



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
CARRERA DE ECONOMÍA**

**VOLATILIDAD EWMA VS. VOLATILIDAD HISTÓRICA, UNA PRUEBA  
EMPÍRICA SOBRE LA VALIDEZ DE MODELOS DE PRONÓSTICO DE  
VOLATILIDAD DE LAS TASAS DE CAPTACIÓN A CORTO PLAZO EN  
COLOMBIA**

**GERMÁN PÁEZ MORA  
TRABAJO DE GRADO**

**Presentado como requisito parcial para optar por el título de  
ECONOMISTA**

**EDGARDO CAYÓN FALLÓN  
TUTOR**

**Bogotá D.C. 2006**

## **NOTA DE ADVERTENCIA**

“La universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por que las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien que se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia

Artículo 23 de la resolución número 13 de Julio de 1946



## **Volatilidad EWMA vs. Volatilidad Histórica, una prueba empírica sobre la validez de modelos de pronóstico de volatilidad de las tasas de captación a corto plazo en Colombia.**

**GERMÁN PÁEZ MORA**

### **Resumen**

Se contrasta el poder predictivo de dos modelos de volatilidad para un título valor de corto plazo de cupón cero para varios horizontes de vencimiento, para el periodo comprendido Junio de 1992 a Marzo de 2006, según la metodología y el modelo de RiskMetrics™ de Jp Morgan/Reuters.

Se encuentra que los dos modelos proveen información significativa, aunque no se detecta que alguno de los dos, en términos generales, se comporte mejor que el otro, aunque esta afirmación se relativiza para escenarios específicos según la forma de predicción, niveles de tolerancia y desviaciones estándar.

Se encuentra que EWMA no captura completamente la estructura de la volatilidad de los CDT, es decir tanto la persistencia típica de este activo (ante choques en la varianza) como la reversión a la media, tendiendo a sobreestimar la senda de la volatilidad. No obstante, se encuentra un desempeño predictivo aceptable en el muy corto plazo, que se diluye con relativa rapidez. Este hallazgo es coherente con las características de esta familia de modelos de memoria corta.

Por su parte, el método de Volatilidad Histórica presenta similares falencias, aunque se ve favorecido en escenarios de alta tolerancia, y por el hecho de que las tasas en el periodo trabajado gozaron de relativa estabilidad en comparación con épocas posteriores. Sobresale también, al revisar la estructura del modelo y de las series pronosticadas, que este método está en contra de la teoría de expectativas racionales por cuanto prescinde del uso de medias y varianzas condicionales.

Se encuentra que adicionalmente a las debilidades estadísticas de los modelos, estos pueden fallar por la evidente existencia de problemas de medición en los indicadores derivados y por distorsiones en el mercado de esta clase de títulos, por cuanto es una tasa de referencia utilizada para regular al sector financiero, de tal manera que existen incentivos para que la tasa de estos títulos aparezca artificialmente baja y exhibiendo baja volatilidad, aún en escenarios de bajo volumen de emisiones

**Palabras clave:** Decisiones de Inversión, Modelos de Pronóstico, Curva de rendimientos  
**Códigos JEL:** G11, C53, E43

## TABLA DE CONTENIDO

<b><u>INTRODUCCIÓN</u></b> .....	<b>1</b>
<b><u>OBJETIVO GENERAL</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>MARCO TEORICO Y REVISION DEL ESTADO DEL ARTE</u></b> .....	<b>4</b>
TEORÍAS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CURVA DE RENDIMIENTOS .....	6
INTERPRETACIONES DE LA CURVA DE RENDIMIENTOS.....	7
EXPECTATIVAS DE INFLACIÓN .....	7
EXPECTATIVAS DE ACTIVIDAD ECONÓMICA .....	8
EXPECTATIVAS DE DÉFICIT FISCAL.....	10
EXPECTATIVAS DE TASAS DE INTERÉS .....	10
<b><u>METODOLOGÍA</u></b> .....	<b>15</b>
MÉTODO DE PRONÓSTICO DE VOLATILIDAD POR PROMEDIO MÓVIL PONDERADO EXPONENCIALMENTE (EVMMA) Y MÉTODO DE VOLATILIDAD HISTÓRICA.....	15
EVALUACIÓN DE PRONÓSTICO A TRAVÉS DEL MÉTODO DE RAÍZ DEL ERROR CUADRADO PROMEDIO (RMSE).....	17
ESTIMACIÓN DE LOS RETORNOS FUTUROS .....	19
IDENTIFICACIÓN DE DATOS.....	20
<b><u>PRUEBAS Y COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS</u></b> .....	<b>21</b>
RESULTADOS PARA CDT 90 .....	22
RESULTADOS PARA CDT 180 .....	24
RESULTADOS PARA CDT 360 .....	25
ENTORNO ECONÓMICO Y EXPECTATIVAS EN EPISODIOS DE VOLATILIDAD EXTREMA.....	25
DISTORSIONES DE MERCADO Y LA MEDICIÓN DEL RIESGO DE TASAS DE INTERÉS DE CORTO PLAZO.....	33

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>38</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>39</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>43</b>
<b>TABLA 1. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LOS RETORNOS.....</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 1. VOLATILIDAD DE LOS RENDIMIENTOS DE CDT 90, 180 Y 360 DÍAS RETORNOS AL CUADRADO .....</b>	<b>44</b>
<b>FIGURA 2. GRAFICO CUANTIL-CUANTIL PARA RETORNOS DE CDT 90, 180 Y 360 DÍAS ...</b>	<b>45</b>
<b>TABLA 2. DÍAS DE DATOS HISTÓRICOS PARA UN NIVEL DE TOLERANCIA DADO .....</b>	<b>46</b>
<b>TABLA 3. PRONÓSTICO DENTRO DE LA MUESTRA CDT 90.....</b>	<b>47</b>
<b>TABLA 4. PRONÓSTICO DENTRO DE LA MUESTRA CDT 180.....</b>	<b>47</b>
<b>TABLA 5. PRONÓSTICO DENTRO DE LA MUESTRA CDT 360.....</b>	<b>48</b>
<b>TABLA 6. PRONÓSTICO FUERA DE LA MUESTRA.....</b>	<b>48</b>
<b>FIGURA 3. INTERVALOS DE CONFIANZA +/- <math>\Sigma</math> Y RETORNOS REALIZADOS, PRONÓSTICO DE LOS RENDIMIENTOS DE CDT 90, 180 Y 360 DÍAS .....</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 4. VOLATILIDADES EWMA E HISTÓRICA DE LOS RENDIMIENTOS DE CDT 90, 180 Y 360 DÍAS .....</b>	<b>51</b>

# INTRODUCCIÓN

El desempeño económico futuro es información decisiva para todos los agentes en la economía: los hogares fundamentan sus decisiones de inversión y consumo intertemporal, las empresas necesitan conocer que tanta capacidad instalada necesitan para atender la demanda esperada, las agencias gubernamentales para formar sus presupuestos y los bancos centrales para escoger la senda de la política monetaria adecuada; pero debido al rezago entre la adopción de una política y su efecto en la economía, es deseable para el banco central monitorear la evolución de indicadores correlacionados con las variables objetivo. Existen algunas variables críticas para la determinación del desempeño de la economía como las tasas de cambio e inflación y las tasas de interés, que a su vez se convierten para los bancos centrales en objetivos intermedios de política económica o en metas últimas, no obstante al ser el tipo de interés la variable clave que conecta el mercado de dinero con el mercado de bienes, su dinámica merecerá especial atención en este documento. Concretamente los movimientos de esta variable responden a cambios según la escasez relativa de dinero, a las expectativas inflacionarias, a cambios que afecten la condición de paridad descubierta de las tasas de interés (es decir las tasas de interés internacionales ajustadas por riesgo país y la devaluación esperada) y finalmente a los cambios de la política monetaria que después de tener en consideración los anteriores factores tienen un margen para actuar, dependiendo de que tan alta sea la movilidad de capitales y del régimen cambiario.

Un país en crecimiento como Colombia necesita una tasa de interés baja para estimular nuevos proyectos de inversión, para disminuir las tasas de endeudamiento de los títulos del gobierno, para disminuir la carga financiera del sector privado y por consiguiente disminuir la presión inflacionaria por el lado de los costos. No obstante en determinadas coyunturas una variación excesiva de las tasas puede llegar a ser una señal adversa al estimular salidas/entradas de capitales y fuertes desequilibrios cambiarios que podrían generar expectativas inflacionarias y de devaluación nominal, expectativas que también son fuertemente afectadas por la historia inflacionaria del país, por expectativas de desequilibrios macroeconómicos y por la credibilidad en el Banco Central para comprometerse con la meta inflacionaria.

De esta manera aunque algunos afirmen que la política monetaria es tal vez el factor principal para determinar el nivel de las tasas de interés, en el corto plazo existen otros determinantes que hacen que las variaciones de las mismas sean menos predecibles dada la naturaleza subjetiva de la información y el sentimiento

de los mercados financieros. Nótese que se habla de las tasas, no solamente de la Interbancaria, ni la DTF, pues en el mercado existen diferentes títulos que reflejan el costo del dinero según sea el emisor de deuda, quien no solo tendrá en cuenta el costo del dinero del Banco Central para colocar sus títulos, sino tendrá que incluir primas de riesgo por liquidez, tipo de emisor, plazo al vencimiento, riesgo país, inflación, incumplimiento etc. para atraer ahorradores, y generalmente tendrá que salir a captar recursos sujeto a las circunstancias y expectativas de la economía, es decir lo que los agentes estimen, pero sobre todo sientan y piensen del desempeño de diversas variables esperadas con un grado de error implícito que da lugar a la especulación, a los rumores y a la psicología del riesgo.

A pesar de aceptar la incertidumbre del mercado, para el sistema financiero es muy importante conocer la trayectoria de las tasas de interés, debido a que el riesgo más elemental en la intermediación está relacionado con las mismas, por causa de la alta volatilidad que presentan, lo cual tiene efectos directos sobre sus ganancias y su capital debido a que los préstamos (del activo) y los depósitos (del lado pasivo) cambian de manera diferente frente a las fluctuaciones en las tasas de interés. La variabilidad de la tasa se usa también para la valoración de activos, destacándose además como la variable más importante para valorar derivados y como variable necesaria para calcular el Valor en Riesgo (VeR), utilizado para cuantificar la exposición al riesgo de mercado que podría registrar un portafolio, siendo un estándar en los mercados financieros, ampliamente recomendado por el Bank for International Settlements (BIS) y los bancos centrales de todos los países para establecer estándares regulatorios de capital mínimo. Para terminar es importante mencionar que la medición de riesgo de tasas no solamente es un requisito sino una necesidad, pues a nivel corporativo es determinante para la definición de estrategias y el diseño de productos, para la identificación de nichos de mercado, el establecimiento de precios, la definición de campañas y su correspondiente monitoreo.

## **OBJETIVO GENERAL**

Hacer un análisis comparativo sobre la confiabilidad de las volatilidades de las tasas de rendimiento estimadas a través del modelo EVMA (Exponentially Weighted Moving Average) o Promedio Móvil Ponderado Exponencialmente contra las volatilidades estimadas por medio del modelo de Volatilidad Histórica Simple, con el fin de comprender cuál es el método más adecuado para realizar pronósticos de los cambios futuros en los retornos de los instrumentos de renta fija de corto plazo en Colombia.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Evaluar el poder predictivo de los modelos de volatilidad tanto en su horizonte como en su precisión, para instrumentos de cupón cero de corto plazo.
2. Analizar las causas de volatilidades extremas en los rendimientos observados en el periodo 1984-2005.
3. Comprender la incidencia y la importancia del rol de las expectativas que se tienen del entorno económico sobre períodos de volatilidad extrema y cómo éstas configuran las estrategias de inversión que conducen los movimientos masivos de capitales que eventualmente motivan ciertas políticas de estabilización.
4. Analizar cómo estos hallazgos pueden ser relevantes en la medición del riesgo de mercado al que están expuestas las entidades financieras por cambios en la tasa de interés.

## **HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

La hipótesis que se busca comprobar es que el modelo de Volatilidad EVMA tiene mejor capacidad predictiva que el modelo histórico en el entorno colombiano, dado que por su estructura matemática, puede ajustarse mejor a la muy cambiante dinámica de la volatilidad de los retornos presente desde finales de la década de los 90.



## MARCO TEORICO Y REVISION DEL ESTADO DEL ARTE

Según **Estrella A. y F. Mishkin (1995)**, los modelos macroeconómicos usados con fines predictivos padecen de un problema de oportunidad y precisión en los datos, razón por la cual, la utilización de variables financieras con fines de pronóstico es una herramienta valiosa por su facilidad interpretativa, por su baja exposición a errores de medición y por su facilidad de implementación. Por otro lado, los autores evidencian algunas ventajas de este tipo de indicadores versus modelos macro econométricos de gran escala, mencionando, en primer lugar, cómo los indicadores pueden revalidar o corroborar predicciones econométricas y de apreciación subjetiva, y así servir para replantear las relaciones de causalidad que conducen a un resultado específico, es decir para repensar los supuestos y la estructura de un modelo en particular y de la economía en general. En segundo lugar señalan que los modelos econométricos sufren del problema de “sobre ajuste” (over fitting), que aparece cuando para tratar de maximizar el poder predictivo se ajustan las variables explicativas transformándolas por medio de una suma ponderada, con la particularidad de que este procedimiento mejora los resultados dentro de la muestra, entre más variables explicativas se incluyan, pero que impone severos costos en términos de imprecisión predictiva, si se incluyen variables no relacionadas especialmente en estimaciones con horizontes de largo plazo.

**P. Mylonas y S. Schich (1999)**, sintetizan el escrutinio hecho por la OECD a los bancos centrales, con respecto al uso que les dan a los indicadores financieros con fines de política monetaria. Señalan que se ha elevado el interés en los movimientos de un amplio rango de variables financieras, con el fin de complementar la información implícita en los agregados monetarios, debido a que se han complicado tanto los mecanismos de transmisión monetaria, como las formas de intermediación y asignación del riesgo. La atención a estos movimientos también se refuerza debido a que los mercados financieros se ajustan más rápido y tienen precios más precisos y oportunos que los mercados de bienes y tienen el potencial de reflejar incidentes en estados críticos del proceso de transmisión.

Mencionan cómo los intensos esfuerzos en monitorear la credibilidad de las políticas, han dado lugar a que cada vez más se sigan las expectativas de los agentes como formadoras de sus decisiones, entre ellas, el cómo anticipar y reaccionar ante una maniobra de política monetaria. Aunque para los Bancos, los agregados monetarios continúan siendo un componente central para la evaluación de la economía, por tener relaciones estructurales estables, existe la tendencia a migrar hacia esquemas más eclécticos, como el considerar varios modelos

centrados en diferentes aspectos del mecanismo de transmisión, en diferentes doctrinas de pensamiento y además en varios indicadores financieros, basados en precios como complemento.

El uso de indicadores de este tipo, presenta obstáculos si los mercados no son lo suficientemente líquidos, pero de estar disponibles, son usados especialmente para tres fines concretos: primero, para estimar el sentimiento del mercado respecto a los cambios esperados en las variables de política, siendo las tasas de interés y tasas de cambio las más usadas; segundo, sus movimientos se usan para identificar tipos y fuentes de choques en la economía y en tercer lugar para predecir futuros sucesos en la actividad e inflación.

