

**Medición del Riesgo de Mercado para un Portafolio de Renta Fija del Mercado
Colombiano**

María Fernanda Ospina Arango

Universidad Autónoma de Bucaramanga

Programa de Ingeniería Financiera

Trabajo de grado II

Agosto de 2019

**Medición del Riesgo de Mercado para un Portafolio de Renta Fija del Mercado
Colombiano**

María Fernanda Ospina Arango

Presentado a:

Gloría Inés Macías Villalba

Universidad Autónoma de Bucaramanga

Programa de Ingeniería Financiera

Trabajo de grado II

Agosto de 2019

Tabla de contenido

Objetivos	12
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
Capítulo 1.....	13
Enfoque teórico del riesgo de mercado	13
1. Riesgo	13
1.1. Clases de riesgos:.....	14
2. Gestión del riesgo	17
2.1. Los principios:.....	18
2.2. El marco de referencia:	19
2.3. El proceso:	20
2.4. Normativa de los riesgos financieros:	23
3. Riesgo de mercado	26
3.1. Factores de riesgo de mercado:	28
3.2. Títulos de renta fija:	29
3.3. Valoración de títulos de renta fija:.....	32
3.4. Medidas de sensibilidad de los títulos de renta fija:	35

3.5. Medición del riesgo:	42
3.6. Pruebas de validación o Backtesting:.....	56
Capítulo 2.....	59
Estructuración del portafolio.....	59
Capítulo 3.....	72
Medición del riesgo de mercado mediante el VaR.....	72
Capítulo 4.....	78
Evaluación de desempeño	78
Conclusiones	82
Bibliografía	85

Lista de tablas

Tabla 1 Zonas de calificación, evaluación de riesgos - elaboración propia.....	21
Tabla 2 Capítulos circular básica contable y financiera - elaboración propia	26
Tabla 3 Ejemplo valoración TES - elaboración propia.....	34
Tabla 4 Comportamiento de la TIR en diferentes escenarios - elaboración propia.....	35
Tabla 5 Ejemplo cálculo de la duración - elaboración propia	37
Tabla 6 TIR, precio dado Dur y Convex para diferentes escenarios - elaboración propia	41
Tabla 7 Cálculo del VaR de acciones y TES con el método paramétrico - elaboración propia ..	45
Tabla 8 Cálculo del VaR mediante simulación histórica - elaboración propia.....	48
Tabla 9 Ejemplo cálculo del VaR por distribución de mejor ajuste - elaboración propia.....	54
Tabla 10 Lista de TES seleccionados - elaboración propia	59
Tabla 11 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT08261125	60
Tabla 12 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT10040522	61
Tabla 13 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT15240720	62
Tabla 14 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT15240720	62
Tabla 15 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT16240724	63
Tabla 16 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT16280428	64
Tabla 17 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT16300632	65

Tabla 18 Rentabilidad esperada y riesgo de los TES - elaboración propia	66
Tabla 19 Matriz Correlación - elaboración propia.....	68
Tabla 20 Matriz varianza-correlación - elaboración propia.....	68
Tabla 21 Distribución de pesos de los TES - elaboración propia	69
Tabla 22 Riesgo alto, bajo y factor - elaboración propia.....	69
Tabla 23 Portafolios de la frontera - elaboración propia	69
Tabla 24 Frontera eficiente - elaboración propia.....	70
Tabla 25 Distribución inversión del portafolio - elaboración propia.....	70
Tabla 26 Método paramétrico TES TFIT15240720 - elaboración propia	73
Tabla 27 Método simulación histórica TES TFIT15240720 - elaboración propia.....	74
Tabla 28 Método Montecarlo-Wiener TES TFIT15240720 - elaboración propia.....	74
Tabla 29 Método paramétrico TES TFIT16280428- elaboración propia	75
Tabla 30 Método simulación histórica TES TFIT16280428- elaboración propia.....	75
Tabla 31 Método Montecarlo-Wiener TES TFIT16280428- elaboración propia.....	76
Tabla 32 VaR's individuales - elaboración propia	76
Tabla 33 VaR del portafolio no diversificado - elaboración propia	77
Tabla 34 Matriz de correlación - elaboración propia.....	77
Tabla 35 Var diversificado del portafolio - elaboración propia.....	77

Tabla 36 Kupiec TFIT15240720 - elaboración propia 80

Tabla 37 Kupiec TFIT16280428 - elaboración propia 80

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Clases de riesgos - elaboración propia.....	14
Ilustración 2 Principios - (ISO, 2018).....	19
Ilustración 3 Marco de Referencia - (ISO, 2018)	19
Ilustración 4 Proceso - (ISO, 2018)	20
Ilustración 5 Cambios en los acuerdos de Basilea – (La república, 2018).	25
Ilustración 6 Instrumentos de renta fija - (BVC- Bolsa de valores de Colombia).....	30
Ilustración 7 Listado de TES en la BVC - (Bolsa de valores de Colombia, 2019).....	34
Ilustración 8 TIR vs precio sucio - elaboración propia.....	36
Ilustración 9 TIR vs precio dado Dur - elaboración propia	39
Ilustración 10 Comparación de ajuste - elaboración propia.....	41
Ilustración 11 Representación del VaR.....	43
Ilustración 12 Técnicas de medición del VaR	43
Ilustración 13 Distribución de normalidad - (Wikipedia, 2019).....	44
Ilustración 14 Proceso método no paramétrico o simulación histórica - elaboración propia	47
Ilustración 15 Proceso Simulación Montecarlo - Wiener - elaboración propia.....	49
Ilustración 16 Variaciones tasas reales - elaboración propia	51
Ilustración 17 Variaciones de tasas simuladas - elaboración propia.....	51

Ilustración 18 Proceso Simulación Montecarlo - distribución ajustada - elaboración propia	52
Ilustración 19 Distribución uniforme - (McMurray, Pearson, & Casarim, 2017)	52
Ilustración 20 Distribución triangular - (McMurray, Pearson, & Casarim, 2017)	52
Ilustración 21 Distribución normal - (McNeil, Frey, & Embrechts, 2005)	53
Ilustración 22 Distribución lognormal – (McNeil, Frey, & Embrechts, 2005).....	53
Ilustración 23 Montecarlo-wiener en el TES TFIT08261125 - elaboración propia	53
Ilustración 24 Resultado cálculo del VaR en Risk simulator - elaboración propia	54
Ilustración 25 Percentil dado por Risk simulator - elaboración propia	55
Ilustración 26 Ejemplo Backtesting - elaboración propia.....	57
Ilustración 27 Dominancia - elaboración propia.....	67
Ilustración 28 TES seleccionados por dominancia - elaboración propia	68
Ilustración 29 Riesgo y Rentabilidad anual - elaboración propia	68
Ilustración 30 Backtesting TFIT15240720 - elaboración propia	79
Ilustración 31 Backtesting TFIT15240720 (más detallada)- elaboración propia	79
Ilustración 32 Backtesting TFIT16280428 - elaboración propia.....	80

Introducción

El riesgo se asocia con lo inesperado y con lo no deseado, es la probabilidad de ocurrencia de un evento que tenga consecuencias financieras con impacto negativo. Al vincular el riesgo a un portafolio, se hace referencia a la posibilidad de incurrir en pérdidas por la disminución del valor de los activos que lo conforman. Los riesgos deben pasar por procesos que permitan identificar, alinear, gestionar, controlar y monitorear los resultados de la compañía para mejorar la toma de decisiones. Este conglomerado de procesos se conoce como gestión del riesgo y tiene como objetivo principal, contribuir para que la probabilidad y el impacto de los eventos positivos aumenten y que por el contrario, los eventos negativos disminuyan.

En Colombia los títulos de tesorería (TES) son títulos de deuda pública emitidos por el gobierno nacional, y hacen parte del mercado de renta fija, porque su rentabilidad y condiciones son conocidas por el inversionista en el momento de la negociación. Los inversionistas estructuran portafolios óptimos con diferentes títulos de renta fija seleccionados de acuerdo con un perfil de riesgo (moderado-conservador-arriesgado), y su finalidad es encontrar un equilibrio entre la exposición al riesgo de mercado y la rentabilidad esperada.

Por otro lado, al analizar las negociaciones de la bolsa de valores de Colombia, se identifica que el mercado de acciones (renta variable) está presentando ratios de volatilidad muy altos, en comparación al mercado de renta fija. Como consecuencia de este comportamiento, los inversionistas han optado por llevar su capital al mercado de renta fija, aunque tengan que sacrificar los niveles de rentabilidad, a cambio de estabilidad y una baja exposición. Sin embargo, para quienes no mantienen el título hasta su vencimiento y lo negocian en el mercado secundario, se exponen a pérdidas a causa de la diferencia que se presenta en el precio de compra

y el precio de venta del activo, lo cual se conoce como riesgo por tasas de interés. Cabe resaltar que existe una relación inversa entre las tasas y el precio de los activos.

El propósito de esta investigación es calcular el riesgo de mercado, aplicando los métodos paramétrico, simulación histórica o no paramétrico y Montecarlo-wiener con distribución normal, para un portafolio de renta fija conformado por bonos de tasa fija (TFI). Modelando un portafolio óptimo que ofrezca la máxima rentabilidad, de acuerdo a la tolerancia y el perfil de riesgo; con el fin de que los inversionistas tengan la posibilidad de tomar decisiones en cuanto a la administración de su capital.

El desarrollo de la investigación se lleva a cabo mediante 4 etapas: iniciando con la creación del enfoque teórico, seguido de la estructuración del portafolio óptimo y medición del riesgo de mercado a través del valor en riesgo (VaR), para finalmente realizar una evaluación de desempeño de los modelos a través de pruebas de backtesting y kupiec.

Objetivos

Objetivo general

- Modelar el riesgo de mercado de un portafolio de renta fija conformado por bonos de tasa fija (TFI) negociados en el mercado colombiano.

Objetivos específicos

- Describir el marco teórico del VaR como medida del riesgo de mercado para tasas de interés.
- Estructurar un portafolio de renta fija con títulos de tasa fija (TFI) en el mercado colombiano para un perfil de riesgo.
- Medir el riesgo del mercado colombiano aplicando los métodos paramétricos y no paramétricos para analizar las pérdidas esperadas mediante el cálculo del VaR.
- Evaluar el desempeño de los modelos empleados para el cálculo del riesgo del mercado colombiano con pruebas de Backtesting.

Capítulo 1

Enfoque teórico del riesgo de mercado

1. Riesgo

El riesgo se asocia con lo inesperado y con lo no deseado, es cualquier variación en el resultado respecto a lo esperado, la definición más sencilla refiere que el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un evento que tenga consecuencias financieras negativas, sin embargo, existen diferentes definiciones según el contexto o el autor, por ejemplo:

Para Jorge Pérez en el libro finanzas internacionales, el riesgo se puede definir como la probabilidad de sufrir o exponerse a un daño o pérdida, concepto que incorpora dos elementos que se deben considerar: La probabilidad de ocurrencia, lo cual puede o no ser deseado y las consecuencias que surgirían si ocurre o no el acontecimiento. (Pérez Barbeito, 2014).

De acuerdo con la norma NTC-ISO31000 del 2011, el riesgo es la posibilidad de que suceda un evento que, tendrá un impacto sobre los objetivos institucionales o del proceso. (Incontec Internacional, 2011), al actualizar esta norma en el año 2018, el riesgo fue definido como el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos, e indican que un efecto es una desviación respecto a lo previsto, puede ser positivo, negativo o ambos, y puede abordar, crear o resultar en oportunidades y amenazas. El riesgo se expresa en términos de fuentes de riesgo, eventos potenciales, consecuencias y probabilidades (ISO, 2018).

En conclusión, el riesgo es la posibilidad de ocurrencia de aquella situación (interna o externa), que puede afectar negativamente el logro del objetivo o la gestión de un proceso, y el riesgo financiero puede definirse como la exposición de las utilidades, flujos de caja, o

valor de mercado a factores exógenos, como las tasas de interés, los tipos de cambio y el precio.

Los autores (McNeil, Frey, & Embrechts, 2005) definen el riesgo en el libro *Quantitative Risk Management Concepts, Techniques and Tools*, como cualquier evento o acción que puede afectar negativamente la capacidad de una organización para lograr sus objetivos y ejecutar sus estrategias o alternativamente lo definen como la probabilidad cuantificable de pérdida o devoluciones menos de lo esperado.

Las diferentes definiciones coinciden que el riesgo tiene depende de una probabilidad, por lo cual un riesgo puede ser una amenaza o una oportunidad; cuando los esfuerzos se dirigen a reducir, mitigar o eliminar su ocurrencia es una amenaza para el cumplimiento de los objetivos y cuando su gestión está dirigida a maximizar los resultados que éste genera es una oportunidad.

1.1. Clases de riesgos:

De acuerdo con (JP Morgan Chase & Co, 2019) y con lo reportado por la página web Rankia (Stevens, 2017), los riesgos no son solamente de carácter económico, hay diferentes clases de riesgos y se dividen cuantificables y no cuantificables:

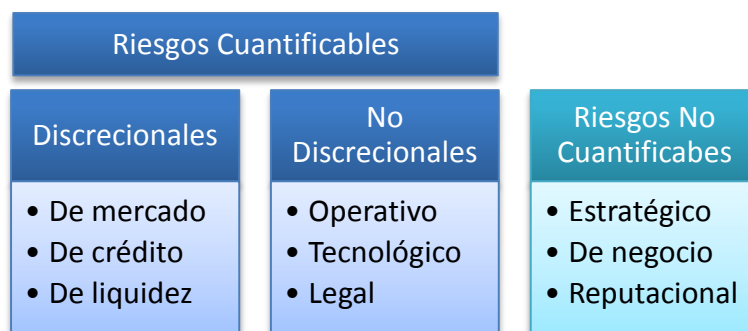


Ilustración 1 Clases de riesgos - elaboración propia

1.1.1. **Riesgos cuantificables:** Son aquellos para los cuales es posible conformar bases estadísticas que permitan medir sus pérdidas potenciales.

1.1.1.1. **Riesgos discrecionales:** Son resultantes de la toma de una posición de riesgo, dentro de los cuales se encuentran los riesgos de mercado, de crédito y de liquidez.

- ✓ **Riesgo de mercado:** Representa la pérdida potencial por posiciones de inversión derivadas de movimientos en los precios de mercado que inciden sobre su valuación, como tasas de interés, tipos de cambio e índices de precios.
- ✓ **Riesgo de crédito:** Representa la pérdida potencial por la falta de pago de un acreditado o contraparte en las operaciones que se efectúan. El área de Crédito establece criterios internos para un adecuado análisis, evaluación, selección y aprobación de límites a los clientes. El análisis de crédito consta de aspectos cualitativos y aspectos cuantitativos.
- ✓ **Riesgo de liquidez:** Es la pérdida potencial por la imposibilidad de renovar o contratar pasivos en condiciones normales por la venta anticipada o forzosa de activos a descuentos inusuales para hacer frente a sus obligaciones, o bien por el hecho de que una posición no pueda ser vendida, adquirida o cubierta mediante el establecimiento de una posición contraria equivalente.

1.1.1.2. **Riesgos no discrecionales:** Son aquellos resultantes de la operación del negocio, pero que no son producto de la toma de una posición de riesgo.

- ✓ **Riesgo operativo:** Representa la pérdida potencial por fallas o deficiencias en los sistemas de información o en los controles internos, así como por errores en el procesamiento y en la liquidación de las operaciones, se puede manifestar de varias maneras, incluyendo: fraudes, la interrupción del negocio, el comportamiento inadecuado de los empleados, fallas en el cumplimiento de las disposiciones legales o fallas por parte de los proveedores de servicios al no actuar de acuerdo a lo pactado. Estos eventos pueden resultar en pérdidas financieras, pleitos y multas, así como causar otros daños a la compañía.
- ✓ **Riesgo tecnológico:** Se define como la pérdida potencial por daños, interrupción, alteración o fallas derivadas del uso o dependencia en el hardware, software, sistemas, aplicaciones, redes y cualquier otro canal de distribución de información en la prestación de servicios.
- ✓ **Riesgo legal:** Representa la pérdida potencial por incumplimientos de las disposiciones legales y administrativas aplicables, la emisión de resoluciones administrativas desfavorables, la aplicación de sanciones en relación con las operaciones y deficiencias en la elaboración y revisión de documentos

1.1.2. **Riesgos no cuantificables:** Son aquellos derivados de eventos imprevistos para los cuales no se puede conformar una base estadística que permita medir las pérdidas potenciales.

1.1.2.1. **Riesgo estratégico:** Se define como el impacto actual y futuro en los ingresos y en el capital, que podría surgir de las decisiones adversas del

negocios, la aplicación indebida de las decisiones, o la falta de capacidad de respuesta a los cambios de la industria. Este riesgo está en función de las estrategias desarrolladas, los recursos y la calidad de la ejecución para alcanzar los objetivos.

1.1.2.2. **Riesgo de negocio:** Es resultado de eventos, circunstancias, acciones o inacciones que afectan de manera adversa a la entidad lesionando su capacidad de lograr los objetivos, incluye los eventos que surgen de cambios en la empresa, complejidad en áreas específicas o falta de cambios oportunos (Red Global de Conocimientos en Auditoría y Control Interno, 2017).

1.1.2.3. **Riesgo reputacional:** Se define como la probabilidad de incurrir en pérdidas por una acción, situación, transacción, o inversión que pueda reducir la confianza en la integridad y competencia de los clientes, accionistas, empleados o público en general.

