de 2013. Sobre lo que se tiene analizado se puede observar un incremento sostenido en la expectativa del nivel de la tasa de interés. Es decir, entre julio a septiembre de 2013 hubo un incremento diario constante de 12 puntos base, lo cual muestra cualitativamente lo ocurrido entre los días 6 y 7 de junio de 2013. Por otra parte, se percibía que era factible una tasa de interés que rondase el 2.61 % como también se ve en las probabilidades extraídas de las mencionadas densidades.



Gráfica 6. RND para los días 6 y 7 de junio de 2013.

Fuente: Elaboración propia con datos de CBOE obtenidos de Bloomberg procesados con VBA (Visual Basic for Applications)

Para junio de 2013 la RND del bono del tesoro a 10 años muestra que aún prevalecía el nerviosismo ante anuncios sorpresivos que indicasen cambios en la política monetaria. Entre el 6 y el 7 de junio de 2013 se presentó una variación de 7 puntos base. De igual manera, se estimaron RND el 6 de junio 2013, las cuales, caducan en julio y septiembre de ese mismo año. Los resultados de estas estimaciones son cualitativamente similares a las estimaciones del 6 y 7 de julio de tres meses hacia adelante, en el sentido de que se incrementa significativamente el nivel de la tasa de interés (expectativa) y la volatilidad implícita para septiembre-2013 es notablemente mayor a la que prevalecía para julio de ese año. Lo anterior se puede apreciar al ver lo aplanada que esta la curva de densidad para el mes de septiembre contrastándola con la similar para julio. Esto muestra el entorno de incertidumbre que se manifestaba implícitamente a través de los agentes negociadores de los mencionados bonos del tesoro.



Gráfica 7. RND con fechas de vencimiento en julio y septiembre de 2013

Fuente: Elaboración propia con datos de CBOE obtenidos de Bloomberg procesados con VBA.

Las expectativas a tres meses de la RND del bono del tesoro a 10 años indican un nerviosismo latente, pero moderado que ocasionó que durante 90 días se acumulase una variación de 11 puntos base; es decir un incremento 12 puntos base diarios (de 2.61 % a 2.72 %). Dada la información que se obtiene de las densidades de riesgo-neutral, podemos concluir que el efecto de la incertidumbre observada alrededor de las fechas del Taper Tantrum, muestra una serie de evidencias estadísticas de quiebres estructurales en las medias de las variables de expectativas sobre la tasa de interés de largo plazo en EEUU., así como cambios estadísticos en la variación (varianza implícita) de las mismas. Las expectativas se extrajeron con RNDs con información obtenida de precios de opciones sobre futuros de la tasa de interés del mencionado plazo como se detalló en la sección metodológica mostrada previamente. Los resultados del presente estudio son relevantes para la literatura relacionada al tema, ya que, se enfocan en tasas de interés de largo plazo, cuando la mayoría de los estudios afines han estudiado las tasas de referencia de la FED, las cuales, son de más corto plazo. Los resultados aquí presentados pueden ser de utilidad para personas interesadas en temas de política monetaria que consideran las expectativas de los agentes en la formulación de los precios de los instrumentos de deuda. También los mencionados resultados pueden ser relevantes para tomadores de decisiones (tanto de inversión privada como de políticas públicas) considerando que se presentan pronósticos de la tasa de interés de largo plazo en EEUU., así como, para investigadores quienes utilizan información del mercados de derivados para extraer expectativas.

5. Conclusiones

El desarrollo de las economías modernas está basado en la libre circulación de los bienes y de los servicios. Para que esto se materialice es necesario que las empresas cuenten con servicios financieros que les permitan fondear sus operaciones con sencillez y rapidez, y es en este punto, donde los mercados financieros tienen un papel fundamental para el crecimiento y el sostenimiento de las economías basadas en el libre mercado. Esto ha generado una situación en la que la libre empresa se apoye en un sistema financiero moderno que tenga la mayor libertad para realizar sus funciones básicas. Comprar y vender activos de inversión financiera, por ejemplo instrumentos de deuda o bonos, en el menor tiempo posible. Hoy día medido en segundos, minutos u horas, más nunca en semanas o meses.

La alta cointegración entre las actividades de los mercados financieros y la economía real es un hecho que todo tomador de decisiones en estas materias debe tener presente, ya que, los anuncios del Banco Central tienen un efecto instantáneo en los mercados financieros que pueden durar por varios días; y hasta por meses. Sin embargo, los estudios para medir dichos impactos son vastos, pero a menos frecuencia en el caso del Taper Tantrum. Para la investigación aquí presentada únicamente se identificaron a lo largo de esta eventos sobresalientes mediante reportes o noticias a-posteriori que describen los hechos, mas no el análisis estadístico de las causas.