Estos autores también mencionan que tienen mal desempeño cuando más se necesitan, pues los mercados financieros pueden sobre-reaccionar a ciertos choques y se someten a fenómenos especulativos y de oleadas, siendo las primas de riesgo el mayor inconveniente para usarlos en cuestiones de política monetaria, pues varían a través del tiempo y es una tarea compleja el determinar las causas de su variación y estimar su magnitud.

Entre varios indicadores que se utilizan para valorar las condiciones monetarias del entorno, se encuentran las medidas de riesgo contenidas en el spread entre valores del gobierno y valores comerciales de mayor riesgo, usado concretamente para medir el riesgo crediticio. También se usan diferenciales internacionales de tasas de interés, que se emplean como signos de credibilidad de los objetivos de tasa de cambio, esto particularmente para los países de la Comunidad Europea. Los índices accionarios y las primas de acciones se usan para ver tendencias subyacentes en el comportamiento agregado y sectorial del mercado accionario.

Los estimativos de los movimientos de la tasa de interés real, ayudan a formar una visión de la dureza relativa de las condiciones monetarias, esto es, entre más alta la tasa real de corto plazo contenida en la curva, más severas las condiciones monetarias. Una senda para la política monetaria neutral podría inferirse de la tasa futura de interés real de más largo plazo, contenida en la curva de rendimientos, pero la mayoría de los emisores del mundo al encontrar dificultades técnicas recurren al uso de datos de inflación histórica para estimar la tasa de interés real. La extracción de tasas forward implícitas, es directa cuando existen bonos de cero cupón para varias fechas de vencimiento, y aunque no están siempre disponibles pueden ser calculadas a través de métodos paramétricos y no paramétricos, a los que se les hacen ajustes para eliminar distorsiones por primas de riesgo y primas de convexidad. Una dificultad que se menciona al respecto, es filtrar la información contenida en la curva, debido a que no es sencilla la identificación de los

determinantes de varias clases de primas de riesgo que varían a través del tiempo, relacionadas con incertidumbres de riesgo de crédito, de cambios de régimen, de inflación futura o de tasas de interés reales futuras.

La curva de rendimientos tiene un poder predictivo muy fuerte en horizontes de plazo bastante largos, lo cual es muy atractivo para quienes diseñan la política económica, y justamente debido a que los efectos de política tienen retrasos tan importantes, los pronósticos de largo plazo son muy apreciados. Históricamente el preámbulo de las recesiones económicas, ha sido un aumento en el diferencial de las tasas de corto y largo plazo, de manera que la curva de rendimientos y su evolución tiene principios subyacentes interesantes que merecen ser examinados.

### ***Teorías del Comportamiento de la Curva de rendimientos***

La estructura a plazo de las tasas de interés o la curva de rendimientos es una representación gráfica entre el rendimiento al vencimiento de activos financieros de la misma calidad crediticia y sus respectivos plazos al vencimiento.

Existen dos corrientes principales que buscan explicar el comportamiento de esta curva a través del tiempo, así como los determinantes de su pendiente, ellas son la ***Teoría de la Segmentación del Mercado*** y la ***Teoría de las Expectativas***, esta última a su vez divisible en tres enfoques como la teoría ***pura*** de las expectativas, la teoría de ***las preferencias por liquidez*** y teoría del ***hábitat preferido***.

***La Teoría Pura de las Expectativas***, sustentada en **Fisher (1896)** y **Hicks (1939)**, nace de fuertes supuestos en la caracterización de los inversionistas: neutralidad al riesgo, indiferencia por liquidez y optimalidad e insesgamiento de expectativas de tasas de interés futuras. En lo institucional asumen que no existen costos de transacción y que la regulación es idéntica para los títulos independientemente de sus características de emisión. Su esencia se encuentra en que, dada la optimalidad e insesgamiento de las expectativas acerca de la trayectoria futura de las tasas, el mejor estimador de las tasas de interés de largo plazo es un promedio aritmético de la tasa de corto plazo vigente y la tasa esperada, de tal manera que activos financieros con diferentes fechas de maduración, ofrecerían el mismo rendimiento, eliminando los diferenciales de rentabilidad. Esta teoría señala que cuando la tasa de interés futura de corto plazo varíe, la tasa futura de largo plazo deberá moverse en la misma dirección por ser un promedio de la tasa a corto vigente y las tasas futuras esperadas.

El siguiente enfoque, *la Teoría de la Preferencia por Liquidez*, está fundamentada por **Hicks (1939)**, quien cambia los supuestos subyacentes incluyendo la incertidumbre y por consiguiente la aversión a los riesgos de precio y de reinversión ante la volatilidad de tasas futuras, de tal manera que se incentivan estrategias de vencimiento, prefiriendo los activos con redenciones a corto plazo por su liquidez característica y aceptando activos de largo plazo solo si incluyen una prima de liquidez, logrando que en promedio, los rendimientos a largo plazo sean mayores que los de corto plazo esperados y resultando en una curva con pendiente positiva, aun si no se esperan cambios en la tasas de interés. La tasa de interés implícita en la curva deja de ser un predictor de la tasa de interés futura.

**Modigliani y Sutch (1966)**, dan un impulso al tercer enfoque, *la Teoría del Hábitat Preferido*, según la cual los inversionistas eligen solamente activos con fechas de maduración en las que sus activos calzan con sus pasivos, luego para cada plazo esta oferta de recursos, simultáneamente con la demanda, determina el rendimiento prevaleciente. Cuando existen desequilibrios, los emisores incentivan a los inversionistas para que cambien de hábitat, extendiendo las primas de acuerdo a la importancia relativa del inversionista y del horizonte de inversión. La forma de la curva de rendimientos se configura por las expectativas de las tasas de interés futuras y las primas instituidas.

La segunda gran corriente, *la Teoría de la Segmentación del mercado* (**Cultberson, 1957**), también establece que los inversionistas tienen hábitat preferidos en los cuales ajustan los vencimientos de sus pasivos con los de sus activos, pero esas preferencias están determinadas por factores institucionales como la regulación o costos de transacción, sin tener en cuenta en su elección las diferentes primas de riesgo ofrecidas. Las tasas se deciden para cada horizonte según la oferta y la demanda de cada segmento.

## ***Interpretaciones de la Curva de Rendimientos***

### **Expectativas de inflación**

Las expectativas del cambio de los precios son no observables pero pueden ser estimadas a partir de variables observables como la curva de rendimientos, debido a que las tasas de interés nominales incorporan primas que reflejan los pronósticos de la inflación futura, los cambios en la pendiente podrían incluir información de la trayectoria futura de la inflación esperada por la economía, esto significa que una mayor pendiente refleja tanto un bajo interés de la autoridad monetaria por controlar el cambio de los precios como mayores expectativas de

inflación. Existen **dos enfoques principales** que difieren esencialmente en la dinámica que tiene la pendiente.

**Mishkin (1990)**, apoyado en la ecuación de Fisher, asumiendo expectativas racionales y pendiente constante de la curva a través del tiempo, deduce que los cambios en las tasas de interés de corto y largo plazo reflejan las futuras expectativas de inflación. Utiliza tasas de T-Bills a 1, 3, 6, 9 y 12 meses de EU para 1964 a 1986 y bonos cero cupón para 1, 2, 3, 4 y 5 años de 1953 a 1987. Este autor encuentra que para fechas de maduración de 6 meses o menos la estructura nominal casi no provee información sobre la senda futura de la inflación pero provee información de la curva real. Para títulos con plazo de maduración de 9 o 12 meses la estructura a plazo nominal comienza a revelar información acerca de la inflación futura.

Según **Frankel y Lown (1994)**, aunque la tasa de interés real no es constante en el corto plazo indudablemente seguirá una trayectoria que converge a un valor determinado en el largo plazo. Utilizan dos supuestos fundamentales, primero, que la tasa de interés de largo plazo es un reflejo de las expectativas futuras de las tasas de interés de corto plazo y en segundo lugar que los agentes esperan que la tasa de inflación de largo plazo sea incorporada dentro de la tasa de interés nominal a lo largo del tiempo, de tal forma que la tasa de interés de largo plazo refleja mejor la inflación esperada que la de corto plazo, y por ende, es posible derivar de la pendiente indicadores acerca de la tasa de interés real, del estado actual de la política monetaria y de la trayectoria esperada en la inflación.

## **Expectativas de actividad económica**

Si las expectativas inflacionarias están bien formadas, de la estructura a plazo se pueden derivar expectativas de actividad económica. De un empinamiento en la curva se podría esperar una expansión de la actividad económica a futuro. Esta relación se establece debido a que la tasa de interés nominal tiene un componente real y otro inflacionario. El mecanismo se puede explicar a través de la afectación de la política monetaria a la demanda agregada por medio de la contracción o expansión de liquidez que afecta las tasas de interés de todos los plazos restringiendo o estimulando la demanda de crédito, disminuyendo el gasto agregado y por tanto limitando el crecimiento del producto interno bruto. El empinamiento puede ser resultado de la política monetaria pero esta no es la única relación entre spread de tasas y actividad económica, el comportamiento del

spread es consistente con la teoría del ciclo real de negocios, en un modelo de esta naturaleza una tasa esperada relativamente alta de crecimiento implicaría un crecimiento de las tasas reales y un empinamiento de la curva.

Hay una segunda hipótesis que se sustenta en las expectativas del mercado, cuando se espera una desaceleración en la actividad económica también se espera que las tasas de corto plazo disminuyan como una medida de política contraccíclica o por la percepción de que las tasas reales de rendimientos de las inversiones van a ser menores. Si se espera que la curva de Phillips se mantenga, también la inflación descenderá durante la recesión haciendo que las tasas de interés nominales sean menores, en las dos situaciones bajo la hipótesis de expectativas, la tasa de interés de largo plazo caerá haciendo que la pendiente se aplane.

**Estrella y Hardouvelis (1991)**, encuentran evidencia a favor para pronosticar el ritmo de actividad económica para EE.UU. en 1955-1988, corriendo el crecimiento del PNB real contra las tasas de los títulos del gobierno a 10 años y a 3 meses. También incluyen la tasa de interés real de corto plazo para capturar el efecto de la política monetaria sobre el crecimiento y así garantizar que el spread no esté reflejando la política vigente. Como resultado encuentran que la pendiente de la curva continua teniendo poder predictivo para 4 años hacia delante, y para cambios marginales sucesivos en el PNB real un año hacia delante. Este mismo ejercicio lo hacen incluyendo en la regresión, variables como: la inflación rezagada, el crecimiento del PNB rezagado y el cambio porcentual del índice de indicadores líderes. Se descubre que la capacidad de predicción no se ve menguada para ningún plazo. También exploran la probabilidad de que se presente una recesión dada una variación en la pendiente, encontrando que cuando esta última se incrementa, la probabilidad de recesión aumenta durante los 4 trimestres siguientes.

**Dotsey (1998)**, Usa una muestra de 1955 a 1997, y para evaluar la utilidad del spread, constituye como señal de recesión el hecho de que la curva se invierta y que una recesión ocurra contemporáneamente o dentro de 1 a 4 trimestres de la caída del diferencial de tasas, y encuentra que la señal fue cierta 83% de los casos, porcentaje que no mejora significativamente cuando se incluye un indicador de política monetaria. Haciendo pruebas de predicción dentro de la muestra, se encuentra que el poder de predicción varía de acuerdo a los subperíodos en los que se corre la regresión, pero tal como Estrella y Hardouvelis 1991, encuentra al spread como valioso para pronosticar el crecimiento económico solo hasta 6 trimestres

## Expectativas de déficit Fiscal

Existe una afectación de parte de la política fiscal hacia la estructura de las tasas de interés, originada por el efecto expulsión que produce un incremento en el gasto público, afectando directa e indirectamente la inversión y el consumo privado, el tipo de cambio, la balanza de pagos y el margen sobrante para la política monetaria. La inversión privada al competir por recursos hace que el precio del dinero aumente, fundamentalmente la tasa de interés de largo plazo, pues para la tasa corriente de corto plazo el aumento es secundario, pero a largo plazo será de mayor magnitud debido a que los agentes anticiparán el aumento en el nivel de deuda pública para financiar el déficit, lo cual hará que las tasas de corto plazo futuras se incrementen y por hipótesis de expectativas las de largo plazo tiendan a aumentar.

## Expectativas de tasas de interés

Como se mencionó anteriormente, las expectativas del mercado con respecto al cambio futuro de las tasas de interés de corto plazo, son reflejadas por la pendiente de la curva de rendimientos, cuyas fluctuaciones han sido explicadas en la literatura casi siempre a través de la Hipótesis de Expectativas de la Curva de Rendimientos (**HECR**), según la cual la pendiente de la curva es un reflejo “óptimo e insesgado” de las expectativas del mercado sobre la trayectoria futura de la tasa de interés de corto plazo. Cuando la pendiente se empina se espera que las tasas de interés de corto, mediano y largo plazo se incrementen a futuro. Si se evalúa la HECR en el tramo corto, se encontrará que la evidencia no soporta la teoría de las expectativas. Varios autores al revisar periodos idénticos concluyen que los rendimientos de los T-bills americanos de menos de un año, no obedecen la HECR y que explicaciones como primas de riesgo de alta variabilidad y mercados segmentados, solo funcionan para rendimientos de muy largo plazo.

**Mankiw G. y J. Miron, (1986)** examinan la teoría de las expectativas revisando el tramo corto de la curva de EE.UU. para el periodo 1890-1979. Para el segmento 1890-1958 usan los retornos sobre préstamos bancarios de 3 a 6 meses, correspondientes a las tasas de interés que los bancos cargaban para los préstamos a un plazo fijo, las cuales representan el equilibrio de un mercado competitivo de crédito. Dividen la muestra en diferentes regímenes monetarios, para identificar las condiciones bajo las cuales la HECR tiene buen desempeño, de la siguiente manera: 1890-1914, antes de la Fundación del FED; 1915-1933, antes de la introducción de las reformas bancarias del “New Deal” : el fin del patrón oro y el comienzo de la fijación de las tasas de interés; 1934-1951, antes de la iniciación del acuerdo de que el FED no fijaría más las tasas de interés y 1951-

1958, periodo que termina en el inicio de un auge del mercado de los T-Bills de 3 a 6 meses. Para 1959 a 1979 usan los retornos de T-Bills a 3 y 6 meses de la primera semana del trimestre. Utilizan el modelo de expectativas, el cual afirma que no existen oportunidades de beneficios esperados. Definen  $I_t$  como el rendimiento nominal de un bono con vencimiento dentro de 1 y 2 periodos respectivamente, y se incluye una prima de riesgo  $\Theta$  constante. Según la teoría de expectativas se tiene que:

$$(1) I_t = \Theta + \frac{1}{2}(i_t + E_t i_{t+1})$$

Donde  $E_t$  revela las expectativas en el periodo  $t$  con respecto al periodo  $t+1$ . El rendimiento nominal de un bono de dos periodos es un promedio los rendimientos de un periodo corriente y esperado más la prima de riesgo. Esta es una condición de arbitraje esperada. Reescribiendo la ecuación (1):

$$(2) E_t i_{t+1} - i_t = -2\Theta + 2(I_t - i_t)$$

La teoría relaciona el cambio esperado en la tasa a corto  $E_t [i_{t+1}]$  con la pendiente de la curva de rendimientos ( $I_t - i_t$ ), esto quiere decir que el spread o la pendiente de la curva de rendimientos, muestra el pronóstico del mercado sobre la trayectoria futura de las tasas de interés de corto plazo. Que la racionalidad de los agentes, es decir que las expectativas del mercado sean correctas en promedio, implica que la tasa de corto futura es la suma entre la expectativa y un término de error,  $V$ :

$$(3) i_{t+1} = E_t i_{t+1} + V_{t+1}$$

De sustituir 3 en 2 se obtiene:

$$(4) i_{t+1} - i_t = \alpha + \beta(I_t - i_t) + V_{t+1}$$

Si el  $V_{t+1}$  en la ecuación (4) es ortogonal a las variables del lado derecho, se puede contrastar la HECR utilizando mínimos cuadrados ordinarios y bajo la hipótesis nula, se obtiene que  $\alpha = -2\Theta$  y  $\beta = 2$ . El supuesto de expectativas racionales implica que la covarianza de la expectativa y el error de pronóstico es cero. La prueba de hipótesis consiste en examinar si las expectativas del mercado son en promedio acertadas, es decir si se forman pronósticos racionales.