2. Gestión del riesgo

La gestión del riesgo (GRⁱ) es el proceso continuo basado en el conocimiento, evaluación y manejo de los riesgos que mejora la toma de decisiones organizacionales. (JP Morgan Chase & Co, 2019) define la gestión del riesgo como un proceso sistemático y continuo que permite poder identificar, alinear, gestionar, controlar y monitorear en base a los objetivos establecidos por la Gerencia de la Entidad, los riesgos que enfrenta la misma.

Los objetivos de la gestión de los riesgos consisten en aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos, y disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos negativos en un proyecto (Global Standar, 2013), fomentar la gestión proactiva, ser consciente de la necesidad de identificar y tratar los riesgos en toda la organización, cumplir

con los requisitos legales y reglamentarios pertinentes, establecer una base confiable para la toma de decisiones y la planificación, mejorar los controles, asignar y usar eficazmente los recursos para el tratamiento del riesgo, mejorar la prevención de pérdidas.

La norma NTC-ISO31000 del 2018 (ISO, 2018), es la norma técnica colombiana que contiene los principios y directrices para la gestión del riesgo, describe en detalle el proceso sistemático y lógico que facilita la identificación y análisis de la exposición, para posteriormente evaluar si el riesgo se debería modificar por medio de un tratamiento para disminuir su impacto y define la gestión del riesgo como un conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar la organización con relación al riesgo.. Los aspectos fundamentales para la gestión del riesgo son los principios, el marco de referencia y el proceso, los cuales serán descritos a continuación.

2.1. Los principios:

Son para que la gestión del riesgo sea eficaz y la organización sepa a dónde quiere llegar, es por ello que la gestión debe: crear y proteger el valor, estar integrada en los todos los procesos de la compañía, estar estructurada, ser sistemática y oportuna para contribuir a la eficiencia, estar contextualizada y alineada con el perfil de riesgo de la organización, ser transparente e inclusiva, receptiva al cambio, con información disponible en cualquier momento para la toma de decisiones, reconocer las capacidades e intenciones de los diferentes individuos y finalmente, las organizaciones deben desarrollar e implementar estrategias para mejorar la madurez de la gestión del riesgo, la siguiente gráfica es un resumen de los principios:



Ilustración 2 Principios - (ISO, 2018)

2.2. El marco de referencia:

Menciona los medios y brinda los fundamentos para lograr los objetivos, garantiza que la información se reporte de manera adecuada y se utilice como base para la toma de decisiones y la rendición de cuentas, a continuación los mostramos en un diagrama:



Ilustración 3 Marco de Referencia - (ISO, 2018)

2.3. El proceso:

Para la gestión del riesgo debe estar alineado con la cultura, los procesos, la estructura y la estrategia de la organización, y está conformado por las siguientes etapas:

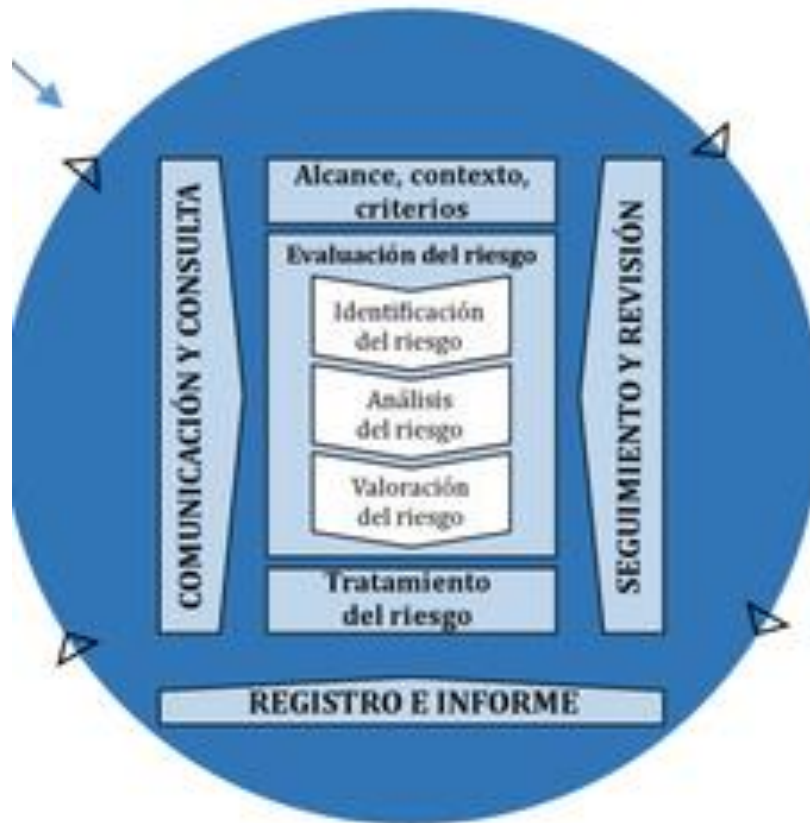


Ilustración 4 Proceso - (ISO, 2018)

2.3.1. **Establecer el contexto:** Es identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) generadas por condiciones internas y del entorno, que pueden afectar negativamente el cumplimiento de la misión y de los objetivos. Las situaciones externas pueden ser de carácter social, cultural, económico, tecnológico, político y legal. Las situaciones internas están relacionadas con la estructura, cultura organizacional, el modelo de operación, el cumplimiento de los planes y programas, los sistemas de información, los procesos y procedimientos y los recursos humanos y económicos con los que cuenta la entidad.

2.3.2. **Identificación:** para identificar el riesgo, es necesario reconocer primero; la fuente del riesgo o peligro, la cual tiene el potencial intrínseco para hacer daño o generar oportunidades, segundo; el evento o incidente, es la ocurrencia y se ha generado un impacto, tercero; la consecuencia, es el resultado o impacto, cuarto; la causa, responde a las preguntas del ¿qué? y ¿por qué?, por último; los controles y el nivel de efectividad.

2.3.3. **Análisis:** Implica el desarrollo y comprensión del riesgo, busca establecer la probabilidad de ocurrencia, las consecuencias, la clasificación y estimación del nivel de riesgo, sirve para determinar prioridades, evaluar los controles existentes, y el resultado es el riesgo inherente. El tipo de análisis depende del riesgo y de la información disponible, puede ser cualitativo, semi-cuantitativo o cualitativo. En la siguiente tabla se pueden identificar las posibles zonas y el riesgo inherente, el tratamiento se describe en la etapa 2.3.5:

 **Riesgo Inherente**

Probabilidad/ Impacto	1 Insignificante	2 Menor	3 Moderado	4 Mayor	5 Catastrófico
1 Raro	B	B	M	A	A
2 Improbable	B	B	M	A	E
3 Posible	B	M	A	E	E
4 Probable	M	A	A	E	E
5 Casi seguro	A	A	E	E	E

Tabla 1 Zonas de calificación, evaluación de riesgos - elaboración propia

2.3.4. **Valoración:** En esta etapa se deben identificar los controles existentes, verificar su efectividad y establecer prioridades en el tratamiento, para obtener el riesgo residual. Los controles pueden ser preventivo, correctivos, detectivos o de protección.

2.3.5. **Tratamiento:** Los riesgos se pueden evitar, reducir, compartir o asumir de acuerdo a la probabilidad, impacto y costos, En esta etapa se debe seleccionar una o más opciones para modificar los riesgos e implementar acciones. Evitar el riesgo, es tomar las medidas encaminadas a prevenir su materialización, reducir el riesgo es disminuir tanto la probabilidad, como el impacto, compartir o transferir el riesgo, reduce su efecto a través del traspaso de las pérdidas a otras organizaciones, y para asumir un riesgo se debe aceptar la pérdida residual probable y elaborar planes de contingencia para su manejo. Para las zonas representadas en la Tabla 1, el tratamiento para cada zona es:

- Zona de riesgo alta (A): en esta zona se debe reducir, evitar, compartir o transferir el riesgo.
- Zona de riesgo moderado (M): se debe asumir y reducir el riesgo
- Zona de riesgo bajo (B): se debe asumir el riesgo
- Zona de riesgo externa (E): se debe reducir, evitar, compartir o transferir el riesgo (DAFP)

2.3.6. **Comunicación y consulta:** Reúne diferentes áreas de experticia para el análisis de los riesgos, garantiza que los diferentes puntos de vista se tomen en consideración y fomenta la administración del riesgo como una actividad inherente al proceso de planeación estratégica.

2.3.7. **Monitoreo y revisión:** El monitoreo es esencial para asegurar que las acciones se están llevando a cabo y evaluar la eficiencia en su implementación, las revisiones son para evidenciar situaciones o factores en las cuales se necesite acciones preventivas.

2.4. Normativa de los riesgos financieros:

Existe regulación de carácter nacional e internacional, sin embargo la legislación internacional como Basilea se tiene en cuenta como una recomendación, no es de obligatorio cumplimiento porque la superintendencia financiera de Colombia es la entidad encargada de la regulación dentro del territorio nacional.

2.4.1. **Basilea:** El Comité de Basilea o Comité de Supervisión Bancaria de Basilea

(BCBS) es una entidad que brinda orientación a nivel mundial en materia de regulación financiera, está formado por los gobernadores de los bancos centrales del G-10 provenientes de los países con las economías más industrializadas y actualmente lo conforman 27 países. (Comité de supervisión bancaria de Basilea, 2016).

2.4.1.1. **Basilea I:** también llamado acuerdo de capital, publicado en el 1988, habla del riesgo de crédito y de mercado, se basó en diversas recomendaciones o sugerencias con el objetivo de fijar un límite a la emisión de créditos que una entidad concede en función del capital que tiene y estableció que el capital mínimo debía ser, al menos, un 8% de los activos ponderados por su riesgo (crédito, mercado y tipo de cambio). Su pilar es el requerimiento de capital, después de la implementación de este acuerdo, para solicitar un préstamo se debía demostrar que contaba con el capital suficiente para soportar la deuda.

2.4.1.2. **Basilea II:** En este acuerdo empiezan a trabajar desde el 1999 y lo publican en el 2004, surge después de ciertos descalabros financieros y se realiza una actualización y modificación a Basilea I, añade el riesgo operativo e implementa el pilar II y III: el pilar II habla del proceso de supervisión

bancaria basado en principios de vigilancia de coeficientes mínimos de capital, control de estrategias de cálculo de riesgos y su supervisión, seguimiento y obtención de información, revisión de control interno y anticipación en la intervención en caso de ser necesario. El pilar III habla sobre la disciplina de mercado basada en el suministro de la información de forma clara y transparente sobre políticas de gestión de riesgos, suficiencias de capital y exposiciones a riesgo con carácter de temporalidad frecuente.

2.4.1.3. **Basilea III:** fue publicada en el 2010 para mejorar la regulación bancaria, fue promovido por el Foro de Estabilidad Financiera (FSB, Financial Stability Board) para fortalecer el sistema financiero tras la crisis hipotecaria, reforzando así las garantías del capital que soportaba la deuda, Basilea III continúa con los tres pilares pero hace énfasis en el riesgo de liquidez, menciona las medidas relacionadas con efectos de aumento de la calidad del capital, mejora en la detección de riesgos bajo determinadas exposiciones, constitución de colchones de capital, definición del ratio de apalancamiento y la mejora en la gestión de riesgos y en los ratios de liquidez. (Economipedia, 2017)

2.4.1.4. **Basilea IV:** de acuerdo a lo informado por el (Banco de la República de Colombia, 2019), en el 2017 el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea publicó el documento "Basilea III: Finalización de las reformas poscrisis", sin embargo se ha venido conociendo como Basilea IV, aunque Basilea lo denomina Basilea III segunda fase. El conjunto de medidas adoptadas en esta iniciativa complementa las tomadas en 2010, plantea reformas en los enfoques

de los riesgos de crédito, operacional, ajuste de valoración de créditos y pisos de capital. A continuación, en la ilustración 5 se resumen los acuerdos de Basilea y se representan los cambios más importantes en la relación de solvencia.

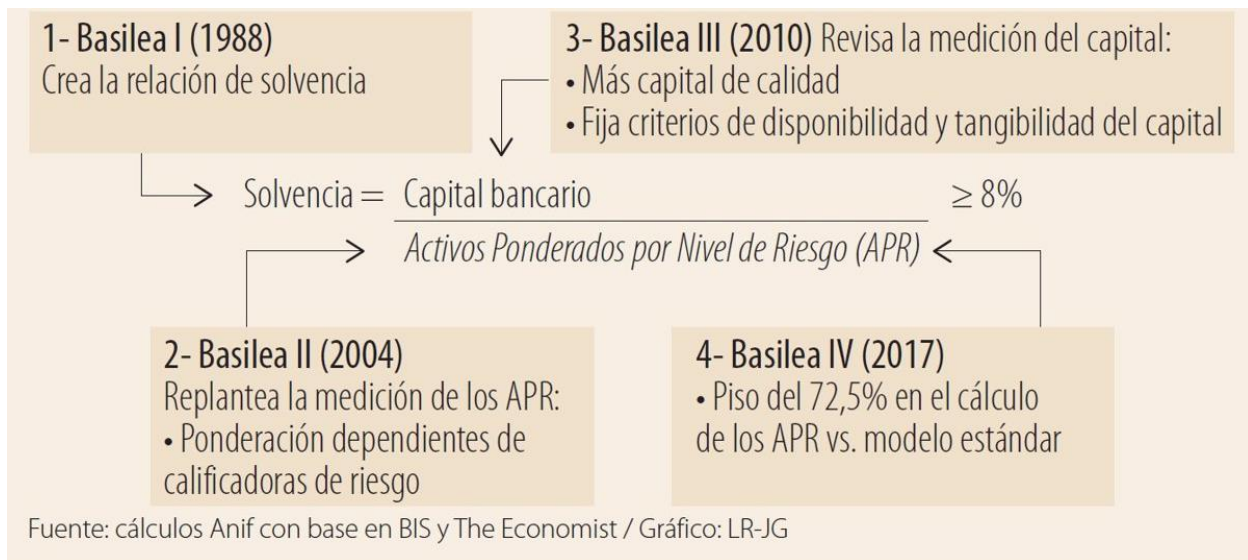


Ilustración 5 Cambios en los acuerdos de Basilea – (La república, 2018).

2.4.2. Superintendencia Financiera:

En la circular básica contable y financiera (circular externa 100 de 1995) se encuentran 30 capítulos y 3 anexos que regulan el sistema financiero colombiano y lo que busca esta normativa es definir e informar el patrimonio técnico y las relaciones mínimas de solvencia que deben cumplir las entidades vigiladas por esta entidad.

La relación de solvencia total, se define como el valor del Patrimonio Técnico dividido por el valor de los activos ponderados por nivel de riesgo crediticio y de mercado. Esta relación no puede ser inferior a nueve por ciento (9%).

$$Solvencia\ Total = \frac{PT}{APNR + \frac{100}{9} VeR_{RM}} \geq 9\%$$

En donde:

PT: Es el patrimonio técnico calculado

APNR: Son los activos ponderados por nivel de riesgo crediticio

VeR_{RM}: Es el valor de la exposición por riesgo de mercado

En el capítulo XIII-13 de la normativa de la superfinanciera encontramos las instrucciones y más detalles para realizar los cálculos respectivos de cada una de las variables para el cálculo del nivel de solvencia. (Super Intendencia Financiera de Colombia, 2013).

La normativa para la gestión del riesgo se encuentra en los siguientes capítulos:

Capítulo	Descripción
Capítulo II	Gestión del riesgo de crédito (Anexo 1, 2, 3, 4, 5,6).
Capítulo VI	Reglas relativas a la administración del riesgo de liquidez
Capítulo XIII-1	Relación de activos ponderados por su nivel de riesgo
Capítulo XXI	Reglas relativas al sistema de administración de riesgo de mercado.
Capítulo XXIII	Reglas relativas a la Administración del Riesgo Operativo

Tabla 2 Capítulos circular básica contable y financiera - elaboración propia

3. Riesgo de mercado

En la circular básica contable y financiera (circular externa 100 de 1995) en el capítulo XXI, la superfinanciera (Superintendencia financiera de Colombia, 2007) define el riesgo de

mercado (RM¹) como la posibilidad de que las entidades incurran en pérdidas asociadas a la disminución del valor de sus portafolios, las caídas del valor de las carteras colectivas o fondos que administran, por efecto de cambios en el precio de los instrumentos financieros en los cuales se mantienen posiciones dentro o fuera del balance. Los principales factores de riesgo de mercado son: la tasa de interés en moneda legal, en moneda extranjera o en operaciones pactadas en UVR, el tipo de cambio, los precios de las acciones y las inversiones realizadas en carteras colectivas.

El (Comité de supervisión bancaria de Basilea, 2016) en Basilea, define el riesgo de mercado como el riesgo de registrar pérdidas debido a variaciones en los precios de mercado. Los riesgos que están sujetos a requerimientos de capital por riesgo de mercado incluyen, entre otros: el riesgo de incumplimiento, de tasa de interés, de diferencia de rendimiento, de renta variable, de tipo de cambio y de materias primas para instrumentos incluidos en la cartera de negociación.

De acuerdo a la definición de la compañía (JP Morgan Chase & Co, 2019) el riesgo de mercado, es la exposición ante un cambio adverso en el valor de mercado de instrumentos financieros causado por un cambio en los parámetros de mercado. Las principales categorías de parámetros de mercado son: tasas de interés, tipos de cambio, precios de las acciones, spreads crediticios y los precios de las materias primas.

