

# **Estudio de eventos en la curva de rendimientos Colombiana en la última década**

**Presentado por:**

Lizbeth Karina Hernández Noriega

Maestría en Finanzas Corporativas  
Colegio de Estudios Superiores de Administración CESA  
Bogotá D.C.  
2021

**Estudio de eventos en la curva de rendimientos Colombiana en la última  
década**

**Presentado por:**

Lizbeth Karina Hernández Noriega

**Director:**

Bernardo León Camacho

Maestría en Finanzas Corporativas  
Colegio de Estudios Superiores de Administración CESA  
Bogotá D.C.  
2021

## Contenido

<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN: .....</b>	<b>4</b>
<b>4. HIPÓTESIS:.....</b>	<b>5</b>
<b>5. OBJETIVOS: .....</b>	<b>5</b>
5.1 <b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>5</b>
5.2 <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>5</b>
<b>6. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>6</b>
<b>7. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
7.1 <b>CURVA DE RENDIMIENTO.....</b>	<b>14</b>
7.2 <b>CURVA CUPÓN CERO.....</b>	<b>21</b>
7.3 <b>CURVA FORWARD.....</b>	<b>22</b>
7.4 <b>HIPÓTESIS DE ESTRUCTURA TEMPORAL DE LOS TIPOS DE INTERÉS.....</b>	<b>22</b>
7.5 <b>MODELO DE ESTIMACIÓN CURVAS DE RENDIMIENTO.....</b>	<b>24</b>
7.5.1 <b>MODELO DE NELSON Y SIEGEL.....</b>	<b>24</b>
7.5.2 <b>MODELO DE SVENSSON .....</b>	<b>26</b>
7.5.3 <b>MODELO DE McCULLOCH.....</b>	<b>28</b>
7.6 <b>VARIABLES MACROECONÓMICAS.....</b>	<b>31</b>
7.6.1 <b>INFLACIÓN: .....</b>	<b>31</b>
7.6.2 <b>DESEMPLEO: .....</b>	<b>32</b>
7.6.3 <b>PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB): .....</b>	<b>33</b>
<b>8. METODOLOGÍA:.....</b>	<b>36</b>

<b>8.1</b>	<b>ORIGEN DE LOS DATOS.....</b>	<b>37</b>
<b>8.2</b>	<b>ELABORACIÓN CURVA DE RENDIMIENTO BAJO NELSON Y SIEGEL.....</b>	<b>39</b>
<b>8.3</b>	<b>EVENTOS DE INTERÉS PARA METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE EVENTOS .....</b>	<b>45</b>
<b>8.4</b>	<b>RETORNOS NORMALES Y RETORNOS ANORMALES.....</b>	<b>50</b>
<b>8.5</b>	<b>SIGNIFICANCIA DE LOS EVENTOS.....</b>	<b>52</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>66</b>

## Tabla de Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1. DIFERENCIALES ENTRE BONOS DEL TESORO AMERICANO A CORTO Y LARGO PLAZO.....	9
ILUSTRACIÓN 2. CURVA DE RENDIMIENTO COLOMBIA ABRIL 2020 .....	16
ILUSTRACIÓN 3. CURVA DE RENDIMIENTO COLOMBIA ABRIL 2020 VS MARZO 2020.....	16
ILUSTRACIÓN 4. INFLACIÓN COLOMBIA ENERO 2020 A MARZO 31 2020.....	17
ILUSTRACIÓN 5. CURVA DE RENDIMIENTO EEUU ABRIL 2020 .....	18
ILUSTRACIÓN 6. CURVA DE RENDIMIENTO EE. UU ABRIL 2020 VS MARZO 2020.....	18
ILUSTRACIÓN 7. CURVA DE RENDIMIENTO ARGENTINA ABRIL 2020 (CURVA TOTALMENTE INVERTIDA).....	19
ILUSTRACIÓN 8. CURVA DE RENDIMIENTO ARGENTINA ABRIL 2020 VS MARZO 2020 .....	20
ILUSTRACIÓN 9. FORMAS DE LAS CURVAS DE RENDIMIENTO.....	25
ILUSTRACIÓN 10. CURVA FORWARD Y COMPONENTES MÉTODO SVENSSON.....	27
ILUSTRACIÓN 11. INFLACIÓN ANUAL EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS EN COLOMBIA.....	32
ILUSTRACIÓN 12. TASA DE DESEMPLEO TRIMESTRAL ÚLTIMOS 10 AÑOS COLOMBIA.....	33
ILUSTRACIÓN 13. TASA DE CRECIMIENTO ANUAL PIB TRIMESTRAL 2014 A 2020 .....	35
ILUSTRACIÓN 14. CRECIMIENTO PIB MUNDIAL.....	35
ILUSTRACIÓN 15. PIB COLOMBIA ÚLTIMOS CINCO AÑOS .....	35
ILUSTRACIÓN 16. TASAS TES 1, 5 Y 10 AÑOS. ....	37
ILUSTRACIÓN 17. DIFERENCIALES DE TASAS CUPÓN CERO COLOMBIANAS .....	39
ILUSTRACIÓN 18. CURVAS DE RENDIMIENTO OBTENIDAS SEGÚN NELSON Y SIEGEL.....	41
ILUSTRACIÓN 19. CURVA DE RENDIMIENTO, FECHA: 14/04/2003 (CURVA 1) .....	42
ILUSTRACIÓN 20. CURVA DE RENDIMIENTO, FECHA: 23/06/2009 (CURVA 2).....	44
ILUSTRACIÓN 21. CURVA DE RENDIMIENTO, FECHA: 06/01/2017 (CURVA 3) .....	45

# **Estudio de eventos en la curva de rendimientos Colombiana en la última década**

## **1. Resumen**

Las curvas de rendimientos constituyen un elemento importante para medir la temperatura económica de un país, reflejan información de tasas y maduraciones que se traducen en estudios de inflación, alertas de recesiones a mediano plazo, análisis de precios, entre otros. Dicha extrapolación obtenida a partir de las curvas de rendimiento permite definir las políticas económicas de un país y conducir la economía en la dirección establecida por el banco central.

El Banco de la República, como autoridad monetaria, crediticia y cambiaria en Colombia, debe ajustar sus políticas en sintonía de mantener el equilibrio del mercado y los indicadores económicos dentro de los límites establecidos. En los últimos años se han gestado importantes eventos de carácter económico que han suscitado fluctuaciones y ajustes a estas políticas; de acuerdo con diversos estudios sobre las curvas de rendimiento, dichos eventos, debieron reflejarse en el delineamiento de la curva.

En el presente documento se pretende precisar, a través de un estudio de eventos, si sucesos ocurridos en la última década, del orden político, económico, nacional o foráneo, determinantes del movimiento económico del país generan un impacto o sorpresa cuantificable, que altere el comportamiento esperado de la curva de rendimiento utilizada en Colombia, bajo la metodología puntual de Nelson y Siegel.

## 2. Introducción

La curva de rendimiento es una gráfica que relaciona tasas y maduraciones de activos financieros, las maduraciones hacen referencia a los plazos de vencimiento para cada instrumento que en el caso colombiano van del corto plazo (1 año) a 15 años como plazo máximo; las tasas reflejan la estructura a plazos de los tipos de interés que constituye el pilar fundamental sobre el que se han determinado las principales metodologías para la construcción de curvas de rendimiento, como es el caso de la metodología de Nelson y Siegel (NS).

De acuerdo con la estructura a plazos de los tipos de interés se esperaría que los rendimientos de los bonos del tesoro americano como agentes libres de riesgo, deberían ser mayores a largo plazo con respecto a los de corto plazo, y aumentar en proporción lineal. Cuando este supuesto no se da, se aprecia una curva de rendimiento con pendiente negativa, o invertida, y se podría decir que se anticipa una crisis económica. Bajo esa premisa de curva invertida, se ha postulado la bondad matemática de la curva de rendimiento como herramienta predictora de crisis, y a partir de allí, se han derivado estudios importantes que amplían el rango de análisis a variables macroeconómicas como la inflación, desempleo, crecimiento, como variables incidentes en el comportamiento de la curva y esta a su vez como descriptor de la salud económica de un país.

Con el fin de mantener esta salud económica en buenos términos, los bancos centrales establecen políticas monetarias y de tasas que conduzcan a las variables en dirección hacia los objetivos económico propuestos; por ejemplo, ante una contracción de la economía, se asumen políticas económicas de tipo expansivo, como disminuir tasas de interés a instrumentos de crédito y consumo que consigan dinamizar la economía y aumentar la

circulación de la moneda, hasta los niveles que permitan aumentar la confianza del consumidor y se reactive el consumo de activos financieros. Establecer las políticas adecuadas en el momento preciso, requiere de los gobiernos, el uso de variables de control como el índice de desempleo, la confianza económica y la inflación, que permitan conocer el rumbo que va teniendo el país en materia económica. La curva de rendimientos es un indicador de cuando las cosas pueden empezar a tomar un rumbo que no es el esperado, anticipando un estado recesivo de la economía (D. & M., 2018). De acuerdo la tesis doctoral de Paul F. Cwik realizada en 2004, donde analizaba las curvas de rendimiento norteamericanas, durante el período comprendido de 1953 a 2019, cada vez que la curva se invirtió se presentó efectivamente recesión económica, y solo una vez se presentó un “falso positivo”, fue en el período 1966-1967, donde la curva se invirtió, pero no se dio la posterior recesión (Cwik, 2004); es decir, el 85.72% de crisis fueron correctamente anticipadas según el supuesto de curva invertida. Como el Dr. Cwik, existen diversos estudios que afirman el poder predictor de las curvas de rendimientos en economías desarrolladas, como Estados Unidos que a 2019, según cifras del banco mundial, tuvo un PIB de 21.374 billones de dólares, o Alemania (3.846 billones de dólares) o Reino Unido (2.827 billones de dólares); que gracias a la robustez de su economía se cuenta con el rigor y volumen de información económica pertinente. Sin embargo, es conveniente entender que tan acertadamente se puede replicar esta bondad predictora en un país con una economía en vía de desarrollo; como Colombia, que en 2019 tuvo un PIB de 324k millones de dólares. De acuerdo con un estudio realizado en 2008, por EPW Research Foundation, llamado “Inverted Yield Curve”, se determinó que la curva invertida en un país como India predice la naturaleza de la actividad industrial (Foundation, 2008), no por ello la llamada crisis o recesión. Si se quisiera entonces replicar el modelo en una economía con un crecimiento modesto apenas



sostenido en los últimos años y donde las variables económicas afectan sensiblemente la estabilidad de sus mercados, hasta qué punto es posible que se pueda leer lo mismo que se ha estudiado para las curvas norteamericanas. Seguramente, lo que si se podría afirmar de manera discreta es que el modelo matemático de NS utilizado en Colombia, debería mostrar algún cambio de tendencia en el trazo de la curva que permita ajustar oportunamente las políticas del banco central y encauzar de ser necesario el rumbo de la economía, ante la ocurrencia de eventos importantes para el desarrollo económico del país como pudo ser la crisis del agro generada en 1992 por la apertura liberal de 1992, o la crisis del petróleo de 2015, en general, momentos álgidos que condujeron a activar protocolos de emergencia económica que en el marco de la teoría debieron reflejarse en la curva. Por lo expuesto anteriormente, se ha establecido como objetivo del presente trabajo determinar si los sucesos de mayor impacto económico, en un umbral de 10 años, se han reflejado dentro del comportamiento de la curva de rendimiento colombiana como descriptor principal de las políticas monetarias del banco central y las expectativas del mercado. Para lo cual se propone aplicar la metodología de estudios de eventos, que permite, como su nombre lo indica, analizar el impacto en función de magnitud y sentido (positivo o negativo), que generan eventos seleccionados dentro del umbral establecido para dicha investigación, en la trayectoria de la curva de rendimiento colombiana que sirvan de alerta y permitan mitigar el ciclo económico negativo, si lo hubiere, en aras de tomar medidas oportunas que reencaucen la economía en los niveles establecidos.

### **3. Pregunta de Investigación:**

¿Cómo se han reflejado los eventos económicos de relevancia para la economía colombiana de los últimos 10 años, en su curva de rendimiento?

#### **4. Hipótesis:**

Las curvas de rendimiento reflejan los eventos económicos que determinan la política económica colombiana y anticipan estados de recesión, expansión, inflación, crecimiento y/o contracción de su economía, así como la estructura temporal de tasas.

#### **5. Objetivos:**

##### **5.1 Objetivo General**

Determinar si los sucesos de mayor impacto económico, en un umbral de 10 años, se han reflejado dentro del comportamiento de la curva de rendimiento colombiana como descriptor principal de las políticas monetarias del banco central y las expectativas del mercado.

##### **5.2 Objetivos Específicos**

- Determinar si eventos de naturaleza económica, política y social inciden en la curva de rendimientos.
- Analizar el comportamiento anormal de los retornos diarios de los eventos determinados bajo el modelo de mercado.
- Identificar eficiencias e ineficiencias del mercado referentes al ajuste de tasas, en la curva de rendimiento.
- Modelar la metodología de Nelson y Siegel para ajuste a la curva de rendimiento en Colombia.

## 6. Estado del Arte

El mercado como agente generador de intercambio entre bienes y servicios de diferente índole, responde a las leyes de oferta y demanda que determinan de manera intrínseca las conductas económicas de los consumidores a partir de las cuales se establecerán políticas fiscales con el fin de conducir los procesos económicos dentro de los rangos objetivo de cualquier nación. Los inversionistas, como actores del mercado, juegan un papel muy importante en el comportamiento de este, más aún en los diferenciales de rendimiento; posibles compradores de bonos con determinado vencimiento (6 meses) adquirirían el título si los rendimientos de los bonos intermedios (3 meses) son menores al esperado en el vencimiento más largo; y así lo validarán para cada título de su interés. Las expectativas del mercado definen de gran forma los diferenciales entre tasas de uno y otro vencimiento (Worley & Diller, 1976). No así los especuladores, quienes pueden basar su decisión en la pendiente ascendente de una curva de rendimiento, por la incertidumbre que les genera la mayor volatilidad a que se exponen al asumir plazos más largos. (Pantalone & Platt, 1984). Esas dos aristas requieren de una autonomía estricta en el manejo de las tasas que no afecte las demandas de uno y otro título, y debe existir cierta armonía en los diferenciales que ofrecen para controlar que la especulación y la búsqueda del spread sean quienes muevan el mercado. De alguna manera se deduce, que el comportamiento de las curvas de rendimiento y las políticas económicas que se derivan de los ajustes a las tasas de diferentes rendimientos están respondiendo a las expectativas del mercado (Foundation, 2008). Lo cierto es que entre algunos analistas se ha establecido como un supuesto mayor la relación que existe entre la estructura de tipos de interés y el comportamiento real de la economía.

De acuerdo con diversos estudios una curva de rendimiento como representación de la estructura a plazos, refleja en su pendiente el comportamiento de la economía (Hu, 1993); según el documento de Hu, a través de la curva de rendimiento se puede obtener una predicción del crecimiento del PIB en países industriales como el llamado grupo de los siete (G-7)<sup>1</sup>; en economías de este tipo se observa una relación lineal entre el crecimiento de la producción y la pendiente de la curva. Empíricamente, se ha observado de manera análoga que la pendiente de la curva de rendimiento está asociada a comportamientos futuros de la inflación y la actividad económica (Estrella, 2005), o en sentido contrario se podría decir que la curva se adapta a los ciclos económicos, donde los rendimientos a largo plazo se manejan de manera anticíclica (primas altas en recesión) mientras que los rendimientos de títulos en el corto plazo se comportan de acuerdo al ciclo económico (bajos en recesión), lo que se traduce el esfuerzo de los bancos centrales en reactivar la economía. Basados en la premisa de que un ciclo recesivo precede a uno expansivo y viceversa, se ha estudiado, a través de regresiones de mínimos cuadrados, la relación que existe entre el crecimiento del PIB y la pendiente de la curva de rendimientos. (Ang, Piazzesi, & Wei, 2004).

