

MODELO DE MONITOREO DE RIESGO DE MERCADO EN TÍTULOS DE RENTA FIJA EN UNA POSICIÓN PROPIA.  
(Nov 2015)

Autor: Jineth Marcela Jaime Patiño<sup>1</sup> – Brandon Camilo Blanco Romero<sup>2</sup> – Sergio Andrés Parra Pinzón<sup>3</sup> Tutores: Gregorio Gandini.

**Resumen** — El mercado de renta fija en Colombia, representa un vehículo de inversión muy importante para la economía, ya que por medio de este, se puede captar gran parte de la inversión extranjera indirecta. En este mercado, participan tanto las empresas privadas, por medio de la emisión de bonos corporativos, cuyos recursos son utilizados para fundear su operación o inversión en activos fijos. Por otro lado, el Gobierno Nacional también participa de manera activa en este mercado por medio de la emisión de deuda pública a través de los bonos. En Colombia, los bonos emitidos por el estado se llaman Títulos de Tesorería (TES), y los recursos captados a través de la emisión de estos son utilizados para financiar proyectos sociales, reforzar el presupuesto nacional, entre otros.

Este es un mercado más desarrollado que el mercado de renta variable, por lo cual es necesario realizar un correcto control y monitoreo del riesgo de mercado asociado a las operaciones realizadas en renta fija. Para esto, los entes de control como la Superintendencia Financiera disponen de ciertos controles de riesgo con el fin de regular el mercado. No obstante, estos controles muchas veces no son suficientes, lo que podría generar que la probabilidad de ocurrencia a pérdidas no estuviera cubierta en su totalidad generando un riesgo mayor (no observable) sobre las operaciones.

**Palabras clave**—

Convexidad, Precio, Duración Modificada, Duración, DV -1, Renta Fija, Stop Loss, Títulos de deuda pública, VAR (Value at Risk), Volatilidad.

**Abstract** — *The fixed income market in Colombia, represents an important investment vehicle for the economy, because through this, you can capture much of the foreign direct investment. In this market, involving both private companies, through the issuance of corporate bonds, whose resources are used to fund its operation or investment in fixed assets. Furthermore, the Government also participates actively in this market through the issuance of public debt through bonds. In Colombia, the state issued bonds called Treasury Securities (TES), and the funds raised to travez of issuing these are used to finance social projects, strengthen the national budget, among others.*

*This is a more developed than the equity market, so it is necessary to conduct a proper control and monitoring of market risk associated with operations in fixed-income market. For this, the control entities as the Financial Supervisory Authority have certain risk controls in order to regulate the market. However, these controls are often insufficient, which could*

*generate the probability of occurrence of losses estubiera not fully covered generating (unobservable) higher risk on operations.*

**Key Words**— Convexity, Price, Modified Duration, Duration, DV -1, Fixed Income, Stop Loss, Public Debt, VAR (Value at Risk), Volatility.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los entes de control de riesgo de mercado en el país, se concentran en una mayor proporción, por monitorear operaciones del mercado de renta variable y renta fija cuyos títulos sean emitidos por entidades diferentes al Gobierno Nacional. En muchos casos, los títulos emitidos por el Ministerio de Hacienda, en especial los Títulos de Tesorería (TES), carecen de un control suficiente por parte de los entes de supervisión.

Es por eso, que este modelo pretende generar un control riguroso en las operaciones de estos títulos para una Posición Propia (PP), ya que estos son los encargados de manejar los recursos propios de las compañías del sector financiero y los títulos nombrados anteriormente presentan altas volatilidades, en donde dependen de muchos factores de tipo exógeno y endógeno, que podrían alterar fuertemente su precio de mercado e incrementar el riesgo asociado a las actividades de negociación de inversiones en ellos.

La idea general, es crear un modelo que permita medir varios indicadores de riesgo de mercado para Títulos de Tesorería (TES), denominados en tasa fija en moneda de Unidad de Valor Real (UVR), y en Pesos Colombianos (COP). Tales indicadores le permitirán tanto al área de riesgos, como a los operadores de la PP una eficiente, eficaz y oportuna alerta para gestionar el debido manejo del riesgo de mercado asociado a las operaciones, con el fin de mitigar las pérdidas probables en las que se puedan incurrir.

Adicionalmente, este modelo cuenta con la ventaja de ser personalizado para cada uno de los operadores de la PP. Lo cual, permite tanto al área de riesgo como al operador identificar específicamente la actividad generadora del riesgo, de esta manera, poder mitigarlo desde su origen.

Objetivo General:

Estructurar un modelo que permita gestionar adecuadamente el riesgo de mercado en Títulos de Tesorería (TES), en una Posición Propia (PP).

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Financiera, Cursando X Semestre.

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Financiera, Cursando X Semestre.

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería Financiera, Cursando X Semestre.

Objetivos Específicos:

- Evidenciar el riesgo de mercado al que se encuentran expuestos, tanto los operadores, como la PP en su conjunto al momento de transar un TES denominado en Unidades de Valor Real (UVR) y Pesos Colombianos (COP).
- Implementar indicadores de riesgo de mercado sobre los TES que posea la PP, para una adecuada gestión del riesgo.
- Generar un control eficiente, eficaz y oportuno sobre las operaciones que se realicen en una PP en los títulos ya nombrados.

Problema de investigación a resolver:

¿Cómo se puede controlar con mayor rigurosidad el riesgo de mercado asociado a operaciones en Títulos de Tesorería (TES) realizado por la posición propia?

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

#### 2.1.1. MODELO PARA VALORACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RENTA FIJA EN ENTIDADES FINANCIERAS.

Autor(es): Manuel Hernán Suárez Lara.

Año: 2009.

Descripción: Este modelo pretende valorar instrumentos de renta fija teniendo en cuenta metodologías utilizadas, como por ejemplo el de los entes de control como la Superintendencia Financiera, robusteciendo dichas técnicas con el fin que pueda ser aplicable en instituciones financieras por medio de un reporte identificando las alertas en término de precios. Los métodos utilizados son los de valoración por precios y valoración por margen. Adicionalmente, el autor pretende utilizar las bases de datos de los proveedores de precios, y herramientas informáticas como Visual Basic for Applications, y Microsoft Access<sup>4</sup>.

#### 2.1.2. RIESGO EN RENTA FIJA, CASO COLOMBIANO. INVERSIÓN EN TES 2008.

Autor(es): Fernando de Jesús Franco Cuartas.

Año: 2008.

Descripción: El autor toma de referencia 5 tipos de Tes. Con esto, utiliza técnicas estadísticas para calcular el Valor en Riesgo y la sensibilidad de los títulos. Utiliza herramientas informáticas como Excel para el desarrollo del estudio.

El objetivo del proyecto es determinar el impacto que pueden generar las variables externas a los títulos como los choques económicos que se pueden presentar, partiendo del estado actual de

los títulos y de factores que presentan como las altas volatilidades<sup>5</sup>.

#### 2.1.3. GESTIÓN DE RIESGO EN INVERSIONES DE RENTA FIJA

Autor(es): Andrés Camilo Bustamante Vélez, Hugo Alberto Obando González.

Año: 2013.

Descripción del Modelo: Este trabajo pretende medir los riesgos en que los inversionistas se ven descubiertos al momento de realizar una inversión en un título emitido por el gobierno nacional, a su vez, el trabajo pretende identificar las herramientas financieras con las que se puede contar para minimizar los riesgos financieros.

Para la cuantificación del riesgo financiero, se toma como medida los indicadores de riesgo de mercado. Se presenta mayor énfasis en la en calcular la Duración del Bono, Duración Modificada, Convexidad y Valor en Riesgo VaR<sup>6</sup>.

## 3. MARCO CONCEPTUAL

### 3.1. TÍTULOS VALOR.

En el mercado de valores, se define como un título valor un documento el cual puede ser físico o no, que representa un derecho participativo o de deuda sobre un activo financiero. De esta forma, un título valor tiene la característica principal que puede ser negociado.

#### 3.1.1. CLASES DE TÍTULOS VALOR

- a) Títulos de Deuda: Son títulos que se caracterizan por ser aquellos que representan deuda emitida por alguna entidad, ya pueden ser de carácter público o privado. Estos títulos pueden ser “letras del tesoro, bonos, obligaciones, etcétera, comúnmente llamados activos del mercado de dinero o mercado monetario, instrumentos de renta fija o del mercado de capitales, según su plazo.” (Mato, 2007)
- b) Títulos Participativos: Los títulos participativos representan un derecho de propiedad sobre un activo, o sobre una parte de este. Estos títulos tienen la propiedad que pueden valorizarse dependiendo del incremento del valor del activo y en el mercado de capitales se encuentran en representados en acciones de renta variable.

<sup>4</sup>Este estudio fue encontrado en la página web: <https://revistas.upb.edu.co/index.php/cienciasestrategicas/article/view/587>

<sup>5</sup>Este Estudio fue encontrado en la página web: <http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/159/Gesti%C3%B3n%20de%20riesgos%20en%20inversiones%20de%20renta%20fija%20en%20Colombia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<sup>4</sup>Este estudio fue encontrado en la página web : <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis340.pdf>

### 3.1.2. TIPO DE VALORES EN EL MERCADO DE CAPITAL.

- a) Renta Variable: Los títulos de renta variable son títulos participativos cuya rentabilidad es medida por el incremento o disminución del valor del activo al que está asociado. En el mercado de valores, estos títulos son conocidos como acciones y generalmente la persona que tiene estos títulos recibe rentabilidad de estos ya sea por valorización de la compañía de la cual tiene participación, como de una parte de los ingresos que generó está en un periodo de tiempo establecido.
- b) Renta Fija: Son los títulos cuya rentabilidad no se mide por la valorización del activo asociado si no por los flujos de dinero generados durante ciertos periodos de tiempo establecidos antes del vencimiento de este título.

### 3.1.3. TÍTULOS VALORES RECONOCIDOS EN COLOMBIA

Según la ley 964 de 2005 <sup>7</sup> se reconocen como título valores los siguientes:

- ✓ Las acciones;
- ✓ Los bonos;
- ✓ Los papeles comerciales;
- ✓ Los certificados de depósito de mercancías;
- ✓ Cualquier título o derecho resultante de un proceso de titularización;
- ✓ Cualquier título representativo de capital de riesgo;
- ✓ Los certificados de depósito a término;
- ✓ Las aceptaciones bancarias;
- ✓ Las cédulas hipotecarias;
- ✓ Cualquier título de deuda pública.