Las definiciones anteriores convergen en que el riesgo de mercado está representado por las posibles pérdidas en las que puede incurrir el inversionista por disminución en el valor de sus portafolios, los factores de riesgo que afectan el RM que mencionan las tres definiciones

¹ RM: Riesgo de Mercado

son: la tasa de interés en moneda legal, en moneda extranjera o en operaciones pactadas en UVR, el tipo de cambio, los precios de las acciones y las inversiones realizadas en carteras colectivas. Finalmente, los factores que son nombrados dependiendo del autor, son: el riesgo de incumplimiento, de diferencia de rendimiento, de renta variable, de materias primas y spreads crediticios.

A continuación se definen los principales factores de riesgo que intervienen en el RM:

3.1. Factores de riesgo de mercado:

De acuerdo con la (Superintendencia financiera de Colombia, 2007) y la compañía (JP Morgan Chase & Co, 2019) los son:

- 3.1.1. **Riesgos por tasas de interés en moneda legal, extranjera o en UVR:** resultan de movimientos adversos en las tasas de interés del mercado y por la exposición a los cambios en nivel, pendiente, curvatura de la curva de rendimiento y la volatilidad de las tasas de interés en moneda legal, en moneda extranjera o en Unidades de Valor Real (UVR).
- 3.1.2. **Riesgos por tipos de cambio:** resultan de la exposición a cambios en precios y volatilidad de los tipos de cambio.
- 3.1.3. **Riesgos por precios de las acciones:** resultan de la exposición a cambios en precios y volatilidad de acciones individuales, canastas de acciones e índices de equidad.
- 3.1.4. **Riesgos por precios de las materias primas:** resultan de exposición a cambios en precios y la volatilidad de la materias primas, tales como gas natural, petróleo crudo, derivados del petróleo, metales preciosos y la electricidad.

3.1.5. Riesgo por carteras colectivas: Se deriva de las posiciones en el libro de tesorería y de las operaciones de contado que reflejan una disminución o pérdida de valor de la cartera o fondo que administra la entidad.

3.2. Títulos de renta fija:

De acuerdo a lo definido por (Broseta, 2017), la renta fija es un tipo de inversión formada por todos los activos financieros en los que el emisor está obligado a realizar pagos en una cantidad y en un período de tiempo previamente establecidos, es decir, en la renta fija el emisor garantiza la devolución del capital invertido y una cierta rentabilidad. Por otra parte, la comisionista (Ultraserfinco, 2019) define los instrumentos financieros de Renta Fija o también llamados títulos de contenido crediticio, como títulos que otorgan a su poseedor el derecho a recibir unos pagos periódicos de intereses además del pago del capital al vencimiento de la inversión, difieren de las acciones porque no otorgan ningún tipo de propiedad o participación en la compañía.

El mercado de renta fija es el espacio que facilita la adquisición de inversiones y financiamiento, a través del encuentro entre ahorradores e inversionistas que efectúan operaciones con unas condiciones de liquidez, riesgo y rentabilidad, son uno de los vehículos de financiación más importantes a los que pueden acceder ciertas empresas y los Estados mismos, al permitirles captar dinero directamente del público inversionista. Se denomina renta fija porque desde el principio se conocen los intereses o la rentabilidad que va a pagar el instrumento financiero en cada momento, adicionalmente, el emisor garantiza la devolución del capital invertido. Sin embargo, el hecho de que los títulos estén garantizados por el emisor, no quiere decir que no tenga riesgo, ya que existe una probabilidad de incumplimiento del acuerdo y teniendo en cuenta la relación

inversa que existe entre la rentabilidad y el precio, los títulos de renta fija generan menos rendimientos que los títulos de renta variable (Universidad Eafit, 2018).

Por otro lado, la (Bolsa de valores de Colombia, s.f.) define los instrumentos de inversión de renta fija como emisiones de deuda que realiza el estado y las empresas, dirigidas a los participantes del mercado de capitales. Los títulos de Renta fija se negocian en el mercado primario y/o secundario a través del Mercado Electrónico de Colombia, MEC Plus, que comprende el sistema centralizado de operaciones de negociación y registro.

Por las diferentes definiciones, podemos concluir que los títulos de renta fija son emisiones de deuda en la cual el emisor está obligado a realizar pagos periódicos en una cantidad y con vencimientos previamente establecidos.

De acuerdo al (Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, 2019), en el mercado existen diferentes productos de renta fija que se pueden clasificar atendiendo a quién los emite, al plazo de la inversión y al rendimiento que ofrecen; según el emisor los instrumentos se clasifican en dos:



Ilustración 6 Instrumentos de renta fija - (BVC- Bolsa de valores de Colombia)

De acuerdo con esta misma entidad y con la Bolsa de Valores de Colombia, en primer lugar, nos encontramos los instrumentos de deuda pública, aquella que emiten Estados, Comunidades Autónomas y demás Administraciones u organismos públicos con el objetivo de financiar sus gastos estructurales y completar los ingresos procedentes de los impuestos, por otro lado se encuentran los instrumentos de deuda privada, emitida por empresas que necesitan financiación para acometer proyectos o ampliar capital.

Seguido de la introducción realizada al mercado de renta fija, a continuación se describen los instrumentos de deuda pública, específicamente los títulos de tesorería en moneda local (COP), teniendo en cuenta que son el núcleo necesario para desarrollar la presente investigación.

3.2.1. Títulos de Tesorería (TES): La corta definición por parte del (Banco de la República, 2019) dice que son títulos de deuda pública doméstica, emitidos por el gobierno y administrados por el Banco de la República. Una definición más completa, fue dada por la (Superintendencia Financiera de Colombia, 2019), la cual los informa que son títulos de tesorería creados en la ley 51 de 1990 y definidos como títulos de deuda pública interna emitidos por el Gobierno Nacional. Existen dos clases de títulos: clase A y clase B. Los primeros fueron emitidos con el objeto de sustituir la deuda contraída en las operaciones de mercado abierto realizadas por el Banco de la República. Los segundos se emiten para obtener recursos para apropiaciones presupuestales y efectuar operaciones temporales de la Tesorería del Gobierno Nacional y en la actualidad solamente se emiten los títulos de clase B. El plazo se determina de acuerdo con las necesidades de regulación del mercado monetario y de los requerimientos presupuestales o de tesorería, y fluctúa entre 1 y

7 años. El rendimiento de los títulos lo determina el Gobierno Nacional de acuerdo con las tasas del mercado para el día de colocación de los mismos, son títulos a la orden, libremente negociables en el mercado secundario.

3.2.1.1. **TES clase B tasa fija.** Son títulos con fecha de vencimiento mayor o igual a un año, los cupones que representan los intereses se le reconocen al inversionista cada año y el principal al vencimiento del título. No se permite la negociación del cupón ni del principal por separado. Los TES Clase B denominados en pesos son expedidos en múltiplos de 100.000 COP y el valor mínimo del principal es de 500.000 COP. Son títulos a la orden, no gozan de redención antes de su vencimiento, y son libremente negociables en el mercado secundario (Universidad Eafit, 2018).

3.3. Valoración de títulos de renta fija:

De acuerdo con (Betzen Álvarez & Betzen Zalvidegoitia, 2016), autores que definen la valoración de títulos de renta fija, como el cálculo y revelación al mercado del precio justo de intercambio de un activo financiero, determinado a partir de una fecha de negociación y condiciones particulares, donde el precio justo es simplemente el valor presente de un activo, que es la suma de los flujos que el poseedor espera recibir durante la vida del activo, estos pagos dependen del rendimiento que el mercado expresa en su tasa de descuento, que influye sobre el precio del activo siendo inversamente proporcionales.

Para valorar un bono, según un informe de la universidad de San Martín de Porres (Pastor Paredes, 2012) se debe tener en cuenta que, el precio teórico (o valor de mercado) de un bono se obtiene descontando los flujos de efectivo (cupones) que

recibirá su poseedor en el futuro a una determinada tasa de descuento (tasa de interés o rentabilidad exigida). La tasa de descuento viene determinada por el mercado de acuerdo con el riesgo que éste percibe y se puede considerar como la TIR del bono o tasa de rentabilidad exigida al vencimiento. Como la tasa es la misma, es equivalente a considerar una estructura de tasas de interés (yield curve) plana, cuyos desplazamientos son paralelos e iguales para todos los flujos, cualquiera sea el tiempo.

$$VA = \sum_{n=1}^N \frac{Cupón}{(1+r)^n} + \frac{VN}{(1+r)^N} \quad VA = Cupón \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right] + VN$$

$$VA = \frac{Cupón}{(1+r)^1} + \frac{Cupón}{(1+r)^2} + \frac{Cupón}{(1+r)^3} + \frac{Cupón}{(1+r)^4} \dots \dots + \frac{VN}{(1+r)^N}$$

Dónde:

r = Tasa de interés por periodo o TIR

VN= Valor nominal del bono (precio)

Cupón= Tasa cupón por valor nominal

N=Tiempo hasta la fecha de vencimiento

n= Tiempo para cada flujo de efectivo

VA= Valor actual del bono.

La Ilustración 7 que se muestra a continuación, expone el listado de TES que al 06 de septiembre 2019, se encuentran disponibles en la Bolsa de Valores de Colombia (BVC) para ser negociados, los cuales serán analizados y estudiados para saber si aplican en la investigación que se está desarrollando en el presente trabajo. Para contextualizar y entender un poco más cómo se realiza la valoración de bonos, a continuación se desarrolla el ejercicio con el TES: TFIT08261125, que por su nemotécnico se conoce

que es un título de tasa fija (TFI), que negocia el principal y el cupón (T), con un plazo de 8 años (8) y con vencimiento al 26 de noviembre del 2025 (261125).

Deuda Pública - Segmento Público			
Tipo de título	Cantidad	Volumen	
TITULOS TES	2.376.380.000.000	2.692.021.364.314,00	Cerrar
Nemotécnico	Emisor	Cantidad	Volumen
TFIP15260826	GNA	680.000.000	465.671.164
TFIT08261125	GNA	150.000.000.000	163.416.033.737
TFIT10040522	GNA	667.000.000.000	719.371.736.236
TFIT15240720	GNA	185.200.000.000	198.432.553.283
TFIT15260826	GNA	37.000.000.000	41.132.660.533
TFIT16180930	GNA	1.000.000.000	1.208.754.755
TFIT16181034	GNA	22.000.000.000	25.330.753.036
TFIT16240724	GNA	1.000.000.000.000	1.217.804.473.589
TFIT16280428	GNA	276.500.000.000	284.851.873.422
TFIT16300632	GNA	37.000.000.000	40.006.854.559

Ilustración 7 Listado de TES en la BVC - (Bolsa de valores de Colombia, 2019)

Para el ejemplo, se toma un valor nominal de 100, paga una tasa cupón del 6,25%, paga una tasa del 5,415%, tiene un plazo de 8 años, vence el 26/11/2025 y fue valorado el 06/09/2019. El ejercicio de valoración queda de la siguiente forma:

TES	TFIT08261125
Tasa Cupón	6,25%
Vencimiento	26/11/2025
Fecha de Valoración (Hoy)	06/09/2019
Tasa	5,415%

Valoración del título				
FECHA	DIAS	ti (Años)	Fi (Cupón)	VP Fi
06/09/2019				
26/11/2019	81	0,22	6,25	\$ 6,18
26/11/2020	446	1,22	6,25	\$ 5,86
26/11/2021	811	2,22	6,25	\$ 5,56
26/11/2022	1176	3,22	6,25	\$ 5,27
26/11/2023	1541	4,22	6,25	\$ 5,00
26/11/2024	1906	5,22	6,25	\$ 4,75
26/11/2025	2271	6,22	106,25	\$ 76,53
PRECIO SUCIO (VA)				\$ 109,148

Tabla 3 Ejemplo valoración TES - elaboración propia

Como resultado de la valoración del título TFIT08261125 se obtuvo un precio de \$109.148 y debido a que el precio sucio (VA) es mayor que el valor nominal (100), se dice que el título está con prima; si por el contrario el VA hubiese sido menor al valor nominal, el TES estaría al descuento y en dado caso que el precio del título fuese igual al VN, estaría a la par. Todos los bonos al vencimiento valen el valor nominal y son a la par.

3.4. Medidas de sensibilidad de los títulos de renta fija:

La sensibilidad de los títulos de renta fija, se puede definir como la reacción ante la variación del precio del activo, ante un cambio en los tipos de interés del mercado, medidos por la TIR a vencimiento. En la Tabla 4 que se muestra a continuación, se representa la variación de la TIR en puntos básicos (BP), en porcentaje y cómo quedaría la nueva TIR, para finalmente indicar cómo sería el precio real/sucio en cada escenario.

Rendimiento (TIR en BP)	Cambio Rendimiento (TIR) en %	Tasa de Mercado (TIR) en cada escenario	Precio sucio para cada escenario
-300	-3,00%	2,415%	\$ 126,761
-200	-2,00%	3,415%	\$ 120,497
-100	-1,00%	4,415%	\$ 114,636
-50	-0,50%	4,915%	\$ 111,847
-20	-0,20%	5,215%	\$ 110,217
-10	-0,10%	5,315%	\$ 109,681
0	0,00%	5,415%	\$ 109,148
10	0,10%	5,515%	\$ 108,618
20	0,20%	5,615%	\$ 108,092
50	0,50%	5,915%	\$ 106,534
100	1,00%	6,415%	\$ 104,004
200	2,00%	7,415%	\$ 99,180
300	3,00%	8,415%	\$ 94,654

Tabla 4 Comportamiento de la TIR en diferentes escenarios - elaboración propia

En la Ilustración 8, se observa gráficamente el comportamiento de la TIR en los escenarios y el respectivo precio sucio del activo, formando una curva convexa y de ella se puede inferir la relación inversa que existe entre la tasa de interés y el precio, lo que significa que a mayor tasa de rentabilidad que ofrezca el título, menor será el precio a pagar:

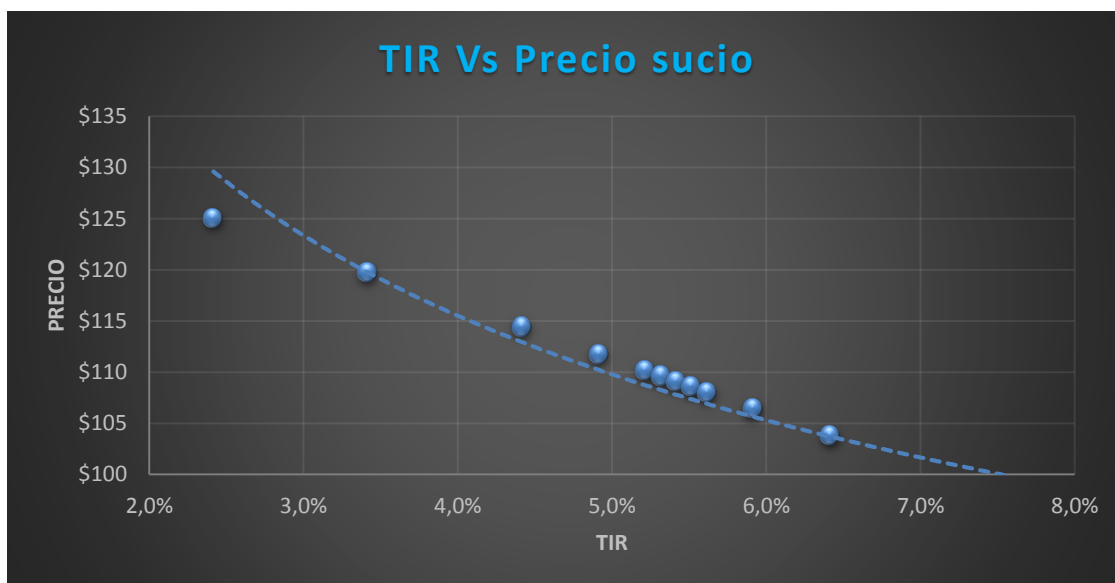


Ilustración 8 TIR vs precio sucio - elaboración propia

Por otro lado, uno de los conceptos más importantes en la gestión de riesgos de renta fija es la duración de Macaulay, porque puede ayudar enormemente a los inversores a elegir entre diversos conjuntos de valores de renta fija disponibles en el mercado.

3.4.1. **Duración de Macaulay.** -También llamada únicamente “duración”-, (Chen, 2018)

describe la duración como un concepto desarrollado por Frederick Macaulay en 1938, el cual mide el número promedio ponderado de años que un inversionista debe mantener una posición en el bono hasta que el valor presente de los flujos de efectivo del activo sea igual al monto pagado.