En la regresión (4), para 1915-1979 encuentran que el coeficiente estimado de la pendiente es positivo y no significativo, luego se rechaza la hipótesis de que la pendiente del tramo corto de la curva de rendimientos contenga información acerca de la trayectoria del tramo corto. Para 1890-1914, la pendiente de la curva de rendimientos exhibe poder predictivo pues  $\beta$  es estadísticamente diferente de 2



pero es 3 veces el estimado para 1959-1979 y es casi el doble de los periodos anteriores a partir de 1914, el  $R^2$  ajustado solo es de 0.4, pero es mucho mayor que para el resto de los periodos y aunque no se confirme completamente la hipótesis de expectativas, se encuentra que la curva contiene información sustancial acerca de la senda de la tasa de interés de corto. Después de hacer pruebas a las variaciones no estacionales de las tasas de interés, el alto coeficiente no se puede atribuir al patrón estacional que exhibía la tasa antes de 1914, y excluyendo periodos de tasas altas producidas por pánicos financieros, no aparecen diferencias sistemáticas en el desempeño de la hipótesis. La falla de la teoría se presenta por que después de 1915 comienza a comportarse según un paseo aleatorio.

Los autores proponen que la política de estabilización de tasas de interés, entre otros factores, hace que la curva sea un indicador inútil para pronosticar las variaciones futuras de la tasa de interés de corto plazo. **Mankiw, Goldfeld y Shiller (1986)** realizaron un complemento al anterior trabajo, debido a que las tasas de corto y largo plazo en EE.UU. durante los 80 se elevaron a niveles históricos; examinaron si dada la senda observada de las tasas de interés a corto, existió un comportamiento atípico en la estructura a plazo.

Para esto realizan un pronóstico de la tasa de largo plazo, condicional a la trayectoria observada de la tasa de corto y la pendiente rezagada de la curva de rendimientos para EE.UU., Canadá, Reino Unido y Alemania, ecuación muy similar a algunas incluidas en modelos macro econométricos de gran escala. Revisan el spread entre la tasa de Títulos del Tesoro de 3 meses y el retorno de un bono de cupones de 10 o 20 años para el periodo 1961 a 1984:

$$(5) R_t - r_t = \alpha_0 + \alpha_1 (r_t - r_{t-1}) + \alpha_2 (r_{t-1} - r_{t-2}) + \alpha_3 (R_{t-1} - r_{t-1})$$

Cuando se estima la ecuación con datos de 1960 a 1979, se encuentran resultados similares a través de los países de la muestra, en cada país un incremento de 100 puntos básicos en la tasa de corto, causa una reducción en el spread de 70 puntos básicos, igualmente el alto coeficiente del spread rezagado implica que este regresa a su media. Pero la pendiente falla al pronosticar la curva de largo plazo, pues lo hace en la dirección opuesta para los cuatro países.

Para 1980-1986 la ecuación (5) se usa para hacer un pronóstico dinámico del spread en esas fechas. Comparando el spread observado y el pronosticado se encuentra que la ecuación es capaz de explicar acertadamente el mayor porcentaje del cambio del diferencial, no obstante esta ecuación no tiene en cuenta factores que resultan ser importantes para determinar la tasa de largo plazo, como el ambiente de política, la forma de las expectativas de los

inversionistas, la financiación del gobierno y los cambios en las primas de riesgo y liquidez. Se encuentra que siempre que la tasa de los bonos del gobierno de largo plazo ha excedido significativamente la tasa de interés de tres meses, la tasa a corto ha tendido a subir, pero la tasa de largo plazo no lo ha hecho, contradiciendo la hipótesis de expectativas.

**Kugler (1988)** analiza el tramo corto de la estructura de las tasas de interés a plazo de Suiza, Alemania, y Estados Unidos, para 1974-1986, países escogidos por que dado su sistema de tasa de cambio flexible, implementaron políticas con objetivos de oferta monetaria y no intentaron estabilizar las tasas de corto; a diferencia de EE.UU. quienes hasta 1979 se comprometieron con políticas de estabilización de tasas. Kugler usa la versión linealizada de la ecuación de la estructura a plazo, que relaciona la tasa de largo de tres periodos con la tasa de interés de un periodo. Las variaciones del spread reflejan cambios esperados de la tasa de corto para los próximos dos periodos:

$$(6) (r_{t+2} + r_{t+1} - 2r_t) = -3\theta + 3(R - r_t) + \varepsilon_{t+2}$$

, donde  $\varepsilon_{t+2} = e^2_{t+2} + e^1_{t+1}$  es no correlacionado con información t y anteriores, y sigue un proceso MA (1), por esto (5) se puede estimar con una regresión de mínimos cuadrados ordinarios simple pero con una matriz de covarianza asintóticamente correcta como la de **Hansen (82)**. Usando series mensuales de uno y tres meses, encuentra que el spread tiene poder predictivo para cambios en la tasa de corto para Suiza y Alemania pero no para EU, nuevamente confirma que en ambientes de controles de oferta monetaria el spread de la tasa de corto tiene poder predictivo, y que no funciona para circunstancias de estabilización de tasas de interés. La HE falla para EE.UU. antes y después de los cambios en procedimientos operativos de política monetaria en 1979, ya que en ellos el FED ha insistido en elementos estabilizadores de las tasas de interés.

Esta revisión bibliográfica ha ilustrado cómo la teoría y conceptos reales implícitos en la pendiente de la Curva de Rendimientos, tales como primas de riesgo, liquidez e inflación esperada, pueden aportar a la predicción de la trayectoria de las tasas de interés para rendimientos de muy largo plazo. No obstante se revela cómo en determinados contextos económicos, y en periodos no muy prolongados esta ha tenido un poder predictivo limitado, ya que el utilizar la pendiente puede llegar a ser inconsistente y con mucho ruido si lo que se quiere es pronosticar.

Así mismo, inquieta como dependiendo de los supuestos y especificaciones de los modelos utilizados por los autores, se ha llegado a conclusiones diferentes. Este recorrido motiva a utilizar enfoques basados en modelos de memoria corta, para revisar con más inteligencia la dinámica entre tasas para plazos muy cercanos

entre sí, y específicamente, para lo concerniente a este documento para plazos ubicados en el límite inferior de la curva. Se utilizarán entonces métodos matemáticos más específicos como EVMMA y Volatilidad Histórica que abordan el problema desde otro flanco y constituyen herramientas apreciables para la valoración de los instrumentos que apoyan la el proceso decisorio de cómo los agentes canalizan el intercambio de la riqueza financiera hacia su asignación óptima.

## METODOLOGÍA

Se estimarán los movimientos de las tasas futuras, es decir la volatilidad en términos de desviaciones estándar de una proxy de distribución normal para observaciones semanales ponderadas exponencialmente y no exponencialmente. Se asume que las series se generan de un proceso de ruido blanco Gaussiano, o sea que los retornos de los CDT siguen una distribución normal condicional en la desviación estándar, donde la varianza de los retornos es una función del pronóstico de la varianza del día anterior y de los retornos al cuadrado:

$$(1) R_t = \ln\left(\frac{i_{t+1}}{i_t}\right)$$

$$(2) R_t = R_{t-1} + \sigma_t \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \sim \text{NIID}(0,1)$$

$$(3) R_t \sim N\left(0, \sigma_{t+1,t}^2\right)$$

$$(4) \hat{\sigma}_{t+1,t}^2 = \lambda \hat{\sigma}_{t,t-1}^2 + (1-\lambda)r_t^2$$

### ***Método de pronóstico de volatilidad por Promedio Móvil***

### ***Ponderado Exponencialmente (EWMA) y Método de Volatilidad Histórica***

Es pertinente mencionar que existen básicamente dos formas de pronosticar la volatilidad, en primer lugar a través de pronósticos de volatilidad basados en opciones y en segundo lugar con los modelos de pronóstico de Series de Tiempo, los cuales a su vez se subdividen en tres clases: Modelos de volatilidad condicional tipo ARCH, Modelos de volatilidad estocástica y finalmente en Modelos basados en predicciones fundamentadas en desviaciones estándar pasadas, con varios métodos a saber: el de promedio histórico, el de promedio móvil simple, el de suavizamiento exponencial y finalmente el método de Promedio Móvil Ponderado Exponencialmente (EWMA por sus siglas en inglés).

La Volatilidad EVMA también conocida como volatilidad dinámica mide la desviación estándar de los rendimientos de las tasas, por medio de un promedio móvil ponderado a través de un factor de decaimiento,  $\lambda$ , con comportamiento exponencial, que tiene el efecto de otorgar mayor importancia a los datos más recientes para el pronóstico de la volatilidad. Este procedimiento permite capturar rápidamente fuertes variaciones en los precios en los mercados, siendo así más fácil generar mejores pronósticos en épocas de alta volatilidad.

Otra ventaja de este método es que después de un choque, la volatilidad declina exponencialmente en la medida que el peso de esa observación vaya cayendo con el transcurrir del tiempo. La ecuación que se utiliza para medir la desviación estándar de los rendimientos es la siguiente:

$$(5) \quad \sigma_t^{ewma} = \sqrt{(1-\lambda) \sum_{t=1}^T \lambda^{t-1} r^2} \quad y$$

$$(6) \quad \hat{\sigma}_{ewma \ t+1,t}^{ewma} = \sqrt{[\lambda \sigma_{t,t-1}^2 + (1-\lambda)r^2]} \quad 0 < \lambda < 1.$$

Cada observación que interviene en el calculo de  $\hat{\sigma}$  se pondera con  $w_i = \lambda^{t-1} (1-\lambda)$ , donde  $t=1$  es el día más reciente;  $t$  irá aumentando, según se consideren más observaciones hacia atrás en el pasado. Es así que se logra un ponderador con comportamiento exponencial, donde a menor  $\lambda$ , los datos más recientes tendrán mayor importancia con relación a los más antiguos.

Este modelo captura la persistencia de la volatilidad y refleja un intercambio entre incrementar el número de observaciones y un muestreo más cercano a un determinado punto del tiempo. Este es una versión no estacionaria de un GARCH (1,1) donde los parámetros de persistencia suman 1 puesto que  $\lambda + (1-\lambda) = 1$  y  $R_t$  no es estacionario. EVMA es conocido como un modelo integrado y tiene poder predictivo para horizontes de corto plazo pues no está condicionado en un nivel medio de volatilidad y como resultado se ajusta a cambios en la volatilidad incondicional rápidamente.

Otros modelos, como el ARCH, son más eficientes para separar la persistencia de los choques de la volatilidad e incluso tienen la fortaleza de incorporar la reversión a la media, por tanto son más convenientes para generar pronósticos de más largo plazo. Modelos como EVMA tienden a pronósticos de volatilidad más grandes la

mayoría del tiempo pues no hay restricciones sobre la estacionaridad o convergencia a la varianza incondicional.

En este ejercicio asumimos media cero, pues tal como se menciona en **Poon y Granger (2003)** tomar las desviaciones alrededor de cero en lugar de la media muestral para muestras pequeñas, generalmente incrementa la precisión del pronóstico de la volatilidad. El supuesto de media cero es ajustado a la realidad de la muestra por cuanto las medias de los retornos no alcanzan a ser de un punto porcentual.

Por su parte, la volatilidad histórica asume para todas las observaciones la misma importancia, lo cual resulta en un promedio simple derivado de desviaciones estándar de retornos pasados para un intervalo fijo. Para el presente trabajo será calculada por medio de la siguiente ecuación, para todo el periodo, así como para las predicciones semana a semana.

$$(7) \sigma_t^{historica} = \sqrt{\sum \frac{1}{T} R_t^2}$$

### ***Evaluación de Pronóstico a través del método de Raíz del Error Cuadrado Promedio (RMSE)***

Para tener una idea del desempeño del pronóstico de las dos métodos de volatilidad se pueden utilizar varios criterios para medir los errores de pronóstico, como por ejemplo: el Error Medio (ME), el Error Cuadrado Medio (MSE), la Raíz del error cuadrado Medio (RMSE), Error absoluto medio (MAE), Error porcentual absoluto medio (MAPE), Logaritmo Medio de los errores absolutos (MLAE), el estadístico Theil-U, las funciones de pérdida como la LINEX y a través de funciones de verosimilitud Normales. En el presente ejercicio se implementara el RMSE por su facilidad de cálculo y de interpretación.

Para el modelo con la volatilidad EVMA la elección del factor de decaimiento es crucial por cuanto influye en el suavizamiento de la serie de la volatilidad es decir en la memoria de la serie, aunque no necesariamente en su precisión, por tanto es

ideal que se encuentre un lambda óptimo que minimice el error pronosticado de la varianza.

De acuerdo al modelo de la distribución de los retornos, la definición teórica del pronóstico de varianza en el periodo t para el periodo siguiente, t+1, está determinada por el valor esperado del retorno cuadrado bajo los siguientes supuestos:

$$\hat{\sigma}_{t+1,t}^2 = E \left[ R_{t+1}^2 - E(R_{t+1})^2 \right]$$

$$\hat{\sigma}_{t+1,t}^2 = E_t(R_{t+1}^2) - [E_t(R_{t+1})]^2$$

, y asumiendo la media de los retornos cero, esto es  $E_t(R_t)=0$  se llega a lo anteriormente afirmado:

$$(8) \hat{\sigma}_{t+1,t}^2 = E_t(R_{t+1}^2)$$

, y definiendo el error de pronóstico de la varianza como la diferencia entre el retorno cuadrado efectivamente observado en t+1 y el pronosticado en t:

$$(9) e_{t+1} = R_{t+1}^2 - \hat{\sigma}_{t+1,t}^2$$

, y calculando el valor esperado del error de pronóstico y reemplazando con (8) encontramos que este es cero

$$(10) E_t(e_{t+1}) = E_t(R_{t+1}^2) - \hat{\sigma}_{t+1,t}^2 = 0$$

Ahora siendo la varianza estimada una función de  $\lambda$ , es decir  $\hat{\sigma}_{t+1,t}^2(\lambda)$ , es razonable que se seleccione ese parámetro de tal manera que en promedio se minimice la diferencia entre el retorno cuadrado observado y el que se pronosticaba, en particular para el criterio RMSE, que se minimice la raíz del promedio muestral de los errores cuadrados.

$$(11) RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left[ R_{t+1}^2 - \hat{\sigma}_{ewmat+1,t}^2(\lambda) \right]^2}$$

Se debe interpretar que entre mas cercano sea el lambda optimo,  $\lambda^*$ , a 1, el modelo requerirá mas información pasada para pronosticar  $\sigma$  de forma mas precisa, pero se perderá cierto grado de capacidad para incorporar rápida y eficientemente eventos intempestivos de la economía reflejados en la volatilidad de las tasas mas recientes.