Dadas las bondades predictoras de las curvas de rendimiento su comportamiento ha sido ampliamente observado en economías como las europeas y las norteamericanas arrojando resultados similares en la revisión de su tramo largo; sin embargo, como lo menciona Ang et al en su estudio, “una mejor prueba implicaría tomar una muestra con datos de otras economías que permitan validar la ganancias de eficiencia de los enfoques de factores implicados por un modelo de estructura de términos” (Ang, Piazzesi, & Wei, 2004, pág. 26)., lo que amplía el panorama y permite validar si las bondades predictoras, o

---

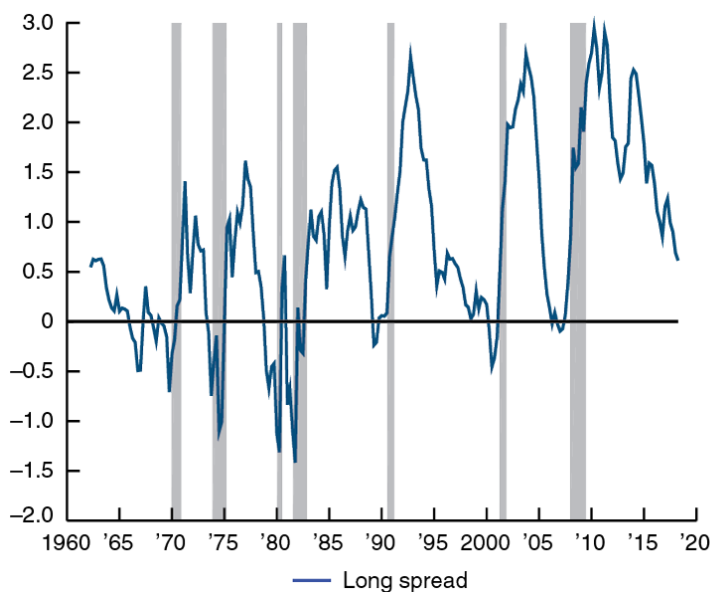
<sup>1</sup> G-7: Alemania, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Japón y Reino Unido.

relatorias del entorno económico se traducen de la misma manera en países como India, donde la pendiente de la curva refleja el comportamiento que van a tener las industrias, (Foundation, 2008), lo que podría indicar que determinadas economías no reaccionan tan rápido a las alertas del mercado o que las políticas económicas son tomadas sin la pertinencia necesaria o que los mercados no son tan medidores de la realidad económica; o como lo dice Estrella, se puede deducir brevemente que existe una relación empírica que aún no se ha comprobado entre la realidad económica y la pendiente de la curva, y estas relaciones se podrían delinear más claramente en economías estructuradas, con políticas fiscales agresivas. En el caso de Estados Unidos, se puede ver como en su historia reciente ha afrontado eventos que han desestabilizado de manera directa sus mercados lo que conduce a ajuste de sus políticas monetarias en cabeza de la FED con el fin de mitigar los impactos negativos originados por dichos eventos; sin embargo, la curva de rendimiento no es ajena a esos eventos de choque, su pendiente invertida previa a la crisis estallada, logro vaticinar lo que se venía; de acuerdo con la disertación doctoral de Paul Cwik, la curva de bonos de tesoro americano entre abril de 1953 y octubre de 2009, se invirtió máximo cinco trimestres antes de cada una de las recesiones generadas en el período analizado; únicamente hubo un caso en el umbral analizado en el cual la curva dio un falso positivo, es decir se invirtió, pero trimestres posteriores no hubo caída del ciclo económico (Cwik, 2004). La Ilustración 1. muestra los diferenciales de rendimiento para bonos del Tesoro Americano de corto plazo (2 años) y largo plazo (10 años). Las franjas resaltadas indican las recesiones ocurridas en EE. UU. que son precedidas por la inversión de la curva, o pendiente negativa de la misma. (Benzoni, Chyruk, & Kelley, 2018).

Lo expuesto por Cwik, marca una convergencia interesante porque de acuerdo con su estudio, hay dos efectos que se generan de la inyección de capital de trabajo en la estructura

de tasas, el efecto Wicksell (presión a la baja de las tasas de interés) y el Fisher (presión al alza de las tasas), lo que se traduce en los efectos mencionados en la curva párrafos arriba; sin embargo, si se observa desde una óptica opuesta, su estudio puede verse como la evidencia de que la curva refleja eventos que afectan el curso del ciclo económico, se podría decir, que esta relación bien descrita marcaría un referente que apunte a que la curva si está funcionando para una economía determinada.

**ILUSTRACIÓN 1. DIFERENCIALES ENTRE BONOS DEL TESORO AMERICANO A CORTO Y LARGO PLAZO**



\*\* Fuente: <https://www.chicagofed.org/publications/chicago-fed-letter/2018/404>

Extrapolando lo expuesto al ámbito local, en Colombia, economía emergente y resiliente, con fuerte desempeño económico y cumplidor de su línea de crédito ante el FMI, según examen de desempeño de la LCF<sup>2</sup> de 2019, (Fernández-Corugedo, 2019), como reflejo de un manejo adecuado de sus políticas fiscales. Se podría esperar que dichas políticas fueran ajustadas de acuerdo con eventos macroeconómicos y correctamente

<sup>2</sup> LCF o FCL de sus siglas en inglés, Flexible Credit Line, crédito otorgado por el Fondo Monetario Internacional.

reflejadas en las curvas, a través de algún cambio en su trazo previo, como indicador de alerta. En el caso local la herramienta se ha vuelto popular entre los principales agentes que guían la política monetaria, inversionistas y demás agentes del mercado a los cuales les interesa hacer el seguimiento real del comportamiento económico en sus principales variables (Santana, 2008). En Colombia, el modelo utilizado para la descripción de la curva es el método de Nelson y Siegel que es un modelo paramétrico que “ajusta los rendimientos hasta la madurez de los bonos del tesoro de Estados Unidos que se caracteriza por ser parsimonioso y flexible en modelar cualquier forma típica asociada con las curvas de rendimientos. La estructura paramétrica asociada a este modelo permite analizar el comportamiento a corto y a largo plazo de los rendimientos y ajustar –sin esfuerzos adicionales–, curvas monótonas, unimodales o del tipo S” (Santana, 2008, pág. 75). Cabe aclarar que existen diversas metodologías que pueden o no ajustarse mejor a los movimientos típicos del país y que han sido probados, pero no validados, como es el caso de los splines cúbicos suavizados que sirven de base para determinar la curva cupón cero de TES tasa fija (Julio, Mera, & Revéiz Hérault, 2002).

De acuerdo con las perspectivas económicas de 2019, según el FMI, se proyectó un crecimiento esperado en mercados emergentes del 4.6% (Internacional, 2019); sin embargo, dicha proyección no tuvo en cuenta los efectos generados por el Covid-19, ni los desplomes de los mercados mundiales, ni la caída del precio del petróleo a mínimos históricos como consecuencia de la sobre oferta del insumo; y todos estos eventos claramente han producido la activación de protocolos fiscales que sirvan para atender las emergencias económicas, lo cual debería haber modificado la trayectoria de las curvas de rendimiento a nivel mundial, incluyendo a Colombia.

De lo expuesto, surge la necesidad de validar que la historia económica nacional quede oportunamente reflejada en la curva de rendimientos como herramienta de soporte para ajustar las políticas monetarias, y que los principales indicadores económicos (PIB, inflación, tasas de referencia) que se derivan de su análisis se puedan anticipar con la eficiencia esperada.

## **7. Marco Teórico**

Dentro de las principales teorías que enmarcan las curvas de rendimiento es importante resaltar como eje central la llamada Teoría de Expectativas, tal como se menciona en el documento *Inverted Yield Curve*, el enlace entre la estructura económica y las curvas de rendimiento se basa en la teoría de expectativas (Foundation, 2008, pág. 24). De acuerdo con la teoría de expectativas las tasas de interés a largo plazo deben ser equivalentes al promedio de las tasas de interés a corto plazo en períodos similares (Mishkin, 2008), es decir, el mercado de compra de bonos se rige por la expectativa de retorno esperado, y se asume que los compradores no tienen preferencias por ningún plazo específico, sino, por el contrario su principal motivación para adquirir determinado producto está marcado por la rentabilidad que se pueda obtener del mismo, lo cual genera todo el sentido, ya que en el mundo financiero lo que se busca es obtener siempre el mayor beneficio de las posiciones que se tomen. De acuerdo con la misma teoría, las tasas de interés futuras esperadas a corto plazo definen la pendiente de la curva de rendimiento (Taylor, 1992), es más, las tasas de interés a corto plazo se ajustan de acuerdo con variables externas que están ligadas al comportamiento de los mercados y reflejan las expectativas de este. De hecho, las expectativas del mercado se centran en la porción corto-placista de la curva (Worley & Diller, 1976), porque es está la que se ajusta de acuerdo con las políticas



económicas establecidas y recibe por ello gran importancia para los agentes inversores políticos, económicos e independientes ya que muchas de sus decisiones se pueden afectar por el comportamiento de esta porción de la curva.

De manera antagónica a los supuestos planteados por la teoría de las expectativas, aparece la teoría de los mercados segmentados, de acuerdo con la cual los bonos de corto y largo plazo no son sustitutos entre sí y que cada uno maneja demandas diferentes e independientes (Mishkin, 2008), el principio fundamental de esta teoría se basa en que los inversionistas tienen una planeación intrínseca que implica preferencia por los bonos de cierto vencimiento que se ajusta a sus cronogramas de inversión, independientemente de los rendimientos que puedan generar una u otra tasa lo que se busca de alguna manera es asegurar un capital en un tiempo específico y no prima, sin sacrificarse en su totalidad, la rentabilidad esperada. Lo cual asegura de alguna manera que se pueda mitigar el riesgo de tasa de interés. La teoría de mercados segmentados explica los segmentos de la curva de rendimiento a través de la oferta y demanda de cada bono que impacta en las tasas que se describen en ella, y se traduce en pendientes positivas como si el efecto de oferta y demanda implicará un cierto equilibrio en las economías que hacen que el mercado mismo ajuste las curvas y no se generen efectos macroeconómicos negativos, lo cual excluye el principio que los mercados, no son perfectos y las decisiones de política monetaria que se implementan para ajustar las políticas de tasas de interés. Sin embargo, de acuerdo con (Horne, 1980) las mismas presiones de los mercados por la preferencia de determinados vencimientos hace que la curva de rendimiento se vea afectada. Dado que existen ciertos vacíos donde cada una de las teorías expuestas no alcanzan a explicar las afectaciones de las curvas de rendimiento y las relaciones entre las tasas y los plazos surge una nueva teoría

llamada Teoría de la Prima por Liquidez que es un compendio de las dos anteriores, es decir la tasa de interés a largo plazo será equivalente al promedio de las tasas de interés de los bonos a corto plazo en períodos similares (teoría de expectativas) y se le adiciona la llamada prima de liquidez o vencimiento que se ajusta a las condiciones de oferta y demanda del mercado (teoría de mercados segmentados), (Mishkin, 2008), dado que los inversionistas van a preferir bonos de menor riesgo por eso se utiliza la prima a vencimiento que permita de alguna manera equilibrar la oferta sin aumentar el riesgo que deben asumir los inversionistas al preferir determinado producto. Con lo cual se consigue que el mercado se mantenga el equilibrio de oferta y demanda y la curva de rendimiento siga el comportamiento esperado que produzca los efectos esperados en el comportamiento económico de la nación. En una etapa de economía expansiva, la demanda esperada de las primas de liquidez a corto plazo aumenta y la curva tiende aplanarse, una vez se fortalece la economía el ciclo tiende a invertirse y por ello empieza a generarse ciclo de recesión económica que implica un estrechamiento en las curvas de largo y corto plazo generando fuerte tendencia a que la curva se invierta (Keen, 1989).

Por lo cual es importante mantener primas de liquidez que hagan de alguna manera más atractivas las inversiones a largo plazo y se reduzca el riesgo del inversionista, a medida que las tasas de interés aumentan, la expectativa de riesgo de los inversionistas se incrementa y la aversión por adquirir productos a largo plazo aumenta de la misma manera y los costos de transacciones también tienden a ajustarse para frenar de alguna manera los movimientos que generan la salida de capitales del largo al corto plazo (Wood, 1964). Una teoría ajustada de la prima de liquidez infiere que, dado que los inversionistas tienen preferencia por algún tipo de inversión, sólo cambiarán la misma, si y sólo sí, cambiarlas

implica un rendimiento mayor al esperado a través de la prima de liquidez, esta teoría se conoce como la Teoría del hábitat Preferido y sus supuestos son similares a los de la teoría precedente (Mishkin, 2008). Como se ha podido validar todas las hipótesis planteadas aducen a comportamientos del inversionista que de una u otra manera toman decisiones individuales que impactan la demanda y consecuentemente el mercado que generan movimientos en la curva de rendimientos.

Las teorías expuestas, permiten de alguna manera descifrar el comportamiento de las curvas de acuerdo con las tendencias del mercado, sin embargo, es imperativo conocer como a través de las teorías y la información de eventos es posible reflejar algún comportamiento bien sea discreto o de impacto en el modelo de la curva, que señale el evento en sí y para ello se soportará la descripción de la curva Colombiana bajo el método de Nelson y Siegel que es el utilizado por el Banco de la república para tal fin. Cabe aclarar que el método de NS es el utilizado en Colombia, sin embargo, en el 2008 se realizó una investigación llamada “La curva de rendimientos: Una revisión Metodológica y Nuevas Aproximaciones de Estimación”, donde realizan un análisis econométrico del método de Svensson y el método de Splines suavizados, entre otros, se concluyó que los modelos probados se ajustan de manera satisfactoria a los ajustes de tasas de los bonos TES en Colombia (Santana, 2008).

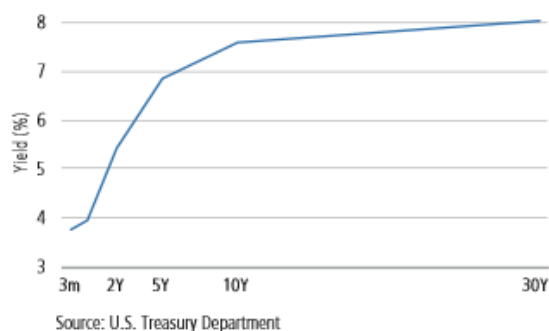
A continuación, se presenta un marco conceptual con las principales bases teóricas de los temas a tratar.

## **7.1 Curva de Rendimiento**

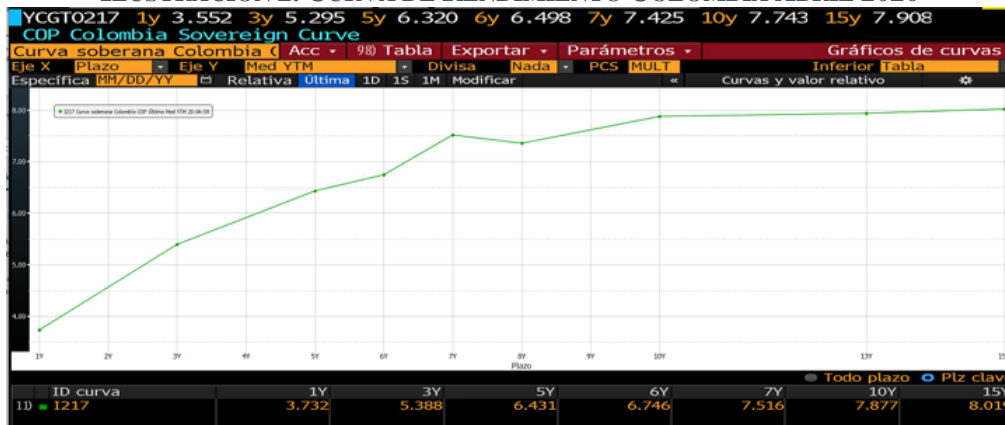
Se conoce como curva de rendimiento a la gráfica lineal que relaciona tasas de interés para bonos de cierto tipo de similar calidad crediticia en su mayoría bonos del banco central, de acuerdo con la maduración o plazo de vencimiento de estos (eje horizontal) y sus rendimientos (eje vertical). Los rendimientos van desde la tasa de interés al contado (rendimiento para la menor maduración) hasta maduraciones de 30 años. “El extremo corto de la curva puede reaccionar muy fácilmente a cambios reales y esperados a corto plazo en la tasa de fondos federales; Mientras que el extremo largo puede o no ser tan sensible a dichos cambios dependiendo de las expectativas a más largo plazo de las tasas de fondos federales.” Traducido de (Yardeni & Tagg, 2019, pág. Appendix 1 ).

La pendiente de la curva de rendimiento representa la estructura de plazos; de acuerdo con el comportamiento del mercado dicha pendiente puede ser de tres formas: Ascendente, aplanada o invertida. Siendo la versión ascendente o upward, considerada la delineación de un comportamiento normal de la economía.

- Curva Ascendente o Upward: Las rentabilidades aumentan a medida que los plazos de los bonos aumentan. Lo cual está en sintonía con el supuesto que, a mayor plazo, aumenta el riesgo para el inversionista. Indica crecimiento positivo de la economía y expectativas de los inversionistas por aumento de tasas.



## ILUSTRACIÓN 2. CURVA DE RENDIMIENTO COLOMBIA ABRIL 2020



\*\* Fuente: Bloomberg.

## ILUSTRACIÓN 3. CURVA DE RENDIMIENTO COLOMBIA ABRIL 2020 VS MARZO 2020



\*\* Fuente: Bloomberg.

La Ilustración 2. muestra la curva de rendimiento de Colombia de abril 2020, se puede ver que la curva es ascendente con pendiente positiva muy suavizada en su tramo largo.