### 3.1.4. TÍTULOS INDEXADOS

Son valores de renta fija cuyos flujos nominales están ajustados a un índice según magnitudes macroeconómicas. Algunos de estos son:

- ✓ Bonos indexados a la inflación.
- ✓ Bonos indexados al PIB.
- ✓ Bonos ligados a Commodities.

## 3.2. MERCADO BURSÁTIL

Es un mercado en el cual se relacionan operaciones o transacciones que se realizan en las diferentes bolsas del

mercado de valores alrededor del mundo; es decir, las operaciones realizadas con títulos y valores como lo son: las acciones, los bonos, los títulos de deuda pública, etc.

El mercado bursátil es considerado como un mercado centralizado y regulado.

### 3.2.1. CLASIFICACIÓN DEL MERCADO BURSÁTIL

- a) Según los activos que se transan: El mercado bursátil se divide por un lado según los activos que se transan en este, los principales son:
  - ✓ Mercado de Bonos.
  - ✓ Mercado de Divisas.
  - ✓ Mercado de Acciones.
  - ✓ Mercado de Commodities.
  - ✓ Mercado de Futuros
  - ✓ Mercado de Derivados.
  - ✓ Entre otros.

Cada uno de estos mercados cuentan con diferente regulación y son diferentes entidades quienes vigilan en debido funcionamiento de este.

- b) Según su estructura: Por otro lado, el mercado bursátil se divide según su estructura. Ya puede ser organizado como por ejemplo el mercado accionario de Colombia. Y los no organizados como el mercado de forex.

- c) Según la fase de negociación: Existen mercados bursátiles que se clasifican según el momento de la negociación del activo bursátil. En el mercado primario, se incluyen todos los activos que salen a negociación en el momento de emisión. Por otro lado, en el secundario, están todos los activos que son negociados luego del momento de su emisión.

## 3.3. MERCADO RENTA FIJA

Es el mercado por el cual se negocian títulos de renta fija u otros títulos diferentes a acciones como por ejemplo Bonos, Títulos de Tesorería (TES).

En Colombia, los títulos de renta fija del mercado primario y secundario son negociados a través del Mercado Electrónico de Colombia (MEC), el cual es administrado por la Bolsa de Valores de Colombia (BVC) y se evidencian las operaciones de negociación y registro.

### 3.3.1. BONOS.

Los bonos son instrumentos de renta fija emitidos por entidades de carácter público o privado, ya que les sirve a estos para financiarse.

En general, por medio de un bono la entidad capta recursos para fondar su operación, luego de un plazo definido

<sup>7</sup> Artículo 2, Capítulo 2 del Título Primero, de la ley 964 de 2005.

previamente, llamado maduración, la entidad devuelve estos recursos al tenedor del título. Adicionalmente, por ser un título de deuda la entidad ofrece un pago de interés por medio de cupones, el cual puede pagarse al tenedor al momento de la maduración del título o en diferentes momentos antes del vencimiento, los cuales están establecidos previamente.

a) Composición de los Bonos: Los bonos se componen de los siguientes elementos:

- ✓ Fecha de Emisión: Es la fecha en la cual es puesto el bono al mercado.
- ✓ Fecha de Vencimiento: También llamado fecha de maduración, es la fecha de terminación del título, en donde el emisor<sup>8</sup> debe devolver los recursos captados al tenedor del título.
- ✓ Cupón: Es el interés que se le paga al tenedor del título el cual está pactado, tanto en el monto a pagar como en los plazos de pago. Este puede ser de tipo fijo por ejemplo 2%, o de tipo variable, el cual puede tener en cuenta la inflación más una parte fija, por ejemplo 2% más el valor porcentual de la inflación al momento del pago del cupón.
- ✓ Valor Nominal: Es el valor en dinero por cada bono emitido.
- ✓ Nemotécnico: Es una secuencia de caracteres, el cual sirve para nombrar al título. Por ejemplo, para los títulos de tesorería TES, con vencimiento a julio de 2024 el nemotécnico es TFIT16240724 El cual se divide de la siguiente manera: TIFT quiere decir que es un Tes a Tasa Fija, "16" es la cantidad de años de duración del título y "240724" es la fecha de vencimiento.

b) Tipos de Bonos.

- ✓ Genéricos: Son bonos cuyas características son que tienen un mismo emisor, el nemotécnico es igual, pero son emitidos en diferentes plazos y los vencimientos también son en diferentes periodos de tiempo. Por ejemplo, los bonos pensionales funcionan de esta manera.
- ✓ No genéricos: Son bonos que se caracterizan por tener diferentes nemotécnicos, los cuales son más fáciles de identificar que los genéricos. Por ejemplo: Los Títulos de Tesorería (TES).

c) Clases de Bonos.

- ✓ Bonos Corporativos: Son instrumentos de deuda emitidos por sociedades anónimas y otro tipo de entidades financieras, como por ejemplo los bonos emitidos por Ecopetrol. Con el fin de obtener recursos a través del mercado de valores para fondear

su operación o expansión. Estos instrumentos de inversión son emitidos con el fin de financiar proyectos de inversión a largo plazo. Este tipo de bonos va dirigido a todo tipo de inversionistas.

- ✓ Bonos de Deuda Pública: Son emitidos a través de entidades estatales como por ejemplo el Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Estos recursos son utilizados con el objetivo de financiar proyectos públicos o para reforzar el presupuesto nacional.

d) Valoración de Bonos: Un título valor de renta fija genera un flujo de pagos predeterminado, debido a que los pagos son fijos, el valor de los bonos fluctúa con los cambios en las tasas de interés, generando una pérdida potencial. Por lo cual, se puede determinar el valor actual del bono teniendo en cuenta el precio sucio y los intereses generados hasta el momento de la valoración.

$$P = \sum_{t=1}^T \frac{Ct}{(1+y)^t}{}^9$$

Dónde:

Ct = El cupón o pago del principal o ambos en periodo de t  
T = El número de periodos (anual, semestral, etc.) para cada pago.

.t = El número de periodos para el vencimiento.

.y = El rendimiento al vencimiento para el bono en particular.

Para las tasas de rendimiento compuestas se utiliza la siguiente valuación:

$$P = \sum_{t=1}^T Cte^{-yct}$$

e) Curva de Rendimientos: Es una estructura de las tasas de interés, donde se representa gráficamente por una parábola la relación entre la duración del título y el rendimiento al vencimiento del instrumento de deuda o de renta fija dentro de un nivel de riesgo dado.

Esta estructura está basada en bonos de rendimientos a la par, utilizando el vencimiento de los bonos con un cupón cercano a su vencimiento. Las curvas de los rendimientos se construyen con base en los precios que se negocian los títulos en un momento dado, a partir de los cuales se calculan los rendimientos correspondientes a los títulos específicos para los diferentes plazos de vencimiento.

<sup>8</sup> Es la entidad de carácter público o privado que pone al mercado el título de deuda (bono).

<sup>9</sup> Tomado de: (Martellini, Priaulet, & Priaulet, 2003)

En general pueden distinguirse cuatro formas básicas con respecto a la curva de rendimientos:

- 1) **Curva ascendente:** Indica que los inversionistas requieren mayores rendimientos para vencimientos de más largo plazo. Es decir que los rendimientos tienen una relación directa con respecto a los plazos. Generalmente es dada cuando las tasas de interés son bajas y la política monetaria es expansiva, evidenciando una estabilidad para la economía al largo plazo.
  - 2) **Curva descendente:** Indica que los rendimientos disminuyen a medida que aumentan los plazos, lo cual es el peor de los casos ya que esto sería el reflejo de una economía deprimida y con graves problemas al mediano plazo.
  - 3) **Curva Horizontal:** Indica que los rendimientos son los mismos independientemente del plazo. Cuando los periodos son muy largos, las curvas de los rendimientos tienden a aplanarse.
  - 4) **Curva creciente y luego decreciente:** Es dada cuando las tasas de corto plazo crecen, para descender en forma decreciente y aplanarse luego en periodos largos.
- f) **Duración:** Es un indicador útil para evaluar el riesgo de mercado. La duración muestra el vencimiento medio ponderado de los flujos financieros previstos por la cartera. Cuando la duración es un indicador de mayor riesgo.

$$D = \frac{1+r}{r} - \frac{1+r + [n(C-r)]}{[C((1+r)^n - 1)] + r}^{10}$$

Dónde:

r: TIR

C: Cupón

N: Tiempo al Vencimiento

- g) **Duración Modificada:** A este indicador también se le conoce como sensibilidad, y es igual a la duración corregida por el nivel de tipos de interés. Este nos permite aproximar la variación del precio de un bono o cartera de bonos ante variaciones de los tipos de interés del mercado.

$$Duración\ Modificada = Duración / (1 + TIR)^{11}$$

- h) **Convexidad:** Cuando la variación en la Tasa Interna de Retorno (TIR) o en los tipos de interés es muy grande, la duración y la duración modificada no son buenos indicadores del nuevo precio del bono. Por lo cual, es importante calcular la convexidad para medir de una mejor forma el riesgo asociado al título.

$$C = \frac{[2C(1+r)^2 \left( (1+r)^n - \frac{1+r+rn}{1+r} \right)] + [n(n+1)r^2(r-C)]}{r^2(1+r)^2[C(1+r)^n - 1] + r}^{12}$$

- i) **Precio Sucio:** También conocido como precio completo. Éste es el valor real de un bono incluyendo el valor de cualquier interés acumulado. Esto contrasta con el precio limpio, que no incluye los intereses acumulados. Los mediadores que cotizan precios de bonos por lo general cotizan precios limpios.

$$PS = PRECIO\ LIMPIO + ACUMULADO$$

- j) **Precio Limpio:** A comparación del precio limpio, este no tiene en cuenta los intereses acumulados hasta la fecha de cálculo sino hasta el pago del último cupón vencido.

$$PL = PRECIO\ SUCIO - ACUMULADO$$

- k) **Sensibilidad del título (DV-1):** Es una medida de sensibilidad que mide el valor en dinero generado ante una variación positiva o negativa del punto básico sobre el título.

$$DV1 = Duración\ modificada * Precio\ sucio * 1000$$

### 3.3.2. PRINCIPALES BONOS DE DEUDA PÚBLICA.

- a) **Títulos de Tesorería (TES):** En Colombia, estos títulos se conocen como Títulos de Tesorería (TES), que son emitidos por el Gobierno Nacional a través del Ministerio de Hacienda y Crédito Público y custodiados por el Banco de la República, los cuales se pueden negociar por medio del mercado terciario. Estos son emitidos a través de una subasta y su rendimiento será determinado por medio de la demanda y oferta que exista de estos títulos al momento de su emisión.