En la presente investigación se abordó el fenómeno de Taper Tantrum con la información sobre los precios de las opciones de las tasas de interés de 10 años que emite el gobierno de los EEUU., ya que, su valor es un indicador sobre la estabilidad que dicha economía tendrá en el largo plazo y es de gran valor para los inversionistas del mercado de valores dentro y fuera de un país. El Taper Tantrum ha enseñado que no es compatible la temporalidad de las visiones de los mercados y de la autoridad financiera señalando que cualquier declaración oficial debe ser valorada con mucho cuidado para evitar disrupciones en la economía real que sean originadas en el sector financiero.

Desde la perspectiva econométrica, que podría ser la principal aportación de esta investigación, se puede decir que los mercados financieros norteamericanos estaban preocupados por el aumento repentino de la tasa de interés de 10 años, ya que, cualquier variación en ésta podría ocasionar pérdidas en los portafolios de inversión que se formularon bajo el supuesto de tasas de interés bajas. Es por ello que, al haber informaciones que señalaban cambios en la tasa de interés, se inició la incertidumbre que se mantendría latente en los mercados de derivados y que en la presente investigación se cuantificó, a través de la estimación de Densidades de Riesgo-Neutral implícitas en precios de opciones. Se observó cómo los agentes del mercado reaccionaron con las declaraciones del presidente de la FED, quien anunció su intención de modificar el statu quo en el mercado de deuda. Las pruebas aquí presentadas estadísticamente significativas corroboran las narraciones que diversos analistas emitieron después del día 22 de mayo de 2013. Los resultados mencionados podrían ser relevantes en investigaciones futuras sobre temas de cambios en las expectativas de los agentes causadas por incertidumbre en el entorno.

Apéndice

Pruebas de Corte Estructural

Metodología Andrews-Quandt, (Quandt: 1960; Andrews: 1993) La prueba de corte estructural valora formalmente la hipótesis nula de ninguna ruptura contra la alternativa de una sola ruptura. La hipótesis nula se prueba con el conocido ratio de probabilidad de Quandt (QLR), que es básicamente una prueba de Chow modificada. Un breve resumen sobre la estimación de la estadística QLR se presenta a continuación (la mayor parte de la explicación se toma de (Stock y Watson, 2003). Sea $F(\tau)$ que denota el F-estadístico estimado

para probar la hipótesis de una ruptura en los coeficientes de la regresión propuesta (o coeficientes en un proceso de regresión, como puede ser el de un proceso autorregresivo). El QLR (o sup-Wald) es el estadístico más grande en el rango $\tau_0 \leq \tau \leq \tau_1$:

$$QLR = \max[F(\tau_0), F(\tau_0 + 1), \dots, F(\tau_1)]$$

Debemos considerar que, al igual que el estadístico F, la estadística QLR puede usarse para probar una ruptura en todos o algunos de los coeficientes de regresión estimados. En muestras grandes, la distribución del estadístico QLR bajo la hipótesis nula dependerá del número de restricciones probadas, q , y los puntos finales τ_0 y τ_1 como fracción del total del número de observaciones T .

Los valores críticos se tabularon para diferentes tamaños de muestra (recortes o ‘timings’) y están disponibles en los libros de econometría o estadística relevantes (por ejemplo, Stock y Watson: 2003, presentan valores críticos para un recorte del 15%, es decir, $\tau_0 = 0.15 T$ y $\tau_1 = 0.85 T$). En el presente trabajo de investigación, para el análisis empírico se consideró un recorte del 15% para todas las pruebas de corte estructural. Por último, si hay una ruptura distinta en la función de regresión (o proceso autorregresivo como el utilizado en la presente investigación), la fecha estimada de corte estructural será aquella en la que se produce el mayor estadístico de Chow, siendo este estadísticamente significativo una vez comparado con sus respectivos valores críticos tabulados como se mencionó anteriormente.