La optimización de  $\lambda$  se realizara a través del Solver de Excel, pero si esta herramienta no es lo suficientemente precisa debido a que los retornos tienen bastantes decimales, es posible que se programe un macro a través de Visual Basic que arroje rangos en los que la función objetivo se minimiza.

### ***Estimación de los Retornos Futuros***

Se estimará el rango en que estarían los retornos para la semana siguiente a través de las siguientes ecuaciones:

$$(12) \hat{R}_{t+1}^{MAX} = R_t + Z\hat{\sigma}_{t+1,t}$$

$$(13) \hat{R}_{t+1}^{MIN} = R_t - Z\hat{\sigma}_{t+1,t}$$

Donde  $\hat{R}_{t+1}^{MAX}$  y  $\hat{R}_{t+1}^{MIN}$ , son los valores máximo y mínimo que tomaría el retorno para el periodo  $t+1$  considerando el nivel que se ha observado para el periodo corriente  $t$ ,  $R_t^2$ , y la estimación que se hace en el periodo  $t$  de la volatilidad que se presentará para el periodo  $t+1$  usando tanto la desviación EWMA y la desviación histórica. También se modela como  $Z$ , el numero de desviaciones estándar asociado con un nivel de probabilidad para verificar el intervalo de confianza en que el valor observado estaría en el rango estimado.

Se presenta la primera estimación de  $R_t$  solamente hasta después de que se obtiene una estimación de  $\sigma_t$  lo suficientemente robusta, pues se requiere un número mínimo de observaciones para consolidar una estimación de  $\sigma_t$  con la suficiente información. El numero de observaciones esta dada por:

$$(14) NObs = \frac{LnNT}{Ln\lambda}$$



, donde NT indica el nivel de tolerancia, es decir, a cuanto peso de la muestra estoy dispuesto a renunciar con tal de tener un estimado mas preciso. Vale la pena recordar que el peso es una función exponencial dado por  $W_i$  y no por un simple porcentaje.

La siguiente estimación de,  $\hat{\sigma}_{t+1,t}$  seguirá incluyendo en forma ponderada la información antigua recogida en  $\hat{\sigma}_{t,t-1}$  y la nueva información del  $R_t^2$  realizado en el periodo corriente, en un proceso sucesivo donde la información antigua será cada vez más irrelevante para las nuevas estimaciones de  $R_t$ .

### ***Identificación de Datos***

Se tomarán las tasas de interés efectivas anual promedio de los Certificados de Depósito a Término de 90, 180 y 360 (las cuales serán referenciadas como CDT90, CDT180 y CDT360 por brevedad) registradas en forma semanal tomadas del Banco de la República, calculadas con información suministrada por la Superintendencia Bancaria.

La tasa de CDT 90 días desde enero de 1984 hasta junio de 1993, corresponde a la encuesta diaria promedio a bancos y corporaciones, realizada por el Banco de la República. En adelante, corresponde a las tasas de captación de CDT a 90 días, promedio semanal ponderado, informada por bancos, corporaciones financieras, corporaciones de ahorro y vivienda y compañías de financiamiento comercial de todo el país a la Superintendencia Bancaria para el cálculo de la DTF. Para las tasas de 180 a 360 días solo hay información disponible a partir de 1993.

Para CDT90 se dispone en total de 1153 observaciones desde la semana del 5 al 11 de Enero de 1984 hasta la semana comprendida entre Febrero 27 a Marzo 5 de 2006. Para ambas series, CDT360 y CDT180, se cuenta con 663 observaciones desde la semana de Junio 21 a 27 de 1993 hasta la semana comprendida entre Febrero 27 a Marzo 5 de 2006. Todos los rendimientos se calcularon en forma logarítmica.

## PRUEBAS Y COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Se realizó el análisis de datos correspondiente a través de SPSS, ver **Tabla 1**, y se analizaron las características de las series de los retornos para ver si comparten algunas características comunes a los datos financieros como la aglomeración de volatilidad, efecto apalancamiento y leptocurtosis

Observando la **Figura 1**, en los retornos para los tres plazos se ve *aglomeración en la volatilidad*, esto es, a través del tiempo cambios grandes en magnitud en la volatilidad son seguidos por cambios grandes de ambos signos y cambios pequeños son seguidos por cambios pequeños de ambos signos lo cual sugiere correlación positiva del nivel de volatilidad corriente con el nivel de los periodos inmediatamente anteriores. Por ejemplo para los retornos CDT360 se observa que entre Junio de 2001 y Junio de 2002 la volatilidad fue baja pero desde mediados de septiembre de 2002 hasta finales de diciembre de 2003 esta tasa presenta una variabilidad mayor. Para CDT180 se observa el mismo fenómeno para varios periodos entre ellos para la primera semana de febrero de 1998 hasta la última de marzo de 2000. Para CDT90 se presenta la misma característica pero no tan marcadamente, por ejemplo se ve que Marzo de 1998 a Febrero de 2000 es una época de alta volatilidad y de Marzo de 2000 a Febrero de 2005 se muestra relativa calma.

También se observa el *efecto de apalancamiento* relacionado con la tendencia de la volatilidad a elevarse más luego de una gran caída en el precio que después de un aumento. En la literatura frecuentemente se enuncia que la correlación en las series de volatilidad,  $\sigma_t$ , es más fuerte que entre los retornos,  $R_t$ , y que se incrementa durante las crisis financieras. Al revisar las graficas parece existir evidencia de auto correlación en las varianzas. Al calcular coeficientes de correlación de orden 1 el resultado no es significativamente diferente de cero. Los estimados de los tres coeficientes son de  $\rho_1 = 0,349829159$  para los retornos de 90 días, los retornos de 180 tienen  $\rho_1 = 0,065875243$  y finalmente para los de 360 el coeficiente es  $\rho_1 = - 0,297676487$ .

Por último la *leptocurtosis* se refiere a la tendencia de los activos financieros a tener distribuciones que exhiben dos particularidades: *colas gruesas*, lo que implica que los movimientos extremos de precios ocurren con mayor frecuencia de lo se esperaría en una distribución normal, y *picos altos en la media*, más altos y más angostos que en una función Normal. Las funciones Leptocurtóticas tienen

curtosis superiores a 3, la serie de retornos de 180 días es la única que presenta una curtosis cercana a 3, esto es típico de una función Normal.

De una prueba de normalidad mediante un gráfico Q-Q, **Figura 2**, se observa que las series siguen casi el patrón de una distribución normal excepto por sus colas.

No obstante este hallazgo es importante tomar en cuenta que en el mercado de dinero las desviaciones de la normalidad pueden ser más importantes que en otros mercados, debido a que las tasas de corto se mueven de una manera arbitraria como resultado de la política monetaria y pueden presentar un patrón de comportamiento según el cual cambian muy poco cuando los bancos centrales dejan su política inalterada o cambian significativamente cuando el Banco Central cambia de política o debido a la actividad en los mercados.

Algunos autores como **Andersen, et al (2001)** señalan cómo la estimación de la función de varianza que se basa en una transformación logarítmica y la volatilidad del valor absoluto de los retornos es una especificación más robusta contra la asimetría y la no normalidad, y que la volatilidad observada estimada de datos de alta frecuencia de los retornos de acciones y divisas tiene una distribución aproximadamente lognormal.

### ***Resultados para CDT 90***

Se realizó la estimación con un  $\lambda$  inicial cualquiera, se calculó la ecuación **11** y se optimizó según el procedimiento RMSE descrito anteriormente, encontrando que el factor de decaimiento óptimo es de 0.989466, este valor es bastante aceptable pues la recomendación de J.P. Morgan en su Documento Técnico para  $\lambda$  es de 0.94 para observaciones diarias y 0.97 para observaciones mensuales. A pesar de esta leve diferencia se puede interpretar que el valor del parámetro muestra que para Colombia, a diferencia de otros países para los cuales está calculado el parámetro JP Morgan, al menos para las circunstancias particulares relacionadas con este título y para este periodo de estimación, se necesitaron más observaciones históricas para poder estimar con la máxima precisión. Una clave adicional para este hallazgo es que para la minimización del error cuadrado medio se alcanzaron a incluir datos posteriores a comienzos de los 90, periodo en el que las tasas gozaron de relativa estabilidad.

Usando el  $\lambda^*$  óptimo y un Nivel de Tolerancia de 0.001% a través de la ecuación **14**, se encontró que son necesarias mínimo 1087 observaciones de la muestra

total de 1153, para que la estimación del primer  $\sigma_{t+1,t}^{ewma}$  sea robusta, permitiendo hacer la estimación solo para las 66 semanas restantes, desde 1-7 de Junio de 1992 hasta 27-05 de Marzo de 2006. De la misma manera se halló que para otros niveles de tolerancia menos exigentes: 0.01%, 0.1% y 1% se requieren 870, 652 y 435 observaciones respectivamente, haciendo que la ventana de pronóstico sea menor y como consecuencia permitiendo aumentar el número de semanas a pronosticar, ver **Tabla 2**.

A través de un procedimiento *dentro de la muestra*, desde luego basado en un  $\lambda$  estimado usando toda la muestra, implícitamente asumiendo estabilidad en este parámetro, se estimó el rango en el que el valor del retorno se podría encontrar, usando la volatilidad estimada para esa semana y se comparó con el retorno observado. Este procedimiento se modela para diferentes niveles de tolerancia y desviaciones estándar, ver **Tabla 3**. Un procedimiento más sofisticado y complejo implicaría optimizar constantemente a  $\lambda$  para cada semana, con un aporte marginal dado el orden de magnitud de los decimales. Se percibe que aunque inicialmente el poder de pronóstico de EWMA es superior al método histórico para niveles de tolerancia más bajos, esta superioridad va disminuyendo a medida que se incrementa el nivel de tolerancia, luego converge para ambas al 0.01% (para el caso de  $Z=1$ ) y finalmente para la mínima tolerancia 0.001%, es la volatilidad histórica quien supera significativamente a su contraparte.

Para realizar el pronóstico *fuera de la muestra* se dispuso de 28 semanas adicionales desde Marzo 6-12 de 2006 hasta Septiembre 11-17 de 2006. Se encontró que para la primera semana ambos métodos lograron estimar acertadamente la volatilidad, pero usando el mismo  $\sigma_{t+1,t}^{ewma}$  y 1.65 desviaciones estándar, se observa que de las 28 semanas a pronosticar se acertó en solo 14 de ellas siendo notable como la precisión se va diluyendo en el transcurrir de las semanas, lo cual es coherente con el hecho de que este es un modelo de memoria corta. Por otro lado el modelo de volatilidad histórica lo hace mejor acertando en el 75% de las estimaciones, superioridad que se anula si se usa solamente una desviación estándar. Si los datos fueran exactamente distribuidos normalmente los intervalos tendrían un 90% de probabilidades de contener la próxima observación de los retornos es decir existen más outliers de lo que la normalidad estipularía. Los anteriores hallazgos se resumen en la **Tabla 6**.

Aunque se intentó aplicar agregación temporal para inferir las propiedades de la volatilidad de un horizonte más largo, se encontraron fuertes inconsistencias en las estimaciones por lo que en este trabajo la estimación es solo de 28 de semanas. Ante esta inconsistencia con la teoría se revisaron trabajos empíricos y se encontró en el trabajo de **West y Cho (1995)**, cómo los pronósticos de

volatilidad no importan para más de 5 periodos para mercados tan volátiles como los de divisas, y que sólo atribuyen importancia a 100 periodos adelante.

**Francis Diebold et al (1998)** advierten que pronosticar estimaciones difiere dependiendo del nivel corriente de volatilidad, su estructura (es decir su grado de persistencia y su reversión a la media) y el horizonte de pronóstico de la misma manera **Poon (2003)** afirma que el éxito de un modelo de volatilidad se basa en su poder de pronóstico fuera de la muestra y que la precisión del pronóstico de la volatilidad mejora en la medida en que la frecuencia del muestreo de los datos se incrementa con respecto al horizonte de pronóstico. Para este caso el desempeño posiblemente mejoraría utilizando datos diarios. La **Figura 3** muestra los retornos y el pronóstico con más y menos una desviación estándar calculada mediante las metodologías propuestas para los tres títulos, se refleja como los intervalos son más amplios para los retornos de CDT180 y CDT360 siendo consecuente con el hecho de que estos plazos exhiben una volatilidad mayor. También se aprecia en la **Figura 4** cómo la serie de la volatilidad EWMA es mucho más dinámica que la histórica pero que ambas sobrestiman siempre la volatilidad del periodo siguiente, la segunda en mayor grado que la primera.

### ***Resultados para CDT 180***

El  $\lambda^*$  óptimo para este plazo es 0,98952 pero debido a que Superbancaria recopiló información desde 1993, solo se cuenta con solo 663 semanas disponibles, de manera que solo se pudieron usar niveles de tolerancia de 1% y 0.1%, ya que únicamente requerían 437 y 656 observaciones respectivamente, para niveles superiores se habría requerido la existencia de muchos más datos. Ver **Tabla 4**. Esta vez se encuentra que el método histórico es superior en ambos niveles de tolerancia a una desviación estándar y también a 1.65 desviaciones estándar excepto para 0.1% de tolerancia.

El pronóstico *fuera de la muestra* es más exitoso esta vez para ambos modelos, para la primera semana ambos aciertan pero la volatilidad histórica supera a la volatilidad EWMA en 75% contra 57.14% en el transcurrir del tiempo a 1.65 desviaciones estándar, y lo hace en 89.29 % contra 75 % a una desviación estándar.

## ***Resultados para CDT 360***

Para este título la optimización arroja un  $\lambda^*$  óptimo de 0,9895200. En este caso EVMA supera al método histórico para todos los escenarios únicamente nivelándose para  $Z = 1,65$  desviaciones con nivel de tolerancia de 0.1%.

El pronóstico *fuera de muestra* refleja resultados opuestos a los de CDT 180 esta vez el modelo de volatilidad con el método EVMA es superior con 78.57 % vs. 67.86% para el otro modelo, aunque si se considera una desviación estándar no se puede concluir predominio.