Los factores que afectan la duración son: El precio, el plazo, el cupón y el rendimiento al vencimiento del bono, a medida que aumenta el plazo, aumenta la duración. A medida que aumenta el cupón de un bono, disminuye su duración. A medida que aumentan las tasas de interés, disminuye la duración y disminuye la sensibilidad del bono a futuros aumentos de las tasas de interés. El banco (BBVA, 2017) en su apartado Aula Banca Privada, indica que la duración corresponde a la primera derivada del precio con respecto a la tasa de interés; es la sumatoria del valor presente de los flujos de caja por el tiempo que va a transcurrir, y se divide en el precio de bono (precio sucio) y generalmente se expresa en años.

$$Dur = \frac{\sum Vp Fi * ti}{P}$$

Al aplicar este concepto en el ejemplo anterior del TES: TFIT08261125, el tiempo de recuperación de la inversión sería de 5.13 años, dando como fecha de recuperación el 21 de octubre 2024 y tiene el siguiente comportamiento:

Cálculo de la duración					
FECHA	DIAS	ti (Años)	Fi (Cupón)	Vp Fi	Vp Fi * ti
06/09/2019					
26/11/2019	81	0,22	6,25	6,18	\$ 1,37
26/11/2020	446	1,22	6,25	5,86	\$ 7,16
26/11/2021	811	2,22	6,25	5,56	\$ 12,35
26/11/2022	1176	3,22	6,25	5,27	\$ 16,99
26/11/2023	1541	4,22	6,25	5,00	\$ 21,12
26/11/2024	1906	5,22	6,25	4,75	\$ 24,78
26/11/2025	2271	6,22	106,25	76,53	\$ 476,16
PRECIO SUCIO				\$ 109,148	\$ 559,94
DURACIÓN en años					5,13
Fecha					21/10/2024

Tabla 5 Ejemplo cálculo de la duración - elaboración propia

La duración de Macaulay necesita de un ajuste, el cual es realizado por la duración de Hicks, creada por John Hicks en 1939 y conocida como duración modificada, la diferencia es que la primera se mide en años y la segunda es un porcentaje.

3.4.2. **Duración de Hicks.** –Conocida como Duración modificada-, representa el factor de cambio del porcentaje de variación en el precio del bono, por cada 100 puntos básicos de movimiento de la tasa de interés. Mide la sensibilidad del precio ante las tasas de interés.

$$Dur Mod = \frac{Dur}{(1 + tasa\ de\ interés)}$$

Continuando con la aplicación de las fórmulas de medidas de sensibilidad en el TES: TFIT08261125, se procede a dividir la duración de 5.13 entre (1+5,415%) y se obtiene una duración modificada de 4.87, lo cual significa que ante un variación del 1% en la tasa de interés del mercado, el precio del bono varía más o menos en 4.87%; es decir, si la tasa actual del 5,415% aumenta a 6,415%, se espera que el precio sucio del TES disminuya y sea de \$103,836. El precio disminuiría porque reacciona a la relación inversa que existe entre la tasa de interés y el precio, a continuación se refleja el comportamiento de la TIR vs el precio ajustado por DUR:

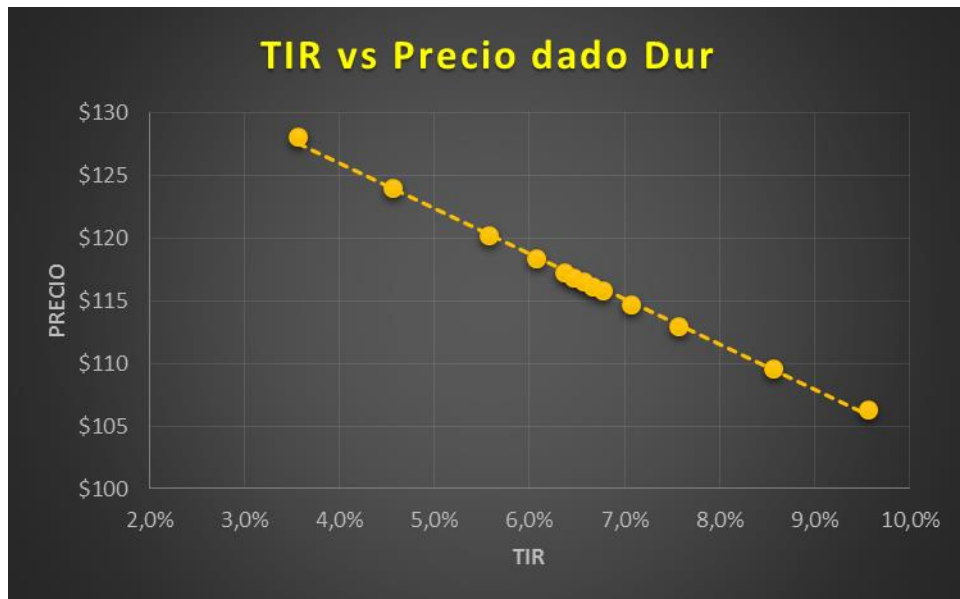


Ilustración 9 TIR vs precio dado Dur - elaboración propia

En la Ilustración 9, mediante la línea recta se observa la corrección que realiza la duración modificada sobre el comportamiento del precio. Adicional a la duración de Macaulay y de Hicks, existe otra medida de ajuste, llamada convexidad porque la duración modificada calcula una aproximación adecuada de la variación del precio de los bonos, ante cambios pequeños en el tipo de interés, pero esta magnitud parte de una relación lineal entre las variaciones del tipo de interés y las del precio, por lo que conlleva la existencia de errores crecientes a medida que las variaciones del tipo de interés son de mayor magnitud. Cuando la variación del tipo es superior a un 1% (100 puntos básicos), se entiende que la duración deja de ser una buena medida de la sensibilidad y se recurre a la convexidad, por lo que se estima el valor del bono con una parábola (Wikipedia, 2019).

3.4.3. **Convexidad.** Medida que hace un ajuste en el porcentaje de cambio que hace la duración modificada -siempre será positiva-. Es la segunda derivada del precio

respecto a la tasa de interés. Mide el cambio en la duración del bono como resultado de un cambio en la rentabilidad.

$$CV = \frac{\sum Vp Fi * (ti+1) * ti}{P (1+ tasa)^2}$$

$$\% \text{ variación } CV = \frac{1}{2} * Cv * (\Delta tasa)^2$$

Es el porcentaje de variación del precio del bono (BBVA, 2017), cuando la variación en TIR o tipos de interés es muy grande, la Duración y la Duración Modificada no son buenos indicadores del nuevo precio del bono y esto se debe a que el precio del bono no varía linealmente con la evolución de ambas variables sino de forma cuadrática (en curva). Para el ejercicio que se está desarrollando con el TES: TFIT08261125, la convexidad se calcula en 31,60 y el porcentaje de variación de la convexidad es del 5%, lo que representa un ajuste a la duración modificada y precio sucio con la aplicación del porcentaje de variación sería de \$104,091². Adicionalmente, se resalta que a menor tiempo de exposición, menor sensibilidad del título ante variaciones en las tasas de interés.

En la Tabla 6, se muestra el precio sucio, el precio dado duración y el total dado por la duración más la convexidad para cada uno de los diferentes escenarios, datos que fueron utilizados para generar la Ilustración 10 donde se comparan entre sí.

² Los cálculos fueron realizados, teniendo en cuenta las fórmulas indicadas en la presente investigación

Precio sucio para cada escenario	% cambio precio respecto a la tasa base	%cambio en el precio según Duración	Precio dado por duración	% cambio en el precio según CONVEX	% cambio TOTAL	Precio dado por % TOTAL
\$ 126,761	16,137%	14,600%	\$ 125,083	1,422%	16,022%	\$ 126,635
\$ 120,497	10,399%	9,733%	\$ 119,771	0,632%	10,365%	\$ 120,461
\$ 114,636	5,029%	4,867%	\$ 114,459	0,158%	5,025%	\$ 114,632
\$ 111,847	2,473%	2,433%	\$ 111,804	0,039%	2,473%	\$ 111,847
\$ 110,217	0,980%	0,973%	\$ 110,210	0,006%	0,980%	\$ 110,217
\$ 109,681	0,488%	0,487%	\$ 109,679	0,002%	0,488%	\$ 109,681
\$ 109,148	0,000%	0,000%	\$ 109,148	0,000%	0,000%	\$ 109,148
\$ 108,618	-0,485%	-0,487%	\$ 108,617	0,002%	-0,485%	\$ 108,618
\$ 108,092	-0,967%	-0,973%	\$ 108,085	0,006%	-0,967%	\$ 108,092
\$ 106,534	-2,394%	-2,433%	\$ 106,492	0,039%	-2,394%	\$ 106,535
\$ 104,004	-4,712%	-4,867%	\$ 103,836	0,158%	-4,709%	\$ 104,008
\$ 99,180	-9,132%	-9,733%	\$ 98,524	0,632%	-9,101%	\$ 99,214
\$ 94,654	-13,279%	-14,600%	\$ 93,212	1,422%	-13,178%	\$ 94,764

Tabla 6 TIR, precio dado Dur y Convex para diferentes escenarios - elaboración propia

En la Ilustración 10, se representa mediante curvas convexas de color azul y rojo, el comportamiento de la TIR vs el precio sucio y la TIR vs el precio con ajuste de duración más la convexidad (respectivamente), la línea recta de color amarillo representa la TIR vs precio ajustado por duración.

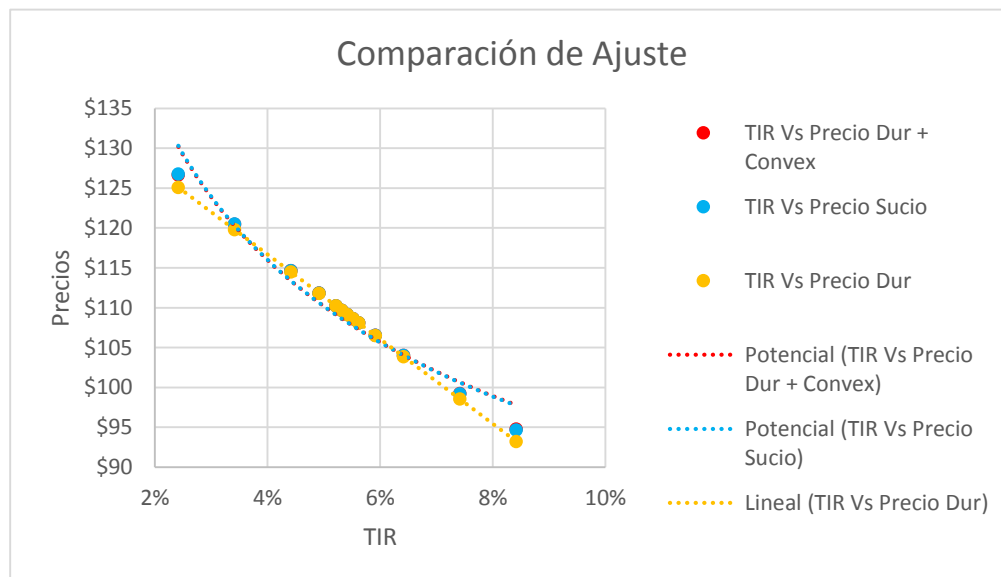


Ilustración 10 Comparación de ajuste - elaboración propia

3.5. Medición del riesgo:

Antes para la medición del riesgo de mercado accionario se utilizaba beta (β) y cuanto mayor fuese la desviación estándar de las rentabilidades históricas de la acción, mayor sería la volatilidad histórica y por tanto su riesgo, también cuanto mayor fuese el β de la acción, mayor sería su riesgo sistemático (Puig, s.f.). Actualmente, la medida de riesgo más popular es el VaR (Value at Risk), teoría que revolucionó el mercado financiero, pero tiene algunas fallas debido a que no puede ser asumido como una medida adecuada para el riesgo en todos los casos porque supone una distribución normal para todos los fenómenos, lo que quiere decir que el VaR es válido únicamente en condiciones normales de mercado (Claro E. , Contador A. , & Quiroga P. , 2006).

(JP Morgan Chase & Co, 2019) define el VaR como una medida estadística de riesgo de mercado que estima la pérdida máxima que podría registrar un portafolio en un intervalo de tiempo y con cierto nivel de confianza. El nivel de significancia elegido para el VaR depende de la actitud hacia el riesgo del usuario: cuando más adverso al riesgo, más bajo es el nivel de significación elegido. El horizonte de tiempo es el periodo sobre el cual se mide la pérdida potencial. Riesgos diferentes se evalúan sobre periodos de tiempo diferentes de acuerdo con su liquidez (a mayor liquidez, menor será el periodo de tiempo sobre el que se calcula el VaR).

De acuerdo con (Franco Arbeláez & Franco Ceballos, 2005), para que el VaR sea considerado una medida coherente del riesgo, debe satisfacer las siguientes propiedades:

- ***Monotononicidad:*** A mayor rentabilidad debe corresponder mayor riesgo.
- ***Homogeneidad positiva:*** El riesgo escala con el tamaño de la posición.

- **Subaditividad:** El riesgo global de un portafolio formado por dos o más activos es menor o igual que la suma de los riesgos individuales.
- **Invarianza traslacional:** Significa que si se invierte una cantidad adicional en el portafolio, y se invierte prudentemente, entonces su riesgo se debe reducir en esa cantidad proporcional.

En la Ilustración 11, se muestra gráficamente la distribución de pérdidas y ganancias, para un nivel de confianza del 95%.

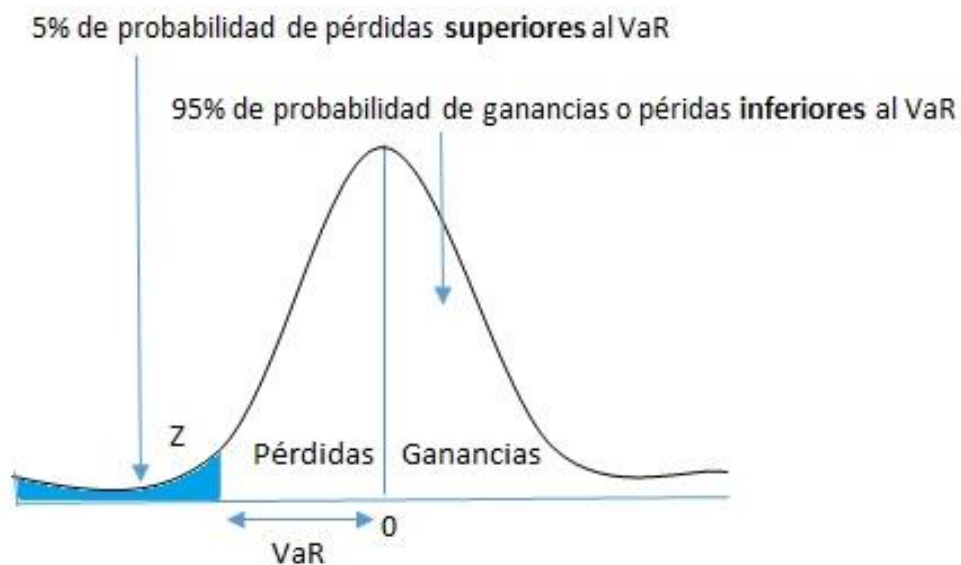


Ilustración 11 Representación del VaR

En esta investigación se describen 3 técnicas de medición, las cuales emplean diferentes métodos para calcular el VaR:

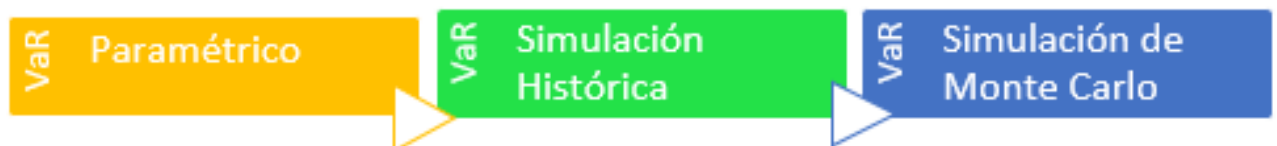


Ilustración 12 Técnicas de medición del VaR

3.5.1. **Método paramétrico.** De acuerdo con (Haro, 2008), los métodos paramétricos tienen como característica el supuesto de que los rendimientos del activo en cuestión se distribuyen de acuerdo con una curva gaussiana o una curva de densidad de probabilidad normal, sin embargo, en la práctica se ha observado que la mayoría de los activos no siguen un comportamiento estrictamente normal, sino que son aproximados a la curva normal y, por tanto, los resultados que se obtienen al medir el riesgo son una aproximación.

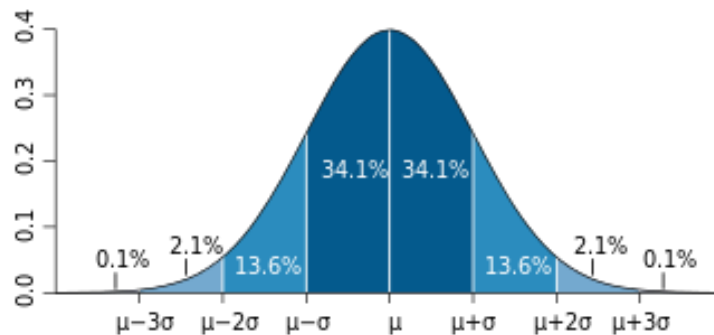


Ilustración 13 Distribución de normalidad - (Wikipedia, 2019)

Bajo el supuesto de normalidad y de media de rendimientos igual a cero, el modelo paramétrico que determina el VaR de una posición es la siguiente:

$$VaR = Z * VA * \sigma * \sqrt{t}$$

Siendo, Z= el factor que determina el nivel de confianza.

VA= el Valor Actual de la inversión o la exposición total en riesgo.

σ = desviación estándar de los rendimientos del activo.

t = horizonte de tiempo en que se desea calcular el VaR.