En la Ilustración 3. se observa la comparación de las curvas en los períodos comprendidos entre marzo 2020 (trazo amarillo) y abril 2020 (trazo verde) se observa un empinamiento de la curva, que responde a las expectativas del mercado ante la aparición de brotes inflacionarios. El tramo corto de la curva refleja la intervención del Banco de la República con la reducción de sus tasas en 50 puntos básicos, de 4.25% a 3,75%, como medidas para reducir los impactos negativos generados por el déficit fiscal producto que la

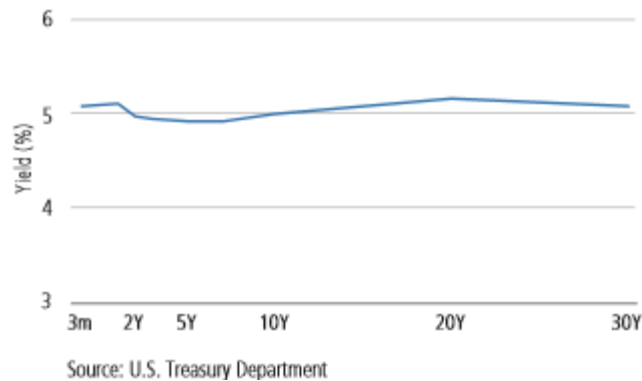
caída en los precios del petróleo, buscando incentivar el consumo como medida de choque para activar la economía que ha visto una fuerte disminución en la demanda como producto del estado de emergencia que ha conducido a un cierre de más del 80% del comercio local. Cabe resaltar que, tras dos años de comportamiento positivo, el Banco no intervenía sus tasas y las expectativas inflacionarias se concretaron con un aumento en el dato de inflación de marzo 2020 que subió 0.57%, de enero 31 de 2020 (3.62%) a marzo 31 del mismo año (3.86%) hubo un aumento de 24 puntos básicos (ver Ilustración 4.).

**ILUSTRACIÓN 4. INFLACIÓN COLOMBIA ENERO 2020 A MARZO 31 2020**



\*\* Fuente: Bloomberg.

- Curva Aplanada: No es muy frecuente, por lo general representa transición entre la curva ascendente y la curva invertida. Indica ralentización económica y expectativa de tasas estables a futuro para los inversionistas por políticas monetarias del tipo contractivas.



**ILUSTRACIÓN 5. CURVA DE RENDIMIENTO EEUU ABRIL 2020**



\*\* Fuente: Bloomberg.

**ILUSTRACIÓN 6. CURVA DE RENDIMIENTO EE. UU ABRIL 2020 VS MARZO 2020**

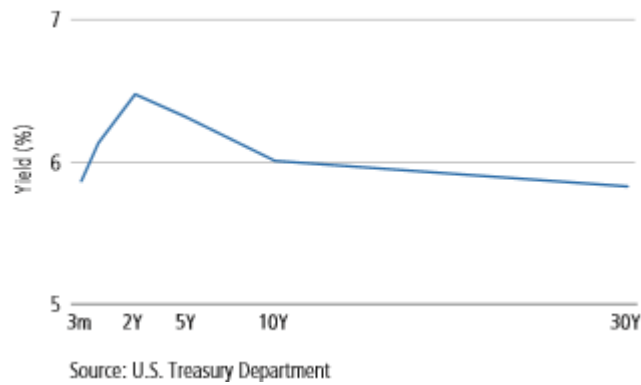


\*\* Fuente: Bloomberg.

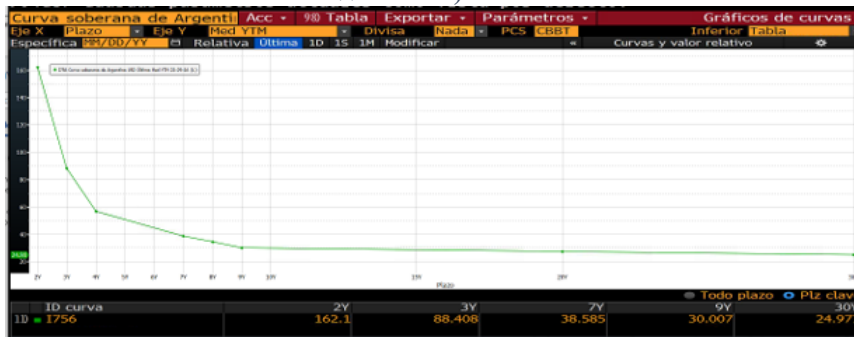
La Ilustración 5. muestra la curva de rendimiento de EE. UU. de abril 2020, se puede ver una curva ascendente con un retroceso en su segundo tramo inicial que se corrige y vuelve a tomar pendiente positiva. Este comportamiento de la curva se puede explicar mejor a través de la curva de la Ilustración 6. donde se comparan los dos períodos marzo 2020 (trazo café) y abril 2020 (trazo verde), y se evidencia una tendencia de aplanamiento de la curva que viene de una curva levemente invertidas, el aplanamiento de la curva responde a ese cambio de tendencia y a una ralentización económica que puede conducir a políticas económicas del tipo expansivo. En concordancia con lo expuesto, el mes de marzo, la FED bajó sus tasas, buscando activar la economía nacional que se vio fuertemente afectada por la guerra de los precios del petróleo y la emergencia económica causada por el Covid-19.

- Curva Invertida: Se da cuando la pendiente de la curva es descendente o negativa.

Los rendimientos de los bonos a corto plazo son mayores que los de mayor madurez. Indica que los inversionistas esperan una reducción en las tasas de interés y desaceleración económica. Es característica de políticas monetarias del tipo restrictivo. Históricamente la curva invertida precede a un período de recesión económica.



**ILUSTRACIÓN 7. CURVA DE RENDIMIENTO ARGENTINA ABRIL 2020 (CURVA TOTALMENTE INVERTIDA)**



\*\* Fuente: Bloomberg.

La Ilustración 7. muestra la curva de rendimiento Argentina en abril de 2020, se puede ver que la curva está totalmente invertida, indicando que los rendimientos de sus bonos a largo plazo son menores que los rendimientos dados a corto plazo. La curva invertida precede estados recesivos en la economía.



## ILUSTRACIÓN 8. CURVA DE RENDIMIENTO ARGENTINA ABRIL 2020 VS MARZO 2020



\*\* Fuente: Bloomberg.

En la Ilustración 8. se muestran superpuestas dos curvas de rendimiento argentinas, la de marzo 2020 (trazo amarillo) y abril 2020 (trazo verde); se evidencia reducción en las tasas de rendimiento para cada plazo, acentuados en las maduraciones de corto plazo; a partir de los vencimientos de 15 años, la curva se ajusta a su precedente. En el período comprendido, Argentina se ha visto afectada por el aumento en su prima riesgo país como consecuencia de la baja en sus calificaciones de S&P 500, Fitch y Moody's, y su poco acertada estrategia para manejar la deuda ante el Fondo Monetario Internacional, que la ha puesto en "default técnico"<sup>3</sup>. La política del banco central de Argentina de bajar sus tasas dos puntos básicos, responde a una estrategia para reactivar la economía, ante la pérdida de poder adquisitivo y un aumento en la deflación del país.

A lo largo de la historia, la curva se ha utilizado ampliamente para predecir ciclos económicos. La relación de las variables patrón en la curva de rendimiento, rentabilidad y madurez, se conoce como "The Term Structure of Interest Rates" en español, "Estructura a Plazos de las tasas de Interés".

<sup>3</sup> Pese a no haber incumplido sus pagos, el país ha incumplido algunos de los covenants o condiciones estipuladas en los términos de los créditos adquiridos ante el FMI.

De esta estructura a plazos se derivan diversas metodologías para la construcción de la curva, como son Nelson y Siegel, Svensson, polinomios de componentes principales y polinomios trigonométricos, entre otros. En Colombia el método utilizado por el Banco de la República para la construcción de la curva se basa en el modelo de Nelson y Siegel.

## 7.2 Curva Cupón Cero

Un “bono cupón” hace referencia a la negociación de un título, donde el emisor se compromete a pagar al comprador de manera periódica una suma fija o cupón y al término de vencimiento del título se realiza un último pago por el valor del principal o facial del mismo. En el “Bono Cupón Cero”, no existe pago de intereses o cupones; el emisor sólo realiza el pago del principal al vencimiento del bono.

La curva cupón cero, también llamada curva spot, relaciona los tipos de interés de contado con las duraciones al vencimiento. Es decir, si se tiene un bono con maduración  $T$ , que paga cupón anual y el principal al final. Si al final del plazo  $T$  se ejerce la opción de compra, el valor del título corresponderá al valor actual del principal más los cupones; donde la maduración de esos cupones al vencimiento no es más que la rentabilidad del ejercicio al valor presente. Es decir, el valor presente de los flujos a una tasa que es constante, cuando en realidad deberían traerse a valor presente con la tasa cupón cero que corresponde a la tasa del flujo que representa el rendimiento promedio de la inversión. El precio del bono en el período  $t$ , estará dado por la siguiente ecuación:

$$P_t = e^{-\left(\frac{i_s}{N}\right) * (T-t)}$$

Donde,  $T$  es la maduración del bono,  $t$  es el período de transacción,  $N$  es el principal o nominal del bono y el  $i_s$  corresponde a la tasa spot o rendimiento del bono cupón cero.

Para el bono cupón se tienen  $x$  bonos cero cupón como períodos tenga el bono y se calcula el precio para cada período con la tasa spot de cada flujo.

### 7.3 Curva Forward

La curva forward se obtiene de las tasas forward que corresponden a la maduración esperada de un contrato a futuro desde el tiempo  $T_1$  al  $T_{final}$ . La tasa forward es equivalente a vender un bono cupón cero, en  $T_1$  y comprar otro bono cupón cero en  $T_1$  con madurez en  $T_{final}$  y de igual valor de mercado que el bono inicial. La tasa forward es la tasa que hace que al comprador de un bono le sea indiferente cualquiera de las dos opciones. Corresponde a la tasa implícita en el período  $T_1$  y  $T_2$ , entendiéndose un período de un año entre los mismos. Las dos tasas, forward y spot se relacionan como se indica en la siguiente ecuación:

$$\frac{N}{(1 + i_{S2})^2} = \frac{N}{(1 + i_{S1}) * (1 + i_F)}$$

Donde,  $i_{S2}$  es la tasa spot al vencimiento del bono (si se comprara un solo bono con vencimiento  $T$ ),  $i_{S1}$  es la tasa spot al  $T/2$ , e  $i_F$  es la tasa forward, que corresponde al rendimiento de un bono de maduración  $T/2$  que esté vigente comprado para títulos iguales al adquirido previamente, (es decir, si el comprador quisiera adquirir dos bonos que generen el rendimiento de un solo bono con vencimiento  $T$ ).

### 7.4 Hipótesis de Estructura Temporal de los Tipos de Interés

- Teoría de las Expectativas: Los inversores esperan que la tasa de interés aplicada sobre un bono a largo plazo mantenido hasta su vencimiento será determinada por el promedio de las tasas a corto plazo en un período de tiempo similar al del bono de largo plazo analizado.

Es decir,

$$1 + i_F = \frac{(1 + i_{S2})^2}{(1 + i_{S1})}$$

Donde se supone que los rendimientos de los bonos cupón cero, Spot1 y Spot2 se valorarán igual que los futuros esperados, asumiendo ausencia de arbitraje.

De acuerdo con esta teoría los bonos entre sí son sustitutos perfectos y no existe preferencia por uno u otro bono, el comprador simplemente va a escoger el bono que le genere mayor rendimiento independientemente del tipo. Detrás de una estructura creciente de tipos de interés se espera que los tipos spot futuros serán mayores a los tipos spot actuales.

- Teoría de los Mercados Segmentados: De acuerdo con esta teoría, los bonos de diferentes maduraciones no son sustitutos perfectos entre sí. Cada bono se considera independiente del otro y su rendimiento se determina por la oferta y demanda de estos. Esta teoría contrapone totalmente los supuestos de la anterior; la demanda que tenga uno u otro producto no está determinada por el rendimiento que se ofrezca contra el tipo opuesto.

- Teoría de la prima de liquidez: Según esta teoría, el rendimiento de un bono a largo plazo corresponde al promedio de un número determinado de bonos a corto plazo en un período equivalente al del bono a largo plazo (Teoría de las expectativas), más una prima de liquidez de acuerdo con las condiciones del mercado para ese bono. Esta prima de liquidez compensa al inversionista por asumir el riesgo adicional generado al invertir a mayor plazo sacrificando liquidez a corto plazo.

$$1 + i_F = \frac{(1 + i_{S2})^2}{(1 + i_{S1})} + Pl$$

Donde,  $Pl$  corresponde a la prima de liquidez esperada por el inversionista. Esta teoría supone que los bonos son sustitutos no perfectos, es decir los rendimientos esperados de uno y otro tipo de bono influyen de manera recíproca y los compradores pueden preferir un tipo de bono sobre el otro.

- Teoría del Hábitat Preferido: De acuerdo con esta teoría, cada comprador tiene preferencia por un tipo específico de bono y únicamente cambiaran su opción de compra si hacerlo les representa un mayor rendimiento.

## **7.5 Modelo de Estimación Curvas de Rendimiento**

### **7.5.1 Modelo de Nelson y Siegel**

El modelo de Nelson y Siegel (utilizado por el Banco de la República), fue definido como un ajuste de la curva de rendimiento y se ha posicionado entre los analistas por la simplicidad de su modelo y la coherencia de la tasa forward y la curva en sí. (Alfaro, 2009). “La estimación de la estructura de plazos de las tasas de interés para un conjunto de  $N$  bonos, con distintos horizontes de madurez, rendimientos y tasas cupón, en la metodología de NS (1987), se lleva a cabo minimizando la suma de errores al cuadrado de los precios o de los rendimientos al vencimiento. La estimación de los precios o de los rendimientos difiere de la estimación de un modelo econométrico convencional debido al carácter no lineal y recursivo del método” (Arango, Melo, & Vasquez, Borradores de Economía, 2002, pág. 26).

Buscando establecer un modelo parsimonioso y fácilmente aplicable que permitiera obtener una amplia gama de formas asociadas a las curvas de rendimiento, en 1987 Charles R. Nelson y Andrew F. Siegel definieron un ajuste para la curva basado en

ecuaciones diferenciales que típicamente son las ecuaciones que mejor recogen los tipos de curvas de rendimiento. “De acuerdo con la teoría de expectativas de la estructura temporal de los tipos de interés; si las tasas spot se generan a través de ecuaciones diferenciales, la solución de esas ecuaciones, serán el pronóstico de tasas forward” (Nelson & Siegel, 1987, pág. 3). Del modelo propuesto por Nelson y Siegel se obtiene la expresión:

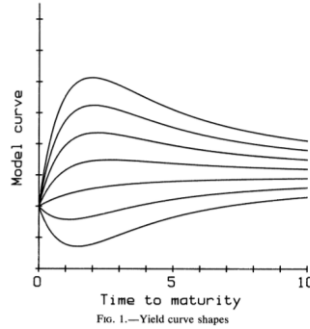
$$f(m) = \beta_0 + \beta_1 e^{-m/\tau} + \beta_2 (m/\tau) e^{-m/\tau} \quad \text{Ec. 1}$$

Siendo  $f(m)$  el pronóstico de la tasa forward en función de la madurez ( $m$ ) del activo, los parámetros  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  y  $\tau$ ; se estiman de las condiciones iniciales. Al resolver la ecuación 1 se obtiene una familia de curvas de tasas forward que pueden describir cualquiera de las tres formas esperadas, monótonas (que conservan su orden), en forma “S” o jorobadas definidas por  $\beta_1$  y  $\beta_2$ . La asíntota de la curva está definida por  $\beta_0$  (Nelson & Siegel, 1987). La Ilustración 9. muestra una familia de curvas de tasas forward definidas a través de la ecuación 1.

Integrando la función paramétrica para tasas forward, se puede deducir la función para tasas spot  $s(m)$ , de la siguiente manera; nótese que conociendo el término  $\tau$  queda reducida a una ecuación lineal:

$$s(m) = \int_0^m f(x) dx = \beta_0 + \beta_1 \frac{(1 - e^{-\frac{m}{\tau}})}{(\frac{m}{\tau})} + \beta_2 \left( \frac{(1 - e^{-\frac{m}{\tau}})}{(\frac{m}{\tau})} - e^{-\frac{m}{\tau}} \right) \quad \text{Ec. 2}$$

#### ILUSTRACIÓN 9. FORMAS DE LAS CURVAS DE RENDIMIENTO



\*\* Fuente: (Nelson & Siegel, 1987, pág. 5)

Si  $m$  es grande, el límite del rendimiento es  $\beta_0$ ; si en cambio,  $m$  es pequeño, el límite del rendimiento tiende a  $\beta_0 + \beta_1$ .

Los parámetros pueden ser interpretados también como medida de las fortalezas de los segmentos de la curva forward:

$\beta_0$ : Componente de tramo largo plazo de la curva.

$\beta_1$ : Componente de tramo corto plazo de la curva.

$\beta_2$ : Componente de tramo de plazo medio de la curva.

La función  $s(m)$  recoge la relación entre las tasas de rendimiento y la madurez de los activos; el resultado obtenido de la relación paramétrica de NS describe tasas spot continuas que se deben transformar a tasas discretas a través de la ecuación  $s_d(m) = e^{sm/100} - 1$  (Santana, 2008, pág. 6).