## ***Entorno económico y expectativas en episodios de volatilidad extrema.***

Entre 1984 y 2005 la relación de Colombia con el exterior presentó una migración de sistema de tipo de cambio reptante o de mini devaluaciones hacia un esquema de flotación sucia, de estrictos controles en la movilidad de capitales hacia una cierta movilidad, y de tener rasgos de economía cerrada hacia una gradual apertura comercial acompañada de varias reformas tributarias y de la reforma financiera. Estos cambios sistémicos han impactado la dinámica de las tasas de tal manera que la volatilidad de las tasas aumentó y por consecuencia las desviaciones de su tendencia de largo plazo y de igual forma la duración de las desviaciones. Este cambio en el entorno es determinante en el análisis de las causas de volatilidades extremas, por cuanto ha sensibilizado más al mercado con respecto a las expectativas inflacionarias y ha liberado a los movimientos de las tasas de los activos de la distorsión de políticas monetarias restrictivas y por consecuencia, han hecho más relevante y valiosa la labor de pronóstico.

A continuación se relacionan los episodios en los que la volatilidad de los títulos estudiados presenta fluctuaciones negativas dramáticas y se analizan las causas de estos movimientos para cada plazo:

### **Retornos CDT 90, semana 28-03 de Enero de 1991 a 31-06 Septiembre 1992**

A partir de 1991 el Banco central colombiano para propender por la estabilidad de precios, restringía fuertemente la oferta monetaria, establecía un encaje marginal de 100% sobre el ahorro financiero e incrementaba las tasas para OMAS a 39% golpeando fuertemente las TIB y DTF. Solo hasta septiembre de 1992 cambia su política de encaje marginal frente al escenario de una desaceleración sostenida en la inflación y la mejora en los indicadores de liquidez. Igualmente ante la disminución de precios del café, la caída en las importaciones, y la caída del

precio del dólar se recortaban las tasas de intervención logrando una significativa caída en la tasa de captación a 90 días y las demás tasas de la economía aumentando la demanda por dinero y provocando una escalada importante en la cartera de créditos.

**Retornos CDT 180, semana 12-18 de Diciembre de 1994**

**Retornos CDT 360, semana de 27 Junio a 03 de Julio y 12-18 de Diciembre de 1994**

Hasta el fin del primer trimestre del año los medios de pago crecían por encima de 35% anual lo que hacía que la economía tuviera demasiada liquidez. No se esperaba cumplir la meta de inflación de 19% esta incertidumbre hacía que existiera esta especial preferencia por liquidez, de tal forma que el gobierno estaba pagando altas tasas para controlar el exceso de circulante. A pesar de las altas tasas, las acciones cambiaron de tener participaciones del 4.9% a 14.3% en los portafolios debido a las grandes rentabilidades.

Ya en octubre existía un alto grado de especulación, las tasas de mediano plazo: CDT 180 y CDT 360 días a pesar de ser mayores habían aumentado menos que las de 90 días particularmente debido a las remuneraciones ofrecidas por los Títulos de participación expedidos por el Banco de la República, quien para colocar a un año había aprobado tasas del 34.5% anual. En los primeros meses del año se esperaban caídas drásticas de las tasas de interés después de la temporada de diciembre, como siempre el final del año se caracterizaba por un exceso transitorio de liquidez pero que debió ser reinvertido por las entidades financieras a rendimientos muy bajos debido a la dificultad para otorgar créditos al sector productivo en forma rápida, al alto riesgo de crédito que se percibía y a que la demanda de crédito disminuía notablemente. La mejor forma de maximizar la rentabilidad era invertir a 360 y a 180 para no perder liquidez y para no tener que reinvertir a tasas muy bajas en enero.

**Retornos CDT 180, semanas de 5-11 de Junio y 27-03 Noviembre de 1995**

**Retornos CDT 360, semana de 13-19 de Diciembre de 1995**

Se percibía creciente aumento del gasto público. Altas tasas de interés propiciaban la revaluación estimulando el endeudamiento interno y la entrada de capitales y desestimulando los pagos al exterior por el diferencial de tasas.

La revaluación fue un instrumento de control a la inflación pues implicaba una menor monetización ayudando a cumplir las metas monetarias. El Banco de la República anunciaba inminente intervención administrativa de las tasas activas de interés si no veía intenciones de las entidades por reducir las, así mismo se notificaba la generación de mayor liquidez reduciendo las tasas de interés de los

Títulos de Participación e irrigando a la economía cerca de medio billón de pesos. Este anuncio era matizado por la creencia de que las tasas bajarían 2 o 3 puntos no 5 como el gobierno pretendía. Estas expectativas no fueron muy bien recibidas por las bajas tasas de ahorro que exhibía la economía a partir de 1993, sin embargo se reactivan los precios de las acciones.

Se vivían síntomas de recesión y un notable deterioro de cartera crediticia. Se percibía escasez de recursos pues la cartera total del sistema financiero crecía más que la base monetaria ampliada (dinero en manos del público, depósitos, CDT, cuentas de ahorro, cuentas corrientes y otros activos financieros de alta liquidez) a tasas de 40.4% y 35.6% respectivamente.

A finales de Junio se anunció la Resolución 016: Desde el 27 de Junio hasta el 1 de Septiembre, el tope de colocación para bancos es de 39.5% EA promedio y para otras instituciones financieras es 41.5%. Se anunció que las tasas de captaciones del gobierno también caerían y que no pagarían más de 30% EA. Lo cual obligó a los demás intermediarios a reducir sus tasas y a competir solo unos puntos por encima de los títulos gubernamentales cuando habían estado pagando a 36%.

El mercado tenía una senda errática. Se percibían conflictos entre Banco de la República y Gobierno e incertidumbre por manejo de la política monetaria y el gasto fiscal de mediano y largo plazo

Se emitió la Resolución 200 de Superbancaria donde se declara obligatorio valorar los portafolios a precios de mercado. Las entidades habían perdido mucho dinero por que la volatilidad de las tasas no estaba permitiendo valorar portafolios a un precio justo de mercado, entendiendo "justo" el tener en cuenta que así como hay que hacer provisiones ante eventuales pérdidas, las inversiones en papeles a largo plazo tienen un carácter de permanencia en el tiempo y que la tasa de mañana podría ser muy distinta a la de hoy.

A comienzos de Agosto estalla la crisis política por el escándalo en campaña presidencial de Samper, esto avivaba las expectativas de que las tasas repuntarían tras los controles a tasas de captación, las cuales solo hasta el 13 de Agosto fueron liberadas. Existía suficiente liquidez por la caída en la demanda de crédito, el gobierno anunciaba que no permitiría una escalada en la inflación y que no realizarían OMAS.



En la última semana de Noviembre no se esperaba que el Banco de la República congelara recursos con OMAS a corto o mediano plazo y por eso los Títulos de Participación no eran atractivos. Se vislumbraba como alternativa a un año o más los bonos de garantía expedidos por bancos o corporaciones financieras con 1.5 puntos sobre CDT por trimestre vencido o anticipado para tener una adecuada protección ante aumentos de las tasas en el corto plazo. Antes que un CDT de 360 días a una tasa determinada era preferible colocar en bonos a tasa flotante DTF que permitían cubrirse también de un aumento en tasa de interés.

### **Retornos CDT 180, semana de 7-13 Diciembre de 1998**

A partir de 1998 las tasas de interés comienzan a elevarse por la política del Banco de la República dirigida a defender la banda cambiaria. Mientras que los Fondos extranjeros seguían liquidando sus inversiones en Colombia. A comienzos de 1998 tenían posiciones por 348 Millones de USD y en Noviembre tan solo 8.5 Millones de USD. La caída de Enero a Noviembre es de 97.55% en negocios con CDT bonos y demás. Preocupaban los excesivamente cortos plazos de contratación de pasivos y el costo de los mismos. En Octubre la captación para plazos de menos de 14 días era 60% del total, ya en Septiembre había subido a 76%. El 72% de CDT y CDAT está a menos de 1 mes, 11.8% a menos de 2 meses, 13% a menos de 3 meses, y solo el 3% a más de seis meses. Un año atrás, en Diciembre de 1997, la composición era de 60% para colocaciones a más de 6 meses y de 40% a menos de 2 meses.

El mercado era dominado por los préstamos interbancarios para liquidez momentánea. Los plazos cortos se asumían por expectativas de reducción en las tasas de interés. Las tasas de aprobación de los TES 1,2 y 3 años registraron disminución impresionante en todos los plazos. La tasa de títulos a 1 año cayó de 34.8% a 33.5% EA. El Banco de la República anunció la decisión de disminuir la tasa de repos. Las entidades al ofrecer tasas de captación a 90 días entre 37% y 38% promedio dejaban entrever la dificultad para captar nuevos recursos. Se presentan pésimas cifras en los Estados de Resultados, que generan cierre y disminución de cupos entre entidades.

### **Retornos CDT 90, semana de 15-28 de Marzo de 1999**

Año donde se acentúa una constante caída en las tasas de interés. La tasa interbancaria (*TIB*), la cual se ajusta más rápidamente a las variaciones del mercado, es negativa; esta tendencia se consolida por la menor presión del mercado cambiario dada la eliminación del régimen de banda, la política monetaria expansionista, la baja inflación y la nula demanda de crédito. Las entidades de crédito entregaron al banco central recursos a través de operaciones de contracción monetaria debido a la falta de demanda de crédito y a

la acumulación de activos improductivos que los incentivaban a invertir en ese tipo de instrumentos en lugar de irrigarlos a la economía.

La política monetaria del emisor incentivó el descenso en las tasas de interés a través de una fuerte reducción en las tasas de referencia, se creó un cupo especial de liquidez y se ampliaron las bisemanas de encaje a tres para prevenir la volatilidad de la tasa interbancaria por eventos de iliquidez.

Para esta fecha en particular, las tasas de interés de los títulos de tesorería TES, se colocaron a los niveles más bajos desde su creación en 1990, ubicándose en 21.20 % para los títulos a un año y en 24% para los TES a dos años, indicando la aparición de un exceso de liquidez en la economía, originando este prominente descenso en las tasas de interés. Una colocación de \$195.000 millones en TES frente a una demanda de \$430.000 millones hizo que se obtuviera una caída de más de 3 puntos porcentuales acelerando el proceso de desplome de las tasas de interés. La amplia diferencia entre esta tasa y la DTF que se ubicaba en 26%, hacía pensar que la tasa de los TES podía seguir bajando. Por su parte otro indicador básico del costo del dinero, los repos de contracción cayó al 21%, un descenso considerable coherente con la política del Emisor.

La Superbancaria impuso una nueva metodología para calcular el interés bancario corriente y las tasas de créditos ordinarios de libre asignación. Este hecho produjo una reducción inmediata de 11 puntos en el nivel de usura, justamente el 15 de marzo el techo se situó en el 55.22% anual

La inflación presentaba una firme tendencia a desacelerarse y se ubicó en un dígito ya a mediados del año, por causa de la política antinflacionaria del mes de Diciembre apoyada con controles de precio a la gasolina y medicamentos

### **Retornos CDT 180, semanas 8-14 de Febrero, 20-27 de Diciembre de 1999 y 28-02 Enero de 2000**

Nuevamente existía sobredemanda de TES por parte de las entidades financieras a la advertir el deterioro de sus carteras. El crédito estaba restringido ante una cartera morosa que pasaba del 10,8 por ciento al 18,8 por ciento entre diciembre de 1998 y noviembre de 1999.

### **Retornos CDT 90, semanas 24-30 de Enero y 31-06 Febrero de 2000**

Olas de atentados contra la infraestructura eléctrica hacían dudosa la obtención de recursos a través de privatizaciones, incertidumbre que producía expectativas de posibles colocaciones de TES por 1000 millones de USD en el mercado externo y otra cifra igual en el mercado interno, lo que presionaría al alza las tasas, hecho reforzado por las esperanzas del regreso de la inflación a 2 dígitos para el segundo trimestre. Así es que también por este concepto las tasas nominales se impulsarían al alza para conservar las tasas reales.

La inflación presenta una tendencia decreciente con respecto al año anterior, de enero de 1999 a enero de 2000 fue de 8.25%, estableciéndose como la variación de precios más baja de los últimos treinta años aunque se esperaba que se revirtiera la tendencia para el segundo semestre de 2000.

Ante la abundante liquidez, resultado de la baja demanda de crédito y el vencimiento de los TES del año anterior el Banco de la República realiza Repos de contracción monetaria, a la tasa máxima prevista para revertir la tendencia de las tasas de interés, presionando la tasa interbancaria de 6 a 10%. Ante esta perspectiva, e incluso previendo aumentos mayores, en el mercado cambiario la TRM tuvo una caída acelerada. El Banco revierte la tendencia que había ocasionado en Noviembre de 1999 cuando quitó el piso que representaba una tasa de captación a la vista 4 o 5 puntos por encima de la inflación permitiendo que el exceso de liquidez por escasez en la demanda de crédito reflejara menores tasas.

### **Retornos CDT 90, semana Junio 24-30 2002**

Existían expectativas de que el gobierno mejorara el perfil de vencimiento de la deuda pública externa para lo cual ofreció altas tasas de interés. Se presentaba Incertidumbre el por empeoramiento del orden público, impactando las negociaciones de instrumentos de deuda del gobierno. Se observó una mayor subasta de TES de largo plazo, al mismo tiempo que caían los montos en circulación de corto plazo especialmente a 2 y 3 años. La inflación estaba obteniendo un cambio de tendencia al alza, desde el mes de Mayo, que despertaba inclinación hacia títulos indexados como los TES UVR. El desempeño de las acciones no se perjudicó por las acciones del terrorismo. Había altos niveles de liquidez y pobres expectativas de crecimiento para 2002, pues la variación del PIB se estimaba en 1.5%. La tasa de cambio seguía creciendo y se esperaba que se siguiera depreciando junto con las demás monedas de la región, hecho reforzado por la defensa a las posiciones en dólares que ejercieron las instituciones financieras y por la crisis de confianza en Brasil. Los sucesivos recortes de la tasa interbancaria fueron absorbidos por las tasas de los CDT en todos sus plazos. Crédito Público emite 122 billones en renta fija a todas las fechas de maduración, en la subasta las ofertas fueron mayores para los títulos en la parte media y larga de la curva de rendimientos

### **Retornos 360, semana 6-12 de Enero, 27-02 Febrero y 22-28 de Septiembre de 2003**

En un contexto de amplia liquidez se captaron 108 billones a través de CDT de 90 días a una tasa promedio de 7.58%, lo que se constituyó en la tasa más baja hasta ese momento para captaciones a ese plazo y por ese volumen. Mientras tanto la tendencia para tasas de 180 y 360 días continuaba al alza. Para los CDT de 360 días, los volúmenes captados eran especialmente altos y debido a que en el mercado se presentaba falta de liquidez para estos títulos, esta tasa exhibió considerable volatilidad. A finales de febrero las entidades financieras están provisionadas de suficiente dinero de tal manera que no había estímulo para seguir absorbiendo recursos. Para el mes de septiembre se percibía incertidumbre por la aprobación del Referendo, que en caso de no ser admitido impactaría negativamente la valoración de los TES porque generaría dudas sobre la estabilidad fiscal futura de la Nación, y provocaría el empinamiento de la curva de rendimientos por la preferencia de los agentes hacia los activos de plazo más corto plazo con el fin de reducir el riesgo de cambio de tasas, de régimen impositivo y por debilitamiento del peso.