Para ejemplificar el cálculo del VaR de un activo, un inversionista compra 5.000 acciones de “Ecopetrol”, cuyo precio al finalizar el día 24 de septiembre 2019 fue \$2.980 COP por unidad, con una volatilidad diaria de 0.67% y adquiere el TES: TFIT08261125 con un valor nominal de \$20.000.000, precio sucio de \$109.148 COP, con un $\sigma = 0.213\%$ correspondiente a la volatilidad calculada mediante variación absoluta entre las tasas históricas del título, desde el 23/01/2018 hasta el 30/05/2019, para los dos activos, $Z=-1.645^3$ y se desea conocer el VaR diario bajo un nivel de confianza del 95%.

$$VaR \text{ acciones} = -1.645 * \$14.90.000 * 0.670 * \sqrt{1} = -\$164.206$$

ACCIONES		Ecopetrol	TES		TFIT08261125
N° Acciones	\$	5.000	Valor nominal	\$	20.000.000
Precio sucio	\$	2.980	Precio sucio	\$	109,148
VA	\$	14.900.000	VA	\$	21.829.539
Horizonte (días)		1	Horizonte (días)		1
Nivel de confianza		95%	Nivel de confianza		95%
Z		-1,645	Z		-1,645
Volatilidad		0,670%	Volatilidad		0,213%
VAR (\$)	-\$	164.206	VAR (\$)	-\$	76.630
VAR (%)		-1,102%	VAR (%)		-0,351%

Tabla 7 Cálculo del VaR de acciones y TES con el método paramétrico - elaboración propia

Al interpretar el resultado, se puede esperar que bajo condiciones normales del mercado, el inversionista pierda máximo por el portafolio de acciones \$164.206 COP y por el TES \$76.630 COP. La exposición porcentual del portafolio de acciones y del bono es de 1.102% y 0.351% respectivamente, valor que se resulta de dividir el VaR entre VA.

³ Para calcular $Z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(1-\text{nivel de confianza})$

A continuación, se describen las características del método no paramétrico:

3.5.2. **Método no paramétrico o de simulación histórica.** De acuerdo con (Haro, 2008)

este método consiste en utilizar una serie histórica de precios de la posición de riesgo, para construir una serie de tiempo de precios y/o rendimientos simulados o hipotéticos, con el supuesto de que se ha conservado el portafolio durante el periodo de tiempo de la serie histórica. Se recomienda reunir los datos de los precios diarios históricos considerando un periodo que oscila entre 250 y 500 datos. Existen tres tipos de simulación histórica: crecimientos absolutos, crecimientos logarítmicos y crecimientos relativos, los cuales dependen del método empleado para calcular la variación.

Para la descripción de las fórmulas que se muestran a continuación, se entenderá R_i como el valor de la volatilidad, X_t será el precio y/o rendimiento del periodo de referencia y X_{t+1} será el precio y/o rendimiento después del periodo de referencia.

***Variación absoluta:** Se obtiene como la diferencia entre dos valores observados en un periodo de tiempo consecutivo.

$$R_i = X_{t+1} - X_t$$

***Variación relativa:** Permite medir las variaciones de las variables en tasa discreta, elimina las diferencias de escalas para que sean comparables entre sí.

$$R_i = \left[\frac{X_{t+1} - X_t}{X_t} \right]$$

***Variación Logarítmica:** Permite medir las variaciones en tasa continua.

$$R_i = Ln \left[\frac{X_{t+1}}{X_t} \right]$$

Para el desarrollo de la presente investigación se realizará el cálculo del VaR mediante el método no paramétrico de crecimientos absolutos porque son variaciones entre tasas de interés de los TES, en dado caso que fuesen variaciones de precios, se recomendaría utilizar el método de crecimientos logarítmicos.

Para (Melo Velandia & Becerra Camargo, 2005) el VaR histórico o VaR por simulación histórica se calcula partiendo de la presunción de que la variación de precios futura se distribuirá de igual manera que en el pasado. Para ello, se aplica a una cartera de activos financieros una serie de precios históricos con el objetivo de obtener escenarios que se puedan comparar con la posición actual.

A continuación, en la Ilustración 14, se expone el esquema del proceso empleado para calcular el VaR por medio de la simulación histórica.

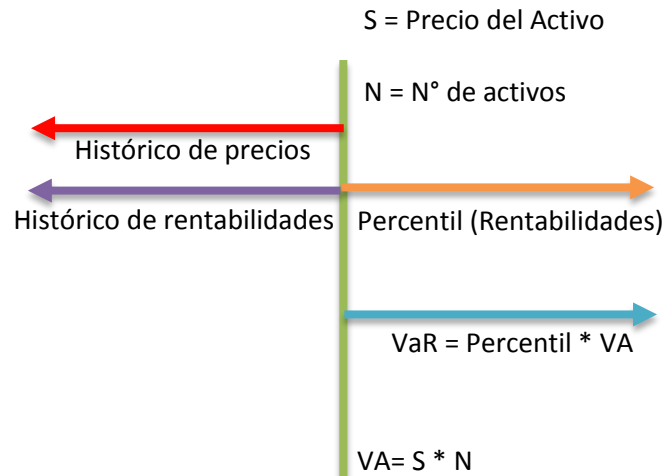


Ilustración 14 Proceso método no paramétrico o simulación histórica - elaboración propia

De acuerdo con (Claro E. , Contador A. , & Quiroga P. , 2006) es un método aplicable tanto a carteras lineales como no lineales, debido a que no depende de ninguna hipótesis sobre distribuciones de probabilidad subyacente y, por lo tanto, permite capturar el fenómeno de las colas gruesas al mismo tiempo que elimina la necesidad de estimar y trabajar con volatilidades y correlaciones, evitando en gran

medida el riesgo de modelización y en su lugar, utiliza el percentil y los niveles de confianza, por lo cual el valor en riesgo estará dado en porcentaje, siendo necesario multiplicar por el valor del portafolio para obtener el valor en COP. Sin embargo este método supone que ningún evento que no haya ocurrido en el pasado podrá ocurrir en el futuro.

El cálculo del VaR diario para el TES: TFIT08261125 con un valor nominal de \$20.000.000, precio sucio de \$109.148 COP, con un percentil de -0.003^4 , calculado con los histórico de las variaciones del precio del activo desde el 23/01/2018 hasta el 30/05/2019 y bajo un nivel de confianza del 95% quedaría de la siguiente forma:

TES	TFIT08261125
Valor nominal	\$ 20.000.000
Precio sucio	\$ 109,148
VA	\$ 21.829.539
Horizonte (días)	1
Nivel de confianza	95%
Percentil	-0,3%
VAR (\$)	-\$ 70.752
VAR (%)	-0,324%

Tabla 8 Cálculo del VaR mediante simulación histórica - elaboración propia

Por medio de la simulación histórica, la exposición diaria del TES sería de 0.324%, con una posibilidad de perder máximo \$70.752 COP por día.

Por último se describe el método de simulación de Montecarlo,

3.5.3. Métodos de simulación Montecarlo. Puede interpretarse como una mezcla entre el paramétrico y la simulación histórica, de acuerdo con (Haro, 2008) este método fue propuesto por Boyle y consiste en la generación de números aleatorios que

⁴ El cálculo del percentil es= PERCENTIL(matriz de históricos;1-nivel de confianza)

sirven para generar un nuevo valor del portafolio, con igual probabilidad de ocurrencia que los demás y determinar las pérdidas o ganancias, generando escenarios. Adicionalmente, según la investigación desarrollada por (García Domínguez,, Meza González, & Ventura García, 2017), a través del mismo, se obtiene una aproximación del comportamiento de la rentabilidad esperada porque la distribución de las variaciones en los precios refleja un abanico completo de todas las realizaciones y sus posibilidades.

El método Montecarlo puede desarrollarse de dos formas: a) Método de Wiener b) distribución de mejor ajuste

***Método de Wiener:** Este método emplea para ello simulaciones por ordenador generando recorridos aleatorios de la rentabilidad de la cartera basados en determinados supuestos iniciales sobre las volatilidades y correlaciones de los factores de riesgo. Puede ser especialmente útil para modelizar el comportamiento de activos de los cuales se carece de información histórica o para los que siguen distribuciones muy distintas a la normal y está representado por el siguiente diagrama, en el cual μ es el cálculo de la media y σ es la desviación:

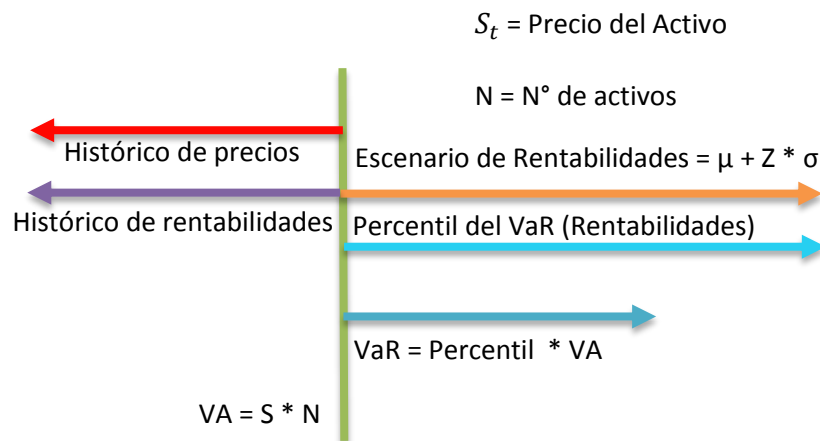


Ilustración 15 Proceso Simulación Montecarlo - Wiener - elaboración propia

Debido a que los procesos de un activo en el mercado eficiente se comportan de acuerdo a un proceso estocástico (movimiento geométrico Browniano), la ecuación matemática del proceso, es:

$$\frac{ds}{s} = \mu d_t + \sigma d_z \quad \text{donde } d_z = \varepsilon_t \sqrt{d_t}$$

Donde μ es la media de los rendimientos y σ es la desviación estándar de los mismos. El modelo Wiener indica que los rendimientos de un activo ($\frac{ds}{s}$) están determinados por un componente determinístico (μd_t) y un componente estocástico ($\sigma \varepsilon_t \sqrt{d_t}$) que contiene un ruido blanco o choque aleatorio ε_t . Ahora bien, este modelo se puede expresar en términos discretos de la siguiente manera:

$$\frac{S_t - S_{t-1}}{S_{t-1}} = \mu \Delta t + \sigma \varepsilon_t \sqrt{\Delta t}$$

Al despejar el precio del activo en el tiempo t, se tiene:

$$S_t = S_{t-1} + S_{t-1}(\mu \Delta t + \sigma \varepsilon_t \sqrt{\Delta t})$$

Para crear escenarios basta con generar números aleatorios, y para determinar el nuevo valor del activo, es claro que dependerá del valor obtenido en el periodo anterior manera sucesiva. El valor de la media y de sigma permanecen constantes.

A continuación en la Ilustración 16, se observa el comportamiento de los rendimientos reales del TES TFIT08261125, el cual fue utilizado como ejemplo para valoración del riesgo a través de los métodos: paramétrico y simulación histórica, por otro lado, en la Ilustración 17 se observa cómo sería un posible comportamiento con rendimientos aleatorios con el método Wiener.

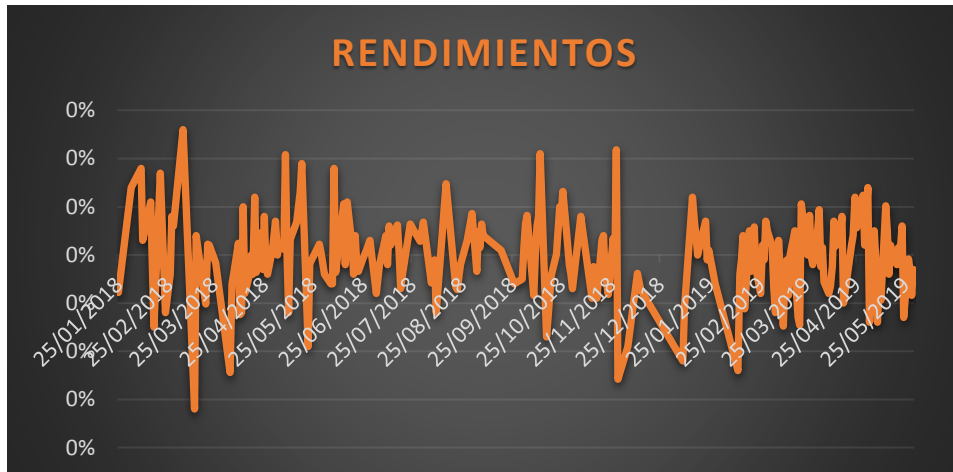


Ilustración 16 Variaciones tasas reales - elaboración propia

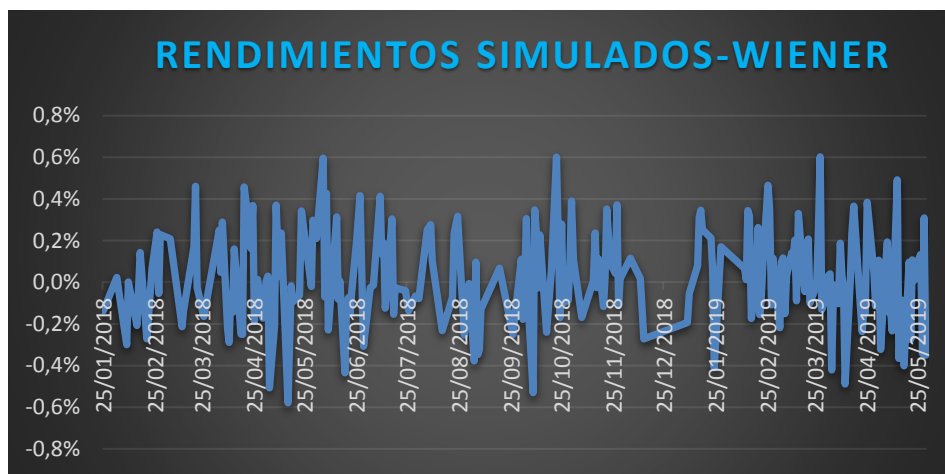


Ilustración 17 Variaciones de tasas simuladas - elaboración propia

***Distribución de mejor ajuste:** Con este método es necesario especificar un proceso estocástico, a través de modelizar rentabilidades esperadas y se asume que siguen distribuciones específicas con unos parámetros determinados, que determinan la evolución de los factores de riesgo. Es una técnica de simulación estadística, que permite generar diversos resultados de una variable aleatoria. Requiere de la definición de la distribución de probabilidad de los rendimientos del activo (normal, logística, Laplace, entre otras.) para aplicar sobre la variable aleatoria (como lo es el caso de las oscilaciones de precios). A continuación se ilustra el proceso:

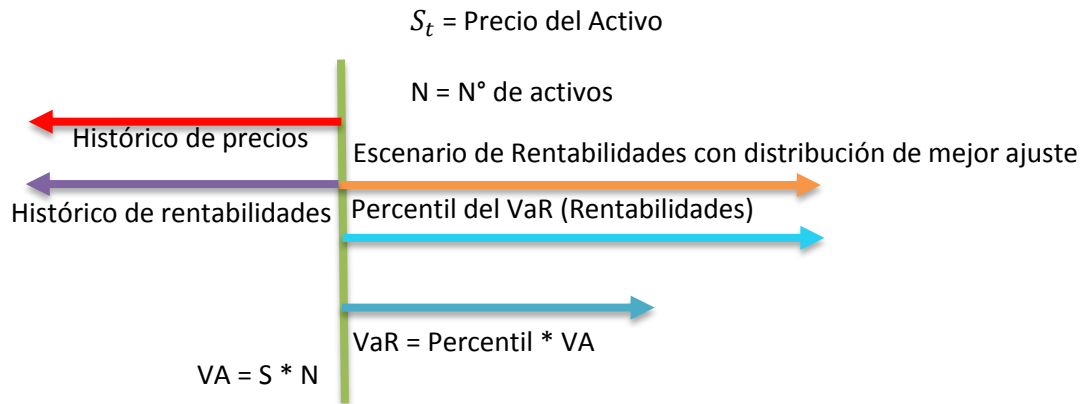


Ilustración 18 Proceso Simulación Montecarlo - distribución ajustada - elaboración propia

En este proceso se requiere de supuestos de entrada, los cuales son los parámetros de distribución y las variables de salida son las rentabilidades.

A continuación se muestran las gráficas de las distribuciones continuas que generalmente se ajustan a los datos:

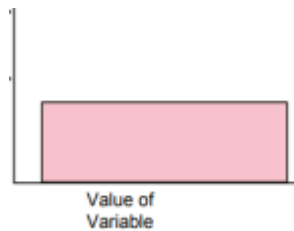


Ilustración 19 Distribución uniforme - (McMurray, Pearson, & Casarim, 2017)

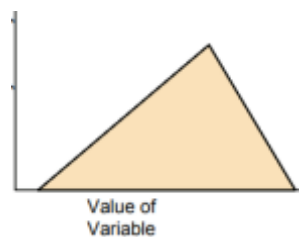


Ilustración 20 Distribución triangular - (McMurray, Pearson, & Casarim, 2017)

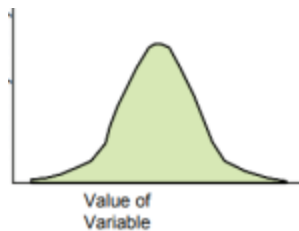


Ilustración 21 Distribución normal - (McNeil, Frey, & Embrechts, 2005)

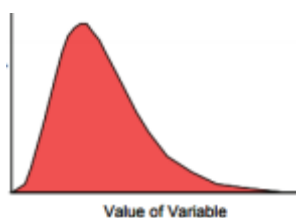


Ilustración 22 Distribución lognormal – (McNeil, Frey, & Embrechts, 2005)

Con el método de Montecarlo-Wiener aplicado al TES: TFIT08261125, el cual tiene un valor nominal de \$20.000.000, precio sucio de \$109.148 COP, con un percentil aleatorio que depende de los 5.671 rendimientos simulados y para un nivel de confianza del 95% , el VaR sería:

TES	TFIT08261125
Valor nominal	\$ 20.000.000
Precio sucio	\$ 109,148
VA	\$ 21.829.539
Nivel de confianza	95%
Percentil	-0,350%
VAR (\$)	-\$ 76.463
VAR (%)	-0,350%

Ilustración 23 Montecarlo-wiener en el TES TFIT08261125 - elaboración propia

En esta ocasión, el cálculo aleatorio indica que la exposición diaria del TES es aproximadamente del 0.350% y que puede perder máximo \$76.463 en un día, sin embargo cabe aclarar que tanto el VaR en dinero como la exposición de la cartera en porcentaje, varía constantemente, ya que están vinculados a 5.671 datos aleatorios.