### 7.5.2 Modelo de Svensson

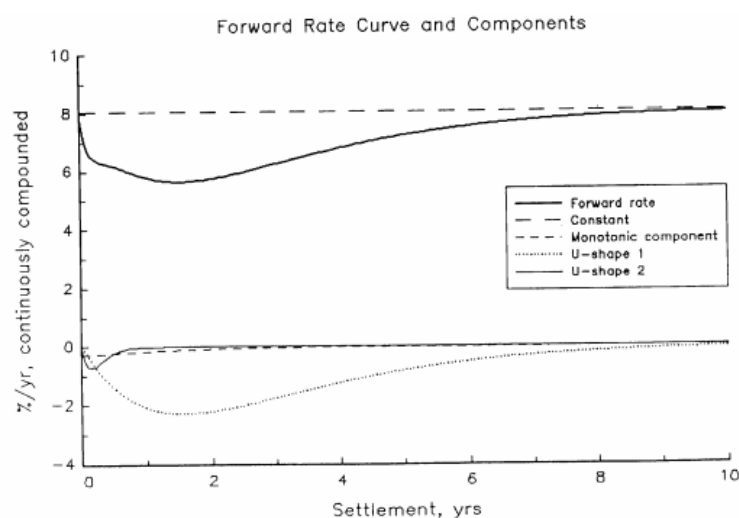
Partiendo de NS, en 1994 Lars E.O. Svensson, propone un ajuste al modelo que permita mayor flexibilidad y la generación de una “segunda joroba”, a través de la inclusión

de un nuevo término con dos parámetros  $\beta_3$  y  $\tau_2$ . (Svensson, 1994). Como resultado de obtiene la siguiente expresión para la curva de tasas forward:

$$f(m; b) = \beta_0 + \beta_1 e^{-m/\tau_1} + \beta_2 \left(\frac{m}{\tau_1}\right) e^{-\frac{m}{\tau_1}} + \beta_3 \left(\frac{m}{\tau_2}\right) e^{-m/\tau_2} \quad \text{Ec. 3}$$

Con  $b$  dado por los parámetros  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \tau_1, \beta_3, \tau_2$ , donde  $\beta_0, \tau_1$  y  $\tau_2$  deben tomar valores positivos. Los parámetros del modelo de NS mantienen su interpretación de acuerdo con el modelo base, y los nuevos parámetros determinan la segunda joroba y flexibilidad aportada por Svensson.

**ILUSTRACIÓN 10. CURVA FORWARD Y COMPONENTES MÉTODO SVENSSON**



\*\* Fuente: (Svensson, 1994, pág. LS940912)

En la Ilustración 10. se muestran los componentes de la curva forward estimados para Suecia con datos del 29 de Diciembre de 1993. La línea gruesa de trazo completo en el nivel 8, indica la curva forward; y sobre el nivel cero se señalan los componentes de la curva, de acuerdo a los parámetros del ejercicio.



Integrando la Ecuación. 3, se obtiene la siguiente expresión para la curva de tasas spot, en función de su maduración, para una fecha de negociación  $t$ ; así:  $i(m) = i(t, t + m)$ .

$$i(m; b) = \beta_0 + \beta_1 \frac{\left(1 - e^{-\frac{m}{\tau_1}}\right)}{\frac{m}{\tau_1}} + \beta_2 \left( \frac{\left(1 - e^{-\frac{m}{\tau_1}}\right)}{\frac{m}{\tau_1}} - e^{-\frac{m}{\tau_1}} \right) + \beta_3 \left( \frac{\left(1 - e^{-\frac{m}{\tau_2}}\right)}{\frac{m}{\tau_2}} - e^{-\frac{m}{\tau_2}} \right)$$

Ec. 4

La función de descuento para la curva spot está dada por la minimización de los errores cuadrados de precios o tasas. Lo ideal es minimizar los errores de las tasas, dado que es el foco de las políticas monetarias en estudio, y el ajuste de sus errores da mejores resultados que en el caso de los precios. (Svensson, 1994):

$$d(m, b) = e^{\left(-\frac{i(m,b)}{100} * m\right)} \quad \text{Ec. 5}$$

De acuerdo con Svensson, aunque el modelo de NS ajusta bien en algunos casos, su comportamiento dista de ser satisfactorio al aplicarse sobre estructuras temporales de tasas complejas, contrario al modelo extendido propuesto que ajusta de mejor manera.

### 7.5.3 Modelo de McCulloch

Buscando encontrar algún indicador de rendimientos de los activos financieros en el mercado secundario, y tener una herramienta para la toma de decisiones que les permitiera maximizar ganancias, a partir de 1996 se implementó el uso de la metodología de McCulloch en el mercado bursátil nacional, que posteriormente fue reemplazado por la función de Nelson y Siegel dado su mejor desempeño. (Santana, 2008).

El método de McCulloch parte de la determinación de la función de descuento continuamente diferenciable,  $\delta(m)$  base para las derivaciones futuras,

$$\delta(m) = 1 + \sum_{j=1}^k a_j f_j(m)$$

Donde  $a_j$  es un parámetro desconocido que debe ser estimado a través de regresión lineal, y  $k$  corresponde al número de funciones diferenciales de la forma  $f_j(m)$ . El modelo de precio medio definido por McCulloch establece un término de error que se añade al promedio de una serie de observaciones de precios ofertados para una cantidad determinada de activos en un mercado “de movimiento rápido”. El término de error incluye los costos de transacción que afectan el precio. El valor máximo para los costos de transacción está definido por la diferencia entre el máximo precio del comprador y el precio mínimo del vendedor. La media de estos errores aumenta conforme el plazo lo hace, dado que el mercado va a tener mayor incertidumbre en plazos más largos. (McCulloch, 1971). Aplicando regresión de mínimos cuadrados ponderados la nueva ecuación de descuento, con valores estimados para los parámetros, sería:

$$\hat{\delta}(m) = 1 + \sum_{j=1}^k \hat{a}_j f_j(m)$$

Teniendo la función de descuento se puede estimar la función para las tasas forward

$$\rho(m), \text{ expresada como: } \rho(m) = \frac{-\delta'(m)}{\delta(m)}.$$

Para determinar la familia de funciones diferenciales es importante tener en cuenta que  $f_j(m)$ , debe ser continuamente diferenciable, (todas sus derivadas parciales del orden  $k$  existen y son continuas) y  $f_j(0) = 0$ .

Los splines de McCulloch que logran obtener dichas condiciones se obtienen a través de la subdivisión de intervalos de maduración más pequeños de la forma  $(d_j, d_{j+1})$  que permite mayor precisión a la función de descuento en los tramos de los intervalos seleccionados. Algebraicamente expresados de la siguiente manera:

$$f_1(m) = \begin{cases} m - \frac{1}{2d_2}m^2, & 0 \leq m \leq d_2 \\ \frac{1}{2}d_2, & d_2 \leq m \leq m_n \end{cases}$$

$$f_k(m) = \begin{cases} 0, & 0 \leq m \leq d_{k-1} \\ \frac{(m - d_{k-1})^2}{2(m_n - d_{k-1})}, & d_{k-1} \leq m \leq m_n \end{cases}$$

Es importante seleccionar los valores adecuados de  $k$ , dado que si se toman valores pequeños de  $k$  la curva puede no ajustarse a la función de descuento, y para valores muy grandes de  $k$  la curva puede ajustarse a valores atípicos en vez de asemejarse a la curva suave (McCulloch, 1971). Para determinar el rango adecuado de valores que puede tomar  $k$  se deben tomar aquellos que minimizan el estimador sesgado de acuerdo con la expresión:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n - k} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\bar{p}_i - \hat{p}_i}{v_i} \right)^2$$

Al aumentar  $k$ , disminuyen tanto los residuos como los grados de libertad. El estimador disminuye apropiadamente con valores de 2 a 4 para  $k$ , pero oscila de manera irregular con valores mayores, lo que genera inestabilidad de la curva forward. Dicha

inestabilidad percibida en la curva, no se ha validado teóricamente, lo que genera escepticismo al aplicar los splines definidos por McCulloch. (Waggoner, 1997).

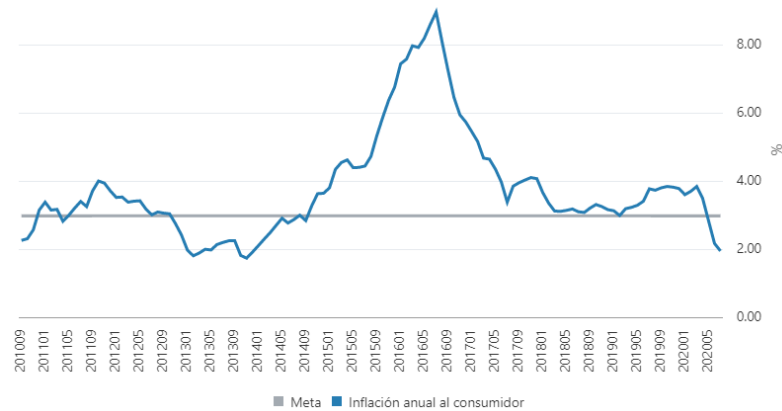
## **7.6 Variables Macroeconómicas**

Las variaciones esperadas de las curvas de rendimiento a observar se van a estudiar con respecto a los siguientes indicadores de la actividad económica: Inflación, desempleo, crecimiento.

### **7.6.1 Inflación:**

El Banco de la República en su página oficial define inflación como “un aumento sustancial, persistente y sostenido del nivel general de precios a través del tiempo”, (República, 2020), dicho de otra manera, es un indicador que representa la pérdida de valor adquisitivo de una moneda determinada. Sin tener en cuenta la sencillez de su definición, la medición y control dentro los límites estipulados para este indicador representa una de las principales funciones del banco central en materia de política monetaria. La meta o inflación objetivo de Colombia definida por la Junta del banco de la República se encuentra en 3% +- 1 punto porcentual de desviación admisible. Durante los últimos 10 años, se ha presentado una tendencia sostenida dentro del rango del 2% al 4%, donde sobresale un período de tendencia creciente muy marcada desde enero de 2015 a julio de 2016, con un máximo de 8.97% para esta fecha; y a partir de allí se logra detener y controlar ese crecimiento de manera sostenida hasta llegar a 3.40% un año después en Julio de 2017.

## ILUSTRACIÓN 11. INFLACIÓN ANUAL EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS EN COLOMBIA



\*\* Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE.

Para el cálculo de la inflación, ejercicio realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), a través de encuestas, se tiene en cuenta el promedio de variaciones del IPC (Índice de precios al consumidor) que hace referencia a los precios de una canasta básica de bienes y servicios que consumen los hogares colombianos.

El Banco de la República presenta trimestralmente el “Informe de Política Monetaria” con las recomendaciones respecto a este indicador y resultados del trimestre inmediatamente anterior.

### 7.6.2 Desempleo:

El desempleo es un indicador del bienestar económico de un país, que refiere un desequilibrio en la oferta y demanda de personas económicamente activas, contra las vacantes disponibles en el mercado para ser suplidas por dicha población. Un aumento generalizado del desempleo representa una señal de alerta para la estructuración de política

monetaria porque aduce a recursos subutilizados que inciden en disminución de la capacidad productiva y crecimiento económico (Mishkin, 2008).

El DANE es el organismo encargado de medir mes a mes la tasa de desempleo, que relaciona porcentualmente el número de personas buscando trabajo con respecto a la población que integra la fuerza laboral.

### ILUSTRACIÓN 12. TASA DE DESEMPLEO TRIMESTRAL ÚLTIMOS 10 AÑOS COLOMBIA



\*\* Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE.

En la Ilustración 12. se observa que en los últimos 10 años la tasa de desempleo ha alcanzado máximos en la última década en enero 2011 con un 13.6%, y de manera similar en enero 2020 con un 13%, estas cifras exceptuando el efecto pandemia Covid, que se refleja en la cifra de mayo 2020 con un 21.4%. En contraparte noviembre de 2015 marca el mínimo en la tasa de desempleo con una cifra de 7.3%.

### 7.6.3 Producto Interno Bruto (PIB):

El PIB es una medida de crecimiento económico que incluye todos los bienes y servicios producidos en un país a lo largo de un año (Mishkin, 2008). EL DANE es el organismo encargado de reportar los resultados de medición del PIB trimestralmente al Banco de la República.

Su medición se calcula desde tres puntos de vista (DANE D. A., 2020):

- Valor Agregado (VA): Corresponde al valor adicional que se genera a una materia prima después de su transformación a través de proceso productivo.

$$PIB = VA \text{ ramas de actividad} + \text{derechos e impuestos}$$

- Demanda Final o Utilizaciones:

$$PIB = \text{Exportaciones} + \text{Consumo final} + \text{Formación bruta de capital} - \text{Importaciones}$$

- Ingresos:

$$PIB = \text{Remuneración asalariados} + \text{Impuestos menos subvenciones} \\ + \text{Excedente bruto de explotación} + \text{Ingreso mixto}$$

Independientemente de su modelo de medición, las mediciones del PIB se calculan con respecto a sus variaciones anuales.

$$\text{Tasa Crecimiento PIB \%} = \frac{C \text{ Actual} - C \text{ Período Anterior}}{C \text{ Período Anterior}} * 100$$

En la Ilustración 13. se encuentran registrados las variaciones trimestrales anuales a partir del año 2014, en los períodos registrados se observa crecimiento positivo, exceptuando únicamente el segundo trimestre de 2020 que presenta un decrecimiento del 15.7% del PIB con respecto al mismo trimestre del año anterior, recogiendo el efecto pandemia Covid y cuarentenas con incidencia directa en el cierre de la actividad económica por cerca de dos meses previos a la medición.

**ILUSTRACIÓN 13. TASA DE CRECIMIENTO ANUAL PIB TRIMESTRAL 2014 A 2020**



\*\* Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE.

**ILUSTRACIÓN 14. CRECIMIENTO PIB MUNDIAL**



\*\* Fuente: Bloomberg.

**ILUSTRACIÓN 15. PIB COLOMBIA ÚLTIMOS CINCO AÑOS**



\*\* Fuente: Bloomberg.

La Ilustración 14. indica el crecimiento mundial en lo corrido del 2020, se observa una clara disminución permanente del mismo, lo cual está en contraposición con lo esperado por el Fondo Monetario Internacional en sus perspectivas del año inmediatamente



anterior. Este decrecimiento responde a las incertidumbres generadas en el mercado por precios del petróleo y pánico bursátil como consecuencia del coronavirus, lo que ha producido desplome de los mercados, disminución de la producción y exportación en las principales economías, reducción en la demanda de bienes y servicios, sobreoferta de petróleo, disminución en ventas de las principales industrias.

La Ilustración 15. muestra el PIB de Colombia en los últimos 5 años; llama la atención el último cuadrante donde se observa una disminución del crecimiento, lo que responde al impacto mundial por las crisis generadas de los aspectos mencionados en el inciso precedente. De acuerdo con la coyuntura actual, se estima que no se va a cumplir la proyección de crecimiento para el 2020, proyectada según informes del Banco Mundial en 3.6%.

## **8. Metodología:**

Para alcanzar los objetivos propuestos como base de la presente investigación, se propone el siguiente esquema:

- Elaboración de la curva con inferencia de la curva cupón cero bajo la metodología de NS, y análisis cualitativo de curvas obtenidas bajo parámetros de variables macroeconómicas (crecimiento, inflación, desempleo, tasas de referencia).

Con la curva descrita se procederá al análisis de la curva de rendimientos en su curvatura, pendiente y prima en los tramos cortos y largos de la misma, para identificar resaltos que indiquen posibles cambios de dirección.

- Medición del impacto y análisis de eventos a través de la “metodología de estudio de eventos”. A través de dicha metodología se puede cuantificar el impacto que produce

cada evento en la trayectoria de la curva de rendimiento. Para ello es necesario definir los eventos de estudio y su “ventana de evento”, que corresponde al período de tiempo, donde se hace validación del impacto. Definir los retornos normales o anormales, donde normal hace referencia al rendimiento esperado si no hubiese ocurrido el evento y anormal, lo contrario. Una vez determinados los retornos anormales se valida la significancia estadística a través de modelos paramétricos y no paramétricos. (Berggrun P., 2006).

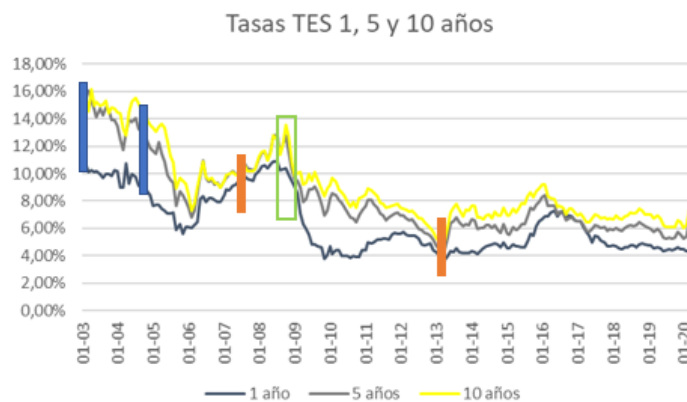
De acuerdo con lo propuesto, en los numerales siguientes se dará desarrollo a la metodología propuesta.

## 8.1 Origen de los Datos

El Banco de la República de Colombia en su página oficial, tiene los registros de los parámetros  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  y  $\tau$ ; para cualquier fecha dada a partir de enero de 2003 y para el mismo período tiene registrado los valores de las tasas spot de bonos TES a los plazos 1, 5 y 10 años, tanto en pesos como UVR.

De acuerdo con los datos consignados para las tasas, se obtiene un diferencial de plazo para las tasas de corto plazo (1 año) y las de largo plazo (10 años), desde el año 2003.

**ILUSTRACIÓN 16. TASAS TES 1, 5 Y 10 AÑOS.**



\*\* Fuente: Elaboración Propia.