### **Retornos CDT90, semana 22-28 de Marzo de 2004**

### **Retornos CDT360, semanas 10-16, 17-23 de Mayo, 7-13 Junio de 2004**

Aunque el Referendo no prosperó, existía un clima de confianza motivado por varios factores como el diferencial de tasas con EEUU, el sostenimiento del ritmo de crecimiento económico, la inflación a la baja y el cumplimiento de la meta para el déficit fiscal. Este panorama de riesgo sumado a la política monetaria expansiva le proporcionó liquidez y estabilidad a las tasa de interés. Por otro lado persistía la revaluación del peso originada por la disminución del endeudamiento externo del sector real y por el superávit de la cuenta de capital. En la segunda y tercera semana de febrero se presentó un escenario de agresiva revaluación, que algunos interpretaron como la motivación del anuncio del Emisor para bajar la tasa interbancaria. Esta amenaza de disminución, totalmente creíble dada la senda de la inflación, estimada hasta en 50 puntos básicos, hizo que fuera descontada por los agentes en forma anticipada, pero la medida no se hizo efectiva sino hasta el 23 de Marzo por medio de un recorte de 25 puntos básicos, este escenario de incertidumbre explicó la volatilidad de la tasas de captación para el primer trimestre del año. Varios analistas discreparon de esta interpretación, ya que consideraron que el Banco no reducía sus tasas de intervención para alcanzar un tipo de cambio objetivo sino una tasa de inflación objetivo, y precisamente la disminución de la inflación sin alimentos por si sola le daba margen al Emisor para reducir sus tasas Repo. Así mismo afirmaban que para reducir el diferencial de las tasas de Intervención de la FED y el Banco de la republica para controlar la tasa de cambio habría requerido un recorte estimado en 250 puntos básicos.

Para el mes de Mayo se presenta la mayor turbulencia en el mercado de acciones, el IGBC registró la mayor caída y al siguiente día el mayor incremento en toda su historia. El ambiente se ve influenciado por las expectativas de subida anticipada

de las tasas de fondos federales norteamericanos de 25 a 50 puntos básicos, lo cual desvía a la TRM de su senda descendente, imprimiéndole volatilidad al mercado cambiario junto con un incremento de 25 puntos básicos en la tasa del banco de Inglaterra.

En el anterior análisis, se percibe cómo en muchos de los episodios de volatilidad extrema las intervenciones de política monetaria y regulatoria estuvieron presentes simultáneamente y que cualquier choque en la economía tiene un impacto mayor sobre la volatilidad en un periodo recesivo del ciclo.

Puesto que este trabajo se interesa por el poder de pronóstico y no por el poder explicativo, no se establecen relaciones de causalidad ni se modelan factores explícitos que influyan en las variaciones atípicas, por lo contrario para este modelo se utilizan retornos cuadrados rezagados como variables observables que resumen la aparición de nueva información, que tal como se ha explorado, es de diferente naturaleza, bien sea referente a volatilidad en otros mercados, con otra clases de activos y con plazos diferentes a los estudiados, o desencadenada por cumbres presidenciales, sesiones del congreso, de organismos reguladores o de la Junta del Banco de la República o por el FED, consistente en decisiones, declaraciones y revelaciones relacionadas con el desempeño efectivo y esperado del déficit fiscal y la captación de nuevos recursos, el crecimiento económico, la inflación, el costo del dinero y la defensa de la divisa local, todos ellos factores de impacto en la valorización de los activos del mercado primario y secundario.

## ***Distorsiones de mercado y la medición del riesgo de tasas de interés de corto plazo***

Algunos hechos estilizados en Colombia establecen cómo las tasas de interés del sector financiero y las que afectan directamente al sector productivo y a los hogares demuestran relaciones estables de largo plazo. Uno de esos hechos es la señal unívoca que constituye la evolución de la TIB para determinar la trayectoria que pueden seguir las tasas de la economía. Siendo esta la tasa de más corto plazo, el impacto que imprime a la DTF, está condicionado a que caiga en forma continua, e incluso si se presenta una disminución por más de 6 meses, la baja de las tasas de captación puede ser más que proporcional. **Amaya (2005)** encuentra que la reacción al choque de política es diferente en intensidad entre los diferentes bancos, siendo los más grandes quienes reaccionan más fuertemente. Menciona que en el corto plazo la varianza de las tasas de los CDT fue conducida por la propia tasa y por la TIB, aunque el mercado interbancario no tuvo la importancia relativa que ha mostrado desde 1990.

Desde Julio de 2002 ha inquietado la falta de reacción de las tasas CDT de 90 y 180 días ante cambios en la tasa interbancaria, cuestionándose no solo la efectividad del mecanismo de transmisión sino el poder explicativo de la TIB en el comportamiento de la volatilidad de las tasas de los CDT. Lo anterior conduce a explorar el papel de los demás factores que imprimen volatilidad a estos títulos. Al revisar el mercado de los CDT para analizar el rol de su tasa en su propia varianza, se encuentran cuestionamientos relacionados con las características de estos papeles, conflictos de interés y a las responsabilidades de las tasas ponderadas para los CDT, especialmente a 90 días.

Por un lado, la variación de la tasa de los CDT parece estar fallando para recoger las impresiones de los mercados, ya que se presentan tres críticas principales a la DTF, en primer lugar se dice que no representa la liquidez del mercado, por cuanto los CDT no incorporan un monto significativo con respecto a activos de plazos afines, segundo, que la variación del promedio puede obedecer tanto a cambios en las tasas a ponderarse, como a que las instituciones con mayor riesgo, las que necesariamente pagan una mayor tasa, captaron una mayor proporción de los recursos totales del sistema y finalmente que la DTF no puede reflejar oportunamente los cambios repentinos de la política económica o del entorno político. Por otra parte se presentan suspicacias con respecto a los incentivos que tienen los bancos para manipular la tasa y por ende las captaciones a estos plazos, pues una baja volatilidad de la misma disminuiría el costo de los requerimientos de capital que se les exige, sospecha que también se refuerza en

el hecho de que captar a 90 días, y en general a plazos cortos, tiene costos adicionales como el encaje y el impuesto a las transacciones financieras, que en sumatoria representan alrededor de 50 puntos básicos, lo cual conduce a que para distribuir mejor los costos se capte a plazos mayores. De otra parte al ser las captaciones de 90 días las que se reportan a la Superintendencia para conocimiento público, no es deseable para las entidades de crédito que la solvencia de las entidades sea deducida del costo que pagan por sus fondos.

Estas dudas llevan a pensar que la volatilidad de las tasas de captación de los CDT está sesgada por conflictos de interés. **Rowland (2006)** presenta evidencia en contra de estas hipótesis estableciendo que las tasas de las captaciones no están sobreestimadas, pues las Compañías de Financiamiento aumentaron la participación, en plazos diferentes a 90 días, y que tampoco están subestimadas, ya que los CDT a 90 días predominan en la estructura de captación para todo el mercado, por último se argumenta que la DTF de 90 días y la DTF entre 91 y 119 días tienen la misma tendencia. A pesar de estas replicas, diferentes tesoreros de las mesas de dinero en el país, atestiguan varias situaciones que dejan entrever que la rigidez de la tasa se ve relacionada con distorsiones de mercado entre ellas: la concentración del sistema financiero, el hecho de que la tasa de los CDT siendo la tasa de referencia en el tramo corto de la curva de rendimientos, no está determinada por el libre mercado y que en gran parte se decida en las redes de oficinas, más que en las tesorerías. Aún así, gran número de títulos (1.020 títulos de los 1.960 que hay en Infoval), los balances del sector financiero y en particular parte del stock de crédito (alrededor del 84% y el 19% de los créditos comerciales y de consumo), están indexados a la DTF supuestamente con el objetivo de mantener siempre las tasas de inversión acordes con el mercado y así disminuir la volatilidad en tasas de interés.

En los últimos años diversos agentes han contribuido a disminuir el volumen del mercado CDT, haciendo que su participación haya pasado de 50% a 30% entre 1999 y 2006. Las empresas por su parte han innovado en sus mecanismos de financiación como la colocación de bonos y los bancos han optado por diversas estrategias de administración de tesorería y de captación barata para ofrecer crédito: la migración hacia repos como fuente principal de liquidez, la oferta de diferentes productos discriminando por segmento (i.e. tasas bajas a 90 días a clientes pequeños y tasas mayores a los grandes y a otros plazos) y el fomento a las cuentas de ahorro ante ciertos estímulos del gobierno, en coyunturas como la de 2004, para estímulo de la construcción, favoreciendo el crecimiento de las cuentas para vivienda en los bancos hipotecarios y otro tipo de cuentas por medio de la devolución de parte del IVA por transacciones con tarjetas débito. Maniobra que se revierte, si los agentes perciben una inminente alza en las tasas de intervención, en cuyo caso los bancos desestimularán los depósitos a la vista y procurarán expandir los CDT, si no contaran con una gran reserva de activos

financieros para liquidar y contener la presión sobre el costo financiero de salir a captar recursos costosos. Las tesorerías por lo contrario se moverían a plazos más cortos, para menguar el efecto del aumento de tasas sobre la valorización y minimizar el riesgo sobre sus posiciones de largo plazo.

La Súperfinanciera estima la distribución estadística y la variación máxima probable de 15 factores de riesgo que afectan las posiciones activas y pasivas relevantes para la estimación del valor en riesgo, VeR. En el caso de la DTF esto se hace a través de un procedimiento de Monte Carlo, que a su vez requiere como un insumo una estimación de la volatilidad. Si bien es cierto que la precisión de EWMA falla al sobreestimar la volatilidad como resultado de debilidades estadísticas de este método, también ocurre que el mercado de los CDT tiene distorsiones e incentivos a la manipulación.

El anterior panorama respalda la idea de que previamente a la mejora estadística de los modelos, es preciso migrar a tasas de referencia de corto plazo más transparentes, que permitan una labor óptima de valoración y negociación, y así garantizar la necesaria aparición de un mercado de derivados que mitigue los efectos nocivos de cambios imprevistos y violentos en la volatilidad de de tasas de interés. En el manejo de riesgo de las mesas de dinero son esencialmente relevantes los horizontes de muy corto plazo, de tal manera que la dinámica de la volatilidad no es importante para el manejo del riesgo a largo plazo, sino los movimientos inesperados y de gran magnitud, aquellos en los que dado que no hay un diferencial creciente entre la tasas de corto y largo plazo no se pueden inferir con la suficiente oportunidad.



## CONCLUSIONES

En el presente documento se contrasta el poder predictivo de dos modelos de volatilidad para un título valor de corto plazo de cupón cero para varios horizontes de vencimiento, para el periodo comprendido Junio de 1992 a Marzo de 2006, según la metodología y el modelo de RiskMetrics™ de Jp Morgan/Reuters.

Se encuentra que los dos modelos proveen información significativa, aunque no se detecta que alguno de los dos, en términos generales, se comporte mejor que el otro, aunque esta afirmación se relativiza para escenarios específicos según la forma de predicción, niveles de tolerancia y desviaciones estándar. Para la predicción intramuestra se encuentra que asumiendo el mínimo nivel de tolerancia y el menor número de desviaciones estándar, el modelo con volatilidad histórica tiene un mejor desempeño que su opuesto en cuanto a su precisión para los plazos de 90 y 180 días, pero al usar 1.65 desviaciones estándar ninguno de los dos modelos es significativamente superior al otro. No obstante es destacable el hecho de que EVMA sea superior al renunciar solo al 1% del peso de la muestra para la tasa a 90 días siendo la segunda tasa más volátil entre las estudiadas.

Para los pronósticos fuera de muestra, el modelo de volatilidad histórica es más preciso para los plazos 90 y 180 días, aunque para el plazo de 360 días el modelo con suavizamiento exponencial es superior siendo esta la tasa más volátil de los certificados a término fijo.

En este trabajo no se utiliza el principio de agregación temporal, es decir, el estimar la senda de la volatilidad de corto plazo para inferir las propiedades de la volatilidad de un horizonte más largo, por cuanto en la revisión de la literatura se encontró que el pronóstico de la volatilidad es relevante sólo para cierto horizonte de tiempo, y también por que el procedimiento de agregación presenta considerables inconsistencias estadísticas y tiende a sobreestimar las fluctuaciones.

Se encuentra que EVMA no captura completamente la estructura de la volatilidad de los CDT, es decir tanto la persistencia típica de este activo (ante choques en la varianza) como la reversión a la media, tendiendo a sobreestimar la senda de la volatilidad. No obstante, se encuentra un desempeño predictivo aceptable en el muy corto plazo, que se diluye con relativa rapidez. Este hallazgo es coherente con las características de esta familia de modelos de memoria corta.

Por su parte, el método de Volatilidad Histórica presenta similares falencias, aunque se ve favorecido en escenarios de alta tolerancia, y por el hecho de que las tasas en el periodo trabajado gozaron de relativa estabilidad en comparación con épocas posteriores. Sobresale también, al revisar la estructura del modelo y de las series pronosticadas, que este método está en contra de la teoría de expectativas racionales por cuanto prescinde del uso de medias y varianzas condicionales.

Se encuentra que adicionalmente a las debilidades estadísticas de los modelos, estos pueden fallar por la evidente existencia de problemas de medición en los indicadores derivados y por distorsiones en el mercado de esta clase de títulos, por cuanto es una tasa de referencia utilizada para regular al sector financiero, de tal manera que existen incentivos para que la tasa de estos títulos aparezca artificialmente baja y exhibiendo baja volatilidad, aún en escenarios de bajo volumen de emisiones.

## RECOMENDACIONES

Las metodologías establecidas en Basilea asumen normalidad en la dinámica de los retornos pero dada su naturaleza es preferible utilizar modelos GARCH, por cuanto permiten la generación de números extremos más grandes de lo que se esperaría de una distribución normal. Incluso es preferible modelar directamente los extremos de las colas de las funciones de densidad de los retornos por medio de la Teoría del Valor Extremo, pues casi todos los modelos pierden de vista los movimientos realmente grandes de la economía que vienen siendo los más relevantes para la administración del riesgo.

Otro rasgo adicional de un modelo óptimo, es que tenga en cuenta el efecto asimétrico de la volatilidad, habiéndose verificado la característica de que la volatilidad es mayor cuando el mercado esta a la baja, este es un cualidad particular de los modelos EGARCH.

Aunque los retornos al cuadrado pueden llegar a ser estimadores insesgados de la varianza subyacente, existe una gran proporción de ruido en el proceso de generación de los retornos que no puede ser enteramente recogido por esta variable, luego es deseable encontrar otras proxys de volatilidad *expost* que recojan mejor estas distorsiones, ya sean de naturaleza estadística o económica. Un recurso que contribuye a la disminución del ruido es utilizar datos con una muy alta frecuencia.