Estos títulos pueden ser emitidos en moneda local (Pesos Colombianos), moneda extranjera y en unidades de valor real (UVR).

<sup>10</sup> Tomado de : (de Lara Haro, 2005)

<sup>11</sup> Tomado de: (de Lara Haro, 2005)

<sup>12</sup> Tomado de: (de Lara Haro, 2005)

✓ Clases de TES.

1. TES Clase A: Son títulos emitidos con el objetivo de financiar el déficit existente en el pasivo del Banco de la República.
  2. TES Clase B: Son utilizados para financiar al gobierno nacional y sus proyectos.
- b) Títulos de Devolución de Impuestos (TIDIS): Estos títulos son emitidos por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público y como su nombre lo indica funcionan con el objetivo de generar devolución de impuestos adicionales que haya pagado alguna compañía. Estos títulos cuentan con las características que son emitidos a un plazo máximo de un año (1) y solo se puede utilizar para el pago de impuestos. Cuando una empresa necesita liquidez, vende estos títulos a un precio menor y la contraparte adquiere el beneficio sobre el título, el cual le permitirá disminuir el valor a pagar de sus impuestos. Por ejemplo, la empresa A pago \$1100 de impuestos cuando en realidad debía pagar \$1.000, entonces la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) le entrega un TIDIS por el valor de \$100. Al momento que la empresa necesita liquidez, le entrega el título a la empresa B por el valor de \$99, por lo cual la empresa A obtuvo liquidez y la empresa B obtuvo un título para pagar \$100 de impuestos que solo le costó \$99.
- c) Bonos Pensionales: Son títulos emitidos por el gobierno colombiano, con el objetivo de financiar las pensiones de los afiliados en el Sistema General de Pensiones.

### 3.4. RIESGOS FINANCIEROS:

El riesgo, en términos financieros podría definirse como la medición de la probabilidad de ocurrencia de un evento, que en resultado genere pérdidas económicas afectando los resultados consolidados de una compañía o de un inversionista.

El **Riesgo de Mercado** describe la probabilidad de ocurrencia de un evento, que por factores propios del mercado de valores afecte el rendimiento de una inversión. Es decir, este tipo de riesgo esta netamente ligado al mercado de capitales y aplica en todo el sentido de la palabra a los títulos de renta fija. En Colombia, es la Superintendencia Financiera la entidad que controla y regula el riesgo de mercado.

Para medir el riesgo de mercado existen diferentes metodologías matemáticas, los cuales se describirán a continuación:

### 3.4.1. MEDICIÓN DE RIESGO DE MERCADO.

- a) Valor en Riesgo (Value at Risk-VaR): Este es el indicador más conocido, y tal vez el que mejor mide el riesgo de mercado. Algunos autores definen al VaR como “Un método para cuantificar la exposición al riesgo de mercado por medio de técnicas estadísticas tradicionales” (de Lara Haro, 2005).

Adicionalmente, esta medida o indicador, se puede aplicar a las instituciones del sector financiero, principalmente para calcular el riesgo de mercado. No obstante, se puede utilizar para calcular otro tipo de riesgos.

Para el cálculo del VaR, se tienen en cuenta principalmente la volatilidad y un nivel de confianza dada la distribución normal estándar inversa.

$$VaR_{(Bono)}(p) \approx D^m * \sigma_r * \gamma_{(p)} * \sqrt{t} * \vartheta^{13}$$

Dónde:

$D^m$ : Es la duración modificada. Hay que tener en cuenta, que solo se incluye este rubro en el cálculo del VaR, cuando se trata de un activo de renta fija. Para el caso de los títulos de renta variable se debe omitir este ítem.

$\sigma_r$ : Es la volatilidad del título. Para el presente modelo, se calculará teniendo como referente el modelo de volatilidad histórica y ewma.

$\gamma_{(p)}$ : Nivel de significancia de la distribución estándar inversa a la probabilidad p.

$\sqrt{t}$ : La raíz del tiempo (t), por lo cual tiene en cuenta el horizonte de tiempo exacto para el cual se quiere calcular el VaR.

$\vartheta$ : Es el valor neto de la posición.

Estadísticamente, el VaR se basa inicialmente en la distribución de pérdida. Si se considera la función de pérdida de un portafolio inicialmente como  $FL = P(L \leq l)$ , se puede definir un estadístico que indique la severidad del riesgo de mantener ese portafolio:

$$F(x) = P[X \leq x] = \int_{-\infty}^x f(t) dt ; F(x) \in (0,1)^{14}$$

Por otro lado, la Función Cuantil, es la función con la cual se describe estadísticamente al VaR. Esta, es definida como la inversa de la función de pérdida  $F(x)$  así:

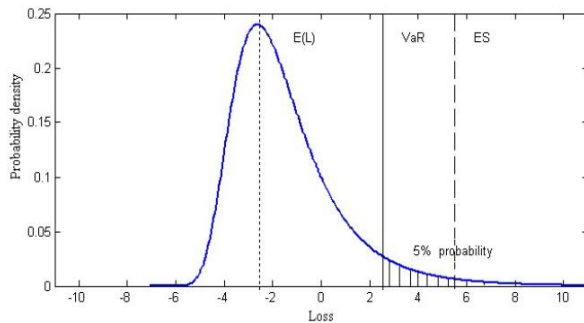
<sup>13</sup> Tomado de: (McNeil, Rüdiger, & Embrechts, 2005)

<sup>14</sup> Tomado de: (McNeil, Rüdiger, & Embrechts, 2005)

$$Q[p] = F^{-1}[p]; F[x] = Q^{-1}[x]; p \in (0,1)^{15}$$

Por lo cual, el Valor de Riesgo es una Función Cuantil.

Grafica 1: Función de Distribución de la Pérdida.



Fuente: (McNeil, Rüdiger, & Embrechts, 2005)

- b) Expected Shortfall ES - (CVar): En los mercados actuales, dados los factores coyunturales, se podría llegar a subestimar el VaR de lo que realmente se estima, a partir de esto, podría presentarse en algún momento un gap de precios, lo cual saltaría el VaR, generando pérdidas mayores sin tener que tocar el nivel del VaR ya calculado. Es por eso que existe un indicador que permite estimar una mayor pérdida posible que es el Expected Shortfall (ES) o VaR Condicionado (CVar). El cual estima una pérdida mayor al VaR, teniendo en cuenta la estructura de la distribución de la cola.

Por lo cual, ES se podría definir de la siguiente manera:

$$ES_{(\tau)} = -E[X|X \leq -VaR_{(\tau)}]^{16}$$

### 3.5. POSICIÓN PROPIA.

La posición propia (PP) es una parte de las instituciones financieras que se encarga de realizar negociaciones de inversión y especulación por medio del mercado de capitales con recursos propios de la entidad financiera. Adicionalmente todas las operaciones de apalancamiento son garantizadas por la institución.

En Colombia, las operaciones de negociación de la PP tienen mayor concentración en títulos de renta fija, en especial en TES. Esto se da teniendo en cuenta que la regulación y los límites de trazabilidad para estos títulos son bajos, lo que permite movimientos más fuertes en esta materia.

## 4. MARCO LEGAL Y EVOLUCIÓN DEL TIPO DE RIESGO SELECCIONADO, CON RESPECTO A BASILEA

Los acuerdos de Basilea son presentados inicialmente en diciembre de 1987 por el Grupo de Diez (Bélgica, Canadá, Francia, Alemania, Italia, Los países bajos, Suecia, Japón, Gran Bretaña y Estados Unidos). La iniciativa regulatoria para la medición del riesgo de mercado surge a raíz de las crisis financieras mundiales, a partir de los desastres financieros presentados a lo largo de la historia, el comité de Basilea constituye acuerdos, los cuales han ido evolucionando en función del tiempo, con el fin de reducir al máximo el endeudamiento de las entidades generando un sistema financiero más seguro y confiable.

Los acuerdos de Basilea conllevan a un proceso riguroso en la administración del riesgo, para prevenir situaciones de pérdidas financieras, que son la consecuencia de fallas en el control del riesgo de mercado en las entidades.

El acuerdo de Basilea II, como primer pilar define los requerimientos mínimos de capital, basado en el acuerdo ya existente de Basilea de 1988 (Basilea I). Lo que se pretende con este Pilar es que las entidades financieras puedan realizar coberturas contra el riesgo de mercado, con el fin de medir diversas sensibilidades de riesgo a las que se encuentran expuestas las entidades, a partir de esto, se define el cálculo del capital mínimo requerido por una entidad financiera, obtenido por el patrimonio técnico dividido en los activos ponderados por riesgo (Riesgo Crediticio + 12,5; + Riesgo de Mercado + Riesgo Operacional), lo cual establece que el requerimiento mínimo de capital no puede descender por debajo del 8%. Lo anterior es también conocido como relación de Solvencia, pues define el capital que se tiene como respaldo ante una operación financiera.

A partir de esto, el acuerdo de Basilea II plantea una serie de métodos para que los bancos calculen su capital regulador, por consiguiente se presentan varias metodologías para el cálculo del riesgo de crédito, una de ellas es dada por la metodología estándar calculada por la probabilidad de incumplimiento (PD) o pérdida dado el incumplimiento (LGD), donde estas son calculadas a través de calificadoras de riesgo con el fin de generar mayor sensibilidad a los riesgos para el cálculo del requerimiento mínimo de capital. Otras metodologías permiten a las entidades financieras definir la modelación de capital requerido para cada crédito, según los parámetros, es decir basado en calificaciones internas establecidas por las entidades, teniendo en cuenta las diferentes probabilidades de incumplimiento.

Como segunda instancia Basilea plantea a las entidades financieras el desarrollo de técnicas para la adecuada gestión del riesgo, con el fin de contar con el capital necesario para cubrir las diferentes exposiciones de pérdida financiera. Es por eso que las entidades deben controlar el proceso de supervisión de la gestión de los fondos propios, con el fin de validar los métodos estadísticos utilizados, para obtener una planificación futura por medio del almacenamiento de la información y la correspondiente auditoría.