A continuación se muestra un ejemplo del cálculo del VaR con el método de distribución de mejor ajuste: un inversionista adquiere un título emitido el 24 de Julio del 2008, con vencimiento del 24 de julio 2024, ofrece un cupón del 10%,

tiene un precio sucio de \$119.294 COP, una tasa del 6.20%, un valor nominal de \$200.000.000, y se quiere calcular el VaR para un nivel de confianza del 95%. Para calcular la distribución de mejor ajuste se hace uso del Risk Simulator -software complementario de Excel- que toma los parámetros de entrada, los analiza, genera la distribución que mejor se ajusta y halla el valor del percentil. Después de hacer el proceso en el software y por las características anteriormente mencionadas, el esquema sería:

TES	
Valor nominal	\$ 200.000.000
VA	\$ 23.858.841
Nivel de confianza	95%
Percentil	-0,3%
Distribucion Ajustada Laplace	
Alfa	0,000
Beta	0,001
VAR (\$)	-\$ 71.576.
VAR (%)	-0,300%

Tabla 9 Ejemplo cálculo del VaR por distribución de mejor ajuste - elaboración propia

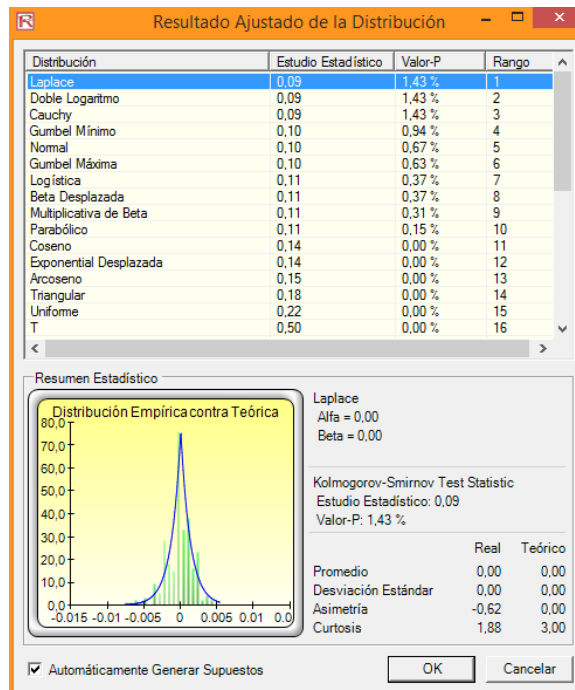


Ilustración 24 Resultado cálculo del VaR en Risk simulator - elaboración propia

En la Ilustración 24, se observa que el software risk simulator busca entre un conjunto de distribuciones posibles, la que mejor se ajuste al comportamiento de los datos y muestra en el resumen estadístico los parámetros correspondientes, en este caso, eligió la distribución de Laplace porque tiene uno de los más bajos resultados en la columna de “estudio estadístico” y uno de los mayores valores en el “valor-p” y los parámetros fueron $\alpha = 0.000$ y $\beta = 0.001$.

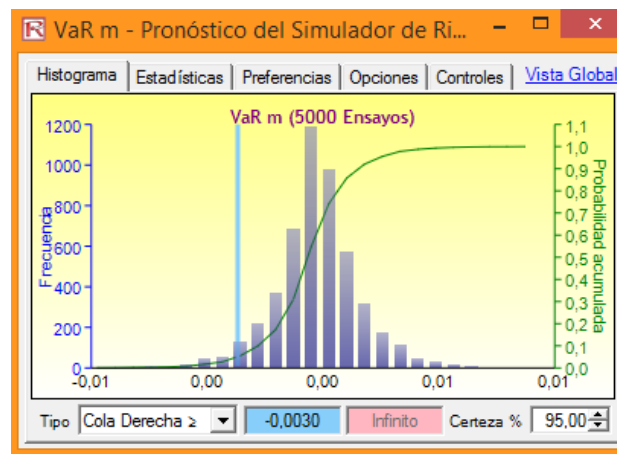


Ilustración 25 Percentil dado por Risk simulator - elaboración propia

En la Ilustración 25 se observa que para un nivel de confianza del 95%, el percentil es de 0.0030. Como resultado se obtiene que con el método de distribución de mejor ajuste, el VaR calculado es de \$715.765, con una exposición de la cartera diaria del 0.300%.

Después del cálculo del VaR por los métodos: paramétrico, simulación histórica y Montecarlo-Wiener con distribución normal, se describirán las pruebas de validación o también llamadas Backtesting, las cuales, a grosso modo son para evaluar la efectividad de los modelos empleados en el cálculo del valor en riesgo.

3.6. Pruebas de validación o Backtesting:

Miden la estabilidad de los modelos mediante la comparación que se establece entre el VaR obtenido y los rendimientos reales, asumiendo que se traten de utilidades o en dado caso pérdidas, los modelos que cumplan con los niveles de significancia preestablecidos por el analista se identifican para posteriormente ser interpretados en el estudio. Estas pruebas de validación sugieren la recopilación de al menos 250 datos para el estudio. Su metodología está dada en un primer principio en el cálculo de la variación de la curva de rendimiento utilizando las tasas del mercado y a partir de ello, se ajusta el VaR a un día y se compara con los datos reales, posteriormente se calcula el número de veces donde las pérdidas superan el VaR y luego se divide el número de excepciones sobre el total de observaciones para el cálculo de la eficiencia.

3.6.1. *Prueba de Kupiec y calibración del modelo.* De acuerdo con (Betancur

Rodriguez & Cuervo Paloma, 2011) la prueba de proporción de fallas de Kupiec, POF por sus siglas en inglés, evalúa la hipótesis nula que la probabilidad de falla sea igual a $1-\alpha$. Es decir, si se calcula el VaR con un nivel de confianza del 95%, entonces H_0^5 es $p=5\%$. Este hipótesis nula es contrastada a través de una prueba de razón de verosimilitud, y emplea la siguiente fórmula:

$$LR = -2\ln \left(\frac{p^x (1-p)^{n-x}}{\hat{p}^x (1-\hat{p})^{n-x}} \right)$$

⁵ H_0 : hipótesis de que la proporción observada de excepciones (x/n) es estadísticamente igual a la probabilidad de error considerada para el VaR: $(1-\alpha)$.

Donde x es el número de excepciones, es decir, el número de veces que el P&G toca el VaR negativo, n es el número de observaciones incluidas en el Backtesting o dicho de otra forma, es la cantidad de datos que se tienen para comparar el VaR real con el calculado, $\hat{p} = \frac{x}{n}$, $p = 1 - \text{nivel de confianza}$.

(Lasso, 2015) Indica que es el método de verificación más utilizado para cuantificar las veces en que las pérdidas o ganancias exceden el VaR durante un lapso de tiempo.

A continuación se muestra cómo queda gráficamente la prueba de validación de Backtesting, comparando el VaR calculado (positivo y negativo) vs el movimiento real de un activo.

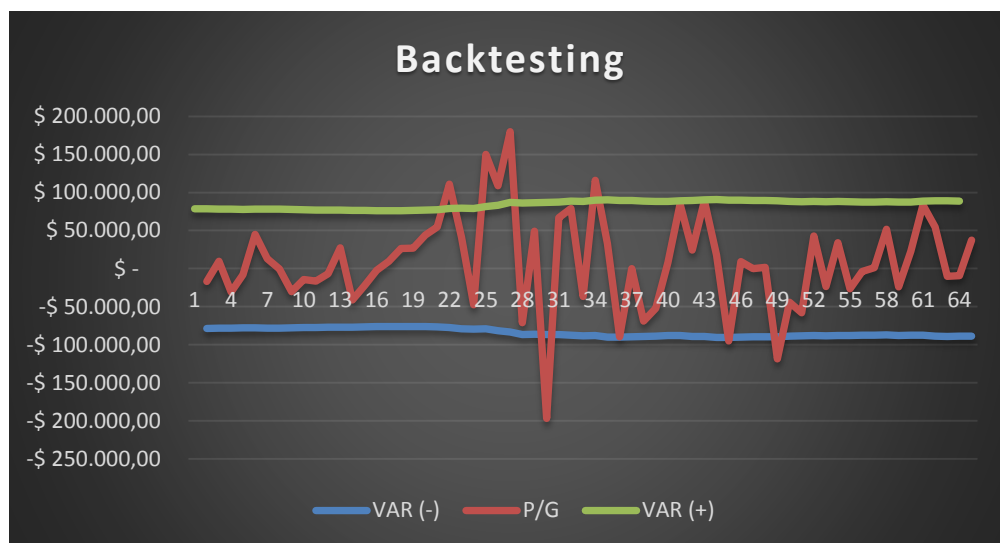


Ilustración 26 Ejemplo Backtesting - elaboración propia

La Ilustración 26 representa la aplicación del Backtesting para comprobar si el modelo se encuentra o no ajustado, la línea roja es la variación del dólar entre el 28 de junio 2019 hasta el 26 de septiembre del mismo año, las línea verde y azul; son el VaR positivo y VaR negativo respectivamente. Para aplicar la prueba de Kupiec,

se procede a observar que hay cuatro puntos que tocan o pasan el VaR negativo, por lo cual $X=3$, debido a que en dicho periodo hay 64 observaciones; $n=64$, para un nivel de confianza del 95%; $p=5\%$, y al aplicar la fórmula de Kupiec se obtiene un 0.01343, sin embargo para saber si el modelo se aprueba o no, se calcula el valor crítico y para este caso es de 3.84, por lo cual se informa que no se rechaza la H_0 : hipótesis de que la proporción observada de excepciones (x/n) es estadísticamente igual a la probabilidad de error considerada para el VaR: $(1-\alpha)$, para un nivel de confianza del 95% y se concluye que el modelo está ajustado.

Capítulo 2

Estructuración del portafolio

Los activos seleccionados para la estructuración del portafolio, son títulos de renta fija (TES) cuyo nemotécnico empieza por TFIT porque son de tasa fija; fueron generados por el Gobierno de Colombia con fechas de emisión entre el 24/07/2005 y el 26/11/2017. Cada uno de los TES tiene como mínimo 1.5 años de datos históricos, cuentan con una tasa cupón, TIR de valoración, fecha de vencimiento y pago del cupón año vencido. Al cumplir con estas características, se procedió a descargar la información de las tasas de negociación desde la página web de la Bolsa de Valores de Colombia: <https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Mercados/enlinea/rentafija?action=dummy>. El rango de datos utilizado en la presente investigación va desde el 23/01/2018 hasta el 28/06/2019, siendo esta última, la fecha de estructuración del portafolio y la misma fecha de valoración para cada uno de los títulos. A continuación, en la Tabla 10 se relaciona el listado de los 7 TES seleccionados para el desarrollo del presente proyecto:

TES	Fecha Emisión	Fecha vencimiento	Fecha valoración	Tasa Cupón	TIR de valoración
TFIT08261125	26/11/2017	26/11/2025	28/06/2019	6,25%	5,53%
TFIT10040522	04/05/2012	04/05/2022	28/06/2019	7,00%	4,86%
TFIT15240720	24/07/2005	24/07/2020	28/06/2019	11,00%	4,32%
TFIT15260826	26/08/2011	26/08/2026	28/06/2019	7,50%	5,62%
TFIT16240724	24/07/2008	24/07/2024	28/06/2019	10,00%	5,15%
TFIT16280428	28/04/2012	28/04/2028	28/06/2019	6,00%	5,93%
TFIT16300632	30/06/2016	30/06/2032	28/06/2019	7,00%	6,30%

Tabla 10 Lista de TES seleccionados - elaboración propia

Después de seleccionados, por cumplir con las condiciones anteriormente indicadas, se procedió con la valoración de cada uno de los títulosⁱⁱ y se calcularon las medidas de

sensibilidad como duración, duración modificada y convexidad, para finalmente obtener el precio sucio para la fecha de estructuración del portafolio. A continuación, se relacionarán los resultados obtenidos:

a)

TES	TFIT08261125
Tasa Cupón	6,25%
Vencimiento	26/11/2025
Fecha de Valoración (Hoy)	28/06/2019
Tasa	5,53%

Cálculo de la duración					
FECHA	DIAS	ti (Años)	Fi (Cupón)	Vp Fi	Vp Fi * ti
28/06/2019					
26/11/2019	151	0,41	6,25	6,11	\$ 2,53
26/11/2020	516	1,41	6,25	5,79	\$ 8,19
26/11/2021	881	2,41	6,25	5,49	\$ 13,25
26/11/2022	1246	3,41	6,25	5,20	\$ 17,75
26/11/2023	1611	4,41	6,25	4,93	\$ 21,75
26/11/2024	1976	5,41	6,25	4,67	\$ 25,28
26/11/2025	2341	6,41	106,25	75,23	\$ 482,52
PRECIO SUCIO				\$ 107,424	\$ 571,27
				DURACIÓN en años	5,32
				Fecha	20/10/2024

Tabla 11 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT08261125

El TES TFIT08261125 fue emitido el 26 de noviembre 2017, con tasa cupón 6.25% y vencimiento del 26/11/2025, para la estructuración del portafolio, fue valorado el 26 de junio 2019 con una TIR de 5.53% y se obtuvo como resultado un precio sucio de \$107.424 COP, tiene una duración de 5.32 años por lo cual su fecha de recuperación de inversión es el 20 de octubre 2024, la duración modificada es de 5.04 y el porcentaje de variación de convexidad del 5%, lo cual ajusta el precio a \$101.927 COP.

b)

TES	TFIT10040522
Tasa Cupón	7,00%
Vencimiento	04/05/2022
Fecha de Valoración (Hoy)	28/06/2019
Tasa	4,86%

Cálculo de la duración					
FECHA	DIAS	ti (Años)	Fi (Cupón)	Vp Fi	Vp Fi * ti
28/06/2019					
04/05/2020	310	0,85	7,00	6,72	\$ 5,71
04/05/2021	675	1,85	7,00	6,41	\$ 11,86
04/05/2022	1040	2,85	107,00	93,47	\$ 266,32
PRECIO SUCIO				\$ 106,603	\$ 283,89
				DURACIÓN en años	2,66
				Fecha	24/02/2022

Tabla 12 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT10040522

El TES TFIT10040522 fue emitido el 04 de mayo 2012, con tasa cupón 7% y vencimiento del 04/05/2022, para la estructuración del portafolio, fue valorado el 26 de junio 2019 con una TIR de 4.86% y se obtuvo como resultado un precio sucio de \$106.603 COP, tiene una duración de 2.66 años por lo cual su fecha de recuperación de inversión es el 24 de febrero 2022, la duración modificada es de 2.54, y el porcentaje de variación de convexidad del 1%, lo cual ajusta el precio a \$105.454COP.

c)

TES	TFIT15240720
Tasa Cupón	11,00%
Vencimiento	24/07/2020
Fecha de Valoración (Hoy)	28/06/2019
Tasa	4,32%

Cálculo de la duración					
FECHA	DIAS	ti (Años)	Fi (Cupón)	Vp Fi	Vp Fi * ti
28/06/2019					
24/07/2019	26	0,07	11,00	10,97	\$ 0,78
24/07/2020	391	1,07	111,00	106,09	\$ 113,64
PRECIO SUCIO				\$ 117,054	\$ 114,42
DURACIÓN en años				0,98	
Fecha				18/06/2020	

Tabla 13 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT15240720

El TES TFIT15240720 fue emitido el 24 de julio 2005, con tasa cupón 11% y vencimiento del 24/07/2020, para la estructuración del portafolio, fue valorado el 26 de junio 2019 con una TIR de 4.32% y se obtuvo como resultado un precio sucio de \$117.054 COP, tiene una duración de 0.98 años por lo cual su fecha de recuperación de inversión es el 18 de junio 2020, la duración modificada es de 0.94, y el porcentaje de variación de convexidad del 0.2%, lo cual ajusta el precio a \$116.851 COP.

d)

TES	TFIT15260826
Tasa Cupón	7,50%
Vencimiento	26/08/2026
Fecha de Valoración (Hoy)	28/06/2019
Tasa	5,62%

Cálculo de la duración					
FECHA	DIAS	ti (Años)	Fi (Cupón)	Vp Fi	Vp Fi * ti
28/06/2019					
26/08/2019	59	0,16	7,50	7,43	\$ 1,20
26/08/2020	424	1,16	7,50	7,04	\$ 8,18
26/08/2021	789	2,16	7,50	6,66	\$ 14,41
26/08/2022	1154	3,16	7,50	6,31	\$ 19,95
26/08/2023	1519	4,16	7,50	5,97	\$ 24,87
26/08/2024	1884	5,16	7,50	5,66	\$ 29,20
26/08/2025	2249	6,16	7,50	5,36	\$ 33,00
26/08/2026	2614	7,16	107,50	72,69	\$ 520,60
PRECIO SUCIO				\$ 117,129	\$ 651,408
DURACIÓN en años				5,56	
Fecha				16/01/2025	