Referencias

- [1] Abarca, G. L., Benavides, G. y Rangel, J. G. (2012). Exchange Rate Market Expectations and Central Bank Policy: The Case of the Mexican Peso/US Dollar from 2005-2009. *Journal of Derivatives* 19(4), 70-90.
- [2] Andersen, L., y Broadie M. (2004) Primal-Dual Simulation Algorithm for Pricing Multidimensional American Options. *Management Science*, 50(9), 1222-1234.
- [3] Andreou, P. C., Charalambous C., y Martzoukos S. H. (2008). Pricing and trading European options by combining artificial neural networks and parametric models with implied parameters. *European Journal of Operational Research*, 185(3), 1415-1433
- [4] Andrews, D. W. K. (1993). Tests for Parameter Instability and Structural Change with Unknown Change Point. *Econometrica*, 61(4), 821-856.
- [5] Aït-Sahalia, Y. y Lo, A.W. (1998). Nonparametric Estimation of State-price Densities implied in Financial Asset Prices. *Journal of Finance*, 53(2), 499-547.
- [6] Bahra, B. (1997). Implied Risk Neutral Probability Density Functions from Options Prices: Theory and Application. Bank of England. Working Paper No. 66.
- [7] Barone-Adesi, G. y Whaley, R.E. (1987). Efficient Approximation of American Option Values. *The Journal of Finance*, 42(2), 301-320.
- [8] Barro, R. J., Grilli, V. y Febrero, R. (1997). *Macroeconomía. Teoría y Política* (Primera ed.). Madrid, España: McGraw Hill.
- [9] Bates, D. S. (1991). The Crash of '87: Was It Expected? The Evidence from Options Markets. *Journal of Finance*, 43(3), 1009-1044.
- [10] Benavides, G., y Mora F. I. (2008). Parametric vs. Non-Parametric Methods for Estimating Option Implied Risk-Neutral Densities: The Case of the Exchange Rate Mexican Peso - US Dollar. *Ensayos Revista de Economía*, 27, 33-52.
- [11] Black, F. y Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), 637-654.
- [12] Bliss, R. y Panigirtzoglou, N. (2004). Option-Implied Risk Aversion Estimates. *Journal of Finance*, 59(1), 407-46.

- [13] Bondarenko, O. (2003). Estimation of Risk-neutral Densities Using a Positive Convolution Approximation. *Journal of Econometrics*, 116(1-2), 85-112.
- [14] Cornyn, A.J. y Mays, E. (1997). *Interest Rate Risk Models. Theory and Practice.* (F. D. Publishers, Ed.) Chicago, Illinois, Estados Unidos de América: Glenlake Publishing Company, Ltd.
- [15] Díaz de León, A. y Casanova, M. (2004). Expectativas del Mercado Implícitas en los Precios de Instrumentos Derivados: Aplicaciones al Mercado Cambiario y Petrolero'. (Banco de México, Documento de investigación No. 2004-01).
- [16] Liu, X., Shackleton, M.B., Taylor, S.J y Xu, X. (2004). Closed-form Transformations from Risk-Neutral to Real-World Distributions. *Journal of Banking & Finance*. Volume 31(5), May 2007, Pages 1501-1520.
- [17] Madan, D. B. y Milne, F. (1994). Contingent Claims Valued and Hedged by Pricing and Investing in a Basis. *Mathematical Finance*, Volume 4(3) 223-245.
- [18] Malz, A. M. (1997). Estimating the Probability Distribution of the Future Exchange Rate from Option Prices. *Journal of Derivatives*, 5(2), 18-36.
- [19] Mishkin, S. F. (2007). *The Economics of Money, Banking, and Financial Markets*. 8va Edición. Pearson, 2007.
- [20] Melick, W. R. y Thomas, C. P. (1997). Recovering an Asset's Implied PDF from Option Prices: An Application to Crude Oil during the Gulf Crisis. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 32(1), 91-115.
- [21] Micu, M. (2005). Extracting Expectations from Currency Option Prices: A Comparison of Methods, *Computing in Economics and Finance* 2005 226(1), Society for Computational Economics.
- [22] Ortiz-Ramírez, A., F. Venegas-Martínez y M. Durán-Bustamante (2014). Valuación de opciones europeas sobre AMX-L, WLMEX-V y GMEXICO-B: calibración de parámetros de volatilidad estocástica con funciones cuadráticas de pérdida. *El Trimestre Económico*, 81(4)324, 943-988.
- [23] Quandt, R. E. (1960). Tests of the Hypothesis that a Linear Regression System Obeys Two Separate Regimes. *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 55(290), 324-330.
- [24] Ritchey, R. J. (1990). Call Option Valuation for Discrete Normal Mixtures. *Journal of Financial Research*, XIII(4), 285-96.
- [25] Rubinstein, M. (1994). Implied Binomial Trees. *Journal of Finance*. 49(3), 771-818.
- [26] Sahay, R., Arora V., Arvanitis T., Faruquee, H. N'Diaye P. y Mancini-Grifolli T. (2014). Emerging Market Volatility: Lessons from the Taper Tantrum. IMF Staff Discussion Paper. September, SDN/14/09.
- [27] Shimko, D. (1993). Bounds of Probability. *Risk*, 6(4), 33-37.
- [28] Stock, J. H. y Watson, M. W. (2003). Has the Business Cycle changed and why? NBER Macro-economics Annual 2002, Volume 17. Mark Gertler and Kenneth Rogoff, editors. Publisher: MIT Press.
- [29] Venegas-Martínez, F. (2005). Bayesian Inference, Prior Information on Volatility, and Option Pricing: A Maximum Entropy Approach. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 8(1), 1-12.
- [30] Venegas-Martínez, F. (2008). *Riesgos financieros y económicos. Productos derivados y decisiones económicas bajo incertidumbre*, 2da. Edición. Cengage Learning, México.
- [31] Wright, J. H. (2016). Options-Implied Probability Density Functions for Real Interest Rates, *International Journal of Central Banking*, 12(3), pages 129-149, September.
- [32] Wu, J. C, y Xia F. D. (2016). Measuring the Macroeconomic Impact of Monetary Policy at the Zero Lower Bound. *Journal of Money, Credit and Banking*, 48(2-3). 253-291.