A consecuencia de esto surge la necesidad de generar mayor disciplina en el mercado, donde los entes de control y las entidades financieras deben acordar la divulgación de la

<sup>15</sup> Tomado de: (McNeil, Rüdiger, & Embrechts, 2005)

<sup>16</sup> Tomado de: (McNeil, Rüdiger, & Embrechts, 2005)

información, promoviendo transparencia en el mercado, al informar periódicamente la exposición del riesgo a la que se encuentran expuestas las entidades financieras.

En Colombia a partir de la implementación de los acuerdos propuestos por Basilea, ha acogido el valor en riesgo como una medida estándar en la medición y control del riesgo de mercado. Por lo tanto, las entidades financieras han ido desarrollando diversas metodologías para el cálculo del valor en riesgo (Var) entre ellas la medición estándar o modelos internos.

A mediados del año 2001, las entidades financieras en Colombia no contaban con los indicadores necesarios ni la información suficiente para valorar las inversiones, como consecuencia a esto, se da paso a la creación de nuevos indicadores de mercado, promoviendo la recopilación de los títulos tranzados y la administración de portafolios, promoviendo la medición en las volatilidades en tasas de interés y las tasas de cambio, con el fin de obligar a los inversionistas a controlar los diversos comportamientos económicos que están relacionados directamente con el plazo y la duración de los títulos.

A partir del decreto 2555 de 2010, la Superintendencia Financiera de Colombia exige ciertas normas que deben ser aplicadas a las entidades financieras que transan en el mercado, con el fin de proteger y brindar seguridad y transparencia en las operaciones realizadas.

Por ende, las entidades deben cumplir con las normas expuestas sobre los niveles de patrimonio y la relación mínima de solvencia, donde los niveles de patrimonio en una sociedad comisionista de bolsa están dados por la suma de su capital primario y secundario. Artículo 2.9.1.1.4 (Art. 2.2.1.4. de la Res. 400 de 1995 Modificado Res. 211 del 30 de marzo de 2005, art. 1º. Modificado Res. 513 Del 06/08/2003, art. 1º.) Y Artículo 2.9.1.1.6 (Art. 2.2.1.6. de la Res. 400 de 1995-Modificado Res. 211 del 30 de marzo de 2005, art. 1º. Modificado Res. 513 Del 06/08/2003, art. 1º).

En cuanto a la relación de solvencia en Colombia, se establece una solvencia mínima del 9% con respecto a la que se propone en Basilea III, esta relación de solvencia es calculada al obtener el valor del patrimonio técnico, dividido en la sumatoria de los niveles ponderados por nivel de riesgo más el valor de la exposición por riesgo de mercado multiplicado por 100/9 y el valor de la exposición por riesgo de liquidación / entrega multiplicado por 100/9.

Las entidades deben cumplir con los niveles mínimos de solvencia exigidos ya que la Superintendencia Financiera de Colombia vigila el cumplimiento de los niveles adecuados de patrimonio y solvencia, en caso de que no se cumpla con la normatividad se impondrá las sanciones correspondientes.

La acumulación de los riesgos y computo de los mismos para determinar los límites de concentración en las entidades que tranzan en el mercado, deben ser controlados diariamente como lo exige la norma de la Superintendencia Financiera con el fin de obtener una acumulación de los riesgos frente al emisor. Para establecer situaciones de concentración, se debe tener en cuenta el rubro de todas las inversiones que sean

efectuadas por cuenta propia o recursos propios. Para calcular los límites de las operaciones a plazo y carrusel no podrá exceder el valor del patrimonio técnico de la sociedad comisionista de bolsa en un 4,5% de la suma de las posiciones largas y cortas. A su vez, se debe establecer sistemas de monitoreo y seguimiento sobre los límites de concentración del riesgo, con el fin de informar a las juntas directivas sobre situaciones de concentración. La superintendencia Financiera de Colombia exige que toda concentración de riesgo que exceda los límites máximos por parte de las sociedades comisionistas de bolsa deba ser reportada por parte de la entidad acompañada de un plan de ajuste con el fin de mitigar la situación de exceso, hecho que será autorizado únicamente por la Superintendencia Financiera de Colombia.

Con el fin de medir indicadores de mercado para Títulos de Tesorería denominados en tasa fija en Unidad de Valor Real (UVR), es necesario hacer énfasis en la Circular 955 de 2000, ya que esta define y explica las diversas características de esta unidad de valor real (UVR), donde se refleja el poder adquisitivo de la moneda en base a las variaciones presentadas en el índice de los precios al consumidor. Por consiguiente, el gobierno nacional determina la relación entre la UVR y la Unidad de Poder Adquisitivo Constante (UPAC). Esta ley infiere que las entidades financieras pueden otorgar créditos denominados en moneda colombiana o en UVR y que el gobierno Nacional es el encargado para emitir y entregar Títulos de Tesorería TES, denominados en UVR; presentando una duración de diez años de plazo.

## 5. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Se busca comprobar que la medición del riesgo de mercado para títulos de tesorería (TES) reduce en un alto grado la probabilidad de incurrir a pérdidas, ya que se establece un stop loss determinado por medio del Valor en Riesgo (VaR) y una medida adicional en caso de exceder el límite de VaR llamado Expected Shortfall (ES), ayudando al área de riesgo a mantener un control de las operaciones por parte de la Posición Propia y de sus operadores.

## 6. DESARROLLO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

### 6.1. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Las variables que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del problema de investigación fueron dadas a partir de una serie de datos con fuentes externas para alimentar las bases de datos y posteriormente realizar cálculos. Los criterios de selección en la información son dados de la siguiente manera:

- ✓ Bases de Datos: Por medio del Mercado Electrónico Colombiano (MEC) - SIOPEL, se obtuvo la información de los operadores con el fin de alimentar las bases de datos y realizar los posteriores cálculos. Estos datos tienen una periodicidad diaria y reflejan las características de las operaciones efectuadas, tanto



por la posición propia (PP) como de cada uno de los operadores de la PP, estas características son: Fecha, hora, Nombre del operador, título operado, rueda de negociación<sup>17</sup>, precio de negociación, tipo de operación (compra/venta), tasa equivalente, y valor neto<sup>18</sup>.

- ✓ Información de los Títulos: Se obtuvo la información de diecisiete títulos TES denominados en UVR y COP. La información propia de los títulos, como la descripción, los precios actuales, la tasa interna de retorno (TIR), el cupón, los días al vencimiento, la moneda, entre otros son tomados de Bloomberg. Se dispone en total de 240 observaciones desde la semana del 15 de septiembre del 2014 hasta el 12 de noviembre del 2015.

## 6.2. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.

Se estimará el cálculo de los indicadores de riesgo de la siguiente manera:

- a) Es importante mencionar que existen dos formas de pronosticar la volatilidad, los cálculos de la volatilidad son basados en pronósticos de series de tiempo. La volatilidad exponencial, también conocida como volatilidad dinámica, mide la desviación estándar en los precios de en rendimiento de los precios, se tiene en cuenta un factor de decaimiento  $\lambda$ , de comportamiento exponencial, con el fin de presentar mayor importancia a los datos recientes para el cálculo de la volatilidad. Por otro lado, la volatilidad histórica, asume todas las observaciones obtenidas con la misma importancia.

Las Volatilidades de los títulos denominados COP o UVR, en el desarrollo del modelo fueron calculadas de las dos formas, con el fin de estudiar su comportamiento y determinar cuál de los dos métodos se ajusta más según los resultados.

Donde la volatilidad histórica es dada por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_t - \bar{r})^2} \quad 19$$

Y la volatilidad Exponencial está dada a partir de la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{(1 - \lambda) \sum_{t=1}^T \lambda^{t-1} (r_t - \bar{r})^2} \quad 20$$

Con el fin de determinar el factor de decaimiento ( $\lambda$ ) para el desarrollo del modelo propuesto y generar mayor ponderación en los datos recientes, se toma como referencia las recomendaciones sugeridas por Risk Metrics (Gráfica 2), por lo tanto, para un nivel de confianza del 99%, se toma como referencia un lambda de 0,98 partiendo de un total de observaciones de 240 datos.

*Tabla 1: Días de datos históricos según el nivel de tolerancia.*

Factor de Decaimiento	0,001%	0,01%	0,1%	1%
0,85	71	57	43	28
0,86	76	61	46	31
0,87	83	66	50	33
0,88	90	72	54	36
0,89	99	79	59	40
0,9	109	87	66	44
0,91	122	98	73	49
0,92	138	110	83	55
0,93	159	127	95	63
0,94	186	149	112	74
0,95	224	180	135	90
0,96	282	226	169	113
0,97	378	302	227	151
0,98	570	456	342	228
0,99	1146	916	687	458

Fuente: (Risk Metrics , 1996).

- b) Valor en Riesgo: La modelación se realizó por medio del método del Var Paramétrico, ya que esta metodología incluye una aproximación “varianza-covarianza” o la aproximación “delta, gamma”, este se utilizó, ya que se observó que los rendimientos de los activos son independientes y normalmente distribuidos. En los métodos no paramétricos, se observa cómo ha cambiado el valor del portafolio, dado los datos históricos sobre los rendimientos. Lo anterior conlleva a obtener una cifra representativa del VaR, expresada en unidades monetarias, que señala la mayor pérdida de la cartera para un período dado y a un nivel de confianza elegido.

A continuación, se describe los cálculos efectuados en el modelo:

<sup>17</sup> Para efectos del presente trabajo, solo se tomarán los títulos negociados en la rueda SPOT.

<sup>18</sup> Aunque la base de datos calcula el valor neto, los autores han preferido realizar su propio cálculo para este rubro.

<sup>19</sup> Tomado de: (Risk Metrics , 1996)

<sup>20</sup> Tomado de: (Risk Metrics , 1996)

Cuando se considera un portafolio conformado por más de un activo, se debe tener en cuenta no sólo los rendimientos esperados y sus correspondientes desviaciones estándar, sino también las relaciones que existen entre ellas. Así mismo, no solamente se necesitará asumir un comportamiento de las series sino también necesitaremos calcular más parámetros, pues no solo requeriremos las medias y desviaciones estándar sino también de las covarianzas.