En la Ilustración 16. se registran las Tasas TES mensuales para 1, 5 y 10 años a partir del año 2003 (Se incluye la información a partir de 2003 para resaltar mayores variaciones y evolución de las tasas en el espectro de tiempo). Las curvas reflejadas indican una fuerte correlación (98.15%) entre las tasas a largo y mediano plazo. La curva de tasas a corto plazo mantiene una trayectoria con tendencia similar y menor correlación con respecto a los dos precedentes, 89,20% con respecto a las tasas de bonos TES a 5 años.

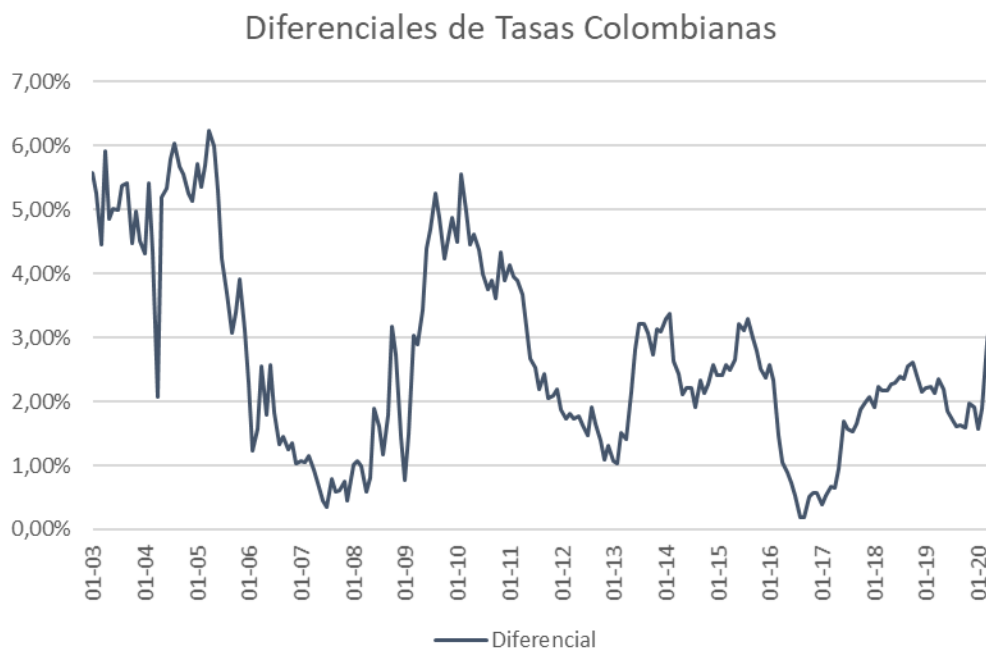
El período comprendido entre 2003 y el 2005 marca los segmentos de mayor brecha entre las tasas a corto plazo y las de largo plazo (barras azules), lo que define curvas de rendimiento ascendentes con pendientes positivas definiendo aumento de tasas a mayores a maduraciones.

Durante el último trimestre del 2007 y de manera similar en 2013, se observa una reducción de la brecha entre las tasas, marcado con barras color naranja, señalando con ello curvas de rendimiento con tendencia aplanada o poca pendiente representada por el bajo delta entre las mismas

En el umbral de los datos, sólo se observa un segmento entre el 2008 y 2009 levemente marcado de superposición de la curva de largo plazo (10 años) por debajo de la curva de tasa a 5 años (recuadro verde, sin relleno), lo que indica una tendencia a la inversión de la curva de rendimientos, sin llegar a marcarse de manera definitiva, denotando períodos de transición económica, más no de recesión. En ningún punto de la Ilustración, se evidencia tasa de corto plazo por encima de las del largo. A lo largo de la trayectoria a

pesar de mostrar puntos pequeños de inflexión de las tasas a mediano y largo plazo, nunca se llega a dar la inversión de la curva (en el umbral de los datos).

**ILUSTRACIÓN 17. DIFERENCIALES DE TASAS CUPÓN CERO COLOMBIANAS**



\*\* Fuente: Elaboración Propia.

En la Ilustración 17., se describen los diferenciales de tasas entre el largo y corto plazo a partir de enero del 2003.

## 8.2 Elaboración Curva de Rendimiento bajo Nelson y Siegel

### 1. Establecer los Parámetros y Fechas.

Los valores para los Parámetros  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  y  $\tau$  se encuentran registrados para libre acceso en la página oficial del Banco de la República, a partir de enero de 2003. Con el fin de hacer un ejercicio ilustrativo donde se puedan reflejar las mayores diferencias en el nivel de las curvas se determinan las fechas que muestran los extremos de la serie de datos y el promedio de estos, definiendo las siguientes:

Fecha 1: 14/04/2003 (Nivel Máximo)

Fecha 2: 23/06/2009 (Nivel Mínimo)

Fecha 3: 06/01/2017 (Nivel Medio)

A partir de las fechas se obtienen los parámetros para el cálculo de las curvas según la metodología de NS:

TABLA 1. PARÁMETROS POR FECHA

Fecha	14/04/2003	23/06/2009	6/01/2017
<b>Parámetros</b>			
<b>B<sub>0</sub></b>	0,17566	0,00749	0,09113
<b>B<sub>1</sub></b>	-0,06912	-0,05779	-0,02538
<b>B<sub>2</sub></b>	0,06837	0,42689	-0,04705
<b>τ</b>	3,7	3,7	3,7

1. Cálculo de Tasa Spot.

De acuerdo con los parámetros obtenidos se calcula la tasa spot  $s(m)$  definida por el modelo a través de la expresión:

$$s(m) = \int_0^m f(x)dx = \beta_0 + \beta_1 \frac{(1 - e^{-\frac{m}{\tau}})}{(\frac{m}{\tau})} + \beta_2 \left( \frac{(1 - e^{-\frac{m}{\tau}})}{(\frac{m}{\tau})} - e^{-\frac{m}{\tau}} \right)$$

Donde los parámetros son conocidos, y con maduraciones para 1, 3, 5, 6, 7, 10 y 15 años, teniendo en cuenta que son las maduraciones de bonos TES que se negocian regularmente en el mercado nacional.

De la expresión  $s(m)$  se obtienen las tasas spot continuas para cada una de las maduraciones establecidas y con los parámetros determinados.

A través de la expresión,  $s_d(m) = e^{sm/100} - 1$ , se transforman las tasas spot continuas del modelo a tasas spot discretas.

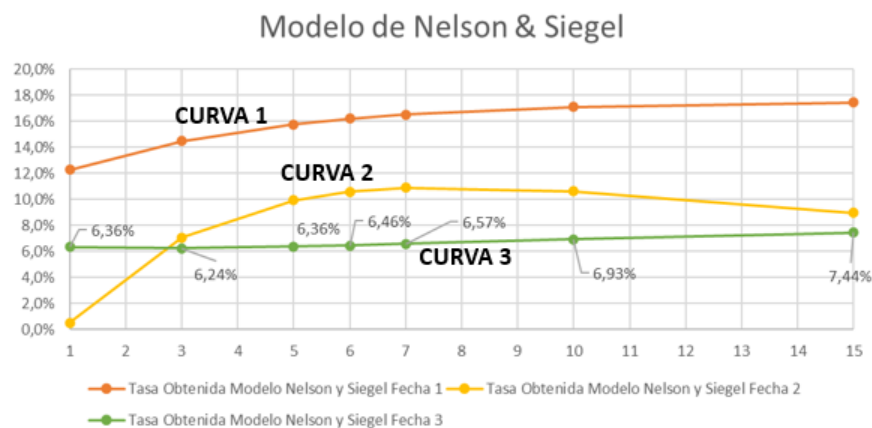
**TABLA 2. TASAS DISCRETAS OBTENIDAS SEGÚN MODELO DE NELSON Y SIEGEL**

Maduración	Tasa Observada Fecha 1	Tasa Discreta Obtenida Modelo Nelson y Siegel Fecha 1	Tasa Observada Fecha 2	Tasa Discreta Obtenida Modelo Nelson y Siegel Fecha 2	Tasa Observada Fecha 2	Tasa Discreta Obtenida Modelo Nelson y Siegel Fecha 2
1	12,28%	12,29%	0,51%	0,51%	6,36%	6,36%
3		14,49%		7,06%		6,24%
5	15,75%	15,77%	9,94%	9,94%	6,36%	6,36%
6		16,19%		10,58%		6,46%
7		16,51%		10,89%		6,57%
10	17,08%	17,10%	10,63%	10,63%	6,93%	6,93%
15		17,44%		8,96%		7,44%

La Tabla 3. relaciona los resultados obtenidos para las tasas spot de acuerdo con las maduraciones establecidas. Se incluye para cada fecha la tasa observada, que corresponde a las tasas de bonos TES para 1, 5, y 10 años consignadas en la página del Banco de la República y se dejan como medida inicial de contraste para validar los resultados obtenidos del modelo contra los registros oficiales del banco central colombiano.

Nótese que hay una leve diferencia entre el valor observado de tasas para los plazos descritos y los obtenidos al calcular las tasas discretas del modelo de NS, sin embargo, los errores cuadrados de estas diferencias son despreciables del orden de E-09.

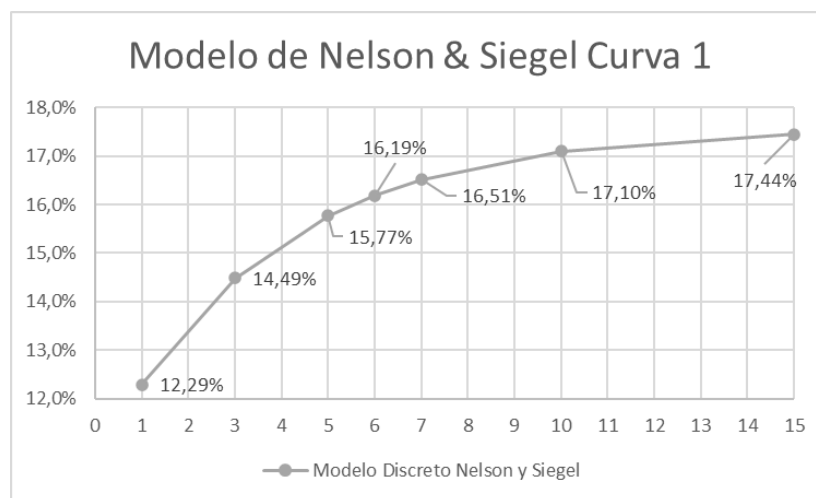
**ILUSTRACIÓN 18. CURVAS DE RENDIMIENTO OBTENIDAS SEGÚN NELSON Y SIEGEL**



\*\* Fuente: Elaboración Propia.

• **Curva 1:** Corresponde a la fecha 1, 14/04/2003, presenta el mayor nivel de tasas de la muestra seleccionada, iniciando en 12.29% para el corto plazo y alcanzando un 17,44% a 15 años, lo que representa la alta percepción de riesgo del mercado a los bonos nacionales, fundamentada en la alta devaluación de la moneda local en orden de magnitud cercano al 30%, lo que produjo una intervención de las tasas por parte del banco de la república en los meses de enero y abril, aumentando 100 puntos básicos en cada intervención y dejando tasa de referencia de 7.25%. La gráfica obtenida, presenta una pendiente claramente ascendente o upward, lo que denota crecimiento positivo de la economía y altas expectativas de los inversionistas por aumento de tasas. La curva obtenida recoge el crecimiento económico observado para el primer trimestre del 2003 (3,15%), y sostenido a lo largo del trimestre siguiente, aumento en el índice de ocupación y consecuentemente disminución del índice de desempleo en los primeros meses del año, aumento de la inflación por encima de los rangos establecidos por las políticas del banco de la república para el período precedente (5,5%). No se observa cambio de tendencia en la pendiente de la curva.

**ILUSTRACIÓN 19. CURVA DE RENDIMIENTO, FECHA: 14/04/2003 (CURVA 1)**



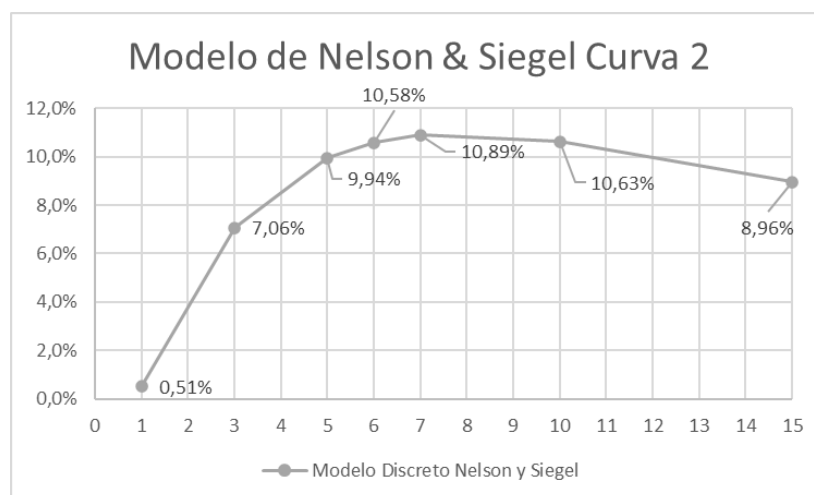
\*\* Fuente: Elaboración Propia.

•**Curva 2:** Representa el nivel mínimo de tasas, correspondiente a la fecha 23/06/2009, inicia en el tramo corto con una tasa spot de 0,52%, y manteniendo pendientes positivas hasta la maduración a 7 años con una tasa de 10,89% y a partir del cual se aprecia cambio de pendiente en la dirección de la curva, describiendo tasas menores en las maduraciones subsiguientes y cerrando con un rendimiento de 8,96% para la mayor maduración, en este caso 15 años. La tendencia hacia la inversión de la pendiente de la curva podría ser indicador de alerta ante la eventual aparición de un período de recesión que podría impulsar una disminución en las tasas y desaceleración económica generada por la crisis inmobiliaria en el ámbito internacional. En el ámbito local se empieza a contraer la economía que muestra una disminución de su tasas de crecimiento del -0,5% con respecto al mismo trimestre del año anterior ubicandose en 3.4%, siendo la industria manufacturera y el comercio los sectores de mayor reducción en sus niveles productivos, lo que se explica en la poca demanda externa, inestabilidad de la tasa de cambio con una devaluación del 26,7%, pasando de \$1762,1 en el segundo trimestre de 2008 a \$2233,1 en el mismo período del 2009 (DANE, 2009).

Se esperaría que las curvas subsecuentes puedan mostrar unas mayores tasas y una tendencia a marcar una silueta más aplanada como significado de ralentización económica.



ILUSTRACIÓN 20. CURVA DE RENDIMIENTO, FECHA: 23/06/2009 (CURVA 2)

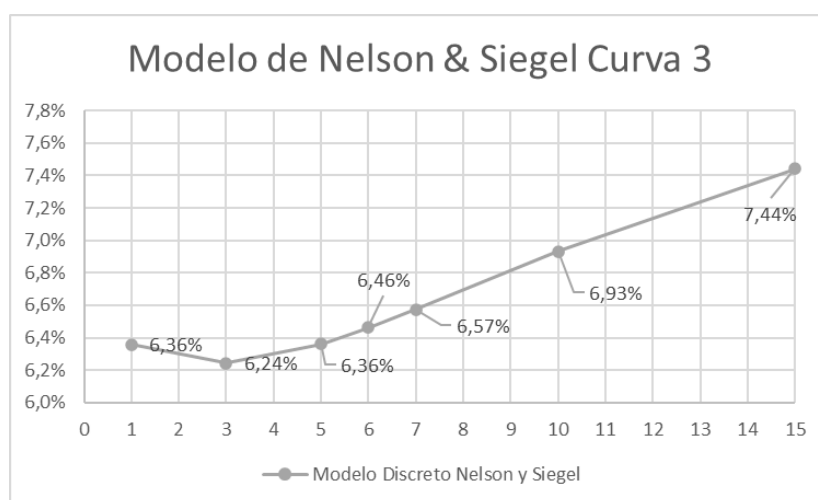


\*\* Fuente: Elaboración Propia.

• **Curva 3:** De las gráficas obtenidas se observa una curva media, correspondiente a la fecha 06/01/2017 (color verde), visiblemente aplanada que representa ralentización económica y una posible transición entre las curvas precedentes y subsecuente. Lo cual recoge la alta incertidumbre en materia económica y política, alta volatilidad de los mercados y una marcada desaceleración económica, que puede ser el reflejo de eventos internacionales con gran impacto en la economía nacional como fueron el anuncio del Brexit, aumento de la crisis migratoria venezolana y anuncio de fortalecimiento de políticas migratorias y proteccionistas por parte del presidente electo Donald Trump en EE.UU. lograron impactar el mercado colombiano. En el ámbito nacional el panorama no fue más alentador, desaceleración sostenida en el segundo semestre, inflación de 5,47%, por encima de los límites del banco central, paro camionero que afecto de manera generalizada la producción interna del país y reducción de los precios del petróleo que produjo un déficit fiscal de cerca de 20 billones de pesos, entre otras. (Colombia A. -A., 2017).

De esta curva llama la atención, que los rangos de tasas entre cada uno de los plazos (6,36% a 1 año vs 7,44% a 15 años), no difieren de manera significativa (Delta = 1,08%), lo que se podría explicar por la percepción externa de confianza al conservar el grado de inversión, a pesar de las dificultades se lograron mantener variables como el desempleo en términos manejables para la economía (11.7% en enero de 2017), y la percepción extranjera de confianza económica a raíz del proceso de paz.