Referencias de la Internet

- [33] Baldwin, G. (2015). Why the Stock Market Is Down Today – DJIA Falls 350 Points. Money Morning. Recuperado en <http://moneymorning.com/2015/06/29/why-the-stock-market-is-down-today-djia-falls-350-points/>
- [34] Banco de México. (2015a). Preguntas Frecuentes de Política Monetaria e Inflación. Banco de México. Recuperado en <http://www.banxico.org.mx/politica-monetaria-e-inflacion/material-de-referencia/basico/preguntas-frecuentes-de-politica-monetaria-e-infla/preguntas-frecuentes002.html#polmon>
- [35] Banco de México. (2015b). Glosario. Banco de México. Recuperado en <http://www.banxico.org.mx/divulgacion/glosario/glosario.html>
- [36] Christie, L. (2013). Farewell Mortgage Rates. CNN Money. Recuperado en http://money.cnn.com/2013/06/06/real_estate/mortgage-rates/index.html?iid=EL
- [37] CNN Money. (20 de 06 de 2013). Worst day of the year for Dow, S&P 500. CNN Money. Recuperado en <http://money.cnn.com/2013/06/20/investing/stocks-markets/>
- [38] Dwyer, B., Rosner, L., & Shukyatyeva, Y. (2013). US: Playing with fire. (B. P. Banking, Editor). Global Daily Spotlight. Recuperado en <http://www.GlobalMarkets.bnpparibas.com>
- [39] FRS. (2014). Monetary Policy and Financial stability. Federal Reserve System. Recuperado en <http://www.federalreserve.gov/newsevents/speech/yellen20140702a.htm>
- [40] Gandel, S. (2013). Bernanke won't blow up bond market. Fortune. Recuperado en <http://fortune.com/2013/06/19/bernanke-wont-blow-up-bond-market/>
- [41] Hargreaves, S. (2013). FED sets road map for end of stimulus. CNN Money. Recuperado en <http://money.cnn.com/2013/06/19/news/economy/federal-reserve-stimulus/index.html>
- [42] Hellwig, M. (2014). Max Planck Institute. Recuperado en https://www.coll.mpg.de/pdf_dat/2014_09online.pdf
- [43] IMF. (2015). International Monetary Fund. Recuperado en <http://www.imf.org/external/np/pp/eng/2015/082815a.pdf>
- [44] Market Watch. (2015). Greenspan sees another taper tantrum once rates rise. Market Watch. Recuperado en <http://www.marketwatch.com/story/greenspan-sees-another-taper-tantrum-once-rates-rise-2015-05-13>
- [45] OECD. (2001a). Options – SNA. Glossary of Statistical Terms. OECD. Recuperado en <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=1916>
- [46] OECD. (2001b). Derivatives – SNA. Glossary of Statistical Terms. OECD. Recuperado en <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=601>
- [47] Popik, B. (2013) Taper Tantrum (taper + temper tantrum). Recuperado en http://www.barrypopik.com/index.php/new_york_city/entry/taper_tantrum_taper_temper_tantrum
- [48] Tseng, N.-H. (2013). The real reason interest rates are rising. Fortune. Recuperado en <http://fortune.com/2013/06/14/the-real-reason-interest-rates-are-rising/>
- [49] Yousuf, H. (2013). Dow sinks 200 points after FED hints at stimulus easing. CNN Money. Recuperado en <http://money.cnn.com/2013/06/19/investing/stocks-markets/index.html?iid=EL>