Con el fin de obtener un mejor análisis en las observaciones analizadas, se calcula el Var total del portafolio y el Var individual de cada operador. Este cálculo es obtenido a través de la siguiente fórmula:

$$VaR_{(Bono)}(p) \approx D^m * \sigma_r * \gamma(p) * \sqrt{t} * \vartheta$$

Es importante resaltar que para el cálculo del Var, se toman los resultados obtenidos a partir de las volatilidades de los títulos  $\sigma_r$ , tanto de la forma exponencial como la histórica.

El cálculo del Valor en Riesgo para el portafolio se realiza de manera no diversificada por medio de la sumatoria de los VaR de cada uno de los activos que componen el portafolio, sin tener en cuenta el efecto de diversificación del portafolio. Para tomar este efecto en la máxima pérdida esperada en el portafolio se calculó por medio del VaR Diversificado, el cual realiza el cálculo para el portafolio de manera consolidada, teniendo en cuenta la volatilidad del portafolio por medio de las matrices de correlación y varianzas

- c) CVar o ES: En este modelo se incluye Pérdida adicional a la que se podría llegar en caso de exceder los límites de VaR como la integral bajo la curva de las pérdidas que podrían generar el valor en riesgo en función de la distribución de las pérdidas, tal como lo muestra la siguiente notación:

$$ES\sigma = \frac{1}{\alpha} \int_0^\alpha Var \gamma(X) dy$$

- d) Se calcularon las medidas de sensibilidad como duración, duración modificada y convexidad utilizando las formulas propuestas en el marco teórico como indicadores de riesgo e insumos para el cálculo del VaR.
- e) Stop Loss: Con el fin de generar mayor control en el monitoreo del mercado, es indispensable calcular Stop Loss, permitiendo a los operadores identificar su máxima exposición en el mercado. El cálculo de los mismo es dato a partir de la siguiente ecuación:

$$SL = (Vn - Var)/N$$

Dónde:

Vn = Valor Neto

Var = Var Histórico o Var Ewma

N = Valor Nomina.

Hay que tener en cuenta que este cálculo se realizó teniendo en cuenta el valor del VaR. Es decir, que este indicador muestra a que precio se materializa el valor del riesgo para el activo.

- f) Valor del punto Básico:

$$DV1 = DM * P * 1.000$$

Donde DM es la duración modificada del bono, P el precio multiplicado por la variación de los puntos básicos, el cual refleja el valor en pesos del punto básico, utilizado para medir monetariamente la ganancia o pérdida real en cada movimiento del precio de este.

## 7. MODELACIÓN.

Como primera instancia se genera una base con relación a los precios actuales de los títulos TES seleccionados, denominados en UVR y COP, esta base debe contener el nemotécnico de los títulos que se van a analizar, el precio y la tasa interna de retorno (TIR) del día actual, frente a la TIR del día anterior, para realizar un comparativo en el comportamiento de los precios, de esta forma se logra calcular las expectativas de la inflación a la que se encuentra expuesta el mercado seleccionado.

Para obtener el cálculo del Valor en Riesgo (VaR) del portafolio tanto de los operadores, es indispensable calcular las volatilidades en los precios. En este modelo, se plantea obtener los cálculos por medio de los dos métodos de las volatilidades expuestos anteriormente, con el fin de determinar según su estructura matemática cual se ajusta mejor a la dinámica de los retornos obtenidos.

Para generar indicadores de mercado que alerten de forma preventiva las posibles situaciones de riesgo, se monitorea las posiciones de dos formas: La primera, calculando el VaR total del portafolio, y la otra de manera individual calculando los indicadores de riesgo y sensibilidad para cada operador.

A partir de la información de las bases históricas se procede a calcular el Var total del portafolio; para la medición del valor en riesgo, con el fin de presentar un mejor análisis en los cálculos, se propone modelar el VaR Diversificado, VaR no Diversificado y CVar del portafolio total, pues lo que se busca es comparar con diferentes lapsos de tiempo y niveles de confianza los resultados obtenidos según el tipo de escenario. Los tiempos de exposición del riesgo estipulados para la comparación son: un 1 día, 10 días, 30 días, 90 días, 180 días y 360 días, y los niveles de confianza a analizar son: 90%, 95% y 99%.

En cuanto a las posiciones de los operadores, es importante contar con la información de cada título TES como lo son: la fecha de emisión, fecha de vencimiento, periodicidad, días al vencimiento, moneda de referencia, y cupón; ya que es necesaria esta información para el cálculo de la duración de los títulos tranzados, al obtener este indicador se puede reflejar el periodo de vida del TES según los flujos emitidos en el mercado. A su vez, la TIR juega un papel muy importante en los Títulos TES, es por esto que se debe calcular la duración modificada, ya que esta mide las sensibilidades de los precios teniendo en cuenta la duración del título emitido y el comportamiento de la TIR.

Para efectos de monitoreo y control bajo la posición propia, es necesario obtener el precio sucio de la operación ya que este contiene el precio del título incluido el interés devengado; también es importante la tasa equivalente. De igual forma, en el modelamiento de la información, es necesario calcular el valor nominal de la posición tomada por el operador, este dato es obtenido por la suma de las operaciones compradas y vendidas respecto al título, en una rueda Spot bajo una cuenta propia. El valor neto de la operación es dado al multiplicar el valor nominal por el precio sucio de la operación, todo esto dividido en cien dados que se tiene el precio sucio en términos de puntos básicos.

Para obtener el VaR de los operadores por posición propia, se toma como rúbricas las mismas condiciones con las que se calcularon el VAR total del portafolio, es decir; se genera una medición por medio del VAR con volatilidades Históricas y Exponencial, el tiempo de exposición al riesgo y el nivel de confianza son los mismos que se contemplaron en el cálculo del VAR del portafolio, ya que de esta manera se puede interpretar como se comportan las series según las exposiciones de los rendimientos en los precios. Por medio de los resultados obtenidos al calcular el VaR, según el tipo de volatilidad, es importante generar un nivel de Stop Loss con el fin de detener las pérdidas y mantener el riesgo siempre bajo control. De esta manera, lo que se pretende es informar al operador sobre la pérdida máxima a la que puede incurrir y en caso de que supere este tope cerrar la respectiva posición. A partir de esto el cálculo de los Stop Loss está dado por: El valor neto de la posición según el título tranzado, menos el VAR histórico o Exponencial, todo esto dividido por el valor nominal del título por cien.

Como herramienta de apoyo para el área de riesgo, se incorpora un Simulador de Var, donde el usuario debe ingresar el valor nominal del título, el tiempo en días. El precio sucio, volatilidad, y duración modificada se tomarán de los indicadores ya calculados. Al ingresar los datos correspondientes el simulador calcula el valor en riesgo según las especificaciones. Todo esto es calculado con un 95% de confianza.

## 8. PRUEBA DE BACKTESTING Y STRESS

- a) Backtesting: Esta prueba se realiza con el objetivo de probar el modelo de cálculo para el VaR propuesto en el presente documento con datos históricos. En términos generales, la idea es calcular esta prueba

con los papeles<sup>21</sup> más líquidos de los Títulos de Tesorería (TES).

Se tomó un portafolio con un VaR no diversificado ya que según el libro de Financial Risk Forecasting, este puede mostrar cómo se encuentra tanto el VaR de la Posición Propia, como del operador de una manera más específica. De igual manera, se prefirió incluir el cálculo de la volatilidad con el método exponencial ya que por medio del factor de decaimiento ( $\lambda$ ), se toma en cuenta con mayor participación los datos más recientes de la serie histórica.

Un nivel de confianza del 95% es ideal para el cálculo del valor de riesgo tal cual como lo indica la Superintendencia Financiera de Colombia y un intervalo de tiempo de un año, ya que al consolidar los datos se observa que estos se han comportado de una manera homogénea ante el incremento de la inflación que se ha presentado en el país en este año, causado principalmente por la devaluación del peso colombiano (COP), generando que el banco de la república esté tomando la decisión de incrementar su tasa de intervención, lo cual afecta directamente a todos los títulos denominados en COP y Unidades de Valor Real (UVR) en especial de la parte corta de la curva.

Por lo anterior, los papeles tomados como muestra para realizar el presente Backtesting tendrán un mayor énfasis en los títulos de la parte corta, ya que son más sensibles ante los cambios coyunturales presentados en la economía. Este está compuesto por los siguientes títulos:

- Títulos de Tesorería en tasa fija, denominados en Pesos con vencimiento a Julio del 2016, noviembre de 2018, agosto de 2020, Julio de 2024, abril de 2028. Ya que estos títulos reflejan de una mejor manera el comportamiento de la deuda pública del país y presentan alta liquidez en el mercado.
- Los títulos de tesorería (TES) en tasa fija, denominados en Unidades de Valor Real (UVR) también forman parte del portafolio ya que reflejan las perspectivas ante la inflación al corto y largo plazo. Estos títulos son los que tienen como vencimiento: Mayo del 2017, abril de 2019, marzo de 2021, febrero de 2023, mayo de 2025, marzo 2033.

Este análisis es muy útil, ya que el Backtesting ya que en términos de VaR puede evitar la subestimación y sobreestimar el cálculo del valor en riesgo

El procedimiento para realizar el Backtesting es el siguiente: Se realizará el análisis calculando un

<sup>21</sup> Cuando se refiera a papel, en el mercado de valores es sinónimo de títulos de renta fija.

VaR histórico con cada uno de los títulos con una frecuencia diaria.

El método a utilizar es el de Kupiec como lo propone en el libro Financial Risk Forecasting tomando en consideración los siguientes supuestos:

$W_e$ : Representa el número de observaciones tomadas para pronosticar el modelo de cálculo de VaR.

$W_t$ : Es la ventana de pruebas que es la muestra de datos sobre la que se prevé un riesgo (Es decir bajo el número de días que hemos realizado el cálculo del VaR).

$T = W_e + W_t$ : Número de observaciones para el cálculo del Backtesting.

Se realizó el debido procedimiento por ejemplo para los siguientes títulos obteniendo los siguientes resultados<sup>22</sup>:

- Tes denominados tasa fija en pesos colombianos con vencimiento a julio de 2024.  
Nemotécnico: TFIT16240724.

Para este título se tomó una serie de precios y rendimientos históricos desde 06/08/2009 hasta el 13/11/2015, es decir una muestra de datos de 1.630.

$W_t$ : 1.630 desde 06/08/2009 hasta 13/11/2015.