**ILUSTRACIÓN 21. CURVA DE RENDIMIENTO, FECHA: 06/01/2017 (CURVA 3)**



\*\* Fuente: Elaboración Propia.

### 8.3 Metodología de Estudio de Eventos

Los eventos de interés se determinan teniendo en cuenta situaciones político-económicas del orden tanto nacional como internacional con trascendencia en el comportamiento económico de diferentes naciones y anuncios de medición de variables macroeconómicas en el orden nacional, (inflación, desempleo y políticas de tasas del banco central). Dada la disponibilidad de información económica se reajusta el umbral de tiempo para examinar eventos a un período de 5 años, a partir del 24 de septiembre de 2015, teniendo un total de 1214 datos de entrada, y un total de 6 eventos que corresponden a 0,5%

del total de la serie de datos. Para los eventos con fecha en día no hábil, el estudio de su impacto se trasladará al día hábil posterior a la ocurrencia de este, coincidente con la apertura del mercado.

Cabe resaltar que el total de eventos finales a analizar (6), se obtiene tras un ejercicio de depuración de una base de eventos inicial de 27 eventos y que tuvo que ser ajustada con base en las ventanas de evento a trabajar en el ejercicio actual de 147 días, buscando dentro de ellos las fechas que permitieran el manejo de los datos sin traslapos entre sus ventanas para evitar que los eventos no absorbieran información de otros relacionados dentro del listado inicial (más adelante se hará mayor énfasis en la explicación de las ventanas del evento).

A continuación, se lista la clasificación inicial:

FECHA (dd/mm/aaaa)	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN			
		MACRO-ECONOMÍA	POLÍTICA	MERCADO	AMBITO NACIONAL
3/11/2015	Intervención de tasas; el Banco de la República de Colombiana sube 50 puntos básicos a sus tasas (de 4.75% a 5.25%).	X			X
12/01/2016	Acción de Ecopetrol cae a 5,890USD por acción.			X	
3/02/2016	Reporte de desempleo en Colombia durante el mes anterior en 11.91%.	X			X
1/08/2016	Reporte de inflación Colombia durante el mes anterior en 4.07%.	X			X
26/09/2016	Firma del proceso de paz gobierno colombiano – FARC- E.P.		X		X
8/11/2016	Donald Trump elegido presidente de Estados Unidos.		X		
26/05/2017	Presidente Norteamericano Donald Trump anuncia un recorte del 35% en presupuesto de ayudas económicas a Latinoamérica, incluyendo Colombia.		X		

FECHA (dd/mm/aaaa)	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN			
		MACRO- ECONOMÍA	POLÍTICA	MERCADO	AMBITO NACIONAL
4/07/2017	Intervención de tasas, el Banco de la República de Colombia reduce 50 puntos básicos a sus tasas (de 6.25% a 5.75%).	X			X
17/07/2017	Plebiscito nacional en Venezuela, con el fin de promover un cambio en el gobierno actual, con Nicolás Maduro como Presidente.		X		
24/07/2017	Fondo Monetario Internacional rebaja la proyección crecimiento económico de Latinoamérica y el Caribe.	X		X	
1/08/2017	Justicia Brasileira abre nuevo juicio de corrupción contra expresidente Lula da Silva.		X		
8/08/2017	Reporte de inflación en Colombia durante el mes anterior en 1.05%.	X			X
11/09/2017	La ACDAC (Asociación Colombiana de Aviadores Civiles) decide terminar negociaciones con Avianca, tras un mes de huelga y negociaciones.		X		X
14/03/2018	Aumento en la producción industrial China impulsan ganancia de futuros en EE.UU.		X	X	
22/03/2018	Anuncio de aranceles por parte de EE.UU. a productos provenientes de China, como parte de la guerra comercial entre las dos naciones.		X	X	
7/05/2018	Petróleo de referencia WTI rebasa los 70USD por barril.			X	
29/10/2018	Jair Bolsonaro es elegido presidente de Brasil.		X		
26/11/2018	Unión Europea sella acuerdo del Brexit con Reino Unido, tras meses de negociación.		X		
3/12/2018	Reporte de desempleo en Colombia durante el mes anterior en 8.76%.	X			X
28/05/2019	Bonos del Tesoro Americano de 10 años caen a 2.29%.			X	
5/08/2019	Reporte de inflación en Colombia durante el mes anterior en 3.73%.	X			X
25/10/2019	Movilizaciones y protestas del pueblo Chileno contra su presidente Sebastián Piñera.		X		
21/11/2019	Paro nacional en Colombia.		X		X
3/12/2019	Reporte de desempleo en Colombia durante el mes anterior en 9.53%.	X			X

FECHA (dd/mm/aaaa)	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN			
		MACRO- ECONOMÍA	POLÍTICA	MERCADO	AMBITO NACIONAL
18/12/2019	Se aprueba juicio político contra el presidente de Estados Unidos, Donald Trump.		X		
29/04/2020	Cotización del dólar cierra en máximo histórico a \$4046,04.			X	X
3/08/2020	Reporte de desempleo en Colombia durante el mes anterior en 20.22%.	X			X

De este listado base se procede a realizar la depuración de eventos que permitiera manejar ventanas de estimación sin traslapos entre ellas, y se obtiene el listado definitivo de 6 eventos, relacionados a continuación y clasificados de acuerdo su tipo y/o naturaleza, teniendo en cuenta cuatro categorías: 1. De naturaleza macroeconómica (inflación, desempleo, políticas fiscales), 2. Política, 3. Propios del mercado y 4. Ámbito nacional (de origen y naturaleza colombiana).

FECHA (dd/mm/aaaa)	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN			
		MACRO- ECONOMÍA	POLÍTICA	MERCADO	AMBITO NACIONAL
1/08/2016	Reporte de inflación Colombia durante el mes anterior en 4.07%.	X			X
26/05/2017	Presidente Norteamericano Donald Trump anuncia un recorte del 35% en presupuesto de ayudas económicas a Latinoamérica, incluyendo Colombia.		X		
14/03/2018	Aumento en la producción industrial China impulsan ganancia de futuros en EE. UU.		X	X	
29/10/2018	Jair Bolsonaro es elegido presidente de Brasil.		X		
5/08/2019	Reporte de inflación en Colombia durante el mes anterior en 3.73%.	X			X
29/04/2020	Cotización del dólar cierra en máximo histórico a \$4046,04.			X	X

La validación de cada uno de los eventos determinados se debe realizar dentro de un marco temporal llamado ventana de evento, la cual está subdividida en tres partes, ventana de estimación, ventana de evento en sí y ventana de post-evento. La ventana de estimación, también conocida como etapa de control, hace referencia a un período limpio previo al suceso y donde se supone que el activo o mercado a evaluar no ha anticipado la ocurrencia del evento, lo que permite observar su comportamiento bajo condiciones normales. La ventana de estimación supone gran importancia en los modelos subsecuentes donde se determinan los retornos anormales, dado que dicho cálculo, independientemente del método, se realiza con base a este período de tiempo. Lo ideal es utilizar ventanas anuales (252 días), siempre que la muestra lo permita, en caso de no tener disponibilidad de información para ese período de tiempo se puede ajustar a hasta 126 días. La ventana del evento inicia al día  $X+1$ , donde  $X$  es el número de días previos para calcular los retornos del mercado; y se extiende hasta el número de días que se el investigador considere pertinente para evaluar el comportamiento de los retornos, teniendo en cuenta días anteriores, posteriores y la fecha en sí del evento. Finalmente, y no muy frecuente está la ventana post-evento que corresponde a un determinado período donde se quiere hacer seguimiento a largo plazo (período mayor a 10 días) al comportamiento del activo financiero posterior a la ventana del evento. (Benninga, 2008)

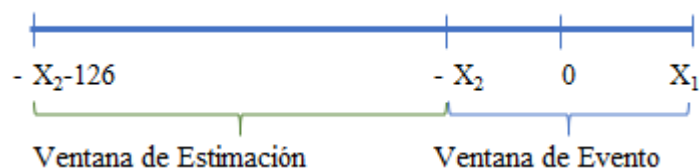
En el presente estudio se ha determinado las siguientes ventanas:

Umbral de Tiempo para el estudio de eventos: 5 años

Ventana de Estimación: 126 días.

Ventana de Evento:  $(-10, +10)$ , es decir 21 días, correspondientes a 10 días previos al evento y los 10 días posteriores a la ocurrencia de este.

Ventana Post-evento: No se analizará dado que el período implica la ocurrencia de varios eventos lo que implicaría traslapos entre ventanas. En la gráfica a continuación se resumen las ventanas determinadas:



Donde:  $X_2$  corresponde al número de días previos al evento y  $X_1$  son el número de días después de ocurrido el evento. Los dos parámetros son definidos por el investigador, así como el número de días de la ventana de estimación, en este caso 126 días.

## 2. Retornos Normales y Retornos Anormales

El retorno normal hace referencia al retorno esperado de un activo financiero en ausencia del evento. Los retornos normales se obtienen de determinada forma de acuerdo con el método a utilizar, por ejemplo, el método del retorno ajustado del mercado tiene como indicativo de retorno esperado el valor del mercado para ese mismo día; mientras que, en el método del retorno ajustado promedio, los retornos normales se calculan con base en el promedio de los retornos obtenidos de la ventana de estimación establecida.

El instrumento a utilizar en este ejercicio es el TES de largo plazo denominado COLTES 7 3/4 con vencimiento 09/18/30, dado que es el título vigente con mayor liquidez, lo que permite manejar el mayor rango de información posible. Cabe mencionar que, aunque las curvas de rendimiento se manejan en función de tasas, los rendimientos de los

elementos se miden es en función de sus precios, por lo que los retornos toman como base el Precio Limpio de los instrumentos. El precio de un bono cero cupón, está relacionado de forma directamente proporcional por el pago del principal e inversamente relacionado con la tasa spot en el plazo del pago (Arango, Melo, & Vasquez, Banco de la República Colombia). La curva de rendimiento se obtiene a través de la curva spot bajo el modelo de Nelson y Siegel en el caso particular colombiano.

De manera similar se obtiene la variación de los retornos del índice de referencia COLCAP, dado que, aun cuando se tienen eventos de orden internacional, el mercado representado por el índice colombiano absorbe dichos eventos, lo que permite que se pueda trabajar con el índice nacional, sin omitir información del mercado. El retorno esperado del índice, en este caso COLCAP, se expresa en función de la sensibilidad de los retornos del instrumento y los retornos no explicados por el modelo. Aplicando un método de regresión de las series de precios se obtienen los parámetros estimados  $\alpha$ , y  $\beta$ , incluyen los dos factores principales del modelo, la sensibilidad y los factores no explicados, matemáticamente:  $r_{COLTES} = \alpha + \beta * r_{indiceCOLCAP}$ .

Este método es de amplia aplicación por incluir implícitamente la volatilidad propia del mercado. (Berggrun P., 2006).

El retorno anormal (RA), corresponde a la fracción del retorno esperado que difiere del retorno obtenido por el activo financiero:

$$RA = Resperado COLCAP - RCOLTES$$

El retorno anormal corresponde al residuo obtenido en cada una de las fechas de la serie de tiempo estudiada y hace referencia a la porción del retorno que no se explica con la actividad normal del mercado, este retorno se indica en términos de “sorpresa” positiva o negativa indicados por el signo y significando la aceptación (+) o rechazo (-) de un evento



en el mercado. Se interpreta como una medida de impacto del evento en el mercado del activo financiero (Benninga, 2008, pág. 374).

De manera similar, se obtienen resultados al estimar el retorno del mercado a través del método del retorno ajustado, donde, bajo la premisa de que el histórico de los precios recoge toda la información disponible del mercado, es factible esperar que el comportamiento del mercado se dé de acuerdo a sus series históricas, por lo tanto se promedia el retorno de mercado en el período de ventana de estimación como una predicción acertada del retorno esperado para el modelo plantado y poder a partir de esta proyección determinar los retornos anormales y posteriormente los retornos anormales acumulados CAAR por sus siglas en inglés.

### **3. Significancia de los Eventos**

Para validar la significancia estadística se aplica una prueba T-Student, se asume la normalidad de las series de datos y se determina el nivel de diferencias de las medias entre las dos series de datos y posteriormente se valida el P-Valor para un 10% de significancia.

El cálculo de retornos y posteriores validaciones debe realizarse para cada uno de los eventos establecidos para el análisis, por lo que es importante mantener la premisa de no traslapo de ventana eventos entendiendo como ventana al período comprendido a la ventana de estimación (126 días) más la ventana del evento en sí (21 días), en total para el modelo propuesto 147 días.

De la regresión realizada se obtiene que uno de los eventos, el #2 de fecha 26/05/2017 no presenta retornos anormales significativos en ninguno de los días de la ventana de evento. Este evento corresponde al anuncio del entonces Presidente Norteamericano Donald

Trump de recortar en un 35% el presupuesto de ayudas económicas a Latinoamérica, incluyendo Colombia. Dado que sus retornos no presentaron anomalías se asume que el mercado ya descontaba este hecho.

A continuación, se presenta un resumen de los eventos que presentan retornos anormales significativos:

**TABLA 4. SIGNIFICANCIA DE LOS EVENTOS**

DÍA RELATIVO DEL EVENTO (X)	EVENTO 1		EVENTO 3		EVENTO 4		EVENTO 5		EVENTO 6	
	(AR)	SIGNIFICANCIA	(AR)	SIGNIFICANCIA	(AR)	SIGNIFICANCIA	(AR)	SIGNIFICANCIA	(AR)	SIGNIFICANCIA
-10	-0,39%	No	0,60%	No	-0,07%	No	0,05%	No	-0,47%	No
-9	-0,51%	No	0,20%	No	0,14%	No	-0,63%	No	0,18%	No
-8	1,63%	Si	-0,21%	No	-0,05%	No	-0,45%	No	0,80%	No
-7	0,54%	No	-0,11%	No	-0,19%	No	0,54%	No	0,34%	No
-6	-0,10%	No	0,37%	No	-0,38%	No	-0,53%	No	-0,50%	No
-5	-0,78%	No	0,81%	Si	-0,23%	No	0,22%	No	0,74%	No
-4	-0,48%	No	0,00%	No	-0,21%	No	-0,14%	No	1,95%	No
-3	-0,06%	No	-0,04%	No	0,17%	No	-0,75%	Si	0,06%	No
-2	-0,26%	No	0,04%	No	-0,04%	No	0,09%	No	0,51%	No
-1	-0,61%	No	0,12%	No	0,12%	No	-0,03%	No	3,81%	Si
0	-0,03%	No	0,69%	Si	-0,28%	No	-0,20%	No	-1,62%	No
1	0,04%	No	-0,07%	No	0,35%	No	0,15%	No	0,56%	No
2	0,42%	No	-0,17%	No	0,91%	Si	0,33%	No	0,59%	No
3	0,36%	No	0,10%	No	-0,08%	No	-0,16%	No	0,36%	No
4	0,06%	No	-0,03%	No	-0,15%	No	0,27%	No	0,06%	No
5	0,07%	No	0,79%	Si	0,30%	No	0,15%	No	0,11%	No
6	-0,06%	No	0,58%	No	-0,17%	No	-0,45%	No	-0,36%	No
7	-0,13%	No	-0,24%	No	0,12%	No	-0,22%	No	1,57%	No
8	0,03%	No	0,05%	No	0,49%	Si	-0,01%	No	-0,87%	No
9	-0,04%	No	0,20%	No	-0,35%	No	-0,17%	No	0,64%	No
10	0,48%	No	-0,11%	No	-0,13%	No	-0,36%	No	1,08%	No

Como lo indica la tabla, todos los eventos estudiados, a excepción del 2 presentan retornos significativos en al menos una de las fechas de la ventana del evento.