Un ejercicio interesante para futura investigación, sería probar la efectividad de un pronóstico combinado dos modelos y explorar la ponderación que se le adjudicaría a cada uno y explorar si el uso de los diferentes pronósticos de volatilidad mejora la precisión de medidas de Valor en Riesgo en varios horizontes de tiempo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Arosemena A.M. y L.E. Arango, 2002, Lecturas alternativas de la estructura a plazo: una breve revisión de la literatura, Borradores de Economía, No. 223, Banco de la República.
2. Arango, L.E y A.M. Arosemena, 2003, El tramo corto de la estructura a plazo como predictor de expectativas de inflación en Colombia, Borradores de Economía, No. 264. Banco de la República.
3. Amaya, Carlos Andrés G, 2006, Interest Rate Setting and the Colombian Monetary Transmission Mechanism, Borradores de Economía, No. 352, Banco de la República.
4. Bosner-Neal C. y T. Morley, 1997, Does the Yield Spread Predict Real Economic Activity? A Multicountry Analysis, Federal Reserve Bank of Kansas City Economic Review, Third quarter, p. 37-53.
5. Campbell J. y R. Shiller, 1991, Yield spreads and interest rate movements: a bird's eye view, The Review of Economics Studies, Vol. 58(3), No. 195, p. 495-514.
6. Corfivalle, Marzo 2001, ¿Es la DTF “La” tasa de interés de la Economía?, Informe Económico.
7. Corfinsura “La DTF: Una Aproximación A Su Naturaleza” Reporte Especial.
8. Corfinsura “la DTF y los recortes de tasas del banco de la república” Reporte Especial Marzo 2002.
9. Culberson J., 1957, The term structure of interest rates, Quarterly Journal of Economics Vol. 71, p. 485–517.
10. De Lara Alfonso, 2002, Medición y control de riesgos financieros Editorial Limusa Omega Editores.
11. Diebold, Francis X.; Andrew Hickman, Atsushi Inoue and Til Schuermann. 1998. “Scale Models” Risk Magazine 11, pp. 104-107.
12. Dotsey M., 1998, The Predictive content of the interest rate term spread for future economic growth, Federal Reserve Bank of Richmond Economic Quarterly, Vol. 84, No. 3(spring). p. 31-51.

13. Estrella A. y G. Hardouvelis, 1991, The term structure as a predictor of real economic activity, *Journal of Finance*, Vol 46. No. 2, p. 555-576.
14. Estrella A. y F. Mishkin; 1995, Predicting U.S. recessions: financial variables as leading indicators, *NBER Working Paper Series*; No. 5379.
15. Estrella A. y F. Mishkin; 1996, The yield curve as a predictor of U.S. recessions, *Current Issues in Economics and Finance*, Federal Reserve Bank of New York, 1-6.
16. Harvey C.R., 1997, The relation between the term structure of interest rates and Canadian economy growth, *Canadian Journal of Economics*, X, No.1, 169-93.
17. Hsu C y P. Kugler, 1996, The revival of the expectations hypothesis of the U.S. term structure of interest rates, *Economics Letters*. Vol. 55, No. 1, p. 115-120.
18. Kugler P., 1988, An empirical note on the term structure and interest rate stabilization policies, *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 103, No. 415(4).
19. Mylonas Paul and Sebastian Schich , *The Use Of Financial Market Indicators By Monetary Authorities 1999 s*.
20. Mankiw G., 1986, The Term Structure of Interest Revisited, *Brookings Papers on Economics Activity*, No. 1 p. 61-110.
21. Mankiw G. y J. Miron, 1986, The Changing Behavior of the term structure of interest rates, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 101, No. 2, p. 211-228.
22. Hansen 1982 Large Simple Properties of generalized Method of Moments Estimators, *Econometría* L(1982) 211-228.
23. Hardouvelis G., 1994, The term structure spread and future changes in long and short rates in the G7 countries: is there a puzzle?, *Journal of Monetary Economics*, Vol. 33, No. 2, p. 255-283.
24. Philippe Jorion, 2003, *Valor en Riesgo. El Nuevo paradigma para el control de riesgos con derivados*, Editorial Limusa Noriega Editores.
25. Gómez Villar Leonardo, *tasas de interés y flujos internacionales de capital*.
26. *Diario Económico Portafolio*,

27. Carrasquilla, A., S. Gutiérrez, J. Niño y H. Piñeros (1990) "El Mercado de Corto Plazo y los Determinantes de la Tasa de Interés Interbancaria ", Banca y Finanzas, No. 17.
28. Echeverry, J. C. (1996) "Sobre la Tasa de Interés como Instrumento de la Política Monetaria", Debates de Coyuntura Económica, Fedesarrollo, junio.
29. Fernández, J. (1995) "Metas Monetarias y Tasas de Interés", Informe Semanal, ANIF, diciembre 4.
30. Kalmanovitz, S. (1996) "La Tasa de Interés como Meta de la Política Monetaria", mimeo, Banco de la República.
31. Posada, C. E. y M. Misas (1995) "La Tasa de Interés en Colombia. 1958-1992", Borradores Semanales de Economía, Banco de la República, No. 26.
32. Steiner R. y L. A. Saavedra (1992) "La tasa de Interés Interbancaria y su Relación con la Tasa de Tres Meses ", Banca y Finanzas, No. 26, Oct.-Dic.
33. Unidad Técnica SMR (1996) "La Tasa de Interés Interbancaria en Colombia", 1989-1995, mimeo, Subgerencia Monetaria y de Reservas, Banco de la República.
34. Vásquez, Diego M. (1996) "La Tasa de Interés en Colombia ", mimeo, Subgerencia Monetaria y de Reservas, Banco de la República.
35. Ser-Huang Poon and Clive W.J. Granger. Forecasting volatility in Financial Markets: A Review, Journal of Economic Literature Vol 41 Junio 2003.
36. Corfinsura. Febrero de 2003, ¿Cómo se calcula la DTF?, Reporte Especial.
37. Hicks J., 1939, Value and Capital, Segunda Edición, Londres: Oxford University Press.
38. Fisher I., 1896, Appreciation and interest, AEA Publications 3(11), p. 331 – 442.
39. Modigliani F. y R. Sutch, 1966, Innovations in interest rate policy, American Economic Review, Papers and Proceedings Supplement. Vol. 56 p. 178-97.
40. Mishkin F., 1990a, What Does The Term Structure Tells Us About Future Inflation?, Journal of Monetary Economics, Vol. 25, No. 1 p. 77-95.

41. Mishkin F., 1990b, The Information in the Longer Maturity Term Structure About Future Inflation, *The Quarterly Journal of Economics*, Cambridge, Vol. 105, No.3, p. 815-828.
42. Frankel J y C. Lown, 1994, An Indicator of future inflation extracted from the steepness of the interest rate yield curve along its entire length, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 109, No. 2, p. 519-530.
43. N.Gregory Mankiw. Stephen M. Goldfeld. Robert J. Shiller. The Term Structure of Interest Rates Revisited *Brookings Papers on Economic Activity*, Vol. 1986, No 1 pp 61-110.
44. J.P Morgan / Reuters, "Risk Metrics Technical Document" , Cuarta Edición New York Diciembre 17, 1996.
45. Christoffersen Peter F.; Francis X. Diebold, How Relevant is Volatility Forecasting for Financial Risk Management, *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 82, No. 1. Feb. 2000, pp. 12-22.
46. Rowland Peter, 2006, The 90-Day DTF Interest Rate: Why Does It Remain Constant? *Borradores de Economía*, No. 371, Banco de la República.
47. West y Cho, The predictive ability of several models of Exchange Rate Volatility *Journal of Econometrics* 69 (1995) 367-91.
48. Torben G. Andersen; Tim Bollerslev, Answering the Skeptics: Yes, Standard Volatility Models do Provide Accurate Forecasts *International Economic Review*, Vol.39, No. 4, Symposium on Forecasting and Empirical Methods in Macroeconomics and Finance. (Nov., 1998), pp. 885-905.
49. Superintendencia Bancaria, Circular 100 de 1995.
50. Melo Velandia L.F y Becerra Oscar, Una aproximación a la dinámica de las tasas de interés de corto plazo en Colombia a través de modelos GARCH multivariados, Banco de la República Gerencia Técnica, *Borradores de Economía*, N° 366 Enero de 2006.

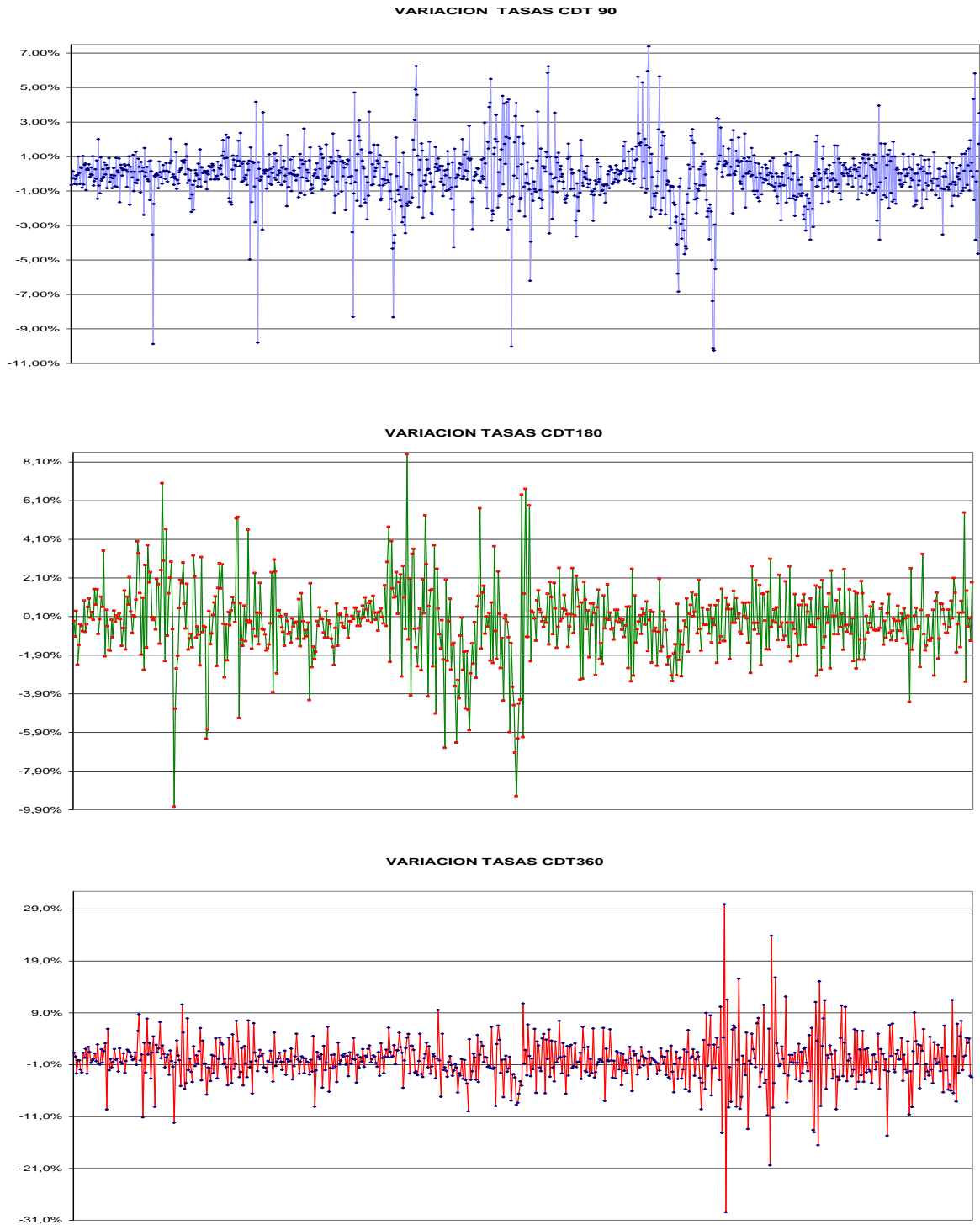
# ANEXOS

**Tabla 1. Estadísticos Descriptivos de los Retornos.**

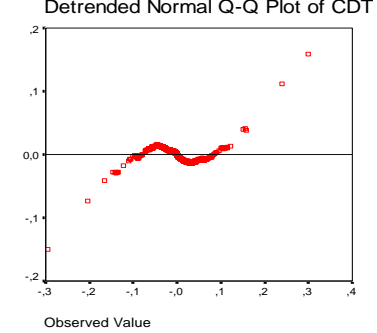
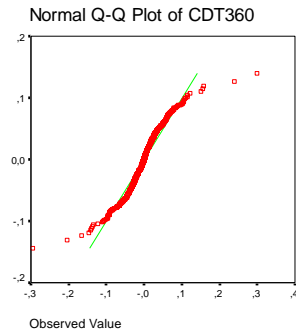
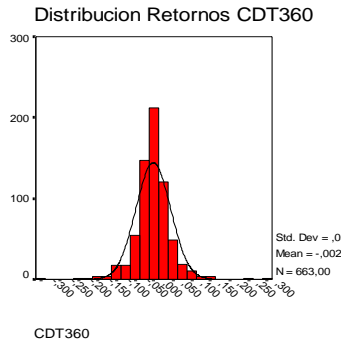
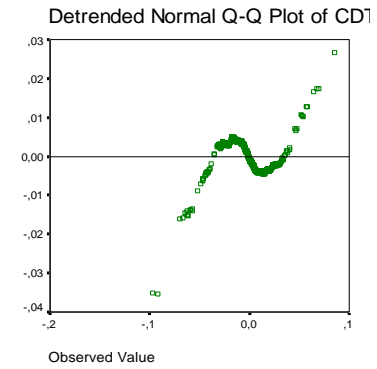
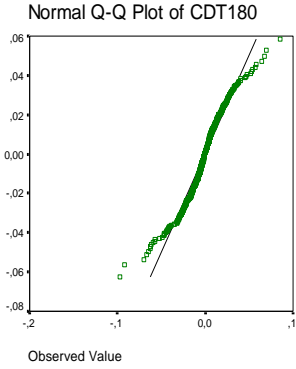
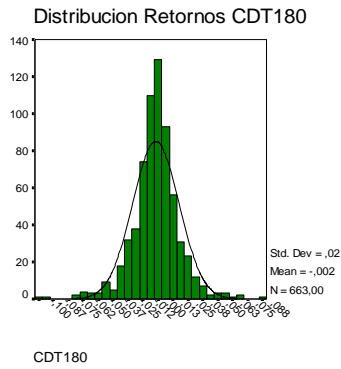
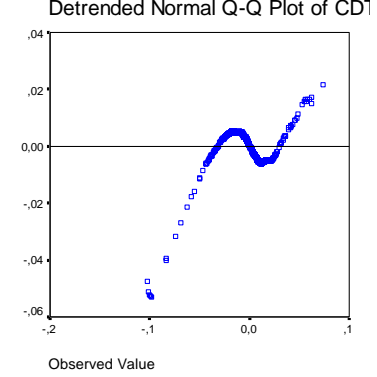
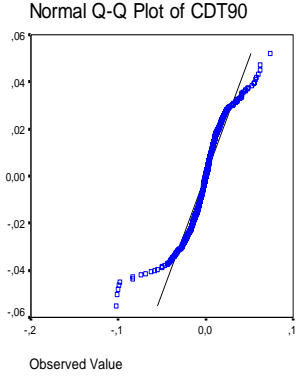
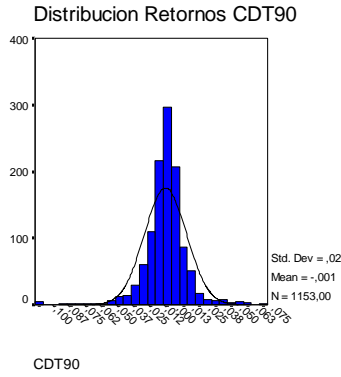
		Descriptive Statistics			
Statistics	Stat Type	Variables			Valid N (listwise)
		CDT90	CDT180	CDT360	
N	Statistic	1153	663	663	663
Range	Statistic	,17631948321	,18243705402	,59348259766	
Minimum	Statistic	-,10250366175	-,09749748046	-,29444475539	
Maximum	Statistic	,07381582146	,08493957356	,29903784227	
Mean	Statistic	-,0014772274968	-,0020097508640	-,0019490935184	
	Std. Error	,0004821180683	,0007530522536	,0017771660231	
Std. Deviation	Statistic	,01637073059049	,01939018160927	,04575986828813	
Variance	Statistic	,0002680008201	,000376	,00209396554574684	
Skewness	Statistic	-,972705	-,227337	,107255	
	Std. Error	,072044	,094916	,094916	
Kurtosis	Statistic	8,401688	3,405794	7,417382	
	Std. Error	,143964	,189549	,189549	



**Figura 1. Volatilidad de los rendimientos de CDT 90, 180 y 360 días**  
**Retornos al cuadrado**



**Figura 2. Grafico cuantil-cuantil para Retornos de CDT 90,180 y 360 días**



**Tabla 2. Días de datos Históricos para un nivel de tolerancia dado**

<b>Factor de Decaimiento Optimo</b>	<b>1%</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.001%</b>
<b><math>\lambda^*_{90}</math></b>	435	652	870	1087
<b><math>\lambda^*_{180}</math></b>	437	656	N.A.	N.A.
<b><math>\lambda^*_{360}</math></b>	437	656	N.A.	N.A.