$W_e$ : 100 datos desde el 19/03/2009 hasta 05/08/2009.

$$T = 1.630 + 100 = 1.730$$

Hay que tener en cuenta que el VaR es calculado para un día y su rentabilidad también es para un día tal como lo refleja la siguiente tabla:

Tabla 2: Días de datos históricos según el nivel de tolerancia.

Fecha	VaR	Pérdida Real
10/6/13	7.89	3.81

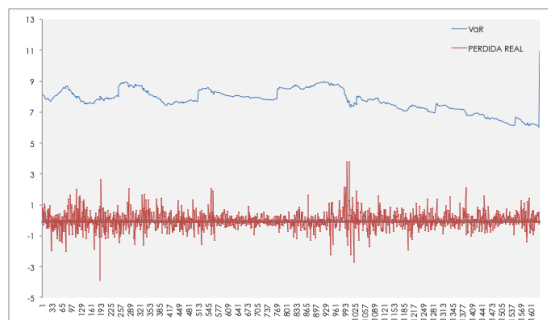
<sup>22</sup> Se tomaron como ejemplo 2 títulos: Uno de la curva de UVR's y otro de la curva en pesos. Estos títulos se caracterizan por su alta liquidez y por tener muchos datos disponibles.

Fuente: Elaboración propia de los autores, 2015.

En este caso se puede observar que la pérdida real calculada como el rendimiento diario para el precio en T+1 (11/6/2013) con el precio T-0 (10/6/2013) consumía 48,24% del VaR calculado para el 6/10/2013 por lo cual se demuestra que el modelo es efectivo para el cálculo de la máxima pérdida esperada.

La siguiente gráfica refleja el comportamiento del VaR frente a las pérdidas reales de manera diaria reiterando que las pérdidas reales se calcularon teniendo en cuenta las rentabilidades de manera diaria con un valor neto calculado teniendo en cuenta que se compra una cantidad de 100 títulos. Evidenciando que en efecto el modelo es efectivo para el número total de observaciones tomadas de manera diaria. Aunque el VaR se observe con niveles altos frente a las pérdidas reales, son niveles normales ya que el valor en riesgo representa menos del 10% del valor neto del portafolio para cada uno de los días.

Grafica 2: VaR frente a las pérdidas reales para los TIFT16240724.



Fuente: Elaboración Propia de los autores, 2015.

- Tes denominados en tasa fija en unidades de valor real con vencimiento a febrero de 2023.

Nemotécnico: TUVT17230223

En este caso se tomó una serie histórica desde 22/12/2008 hasta el 13/11/2015 con una muestra total de 2.015 datos.

$W_t$ : 1.815 desde 22/12/2008 hasta 13/11/2015.

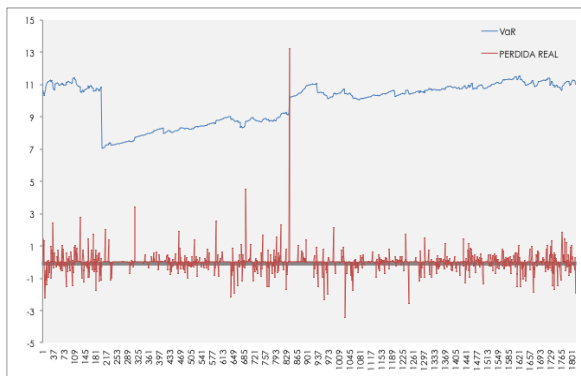
$W_e$ : 200 datos desde el 18/03/2008 hasta 19/12/2008.

$$T = 1.815 + 100 = 2.015$$

Hay que tener en cuenta que el VaR es calculado para un día y su rentabilidad también es para un día tal.

Se encontró que para el total de muestras estudiadas un dato cumplió con la condición de violación, el cual se establece cuando la pérdida total excede el límite de VaR tal como se muestra en la siguiente gráfica.

*Grafica 3: VaR frente a las pérdidas reales para los TUVT17230223*



Fuente: Elaboración Propia de los autores, 2015.

En términos generales, se evidencia una certeza de 99,94% para el modelo al momento del cálculo del VaR frente a las pérdidas reales. Para el caso de error se registró la siguiente información:

*Tabla 3: VaR calculado para el día 4/07/13 frente a la pérdida real.*

FECHA	VaR	PERDIDAS REALES
7/4/13	10.2213031	13.23

Las pérdidas reales excedieron en 29,43% al VaR calculado para la fecha 4/7/2013.

En conclusión, el modelo aplicado entre otros, a un título en la curva de TES en pesos y en uvr se encontró una alta efectividad en el modelo para el cálculo del valor del riesgo.

- b) Stress Test: Esta prueba se realiza con el fin de probar el comportamiento del modelo de cálculo de Valor en Riesgo (VaR) ante un choque generado por un evento que pueda impactar fuertemente el comportamiento de los Títulos de Tesorería (TES).

Es decir, se pretende medir si realmente este cálculo realiza una medición pertinente de las pérdidas máximas ante escenarios que causen alta volatilidad en los títulos como los siguientes:

- Un fuerte incremento/caída en el precio del barril del petróleo con referencia West Texas Intermediate (WTI).
- La reducción/decrecimiento de la cotización de la tasa de cambio (COP) con Dólares Estadounidenses (USD).

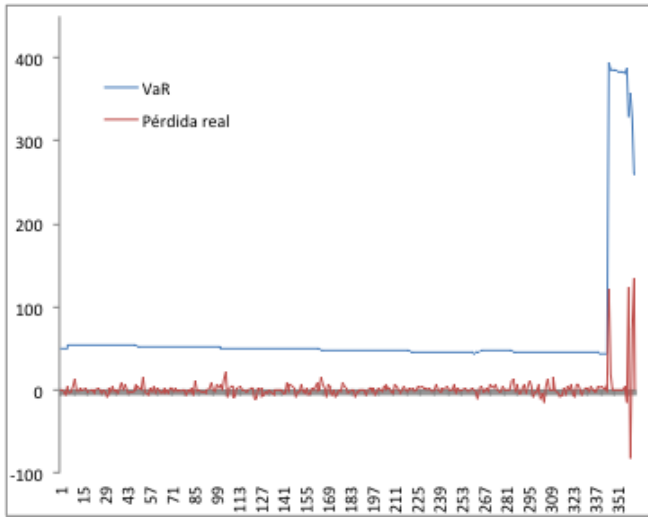
Se toma como ejemplo los Títulos de Tesorería (TES) con vencimiento a julio de 2024 (en adelante nombrados como “julios del 2024”) denominados en pesos colombianos para mostrar los escenarios propuestos anteriormente. Es escogidos este título ya que cuentan con un gran número de datos históricos para realizar el estudio, adicionalmente estos dos títulos son los más representativos entre los títulos de las denominaciones nombradas.

Inicialmente se tomaron los julios del 2024 con una serie histórica compuesta de 1,729 datos desde el 19/03/2009 hasta el 13/11/2015. Se calcularon los rendimientos tanto para los títulos ya nombrados como para el precio histórico del petróleo con referencia WTI. Para determinar cómo se podría mover el precio de un activo sobre el otro se halló el índice de correlación y el beta<sup>23</sup>. Luego se determinó un escenario donde el precio del petróleo presentara una caída de aproximadamente US\$20 por algún factor que haya generado un fuerte impacto coyuntural como por ejemplo un incremento record en la producción de crudo en el mundo. De esta manera, supondríamos que el precio del barril de este pasa de US\$40,74 para el día 13 de noviembre de 2015 a \$21,74 dólares para el día siguiente, hábil, es decir, para el 16 de noviembre de 2015, reflejando un crecimiento porcentual de 63%. Esto generó que el precio de los julios del 2024, cayera un 12,39% por lo cual esto generó que el VaR pasara de 43,77 a 392,97. Este movimiento fuerte en el Valor en Riesgo se debe principalmente al cambio de la volatilidad<sup>24</sup> el cual presentaba un valor de 0,41% antes del choque a 4,23% después de este.

<sup>23</sup> Determinado como la pendiente de la variable dependiente (Julios del 2024) y la variable independiente (Petróleo WTI)

<sup>24</sup> Calculado por el método de volatilidad exponencial

Grafica 4: Movimiento del Valor en Riesgo frente a la pérdida real en los títulos de julios del 2024.



Fuente: Elaboración propia de los autores, 2015.

La anterior gráfica refleja el fuerte movimiento del VaR ante un choque en el precio del título, generado por un movimiento en el precio del petróleo con referencia WTI. Se encuentra que, para este caso particular, el modelo reacciona eficazmente ante un fuerte movimiento en el precio del título.

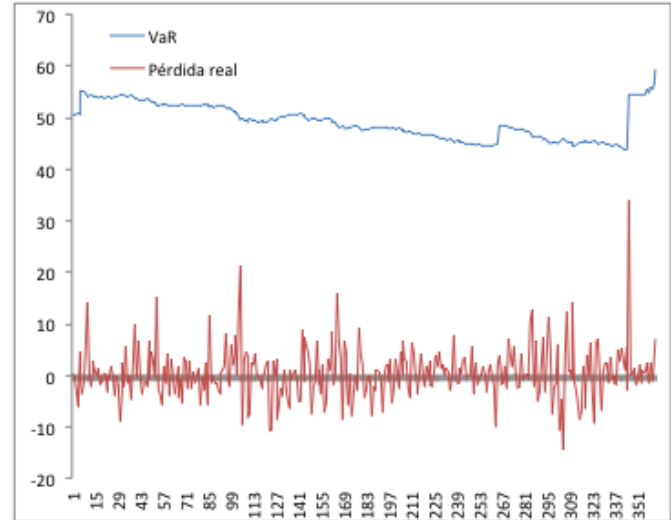
Ahora se realizará el choque generado por el movimiento fuerte de la tasa de cambio la cual es un factor importante para la economía del país por lo que podría generar un movimiento importante en los precios de los TES. La serie contiene los mismos datos que para el caso anterior e igual rango de fecha.

En este caso la correlación entre precio de los julios del 2024 y la tasa de cambio será negativa ya que un incremento en la tasa de cambio genera mayor inflación por lo que afectaría el precio de los bonos soberanos como lo es este.

Se simula el impacto por el crecimiento en 500 pesos en la tasa de cambio desde el día 13/11/2015 hasta el siguiente día hábil (16/11/2015).