Evento 1: Presenta un retorno anormal significativo con un nivel de significancia del 5%, siete días antes del anuncio. Bajo el modelo de mercado su ecuación matemática responde a:  $r_{COLTES} = 0,00097 + 0,00380r_{COLCAP}$

Evento 3: Presenta retornos anormales significativos con un nivel de significancia del 5%, cinco días antes, cinco días después y el día del evento. Las tres sorpresas de signo positivo indicando aceptación de mercado. Bajo el modelo de mercado su ecuación matemática responde a:  $r_{COLTES} = -0,00013 + 0,13825r_{COLCAP}$

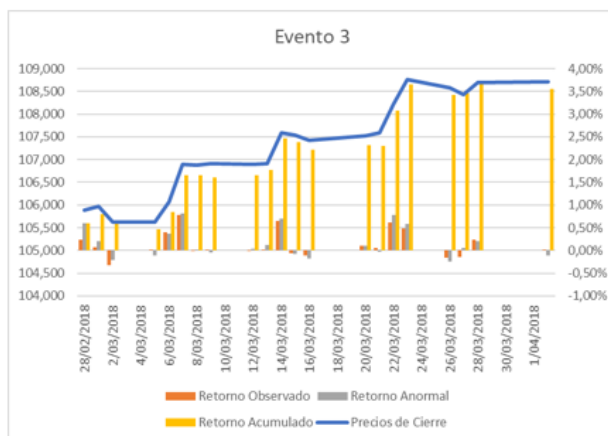
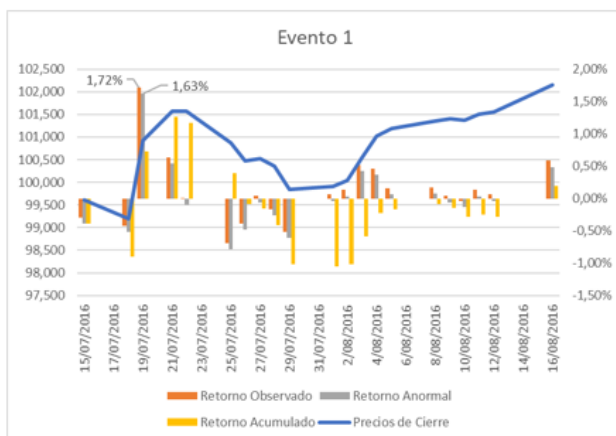
Evento 4: Presenta retornos anormales significativo con un nivel de significancia del 5%, dos y ocho días después del evento. Sorpresas de signo positivo indicando aceptación de mercado, la magnitud del retorno anormal cae en un 54% del día 2 al día 8, y esta segunda anomalía se ajusta al comportamiento normal de los retornos subsecuentes. Bajo el modelo de mercado su ecuación matemática responde a:  $r_{COLTES} = -0,00041 + 0,00135r_{COLCAP}$

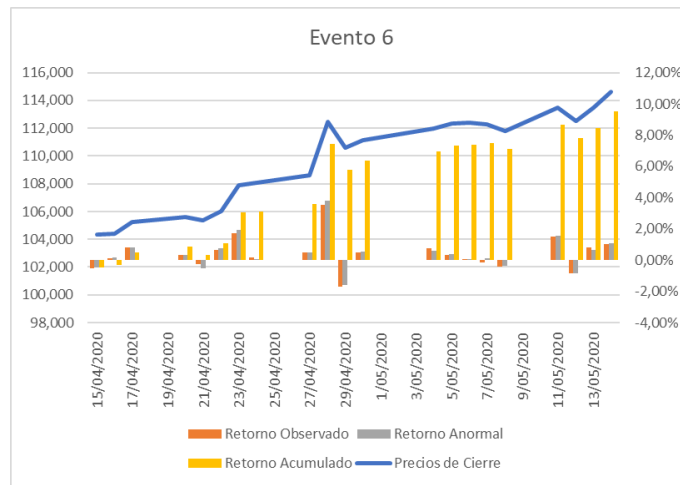
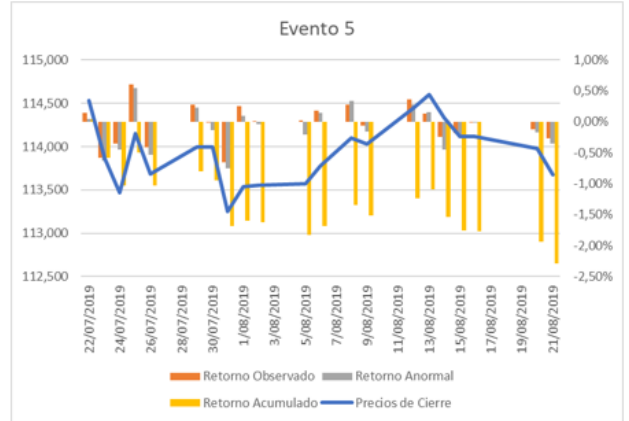
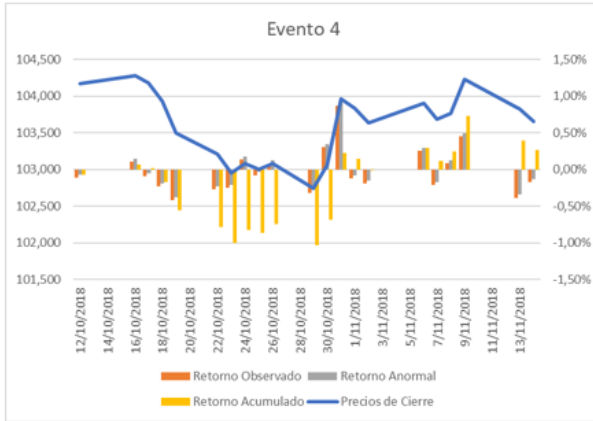
Evento 5: Presenta un retorno anormal significativo con un nivel de significancia del 5%, tres días antes del evento. Sorpresa de signo negativo indicando rechazo del mercado. Bajo el modelo de mercado su ecuación matemática responde a:  $r_{COLTES} = 0,00070 - 0,05649r_{COLCAP}$

Evento 6: Presenta un retorno anormal significativo con un nivel de significancia del 5%, un día antes del evento. Sorpresas de signo positivo indicando aceptación del mercado; sin embargo, dado que el evento en términos prácticos genera una fuerte desaprobación del mercado se esperaría que el signo hubiese sido contrario al observado. Reacción de gran magnitud 3,81%, anticipando el movimiento. Bajo el modelo de mercado su ecuación matemática responde a:  $r_{COLTES} = 0,00082 - 0,07744r_{COLCAP}$

Las gráficas siguientes, indican para cada uno de los eventos mencionados sus principales indicadores del resumen presentado renglones arriba. De manera adicional y

que no ha mencionado, en las gráficas se puede observar el trazo de los Precios de Cierre en color azul, mostrando tendencia alcista de los precios en los eventos 3 y 6 con pequeños retrocesos, pero manteniendo la tendencia a lo largo de la ventana. De manera similar el evento 1 finaliza la ventaba con tendencia alcista aproximadamente a partir del día del anuncio del evento y previamente precedida por una tendencia a la baja. Los eventos 4 y 5 son los que presentan una mayor volatilidad y se pueden observar varios clústeres de volatilidad. Es importante recordar que cada uno de los eventos estudiados corresponde a muestras de un mismo activo contrastadas con un mismo índice COLCAP, lo que puede confundir por la disparidad del comportamiento señalado en cada gráfica pero al contrastar las ecuaciones del modelo de mercado encuentran gran simetría entre sus resultados, y de manera similar al realizar la regresión para el modelo de mercado con la totalidad de los datos se obtiene una ecuación de similares características a las de cada una de las descritas en el inciso anterior:  $r_{COLTES} = 0,00020 - 0,02082r_{COLCAP}$ .





La aceptación o rechazo del mercado a un evento determinado se refleja de manera directa en el precio del activo, es decir, cuando el retorno anormal o sorpresa toma valores positivos se esperaría un aumento de precio en el activo de referencia; caso contrario donde la sorpresa sea negativa, en consecuencia, con la eficiencia de los mercados, se esperaría que el precio del activo de referencia disminuyera.

En sintonía con el manejo de significancia estadística de los retornos anormales, al acumulado de estos también es necesario realizarle test para validar su significancia, siempre que los retornos anormales acumulados previos al anuncio del evento no sean significativos se puede decir que el estado actúo de manera eficiente, de otra manera se hace

referencia a fuga de información que permite a los agentes anticipar los efectos adversos que noticias puedan traer sobre sus intereses particulares.

**TABLA 5. SIGNIFICANCIA DE LOS CAR**

DÍA RELATIVO DEL EVENTO (X)	EVENTO 1		EVENTO 3		EVENTO 4		EVENTO 5		EVENTO 6	
	RETORNO ANORMAL ACUMULADO (CAR)	SIGNIFICANCIA CAR	RETORNO ANORMAL ACUMULADO (CAR)	SIGNIFICANCIA CAR	RETORNO ANORMAL ACUMULADO (CAR)	SIGNIFICANCIA CAR	RETORNO ANORMAL ACUMULADO (CAR)	SIGNIFICANCIA CAR	RETORNO ANORMAL ACUMULADO (CAR)	SIGNIFICANCIA CAR
-10	-0,39%	No	0,60%	No	-0,07%	No	0,05%	No	-0,47%	No
-9	-0,90%	No	0,80%	No	0,07%	No	-0,58%	No	-0,29%	No
-8	0,72%	No	0,59%	No	0,02%	No	-1,03%	No	0,51%	No
-7	1,27%	Si	0,47%	No	-0,18%	No	-0,49%	No	0,85%	No
-6	1,17%	No	0,84%	No	-0,56%	No	-1,03%	No	0,35%	No
-5	0,39%	No	1,65%	No	-0,79%	No	-0,80%	No	1,09%	No
-4	-0,09%	No	1,65%	No	-1,00%	No	-0,94%	No	3,03%	No
-3	-0,15%	No	1,61%	No	-0,83%	No	-1,69%	Si	3,10%	No
-2	-0,41%	No	1,65%	No	-0,87%	No	-1,59%	Si	3,61%	No
-1	-1,02%	No	1,77%	No	-0,75%	No	-1,63%	Si	7,42%	Si
0	-1,05%	No	2,46%	Si	-1,03%	No	-1,83%	Si	5,80%	No
1	-1,01%	No	2,39%	Si	-0,69%	No	-1,69%	Si	6,36%	No
2	-0,59%	No	2,21%	Si	0,23%	No	-1,35%	Si	6,95%	Si
3	-0,23%	No	2,32%	Si	0,15%	No	-1,51%	Si	7,31%	Si
4	-0,16%	No	2,29%	Si	0,00%	No	-1,24%	Si	7,37%	Si
5	-0,09%	No	3,08%	Si	0,29%	No	-1,09%	No	7,48%	Si
6	-0,15%	No	3,66%	Si	0,12%	No	-1,54%	Si	7,12%	Si
7	-0,28%	No	3,42%	Si	0,24%	No	-1,76%	Si	8,69%	Si
8	-0,25%	No	3,46%	Si	0,73%	No	-1,77%	Si	7,82%	Si
9	-0,29%	No	3,67%	Si	0,39%	No	-1,94%	Si	8,46%	Si
10	0,20%	No	3,56%	Si	0,26%	No	-2,30%	Si	9,54%	Si

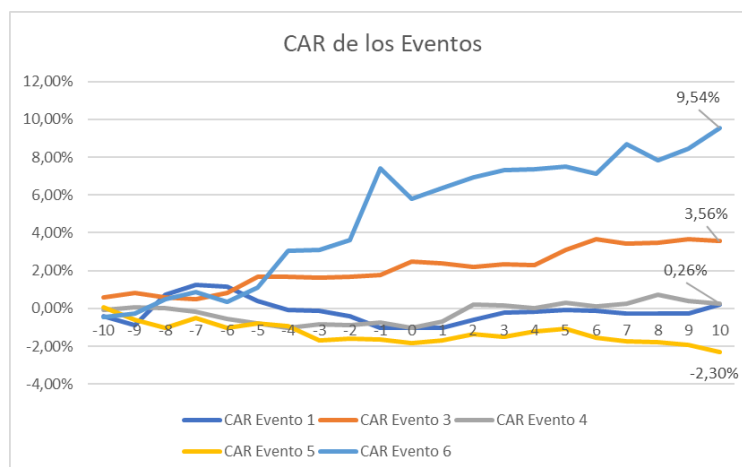
En la Tabla anterior se puede observar que el Evento 1, Evento 5 y Evento 6 presentan retornos anormales acumulados significativos en los días previos, en el caso del Evento 1 y Evento 6 sólo se manifiesta significancia un día, en el -7 y en el -1 respectivamente, en este segundo caso la magnitud adicional con respecto al día anterior es 3,81%, un incremento de más del 100% del retorno diario respecto al anterior. En este caso debido a anticipación del mercado al evento, lo que se puede sopesar con otro tipo de noticias y movimientos que permiten que el mercado prevea lo que va a suceder; vale la pena recordar que este evento corresponde al 29/04/2020, correspondiente a la Cotización del dólar cierra en máximo histórico a \$4046,04., y este evento se esperaba por ese mes dado que el mundo estaba lidiando con la COVID 19 y la caída a nivel mundial de precios del petróleo por falta de

oferta, lo que para los analistas ya indicaba que monedas como el dólar se fortalecerían frente a otras de economías menos seguras como el caso del peso colombiano.

En el evento 5 del 5/08/2019, correspondiente al Reporte de inflación en Colombia durante el mes anterior en 3.73%, se observa significancia estadística sostenida de los retornos anormales acumulados a partir del día -3 hasta el día 10, con un descanso únicamente en el día +5, indicando que el efecto de este aumento en el indicador se mantiene un período mientras se acomodan los agentes del mercado y entes gubernamentales a ajustar las políticas fiscales que se requieran para permitir el flujo normal de la economía.

Ponderando los eventos como un indicador de que en la muestra descrita el mercado actúo de forma eficiente, se podría pensar que no lo hizo dado que en un 60% de las veces se anticiparon los eventos y el mercado reaccionó a estos de una u otra forma.

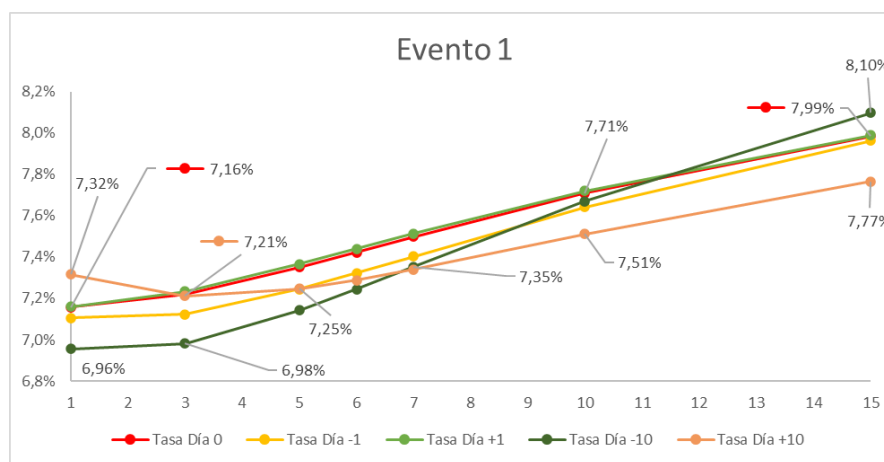
Tal como se observa en la gráfica llamada CAR de los Eventos, el evento 6 presenta valores crecientes de retorno anormal acumulado, llegando en el día +10, con +9,54%, seguido por el Evento 3 con un CAR de 3,56% en el día 10. Los demás eventos se manejan en frecuencias de crecimiento con pendientes menores.



## 8.4 Movimientos en las Curvas

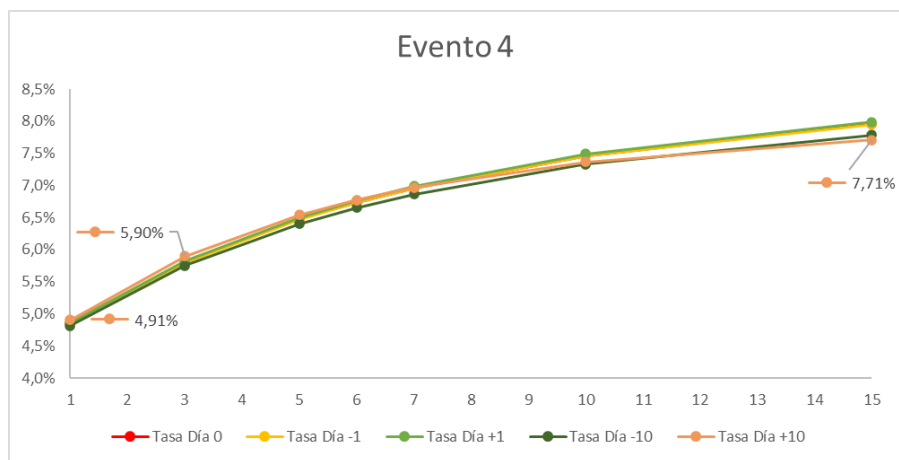
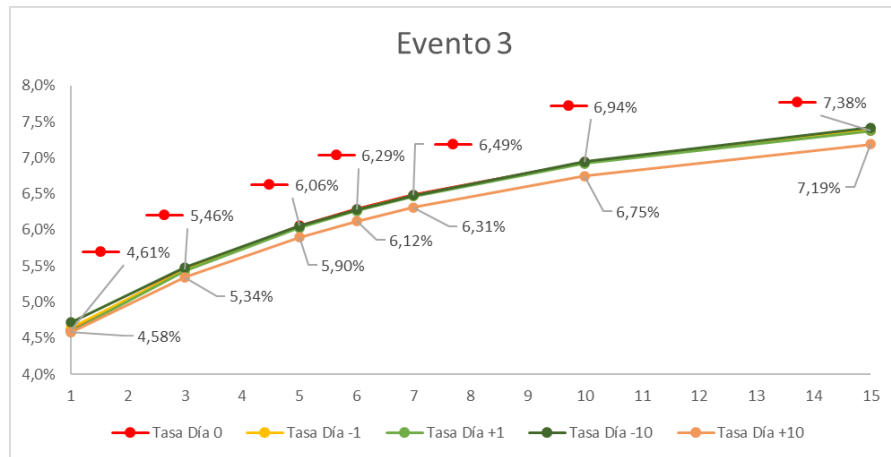
Una vez estudiado el comportamiento de los retornos y su significancia para cada uno de los eventos, se realiza una validación gráfica de las curvas que se generan para los días 0, +1, -1, +10, -10 bajo la metodología de Nelson y Siegel.