**Tabla 3. Pronóstico dentro de la muestra CDT 90**

		RECURSIVA 1			HISTORICA		
Z =1	NT	Aciertos	Pronósticos realizados	%	Aciertos	Pronósticos realizados	%
	1%	535	717	74,62%	441	717	61,51%
	0,1%	376	501	75,05%	340	501	67,86%
	0,01%	201	283	71,02%	201	283	71,02%
	0,001%	44	66	66,67%	55	66	83,33%
Z =1,65	NT	Aciertos	Pronósticos realizados	%	Aciertos	Pronósticos realizados	%
	1%	646	717	90,10%	582	717	81,17%
	0,1%	454	501	90,62%	440	501	87,82%
	0,01%	258	283	91,17%	263	283	92,93%
	0,001%	60	66	90,91%	63	66	95,45%

**Tabla 4. Pronóstico dentro de la muestra CDT 180**

		RECURSIVA 1			HISTORICA		
Z =1	NT	Aciertos	Pronósticos realizados	%	Aciertos	Pronósticos realizados	%
	1%	135	226	59,73%	143	226	63,27%
	0,1%	3	7	42,86%	5	7	71,43%
Z =1,65	NT	Aciertos	Pronósticos realizados	%	Aciertos	Pronósticos realizados	%
	1%	186	226	82,30%	196	226	86,73%
	0,1%	5	7	71,43%	5	7	71,43%

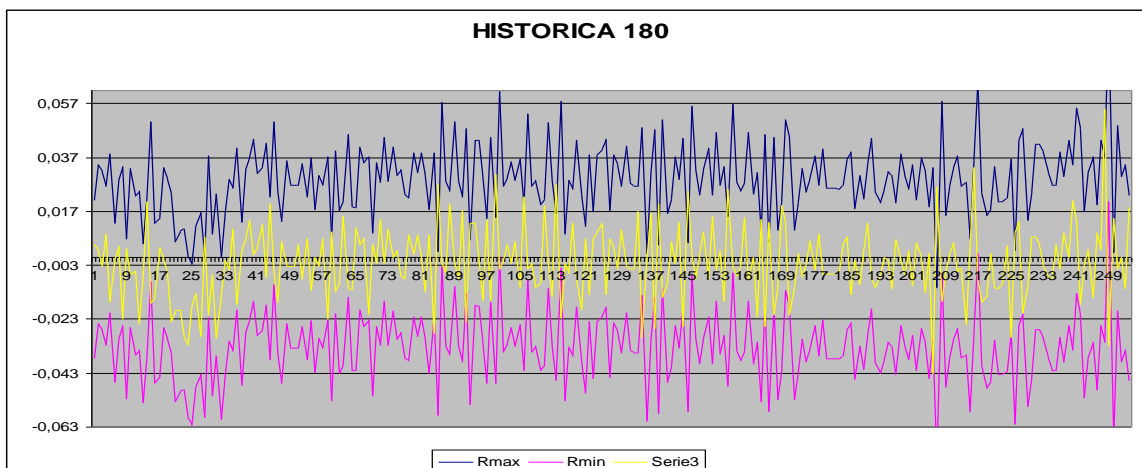
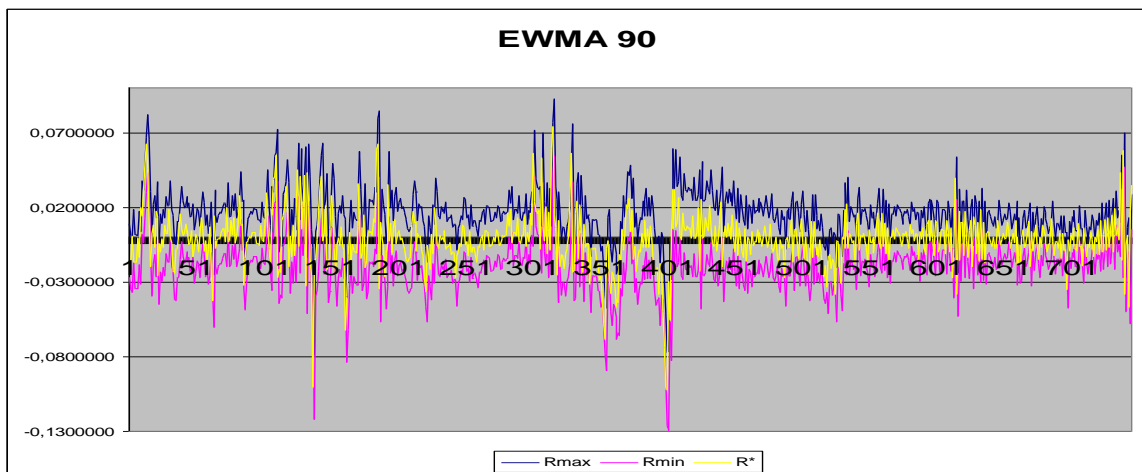
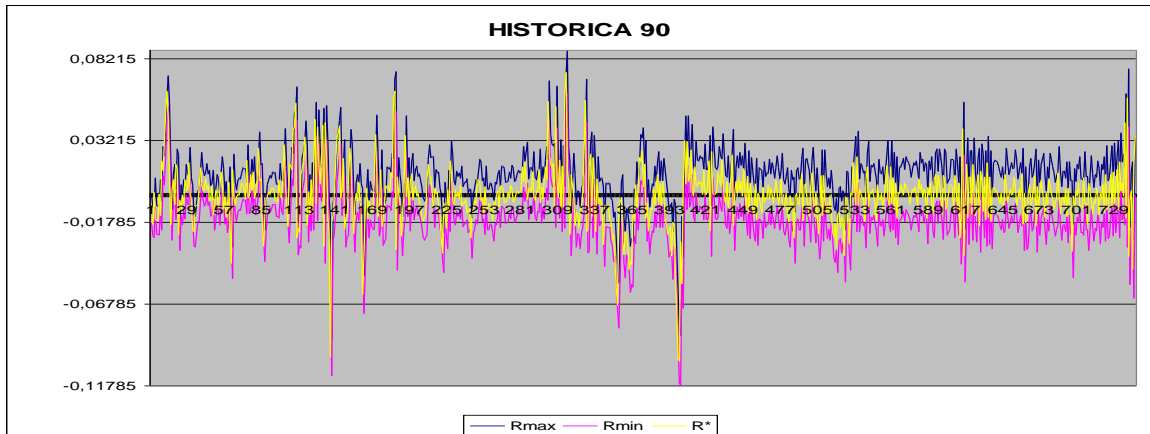
**Tabla 5. Pronóstico dentro de la muestra CDT 360**

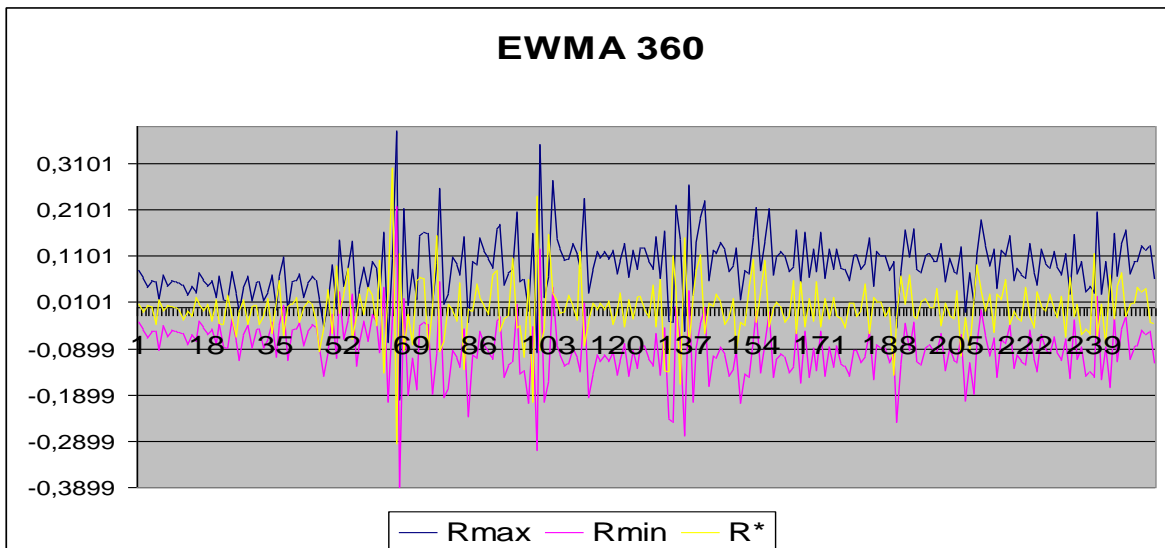
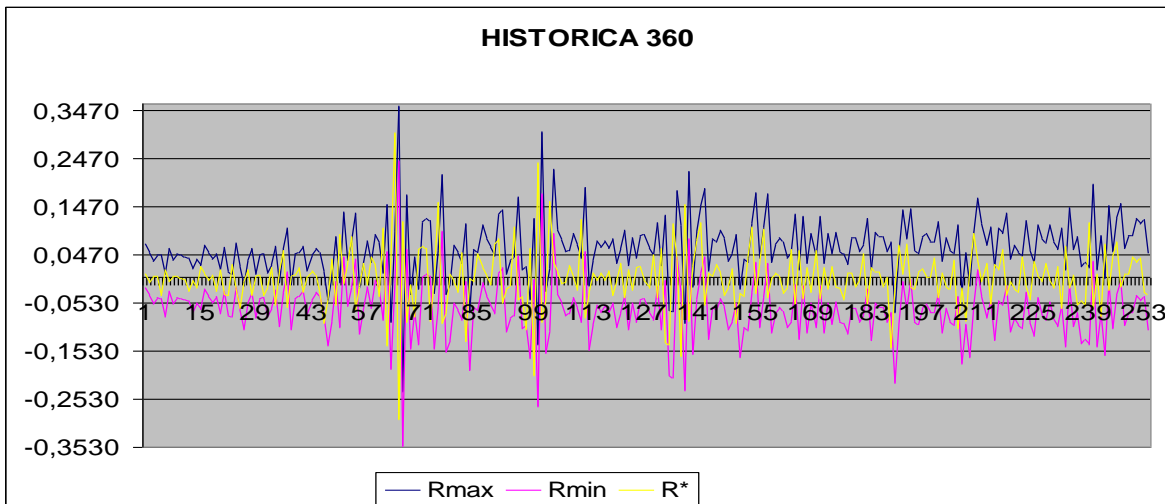
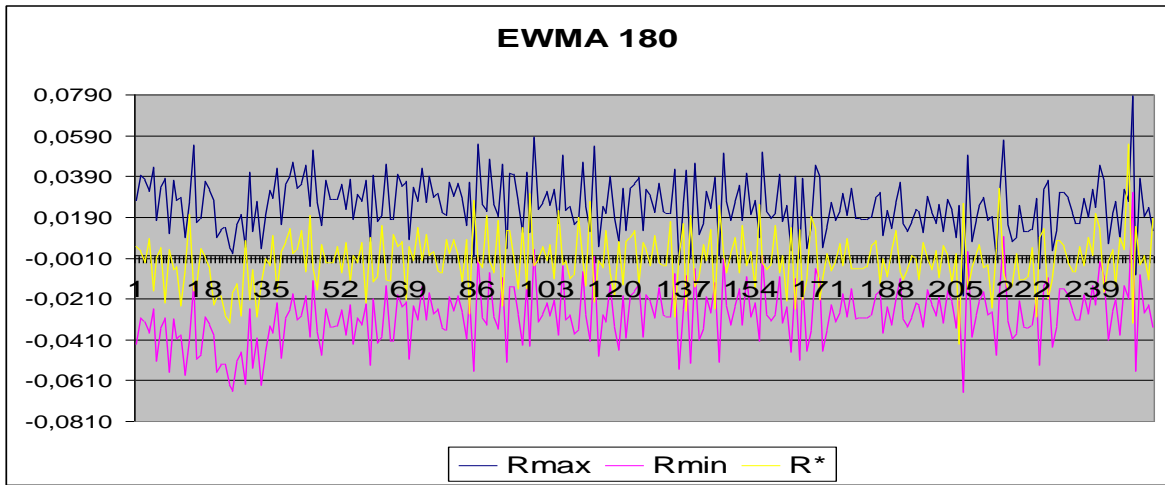
		RECURSIVA 1			HISTORICA		
Z=1	NT	ACIERTOS	Pronósticos realizados	%	ACIERTOS	Pronósticos realizados	%
	1%	116	226	51,33%	94	226	41,59%
	0,1%	4	7	57,14%	4	7	57,14%
Z=1,65	NT	ACIERTOS	Pronósticos realizados	%	ACIERTOS	Pronósticos realizados	%
	1%	168	226	74,34%	136	226	60,18%
	0,1%	7	7	100,00%	6	7	85,71%

**Tabla 6. Pronóstico fuera de la muestra**

		RECURSIVA 1			HISTORICA		
		ACIERTOS	PRONÓSTICOS REALIZADOS	%	ACIERTOS	PRONÓSTICOS REALIZADOS	%
Z=1	CDT90	10	28	35,71%	12	28	42,86%
	CDT180	16	28	57,14%	21	28	75,00%
	CDT360	15	28	53,57%	15	28	53,57%
Z=1.65	CDT90	14	28	50,00%	21	28	75,00%
	CDT180	21	28	75,00%	25	28	89,29%
	CDT360	22	28	78,57%	19	28	67,86%

**Figura 3. Intervalos de Confianza  $\pm \sigma$  y retornos realizados, pronóstico de los rendimientos de CDT 90, 180 y 360 días**





**Figura 4. Volatilidades EMMA e Histórica de los rendimientos de CDT 90, 180 y 360 días**