Teniendo en cuenta el beta calculado entre estas 2 variables, el cual es de -20%, el movimiento de la tasa de cambio en estos dos días represento un incremento de 15%, generando una caída de 3,11% para el precio de los títulos de julios del 2024. Por consecuencia el VaR se ajusta ante este fuerte movimiento en 22% aproximadamente al momento que ocurre este choque.

Grafica 5: Movimiento del Valor en Riesgo frente a la pérdida real en los títulos de julios del 2024.



Fuente: Elaboración propia de los autores, 2015.

Para la realización de las gráficas hay que tener en cuenta que se tomó una menor muestra con el fin de que se pudiera observar visualmente de una manera más fácil el movimiento tanto de la pérdida real como del Valor en Riesgo ante la ocurrencia de un suceso como el descrito anteriormente.

Gráficamente se puede observar como el VaR se ajusta a los movimientos de los precios el cual tiene que ver con el choque generado por el fuerte movimiento en la tasa de cambio, mostrando nuevamente la efectividad y eficacia del método utilizado para el cálculo del valor en riesgo.

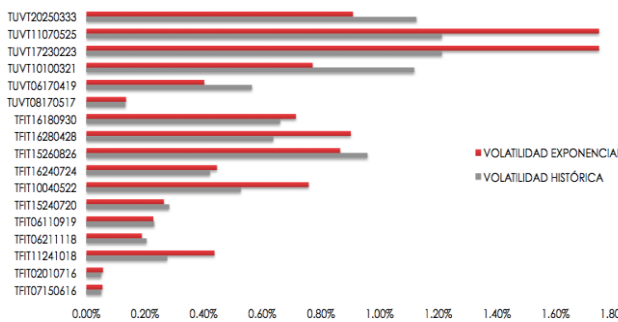
## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Luego de realizar el estudio, modelación de cada una de las variables, y posteriormente los indicadores de riesgo de mercado, se obtuvieron los siguientes resultados; los cuales evidencian el cumplimiento de los objetivos propuestos para el presente trabajo:

- ✓ Partiendo de los datos históricos tomados de Bloomberg, para los diecisiete (17) títulos de tesorería (TES) con un histórico anual, se calcularon rendimientos de manera aritmética y geométrica, tomando finalmente como mejor medida la geométrica, ya que luego de observar con diferentes datos y de manera aleatoria que al momento de tener rentabilidades negativas los rendimientos geométricos mostraban una mayor caída en términos porcentuales que calculándolos de manera aritmética. Por otro lado, al momento de tener variaciones positivas, el método aritmético muestra un mayor incremento que el geométrico. Esto se da teniendo en cuenta que el diferencial aumenta en función de la varianza del rendimiento y del intervalo de tiempo tomado (Gutierrez, 2011).

- ✓ Evidenciando, un escenario más pesimista por parte del cálculo geométrico, que al momento de tratar de estimar pérdidas, los autores han considerado como ideal. Por otro lado, son mejores los rendimientos geométricos, dado que las rentabilidades sobre activos financieros están negativamente correlacionadas con el tiempo (Damodaran, 2002).
- ✓ Se calcularon las volatilidades por el método histórico y exponencial. En términos generales, se encontró que el mejor método es el exponencial, dado que el histórico (calculado por medio de la desviación estándar) tiene en cuenta con las mismas participaciones todos los datos tomados en la serie de tiempo. Por el contrario, el método de cálculo exponencial incluye un factor de decaimiento ( $\lambda$ ), lo cual permite darles mayor ponderación a los datos más recientes, por lo tanto se les dará más importancia a los datos más actuales, por lo cual a partir de los datos analizados se obtuvo un mejor comportamiento con respecto a las series analizadas.

Gráfica 6: Resultados de las volatilidades



Fuente: Elaboración propia de los autores

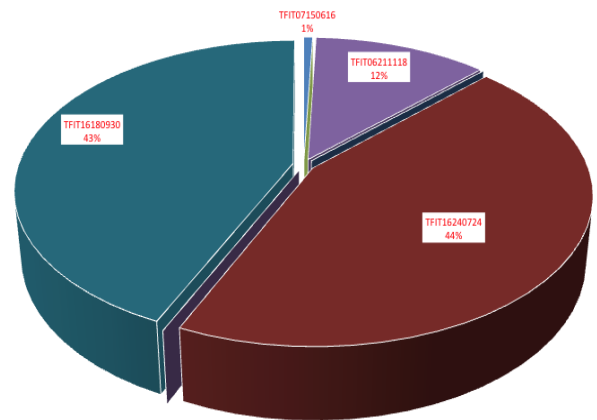
En la gráfica anterior, se puede evidenciar un crecimiento de la volatilidad a medida que el tiempo vencimiento del título sea mayor, lo cual se explica debido a que los títulos de mayor plazo generan mayor interés. No obstante, se observan comportamientos atípicos en algunos títulos por ejemplo los TFIT11241018 los cuales son explicados por una alta liquidez en el mercado de valores, generarían alta volatilidad.

- ✓ Se calculó el Valor en Riesgo (VaR), teniendo en cuenta en primer lugar, que se realizó el estudio con títulos de tesorería (TES), que pertenecen al mercado de renta fija, por otro lado, se debe tener en cuenta la Duración Modificada como variable de sensibilidad en el VaR para este tipo de títulos. Luego, se realizó el debido calculo en tres niveles de confianza (90%, 95%, 99%), evidenciando a qué medida que la relación que hay entre el VaR y el nivel de confianza es positivo, dado que a medida que se disminuye este nivel el valor en riesgo se comporta de la misma manera.

Esto se debe, a que la disminución del nivel de confianza, indica que el valor en riesgo se encuentra más cerca de la media en la función de distribución de la pérdida. Por lo cual, al momento de llegar a un nivel de 50%, las desviaciones sobre la media tendrán un valor de 0, y el VaR llegará a ese mismo valor. Por otro lado, se calculó el VaR para diferentes periodos de tiempo, de esta manera el operador y el área de riesgos podrá evidenciar más fácilmente como es la generación de valor de riesgo dependiendo del horizonte de inversión.

Al realizar un control detallado de las operaciones tranzadas, se detecta la mayor concentración del VaR a la que se encuentran expuestos los operadores. De esta forma se puede determinar en qué título se está presentando mayor exposición en el mercado con el fin de mitigar el riesgo y prevenir las perdidas asociadas. La concentración del VaR es calculada teniendo en cuenta el valor en riesgo del Portafolio del operador partiendo de la volatilidad exponencial.

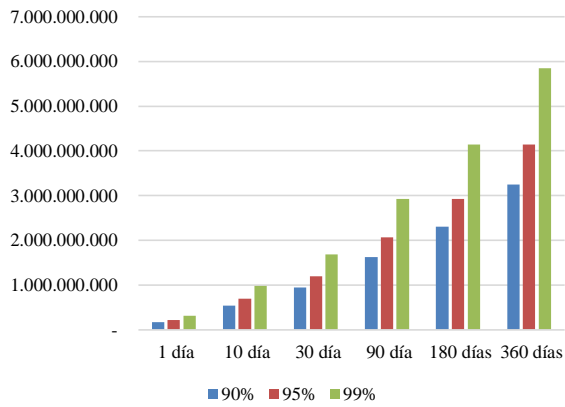
Gráfica 7: Concentración del Var



Fuente: Elaboración propia de los autores

Se puede observar por ejemplo, en la gráfica 4 se tienen los diferentes títulos que conforman el portafolio para el inversionista A. Los TES con vencimiento a 2024 componen una mayor participación (44%), seguido por los TES al 2030 (43%). En términos generales, es importante observar la concentración que tiene la generación de VaR de cada una de las posiciones en los títulos, por lo que se podrían establecer límites como principios de diversificación de portafolio.

Gráfica 8: Var Diversificado

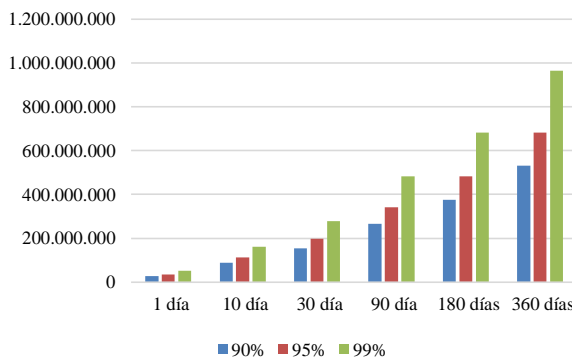


Fuente: Elaboración propia de los autores, 2015

Al calcularse el VaR diversificado se encontró que este incrementaba cuando se calculaba a mayor número de días. De igual manera, al tener en cuenta un nivel de confianza de 99%, también se tiene un VaR mayor frente a unos niveles.

El VaR no Diversificado tiene no tiene en cuenta el efecto de diversificación del portafolio por lo que al momento de calcularse el valor en riesgo bajo esta metodología se van a obtener resultados menores como lo muestra la siguiente gráfica.

Gráfica 9: Var No Diversificado



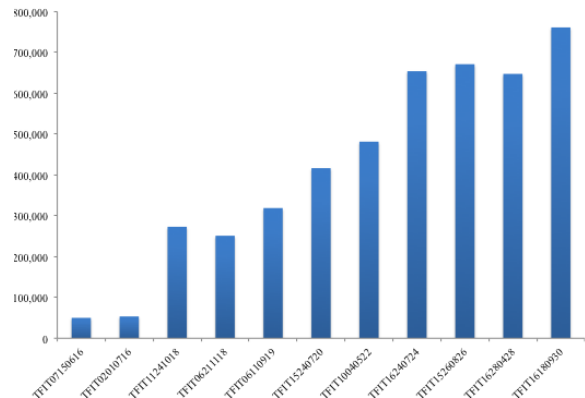
Fuente: Elaboración propia de los autores, 2015

- ✓ Los resultados obtenidos a partir del cálculo de los indicadores de sensibilidad como la convexidad, duración y duración modificada se comportan normalmente, ya que el método utilizado congenia con lo consultado en diferentes fuentes bibliográficas. Adicionalmente, se compararon los resultados obtenidos con los calculados por Bloomberg y el proveedor de precios Infovalmer, encontrando que el resultado del cálculo de los autores, tienen una desviación menor al 10% frente a lo calculado por estas

dos fuentes de información con sus metodologías propias<sup>25</sup>.