A continuación, se muestran los resultados del ejercicio gráfico:

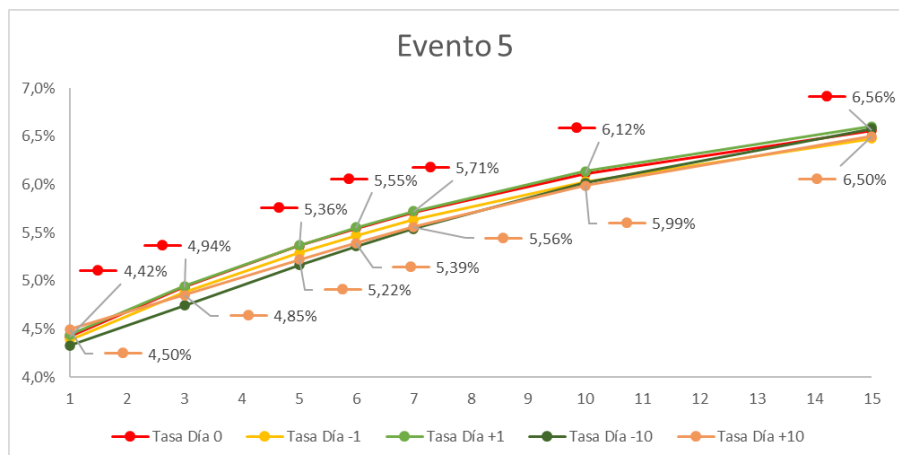


El evento 1 muestra cambios en las curvas de rendimiento en sus tres aspectos básicos curvatura, pendiente y nivel, para cada uno de los días determinados, el mayor cambio de nivel se presenta entre el día 0 con 7,16% y el día +10 con 6,96%, el tramo corto de la curva muestra cambios fuertes de pendiente para cada uno de los días, exceptuando el día +1, que parece conservar la pendiente del día anterior. Los tramos medios muestran cada uno variedad de pendientes y el tramo largo de la curva de 10 a 15 años finaliza en el día +10 de la ventana del evento con reducción de tasas cercana a los 22 pb de 7,99% en el día 0 al 7,99% en el +10.

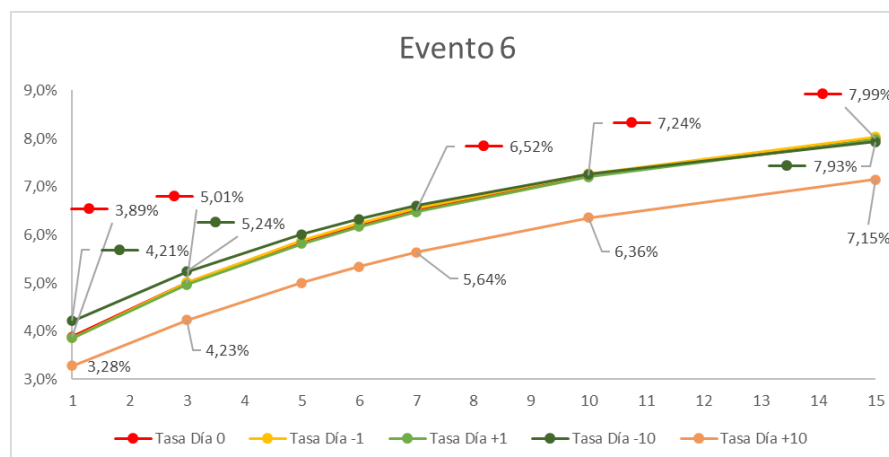




Los eventos 3 y 4 presentan gráficas, superpuestas de manera con pequeños cambios de pendiente en el tramo largo de la curva y niveles con variaciones pequeñas del orden de 3 puntos básicos.



En el evento 5 aun cuando las gráficas no se superponen una sobre otra se aprecia pequeñas separaciones entre ellas y se puede distinguir el trazo de cada día, se evidencia cambios en la pendiente en el tramo corto de la curva y cambios de nivel pequeños del orden de 8 pb. En el tramo largo las pendientes de las curvas se encuentran en el punto final marcando diferencia de tasas de -0,6% tras diez días de pasado el evento.



El evento 6 deja ver un efecto interesante de cambio de nivel sostenido a lo largo de la curva, marcado por un desplazamiento hacia abajo en el día +10, donde se conserva la misma pendiente del día 0, lo que podría inducir a un efecto a largo plazo en la curva como consecuencia del anuncio, en el tramo corto de la curva las tasas caen de 3,89% a 3,28%, los precios suben de \$110,590 a \$114,627; al finalizar el tramo largo se mantiene esa caída de tasas de 7,99% a 7,15% para el mismo día +10. En los demás días validados, el movimiento de las curvas es muy homogéneo, casi superpuestos en su totalidad, exceptuando el día -10 que marca pendientes diferentes en el tramo corto y medio de la curva (hasta los 7 años) y luego se superponen con el trazo de las otras curvas.

## 9. Conclusiones

- Al validar la afectación de la curva de rendimientos bajo el modelo de Nelson de Siegel, para un período de 10 años, ajustado según disponibilidad de información económica, se evidencia como principal característica en común dentro de los eventos estudiados, es que los que afectan la anatomía de la curva de rendimiento, son eventos del ámbito nacional, con un componente macroeconómico y un factor de mercado. Dentro de los eventos puntuales que se analizaron se pudo observar que los anuncios de inflación van a generar modificaciones a las curvas en su curvatura, pendiente y nivel y los eventos propios del mercado van a producir desplazamientos de la curva que pueden sostenerse a largo o mediano plazo, adicional a los ajustes en pendiente y nivel. Es de resaltar que ningún evento de naturaleza política ni origen extranjero haya afectado las curvas, pudiendo indicar que este tipo de eventos no permea la normalidad del mercado.

FECHA (dd/mm/aaaa)	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN			
		MACRO- ECONOMÍA	POLÍTICA	MERCADO	AMBITO NACIONAL
1/08/2016	Reporte de inflación Colombia durante el mes anterior en 4.07%.	X			X
5/08/2019	Reporte de inflación en Colombia durante el mes anterior en 3.73%.	X			X
29/04/2020	Cotización del dólar cierra en máximo histórico a \$4046,04.			X	X

La implementación realizada del modelo de Nelson y Siegel ajusta de manera óptima la información del mercado minimizando el cuadrado de los errores y logrando incorporar de manera coherente la relación entre las tasas forward y spot del mercado.

- De acuerdo con el estudio de eventos realizados, el 83% de ellos (5 de 6) presentaban retornos con significancia estadística al nivel determinado, lo que puede parecer un

porcentaje alto; sin embargo es importante tener en cuenta dos aspectos que son determinantes en la obtención del porcentaje: en primer lugar 5 eventos para 1214 datos, puede ser mucho o puede ser poco, dependiendo de las ventanas de estimación y evento que decida el investigador y hay que recordar que estas ventanas al no poder traslaparse entre sí pueden limitar un poco el número de eventos a evaluar bajo la metodología; en segundo lugar la selección de los eventos para el tipo de mercado puede verse limitado por el tamaño del mismo, mercados pequeños no se mueven con la misma fluidez y rapidez que mercados grandes y desarrollados donde existe una gran cantidad de información y donde cada minuto alguna noticia impacta algún activo financiero que lo compone, tercero, el tamaño de la ventana de estimación incide directamente en los resultados de la regresión por lo que se recomienda utilizar siempre las mayores ventanas de estimación posibles con el fin de capturar la mayor porción de información del mercado.

Los retornos anormales obtenidos tienen en un 97% magnitudes pequeñas del orden entre -1% y +1%; únicamente el 3% corresponde a retornos anormales con magnitudes mayores a 1% y los 4 corresponden al Evento 6.

Las sorpresas significativas del mercado, en total 10, indican aceptación del mercado en un 87,5% de los casos y únicamente el Evento 5 marca sorpresa negativa frente al anuncio. En el caso del evento 6, que corresponde a un máximo histórico hasta el momento de la valoración en la cotización del dólar, el signo de la sorpresa es positiva, aun cuando se esperaría que fuera contrario, lo que podría indicar un falso positivo o incluso indicar algo sobre la naturaleza de los portafolios de los inversionistas que podrían estar refugiados en monedas más fuertes que la nacional.

- Los retornos anormales acumulados (CAR) refieren de manera indirecta la eficiencia del mercado. Un mercado eficiente es aquel en el que se supone total disponibilidad de información para todos los agentes del mercado, permitiendo que todos los agentes tomen sus decisiones de inversión en consecuencia con la información existente y los retornos de los activos financieros mantengan sincronía con la normalidad del mercado. Un retorno anormal significativo en los días previos al día 0 del evento indica ineficiencia del mercado reflejada como una fuga de información. Bajo esta premisa y de acuerdo con la significancia de los retornos anormales acumulados se observa ineficiencia del mercado en los eventos 1, 5 y 6. Los eventos 1 y 5 corresponden a anuncios de inflación realizados por el DANE, dichos informes se realizan de manera mensual y los analistas previamente hacen sus proyecciones de estos indicadores de acuerdo al comportamiento observado en el mercado, lo que puede anular la percepción de ineficiencia del mercado y cambiarla por una anticipación coherente del mismo. En el caso del evento 6 no corresponde a un anuncio con cierta periodicidad, sino a un movimiento del mercado financiero como respuesta previsible a una serie de acontecimientos relacionados con la caída de los precios del petróleo que terminaron impactando la cotización dólar-peso colombiano para las fechas del evento.

- Con el fin de evitar sesgo en la investigación, se realizó el ajuste de regresión con los demás índices accionarios, renta fija y del mercado monetario vigentes en el mercado colombiano tomando los históricos de los mismos en la página de la Bolsa de Valores de Colombia y todos los casos evaluados se consiguió valores similares para  $\alpha$  y  $\beta$  a los obtenidos por la regresión con el COLCAP, de igual manera para el caso del método del

retorno promedio del mercado se obtuvo similitud en resultados y consistencia con las significancias obtenidas en la regresión COLCAP.

## 10. Bibliografía

Alfaro, R. (2009). La curva de rendimiento bajo Nelson -Sieguel. *Banco Central de Chile Documentos de Trabajo N°531*, 29.

Ang, A., Piazzesi, M., & Wei, M. (August de 2004). What does the yield curve tell us about gdp growth. *NBER Working Paper Series, National Bureau of Economic Research*.

Arango, L. E., Melo, L. F., & Vasquez, D. M. (18 de 01 de 2002). Borradores de Economía. *Borradores de Economía N196, Estimación de la Estructura a Plazos de las tasas de Interés en Colombia*. Banco de la República de Colombia. Recuperado el 28 de 08 de 2019, de <https://www.banrep.gov.co>: <https://www.banrep.gov.co/es/estimacion-estructura-plazo-las-tasas-interes-colombia>

Arango, L. E., Melo, L. F., & Vasquez, D. M. (s.f.). *Banco de la República Colombia*. Recuperado el 28 de 08 de 2019, de <https://www.banrep.gov.co>: <https://www.banrep.gov.co/es/estimacion-estructura-plazo-las-tasas-interes-colombia>

Arturo Estrella, A. R. (2003). How Stable is the Predictive Power of the Yield Curve? Evidence from Germany and the United States. *The Review of Economics and Statistics*, 85(3), 629-644.

Benninga, S. (2008). *Financial Modeling*. Cambridge, Massachusetts, London, England: The MIT Press.

Benzoni, L., Chyruk, O., & Kelley, D. (2018). Why does the yield-curve slope predict recessions? *Chicago Fed Letter*(404), 6.

- Berggrun P., L. (2006). La fusión de Bancolombia, Conavi y Confisura: Una Aplicación a la Metodología de Estudio de Eventos. *Estudios Gerenciales Universidad ICESI*, 20.
- Colombia, A. -A. (01 de 2017). *ANDI*. Recuperado el 31 de 07 de 2020, de <http://www.andi.com.co/Uploads/ANDI-Balance%202016-Perspectivas2017.pdf>
- Colombia, B. d. (2010). *www.banrep.gov.co*. Recuperado el 09 de 09 de 2019, de Borradores de Economía No. 605: <http://www.banrep.gov.co/es/relacion-variables-macro-y-curva-rendimientos>
- Cwik, P. F. (14 de May de 2004). An Investigation of Inverted Yield Curve and Economic Downturns. *Dissertation "An Investigation of Inverted Yield Curve and Economic Downturns"*. Auburn, Alabama.
- D., B. M., & M., M. T. (5 de Marzo de 2018). Economic Forecasts with the Yield Curve. *FRBSF Economic Letter*, 1-5.
- DANE. (24 de 09 de 2009). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE*. Obtenido de Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bolet\\_PIB\\_IItrim09.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bolet_PIB_IItrim09.pdf)
- DANE, D. A. (26 de 08 de 2020). *DANE Información para Todos*. Obtenido de DANE Información para Todos: [https://www.dane.gov.co/files/faqs/faq\\_pib.pdf](https://www.dane.gov.co/files/faqs/faq_pib.pdf)
- Deming, J. W. (1996). The Expectation Hypothesis, the Yield Curve, and Monetary Policy: Comment. *The Quarterly Journal of Economics*, 80(2), 333-335.
- Estrella, A. (2005). Why Does the Yield Curve Predict Output and Inflation? *The Economic Journal*, 115(505), 722-744.



Fernández-Corugedo, E. (15 de 07 de 2019). *Fondo Monetario Internacional - Diálogo a fondo*.

Recuperado el 04 de 04 de 2020, de Fondo Monetario Internacional - Diálogo a fondo:

<https://blog-dialogoafondo.imf.org/?p=11577>

Foundation, E. R. (2008). Inverted Yield Curve. *Economic and Political Weekly*, 43(30), 24-30.

Hardouvelis, A. E. (1991). The Term Structure as a Predictor of Real Economic Activity. *The*

*Journal of Finance*, 46(2), 555-576.

Horne, J. C. (1980). The Term Structure: A Test of the Segmented Markets Hypothesis. *Southern*

*Economic Journal*, 1129-1140.

Hu, Z. (1993). The Yield Curve and Real Activity. *Staff Papers (International Monetary Fund)*,

40(4), 781-806.

Internacional, F. M. (Octubre de 2019). *Fondo Monetario Internacional*. Obtenido de Informes

de Perspectivas de la Economía Mundial, octubre 2019:

<https://www.imf.org/es/Publications/WEO/Issues/2019/10/01/world-economic-outlook-october-2019>

Julio, J. M., Mera, S. J., & Revéiz Héroult, A. (2002). La curva Spot (Cero Cupón), Estimación

con splines cúbicos suavizados, usos y ejemplos. *Banco de la república Subgerencia*

*Monetaria y de Reservas*, 1-38.

Keen, H. (1989). The Yield Curve as a Predictor of Business Cycle Turning Points. *Business*

*Economics*, 24(4), 37-43.

McCulloch, J. (1971). Measuring the Term Structure of Interest Rates. *The Journal of Business*,

44(1), 19-31.

- Mishkin, F. S. (2008). *Moneda, banca y mercados financieros*. México: Pearson Educación.
- Moench, E. (2012). Term Structure Surprises: The Predictive Content of Curvature, Level, and Slope. *Journal of Applied Econometrics*, 27(4), 574-602.
- Nelson, C. R., & Siegel, A. F. (1987). Parsimonious Modeling of Yield Curves. *The Journal of Business*, 60(4), 473-489.
- Pantalone, C. C., & Platt, H. D. (1984). Riding the Yield Curve. *Journal of Financial Education*(13), 5-9.
- Paul R. Krugman, M. O. (2006). *Economía Internacional Teoría y Política*. Madrid (España): Pearson Educación S.A.
- PIMCO. (18 de 03 de 2020). *Market Intelligence by PIMCO*. Obtenido de Market Intelligence by PIMCO: <https://www.pimco.com.au/en-au/resources/education/investment-basics-yield-curve/>
- República, B. d. (27 de 08 de 2020). *Banco de la República Colombia*. Obtenido de Banco de la República Colombia: <https://www.banrep.gov.co/es/contenidos/page/qu-inflaci-n>
- Santana, J. C. (2008). La curva de rendimientos: Una revisión Metodológica y Nuevas Aproximaciones de Estimación. *Cuadernos de Economía*, XXVII(48), 71-113.
- Svensson, L. E. (1994). Estimating and Interpreting Forward Interest Rates Sweden 1992-1994. *NBER Working Paper Series*(4871).
- Taylor, M. P. (1992). Modelling the Yield Curve. *The Economic Journal*, 102(412), 524-537.
- Torous, A. R. (1997). The Cyclical Behavior of Interest Rates. *The Journal of Finance*, 52, 1519-1542.

Waggoner, D. F. (1997). Spline methods for extracting interest rate curves. *Federal Reserve Bank of Atlanta, Working Paper, No. 97-10*, 24.

Wood, J. H. (1964). The Expectations Hypothesis, The Yield Curve, and Monetary Policy. *The Quarterly Journal of Economics*, 78(3), 457-470.

Worley, R. B., & Diller, S. (1976). Interpreting the Yield Curve. *Financial Analyst Journal*, 32, 37-45.

Yardeni, E., & Tagg, M. (2019). Predicting the Markets, Topical Study #83, The Yield Curve: What's it Really Predicting? *Yardeni Research, Inc.*, 28.