Tabla 14 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT15240720

El TES TFIT15260826 fue emitido el 26 de agosto 2011, con tasa cupón 7.50% y vencimiento del 26/08/2026, para la estructuración del portafolio, fue valorado el 26 de junio 2019 con una TIR de 5.62% y se obtuvo como resultado un precio sucio de \$117.129 COP, tiene una duración de 5.56 años por lo cual su fecha de recuperación de inversión es el 16 de enero 2025, la duración modificada es de 5.27, y el porcentaje de variación de convexidad del 6%, lo cual ajusta el precio a \$110.146 COP.

e)

TES	TFIT16240724
Tasa Cupón	10,00%
Vencimiento	24/07/2024
Fecha de Valoración (Hoy)	28/06/2019
Tasa	5,15%

Cálculo de la duración					
FECHA	DIAS	ti (Años)	Fi (Cupón)	Vp Fi	Vp Fi * ti
28/06/2019					
24/07/2019	26	0,07	10,00	9,96	\$ 0,71
24/07/2020	391	1,07	10,00	9,48	\$ 10,15
24/07/2021	756	2,07	10,00	9,01	\$ 18,67
24/07/2022	1121	3,07	10,00	8,57	\$ 26,32
24/07/2023	1486	4,07	10,00	8,15	\$ 33,18
24/07/2024	1851	5,07	110,00	85,27	\$ 432,42
PRECIO SUCIO				\$ 130,444	\$ 521,46
				DURACIÓN en años	4,00
				Fecha	26/06/2023

Tabla 15 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT16240724

El TES TFIT16240724 fue emitido el 24 de julio 2008, con tasa cupón 10% y vencimiento del 24/07/2024, para la estructuración del portafolio, fue valorado el 26 de junio 2019 con una TIR de 5.15% y se obtuvo como resultado un precio sucio de \$130.444 COP, tiene una duración de 4 años por lo cual su fecha de recuperación de

inversión es el 26 de junio 2023, la duración modificada es de 3.80, y el porcentaje de variación de convexidad del 3%, lo cual ajusta el precio a \$126.870 COP.

f)

TES	TFIT16280428
Tasa Cupón	6,00%
Vencimiento	28/04/2028
Fecha de Valoración (Hoy)	28/06/2019
Tasa	5,93%

Cálculo de la duración					
FECHA	DIAS	ti (Años)	Fi (Cupón)	Vp Fi	Vp Fi * ti
28/06/2019					
28/04/2020	304	0,83	6,00	5,72	\$ 4,76
28/04/2021	669	1,83	6,00	5,40	\$ 9,90
28/04/2022	1034	2,83	6,00	5,10	\$ 14,44
28/04/2023	1399	3,83	6,00	4,81	\$ 18,44
28/04/2024	1764	4,83	6,00	4,54	\$ 21,95
28/04/2025	2129	5,83	6,00	4,29	\$ 25,01
28/04/2026	2494	6,83	6,00	4,05	\$ 27,66
28/04/2027	2859	7,83	6,00	3,82	\$ 29,93
28/04/2028	3224	8,83	106,00	63,73	\$ 562,88
PRECIO SUCIO				\$ 101,450	\$ 714,97
				DURACIÓN en años	7,05
				Fecha	13/07/2026

Tabla 16 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT16280428

El TES TFIT16280428 fue emitido el 28 de abril 2012, con tasa cupón 6% y vencimiento del 28/04/2028, para la estructuración del portafolio, fue valorado el 26 de junio 2019 con una TIR de 5.93% y se obtuvo como resultado un precio sucio de \$101.450 COP, tiene una duración de 7.05 años por lo cual su fecha de recuperación de inversión es el 13 de julio 2026, la duración modificada es de 6.65, y el porcentaje de variación de convexidad del 10%, lo cual ajusta el precio a \$91.271 COP.

g)

TES	TFIT16300632
Tasa Cupón	7,00%
Vencimiento	30/06/2032
Fecha de Valoración (Hoy)	28/06/2019
Tasa	6,30%

Cálculo de la duración					
FECHA	DIAS	ti (Años)	Fi (Cupón)	Vp Fi	Vp Fi * ti
28/06/2019					
30/06/2019	2	0,01	7,00	7,00	\$ 0,04
30/06/2020	367	1,01	7,00	6,58	\$ 6,62
30/06/2021	732	2,01	7,00	6,19	\$ 12,42
30/06/2022	1097	3,01	7,00	5,83	\$ 17,51
30/06/2023	1462	4,01	7,00	5,48	\$ 21,95
30/06/2024	1827	5,01	7,00	5,16	\$ 25,81
30/06/2025	2192	6,01	7,00	4,85	\$ 29,13
30/06/2026	2557	7,01	7,00	4,56	\$ 31,96
30/06/2027	2922	8,01	7,00	4,29	\$ 34,36
30/06/2028	3287	9,01	7,00	4,04	\$ 36,36
30/06/2029	3652	10,01	7,00	3,80	\$ 38,00
30/06/2030	4017	11,01	7,00	3,57	\$ 39,32
30/06/2031	4382	12,01	7,00	3,36	\$ 40,35
30/06/2032	4747	13,01	107,00	48,33	\$ 628,61
PRECIO SUCIO				\$ 113,043	\$ 962,44
				DURACIÓN en años	8,51
				Fecha	30/12/2027

Tabla 17 Cálculo medidas de sensibilidad TES TFIT16300632

El TES TFIT16300632 fue emitido el 30 de junio 2016, con tasa cupón 7% y vencimiento del 30/06/2032, para la estructuración del portafolio, fue valorado el 26 de junio 2019 con una TIR de 6.30% y se obtuvo como resultado un precio sucio de \$113.043 COP, tiene una duración de 8.51 años por lo cual su fecha de recuperación de inversión es el 30 de diciembre 2027, la duración modificada es de 8.01 y el porcentaje de variación de convexidad del 18%, lo cual ajusta el precio a \$92.422 COP.

Después de calculado el precio sucio de cada uno de los títulos, se procede a realizar una reestructuración de los datos, de tal manera que todos los títulos tengan el mismo rango de fechas (omitiendo fines de semana) y en caso dado que para un día no se hubiese negociado el título, se indica la tasa de negociación del día anterior, posteriormente se calcula la variación absoluta de las tasas ($i_n - i_{n-1}$) y el resultado se multiplica por menos la duración para así calcular los rendimientos:

$$R = (i_n - i_{n-1}) * -Dur$$

Finalmente, a través de la desviación EWMA se calcula el riesgo y se utiliza una lambda (λ) óptima con el fin de que sea más ajustado el resultado. A continuación, en la Tabla 18, se encuentra la rentabilidad esperada y el riesgo para cada uno de los títulos, la rentabilidad (R) es el promedio de los rendimientos del rango de fechas seleccionado y el riesgo (r) es $\lambda^{(i-1)} * R^2$. La desviación EWMA es la raíz cuadrada de 1 menos lambda óptima por la suma del riesgo diario ($\sqrt{(1 - \lambda) * \Sigma r}$) y EWMA t+1 es la raíz de uno menos lambda por el último rendimiento, más lambda por Ewma al cuadrado ($\sqrt{(1 - \lambda) * R_n + \lambda * Ewma^2}$). En el encabezado, los títulos fueron nombrados por letras de la A-G para mejorar la visualización y posteriormente se indica a qué letra corresponde cada TES:

	A	B	C	D	E	F	G
RENTABILIDAD ESPERADA	0,011%	0,006%	0,002%	0,010%	0,009%	0,012%	0,013%
RIESGO EWMA	0,218%	0,105%	0,031%	0,251%	0,196%	0,343%	0,572%
RIESGO EWMA t+ 1	0,217%	0,103%	0,029%	0,249%	0,195%	0,341%	0,601%

Tabla 18 Rentabilidad esperada y riesgo de los TES - elaboración propia

- A) TFIT08261125 B) TFIT10040522 C) TFIT15240720 D) TFIT15260826
 E) TFIT16240724 G) TFIT16280428 H) TFIT16300632

Con la relación de rentabilidad vs riesgo, se realiza la gráfica de dominancia:

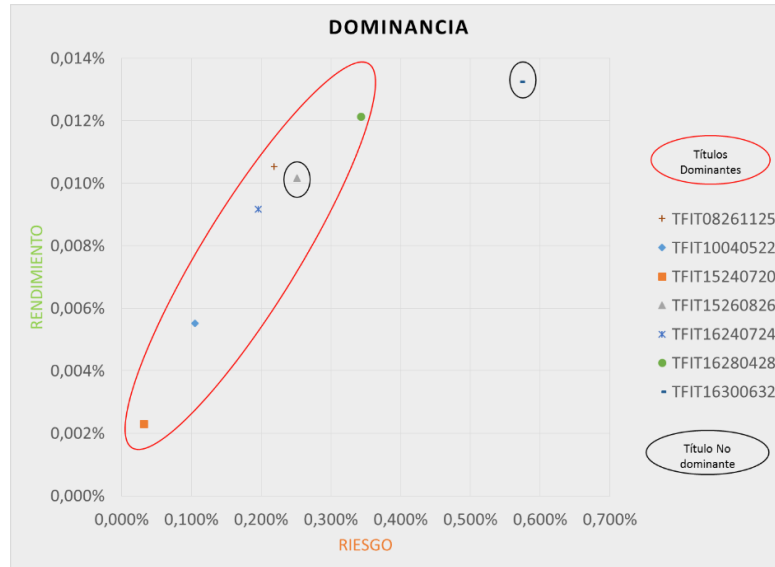


Ilustración 27 Dominancia - elaboración propia

Con la dominancia se busca encontrar los activos que para un mismo nivel de riesgo ofrezcan la mayor rentabilidad posible. En la ilustración 27 se representan los 7 títulos que fueron escogidos y se identifica que los TES TFIT16300632 y TFIT15260826 no son dominantes, por lo cual no serán tenidos en cuenta para la siguiente etapa.

Por su ubicación dominante, fueron seleccionados los TES: TFIT08261125, TFIT10040522, TFIT15240720, TFIT16240724, TFIT16280428, los cuales se conformarán la matriz de correlación y serán utilizados para calcular 15 portafolios para diferentes perfiles de riesgo.

	TES SELECCIONADOS				
	TFIT08261125	TFIT10040522	TFIT15240720	TFIT16240724	TFIT16280428
RENTABILIDAD ESPERADA	0,011%	0,006%	0,002%	0,009%	0,012%
RIESGO EWMA	0,218%	0,105%	0,031%	0,196%	0,343%

Ilustración 28 TES seleccionados por dominancia - elaboración propia

Posteriormente, se calcula la rentabilidad anual con la fórmula: $(R * 365)$, el riesgo anual $(r * \sqrt{252})$, la matriz de correlación y la matriz de varianza correlación.

	TFIT08261125	TFIT10040522	TFIT15240720	TFIT16240724	TFIT16280428
RENTABILIDAD ANUAL ESP.	3,841%	2,013%	0,843%	3,348%	4,427%
RIESGO EWMA ANUAL	3,464%	1,671%	0,497%	3,106%	5,440%

Ilustración 29 Riesgo y Rentabilidad anual - elaboración propia

	MATRIZ CORRELACIÓN				
	TFIT08261125	TFIT10040522	TFIT15240720	TFIT16240724	TFIT16280428
TFIT08261125	1	0,466096905	0,352785099	0,521080108	0,343265268
TFIT10040522	0,466096905	1	0,648357066	0,712078546	0,326103937
TFIT15240720	0,352785099	0,648357066	1	0,638926133	0,267675353
TFIT16240724	0,521080108	0,712078546	0,638926133	1	0,418702979
TFIT16280428	0,343265268	0,326103937	0,267675353	0,418702979	1

Tabla 19 Matriz Correlación - elaboración propia

	MATRIZ VARIANZA-CORRELACIÓN				
	TFIT08261125	TFIT10040522	TFIT15240720	TFIT16240724	TFIT16280428
TFIT08261125	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
TFIT10040522	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
TFIT15240720	0,000000000	0,000000000	0,000001095	0,000000000	0,0000044985
TFIT16240724	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
TFIT16280428	0,000000000	0,000000000	0,0000044985	0,000000000	0,0025784137

Tabla 20 Matriz varianza-correlación - elaboración propia

Con los datos anteriores, se realiza la suma de la matriz varianza-correlación, para hallar la varianza del portafolio y al sacarle la raíz cuadrada, se obtiene el riesgo del portafolio,

desde este momento se hace uso de solverⁱⁱⁱ para variar los pesos de los TES, calcular el riesgo alto, bajo y el factor, las cuales son variables importantes para obtener 15 portafolios diferentes que conformarán la frontera eficiente.

	TFIT08261125	TFIT10040522	TFIT15240720	TFIT16240724	TFIT16280428
PESOS WI	0%	0%	7%	0%	93%

Tabla 21 Distribución de pesos de los TES - elaboración propia

RIESGO PORTAFOLIO	
Alto	5,440%
Bajo	0,497%
Factor	0,00353

Tabla 22 Riesgo alto, bajo y factor - elaboración propia

#	RENTABILIDAD	RIESGO	TFIT08261125	TFIT10040522	TFIT15240720	TFIT16240724	TFIT16280428
1	0,843%	0,497%	0%	0%	100%	0%	0%
2	1,250%	0,850%	0%	0%	89%	0%	11%
3	1,522%	1,203%	0%	0%	81%	0%	19%
4	1,776%	1,556%	0%	0%	74%	0%	26%
5	2,024%	1,909%	0%	0%	67%	0%	33%
6	2,268%	2,263%	0%	0%	60%	0%	40%
7	2,511%	2,616%	0%	0%	53%	0%	47%
8	2,752%	2,969%	0%	0%	47%	0%	53%
9	2,993%	3,322%	0%	0%	40%	0%	60%
10	3,232%	3,675%	0%	0%	33%	0%	67%
11	3,472%	4,028%	0%	0%	27%	0%	73%
12	3,711%	4,381%	0%	0%	20%	0%	80%
13	3,950%	4,734%	0%	0%	13%	0%	87%
14	4,188%	5,087%	0%	0%	7%	0%	93%
15	4,427%	5,440%	0%	0%	0%	0%	100%

Tabla 23 Portafolios de la frontera - elaboración propia

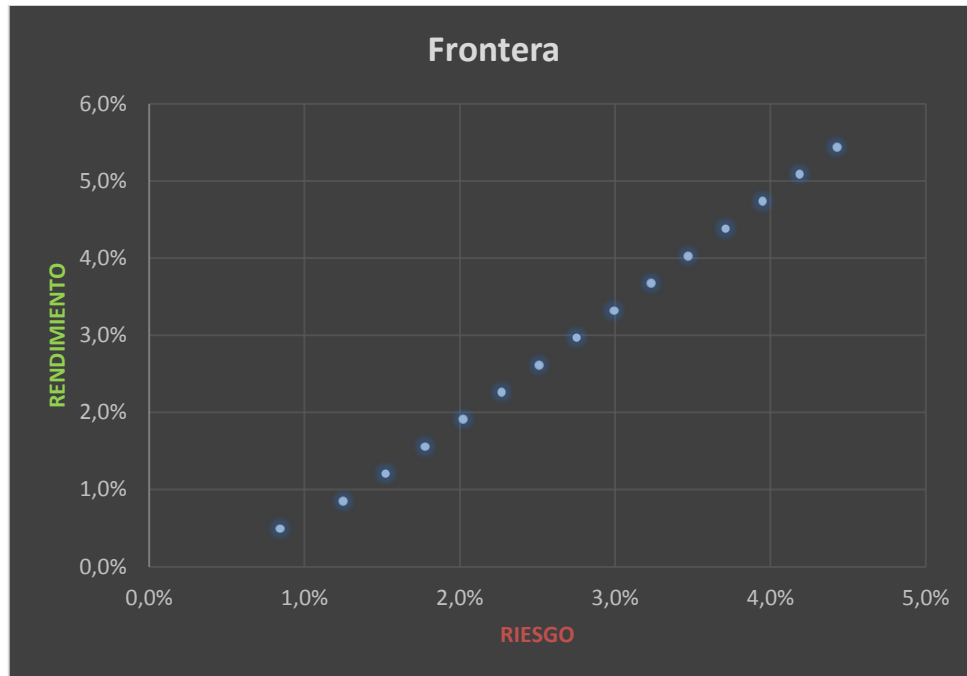


Tabla 24 Frontera eficiente - elaboración propia

En este caso, para un perfil de riesgo conservador fue elegido el portafolio número 5, el cual ofrece una rentabilidad de 2.024%, un riesgo del 1.909% y está conformado por los TES: TFIT15240720 y TFIT16280428.

Después de seleccionar el portafolio apropiado para el perfil de riesgo, se distribuye la inversión de acuerdo al peso correspondiente a cada uno de los TES, quedando de la siguiente forma:

	% Participación	Valor Nominal de Inversión	Valor Actual
Portafolio	100%	\$ 156.729.321	\$ 174.605.178
TFIT15240720	67%	\$ 100.000.000	\$ 117.053.502
TFIT16280428	33%	\$ 56.729.321	\$ 57.551.675

Tabla 25 Distribución inversión del portafolio - elaboración propia

En la Tabla 25 se observa que fueron invertidos \$156.729.321 COP, distribuyendo \$100.000.000 COP en el TES TFIT15240720 y \$56.729.321 COP en el TES TFIT16280428.