- ✓ El cálculo de la sensibilidad por medio del DV-1, permitió reflejar la sensibilidad del título en pesos ante el movimiento de un punto básico en el precio sucio del título. Lo cual, le permite tanto al operador como al área de riesgos, tener horizonte claro sobre el efecto positivo y negativo que genera el movimiento de precios tanto en la utilidad del operador como en la generación de riesgo (medido en el VaR).

Gráfica 10: Punto básico para los TES en COP



Fuente: Elaboración propia de los autores, 2015

Ya que este indicador tiene en cuenta la duración del título, se evidencia que a mayor plazo de vencimiento mayor será el valor del punto básico. No obstante, se encontró que en títulos como por ejemplo los TFIT16280428 o TFIT06211118 el valor del básico es menor al de su título más reciente, lo cual se explica básicamente por la baja liquidez y bursatilidad que tienen estos dos títulos en particular en el mercado de TES en Colombia.

- ✓ Teniendo en cuenta el cálculo del valor en riesgo se calcularon diferentes niveles de stop loss, los cuales tuvieron en cuenta la pérdida máxima probable medida en términos de precio. De igual manera, este indicador también permitió calcular los niveles de Take Profit, teniendo como principio que por cada unidad de pérdida se debería tener 2 unidades de ganancia. Estos indicadores son importantes, ya que sirven de guía al operador de cuál es el nivel (precio) exacto en el que debe salir para no exceder el límite de VaR. De manera práctica, el operador podría indicarle a la plataforma transaccional un límite para cerrar la posición que sería el Stop Loss calculado a partir del VaR.
- ✓ Como indicador adicional, se calcula el indicador de Expected Shortfall (ES) o (CVaR), el cual mide un

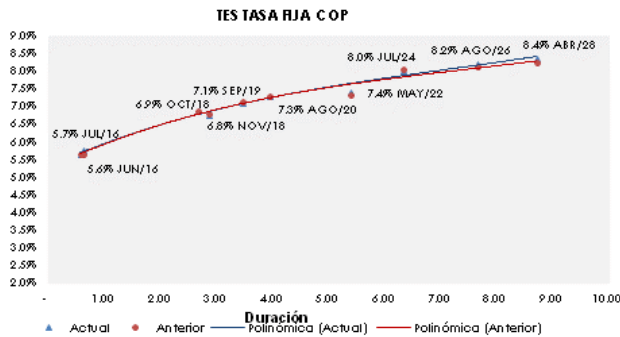
<sup>25</sup> Las metodologías utilizadas por Infovalmer no son conocidas públicamente, ya que forman parte del Good Will de la compañía.



nivel adicional como máxima pérdida probable después del VaR. Esto se calculó, observando que por factores de mercado algún movimiento fuerte puede generar un gap en precios, lo cual podría exceder el límite de VaR. Este indicador, es de mucha utilidad ya que genera rigurosidad en la medición del riesgo de mercado.

- ✓ Por último, se graficó la curva de rendimientos para los títulos en tasa fija denominados en pesos colombianos (COP) y unidades de valor real (UVR), lo cual es muy útil para que los operadores establezcan estrategias de inversión teniendo una imagen gráfica de cómo se encuentran los títulos de tesorería (TES) de un día para otro.

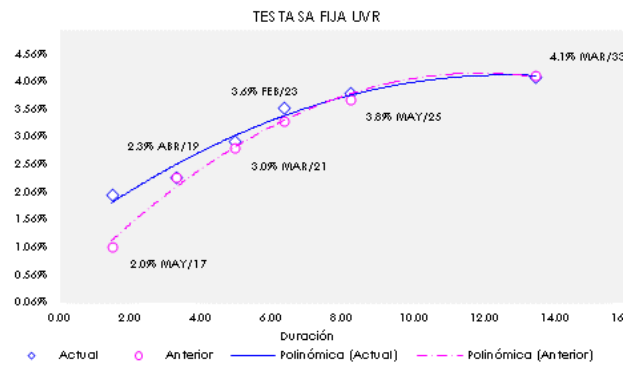
Grafica 3: Curva de rendimientos TES a tasa fija en COP.



Fuente: Elaboración propia de los autores

En las curvas obtenidas como resultado, se puede observar para cada una los títulos de la parte corta, la cual está compuesta por los títulos que se vencen de manera más inmediata, la parte media y la parte larga las cuales dependen de la duración del título. Es importante mencionar que a mayor plazo el título presentará un mayor rendimiento. Las gráficas reflejan el comportamiento de la curva para dos periodos de tiempo (en este caso para T-1 y T-2).

Grafica 4: Curva de rendimientos TES a tasa fija en UVR



Fuente: Elaboración propia de los autores

El movimiento de la curva puede estar explicado por varios sucesos, entre ellos los siguientes:

Un movimiento en la tasa de intervención del Banco de la República, lo cual generaría que la curva en títulos denominados en pesos colombianos se aplane, ya que el efecto será mayor para el incremento de los rendimientos en los papeles de la parte corta de la curva que de la parte larga. Esto se debe, a que el título de la parte más corta, en este caso los TES con vencimiento a julio de 2016 convergen a la tasa repo.

Por otro lado, en la curva de los títulos denominados en unidades de valor real (UVR) se mueven principalmente por la inflación o expectativas en esta tasa. En general, este movimiento afecta a toda la curva, pero siempre tiende a impactar en mayor proporción a la parte más corta, ya que estos papeles son más sensibles ante la inflación efectiva. La parte larga de la curva comprende más que todo una expectativa de cómo se espera que este la inflación para determinados periodos de tiempo. Así que la combinación de esta expectativa, frente a los datos reales que se vayan presentando hace que la curva se aplane o que se empine.

Hay que tener en cuenta que, si combinamos estas curvas, las tasas de los títulos en pesos colombianos estarán mayor que la de los UVR's, dado que la diferencia entre estas 2 curvas representa la inflación implícita, lo cual es una combinación de cómo se espera que se encuentre esta tasa, frente al cómo se espere que se encuentre la economía en general.

La pendiente de las curvas deberá ser positiva en una economía con características normales, ya que se espera que el crecimiento sea creciente al largo plazo con expectativas de mejora.

## 10. UTILIDAD FINANCIERA DE LOS RESULTADOS.

La utilidad financiera de establecer un modelo para la medición del riesgo de mercado es enorme, dado que tiene una alta aplicabilidad en las diferentes mesas de posición propia de las instituciones financieras, las cuales son reguladas por el mismo ente de control. Adicionalmente, el mercado de renta fija en el país se negocia de la misma manera y los títulos tomados son los más transados del mercado, lo que hará útil y necesaria la medición de indicadores de riesgo de mercado como el Valor en Riesgo VaR.

Por otro lado, la herramienta informática ayudará a los operadores a optimizar sus operaciones en términos de gestión de riesgo, ya que podrán observar cómo se comportan sus actividades de inversión con la información más actualizada y detallada, además de poder simular como se encontraría el valor en riesgo en caso de tomar una posición futura sobre un activo en condiciones actuales.

## 11. CONCLUSIONES

Luego de realizar el estudio de las variables y alcanzar los resultados obtenidos se alcanzaron las siguientes conclusiones:

- a) Se logró realizar una medición del Valor en Riesgo (VaR), de manera individual y discriminando por título para el operador, como para la posición propia en su conjunto. Lo cual permitirá, tener un mejor control del riesgo de mercado en títulos de tesorería (TES). Adicionalmente, se lograron calcular niveles de Stop Loss y Take Profit, lo cual ayudará tanto al operador como al área de riesgo a tener un precio límite de salida de la posición del título teniendo en cuenta el VaR.
- b) Se generó una medida adicional en caso que se exceda el límite de VaR por factores propios del operador o del mercado. Lo cual refleja la robustez del modelo como ayuda para la medición del riesgo de mercado.
- c) Se elaboró un modelo, el cual ayudará al área de riesgos para el cálculo y medición del riesgo de mercado asociado a TES, con el fin de poder hacer un control eficiente, eficaz y oportuno sobre las operaciones que se realicen en una PP. Adicionalmente, el modelo ayudará al operador, tanto observar las características de los títulos, observar cómo se encuentra la posición abierta en cada título en materia de riesgo, como realizar simulación del Valor en Riesgo, el cual dará un horizonte de la posible generación de VaR (en cuantía) si tomará una posición en un título en las condiciones actuales.

## 12. RECOMENDACIONES

Luego de estimar indicadores para la adecuada gestión del riesgo de mercado en títulos de tesorería TES en un portafolio de una posición propia se evidencia el amplio desarrollo que estos modelos podrían tener con el fin de estimar y prevenir las pérdidas a las que se puedan incurrir cuanto se tome una posición en alguno de estos títulos. Por ejemplo, se podrían crear límites de concentración de activos en el portafolio para mantener un principio de diversificación predeterminado sobre los TES. También se podría incluir mayores indicadores en los que se pueda observar el comportamiento del riesgo de mercado desde otra óptica, entre otros.

## 13. BIBLIOGRAFIA

Bloomberg L.P. (2015). Bloomberg. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia .

Bolsa de Valores de Colombia. (2015). Mercado Electrónico Colombiano (MEC). Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia.

Damodaran, A. (2002). *Damodaran on line* . Obtenido de <http://people.stern.nyu.edu/adamodar/>

de Lara Haro, A. (2005). *Medición y Control de Riesgos Financieros*. Ciudad de México: Limusa.

Gutierrez, A. M. (2011). *Creación de Valor para el Accionista*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.

Martellini, L., Priaulet, P., & Priaulet, S. (2003). *Fixed-Income Securities: Valuation, Risk Management and Portfolio*

*Strategies*. England, England: John Wiley & Sons Ltd.

Mato, M. A. (2007). *Inversiones: Instrumentos de renta fija, valoración de bonos y análisis de cartera*.

McNeil, A. J., Rüdiger, F., & Embrechts, P. (2005). *Quantitative Risk Management*. New Jersey: Princeton University Press.

Risk Metrics . (17 de December de 1996). *Risk Metrics - Technical Document*. Obtenido de [http://pascal.iseg.utl.pt/~aafonso/eif/rm/TD4ePt\\_2.pdf](http://pascal.iseg.utl.pt/~aafonso/eif/rm/TD4ePt_2.pdf)

Superintendencia Financiera de Colombia. (2015). *Portal WEB- Superintendencia Financiera de Colombia*. Recuperado el Septiembre de 2015, de [www.superfinanciera.gov.co](http://www.superfinanciera.gov.co)