Capítulo 3

Medición del riesgo de mercado mediante el VaR

Como se mencionó en el capítulo 2, la superfinanciera (Superintendencia financiera de Colombia, 2007) define el riesgo de mercado (RM⁶) como la posibilidad de que las entidades incurran en pérdidas asociadas a la disminución del valor de sus portafolios, las caídas del valor de las carteras colectivas o fondos que administran, por efecto de cambios en el precio de los instrumentos financieros en los cuales se mantienen posiciones dentro o fuera del balance. Los principales factores de riesgo de mercado son: la tasa de interés en moneda legal, en moneda extranjera o en operaciones pactadas en UVR, el tipo de cambio, los precios de las acciones y las inversiones realizadas en carteras colectivas.

Las definiciones convergen en que el riesgo de mercado está representado por las posibles pérdidas en las que puede incurrir el inversionista por disminución en el valor de sus portafolios y los factores de riesgo que afectan el RM son: la tasa de interés en moneda legal, en moneda extranjera o en operaciones pactadas en UVR, el tipo de cambio, los precios de las acciones y las inversiones realizadas en carteras colectivas.

En este caso en particular, por tratarse de títulos de renta fija (TES), el factor que afecta el RM es la tasa de interés. Con el fin de determinar las pérdidas en las que puede incurrir el inversionista, se procede a calcular el VaR de los TES: TFIT15240720 y TFIT16280428 a través de los métodos paramétrico, no paramétrico o simulación histórica y método de Montecarlo-Wiener, el cual asume una distribución normal.

⁶ RM: Riesgo de Mercado

1. VaR del TES: TFIT15240720

El título cuenta con un precio sucio de \$117.054 COP, valor nominal de \$100.000.000 COP y para la fecha de valoración el valor actual fue de \$117.053.502 COP.

a. Método paramétrico

La volatilidad en este método está determinada por EWMA+1, siendo de 0.041%, por lo cual, para un nivel de confianza del 95% las posibles pérdidas diarias que puede tener el inversionista por este título son \$78.695 COP, representando una exposición de la cartera del 0.067%.

TES	TFIT15240720
Valor nominal	\$ 100.000.000
Precio sucio	\$ 117,054
VA	\$ 117.053.502
Horizonte (días)	1
Nivel de confianza	95%
Z	-1,645
Volatilidad Ewma+1	0,041%
VAR (\$)	-\$ 78.695
VAR (%)	-0,067%

Tabla 26 Método paramétrico TES TFIT15240720 - elaboración propia

b. Método no paramétrico o simulación histórica

En la simulación histórica, la volatilidad está determinada por el percentil y es de 0.042%, representando una máxima pérdida diaria de \$49.360 COP y una exposición de la cartera del inversionista de 0.042%, bajo un nivel de confianza del 95%.

TES	TFIT15240720
Valor nominal	\$ 100.000.000
Precio sucio	\$ 117,054
VA	\$ 117.053.502
Horizonte (días)	1
Nivel de confianza	95%
Percentil	-0,042%
VAR (\$)	-\$ 49.360
VAR (%)	-0,042%

Tabla 27 Método simulación histórica TES TFIT15240720 - elaboración propia

c. Método Montecarlo-Wiener

Para el método de Montecarlo se realizaron 5.000 simulaciones aleatorias, dando como resultado una volatilidad de 0.042% y para un nivel de confianza del 95% se pueden perder \$49.434 COP por día, representando una exposición de la cartera de un 0.042%.

TES	TFIT15240720
Valor nominal	\$ 100.000.000
Precio sucio	\$ 117,054
VA	\$ 117.053.502
Nivel de confianza	95%
Percentil	-0,042%
VAR (\$)	-\$ 49.434
VAR (%)	-0,042%

Tabla 28 Método Montecarlo-Wiener TES TFIT15240720 - elaboración propia

2. VaR del TES: TFIT16280428

Es un título que vence en el año 2028 y tiene un precio sucio de \$101.450 COP, valor nominal de \$56.729.321 COP y para la fecha de valoración el valor actual fue de \$57.551.675 COP.

a. Método paramétrico

En este método la volatilidad está determinada por EWMA+1 y fue de 0.383%, por lo cual, para un nivel de confianza del 95% las posibles pérdidas diarias que puede causar este título son \$362.280 COP, representando una exposición de la cartera del 0.629%.

TES	TFIT16280428
Valor nominal	\$ 56.729.321
Precio sucio	\$ 101,450
VA	\$ 57.551.675
Horizonte (días)	1
Nivel de confianza	95%
Z	-1,645
Volatilidad Ewma+1	0,383%
VAR (\$)	-\$ 362.280
VAR (%)	-0,629%

Tabla 29 Método paramétrico TES TFIT16280428- elaboración propia

b. Método no paramétrico o simulación histórica

La volatilidad en el método no paramétrico es el percentil, el cual es de 0.655% en este caso en particular, representando una máxima pérdida diaria de \$377.147 COP y una exposición de la cartera de 0.655% para un nivel de confianza del 95%.

TES	TFIT16280428
Valor nominal	\$ 56.729.321
Precio sucio	\$ 101,450
VA	\$ 57.551.675
Horizonte (días)	1
Nivel de confianza	95%
Percentil	-0,655%
VAR (\$)	-\$ 377.147
VAR (%)	-0,655%

Tabla 30 Método simulación histórica TES TFIT16280428- elaboración propia

c. Método Montecarlo-Wiener

Para el método de Montecarlo se realizaron 5.000 simulaciones aleatorias, dando como resultado una volatilidad de 0.646% y para un nivel de confianza del 95% el inversionista puede perder \$371.908 COP y la cartera está expuesta en un 0.646% al día.

TES	TFIT16280428
Valor nominal	\$ 56.729.321
Precio sucio	\$ 101,450
VA	\$ 57.551.675
Nivel de confianza	95%
Percentil	-0,646%
VAR (\$)	-\$ 371.908
VAR (%)	-0,646%

Tabla 31 Método Montecarlo-Wiener TES TFIT16280428- elaboración propia

3. Cálculo del VaR del portafolio

Una vez calculados los VaR's de los dos títulos que conforman el portafolio seleccionado, se procede a realizar el cálculo del VaR del portafolio por los métodos: diversificado y no diversificado.

VaR TES seleccionados	TFIT15240720	TFIT16280428
VaR paramétrico (\$)	-\$ 78.695	-\$ 362.280
VaR No paramétrico (\$)	-\$ 49.360	-\$ 377.147
VaR Montecarlo-Wiener (\$)	-\$ 49.434	-\$ 371.908
VaR paramétrico (%)	-0,067%	-0,629%
VaR No paramétrico (%)	-0,042%	-0,655%
VaR Montecarlo-Wiener (%)	-0,042%	-0,646%

Tabla 32 VaR's individuales - elaboración propia

a. VaR no diversificado del portafolio

Este método es la suma de los VaR's individuales de los títulos seleccionados en el portafolio

VaR Portafolio sin diversificación		
VaR paramétrico (\$)	-\$	440.976
VaR No paramétrico (\$)	-\$	426.507
VaR Montecarlo-Wiener (\$)	-\$	421.343
VaR paramétrico (%)		-0,697%
VaR No paramétrico (%)		-0,697%
VaR Montecarlo-Wiener (%)		-0,688%

Tabla 33 VaR del portafolio no diversificado - elaboración propia

b. VaR diversificado del portafolio

Este método se diferencia del no diversificado, en que éste método aparte de tener en cuenta los VaR individuales, también tiene en cuenta la matriz de correlación de los TES seleccionados. Sin embargo, para el método no paramétrico no aplica esta forma de diversificación porque no reconoce distribuciones, ni desviaciones, ni correlaciones.

MATRIZ CORRELACIÓN		
	TFIT15240720	TFIT16280428
TFIT15240720	1	0,2677
TFIT16280428	0,2677	1

Tabla 34 Matriz de correlación - elaboración propia

VaR Portafolio con diversificación		
VaR paramétrico (\$)	-\$	390.772
VaR No paramétrico (\$)		no aplica
VaR Montecarlo-Wiener (\$)	-\$	392.184,32
VaR paramétrico (%)		-0,651%
VaR No paramétrico (%)		no aplica
VaR Montecarlo-Wiener (%)		-0,666%

Tabla 35 Var diversificado del portafolio - elaboración propia

Capítulo 4

Evaluación de desempeño

La evaluación de desempeño de los métodos empleados para el cálculo del riesgo del mercado colombiano con pruebas de Backtesting y Kupiec, fue realizada de forma individual a los 2 títulos que conforman el portafolio, tomando como rango de fechas de comparación del 01 de julio 2019 al 27 de septiembre del mismo año.

En esta etapa, se calculó el movimiento del PyG diario con el fin de identificar la desviación que se presenta con respecto al VaR positivo y negativo, para posteriormente a través de la fórmula de Kupiec se evalúe la hipótesis nula que la probabilidad de falla sea igual a $1-\alpha$, en este caso, como el VaR tiene un nivel de confianza del 95%, entonces H_0 ⁷ es $p=5\%$.

$$LR = -2\ln\left(\frac{p^x(1-p)^{n-x}}{\hat{p}^x(1-\hat{p})^{n-x}}\right)$$

Cabe recordar que x es el número de excepciones, es decir, el número de veces que el P&G toca el VaR negativo, n es el número de observaciones incluidas en el Backtesting o dicho de otra forma, es la cantidad de datos que se tienen para comparar el VaR real con el calculado,

$$\hat{p} = \frac{x}{n}, \quad p = 1 - \text{nivel de confianza.}$$

A continuación se muestra cómo queda gráficamente la prueba de validación de Backtesting, comparando el VaR calculado (positivo y negativo) vs el movimiento real de los dos activos:

⁷ H_0 : hipótesis de que la proporción observada de excepciones (x/n) es estadísticamente igual a la probabilidad de error considerada para el VaR: $(1-\alpha)$.

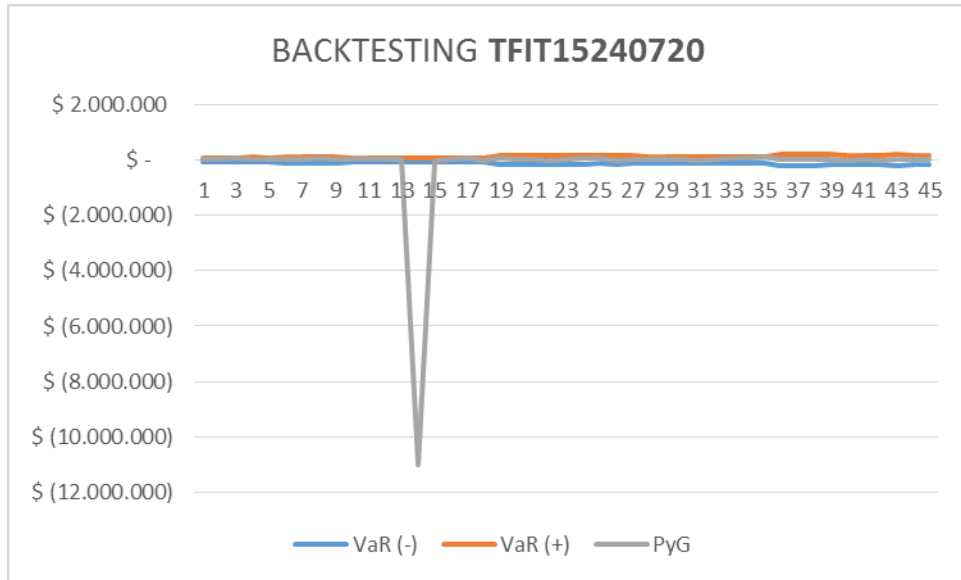


Ilustración 30 Backtesting TFIT15240720 - elaboración propia

El TES TFIT15240720 en el punto 13 presenta un gran pico que supera el VaR negativo, porque ese día el precio pasó de \$117.470 COP a \$106.485 COP, generando un gran impacto en el comportamiento de este título, por lo cual en la Ilustración 31, se decide omitir dicho punto, con el fin de que se pueda observar un poco más detallado el comportamiento del título durante los dos meses de julio a septiembre.

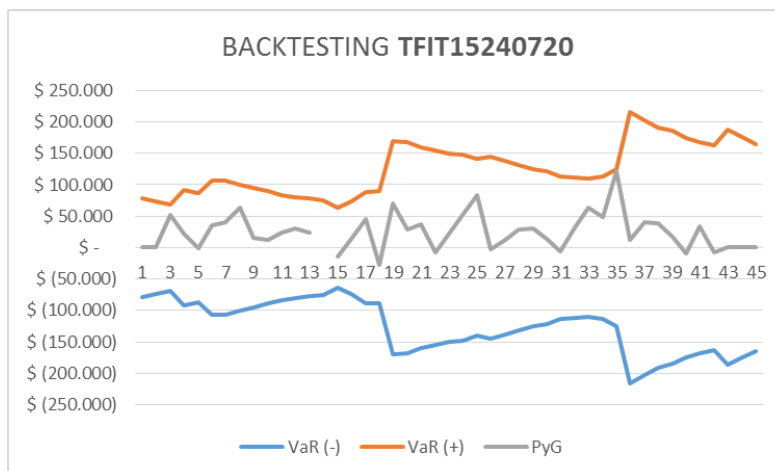


Ilustración 31 Backtesting TFIT15240720 (más detallada)- elaboración propia

Una vez aplicada la fórmula de Kupiec en éste título, se obtuvo que el modelo se encuentra ajustado y no se rechaza la hipótesis H_0 ⁸ para un nivel de confianza del 95%, ya que 1.89 es menor al valor crítico de 3.841.

Kupiec	1,89
valor crítico	3,841
nivel de significancia	5%
grados de libertad	1

Tabla 36 Kupiec TFIT15240720 - elaboración propia

Continuando con el TES TFIT16280428, este título, por el contrario no tuvo en ningún momento una desviación tan grande como para superar el VaR negativo, por lo cual $x=0$, a continuación se muestra el comportamiento del PyG comparado con los VaR positivos y negativos:

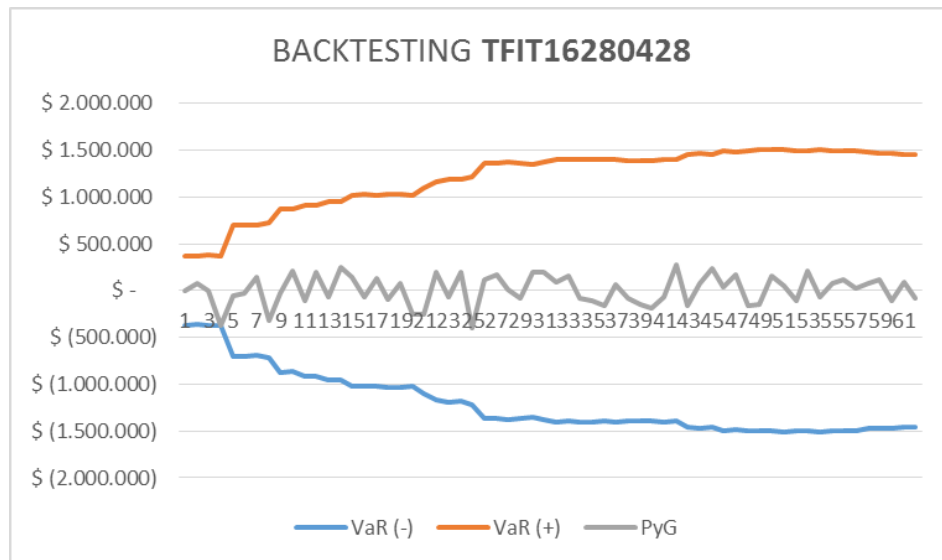


Ilustración 32 Backtesting TFIT16280428 - elaboración propia

Kupiec	0,00
valor crítico	3,841
nivel de significancia	5%
grados de libertad	1

Tabla 37 Kupiec TFIT16280428 - elaboración propia

⁸ H_0 : hipótesis de que la proporción observada de excepciones (x/n) es estadísticamente igual a la probabilidad de error considerada para el VaR: $(1-\alpha)$.

Como resultado de Kupiec, se concluye que para un nivel de confianza del 95%, no se rechaza la hipótesis H_0 ⁹ y se informa que el modelo se encuentra ajustado.

⁹ H_0 : hipótesis de que la proporción observada de excepciones (x/n) es estadísticamente igual a la probabilidad de error considerada para el VaR: $(1-\alpha)$.

Conclusiones

Cuando el inversionista opta por llevar su capital al mercado de renta fija y no lo hace a través del mercado de renta variable, está sacrificando la rentabilidad esperada, a cambio de estabilidad y una baja exposición al riesgo de mercado. Sin embargo, si el inversionista lo negocia en el mercado secundario y no lo mantiene hasta el vencimiento, se expone al riesgo de tasa de interés, porque al subir las tasas los precios disminuyen y si por el contrario, las tasas bajan los precios aumentan, causando diferencia entre: el precio de compra y venta del activo.

El método de optimización de Markowitz es útil para la selección de títulos basados en la relación de rentabilidad y volatilidad. A través de la frontera eficiente se muestran las mejores alternativas para que el inversionista realice su elección, a partir de su aversión al riesgo y su deseo de rentabilidad.

Un logro fue haber encontrado dentro del conjunto de títulos analizados, un portafolio óptimo para el inversionista con un perfil de riesgo. En consecuencia, se evidencia que esta combinación de TES ofrece menores niveles de pérdida esperada, es decir, menor valor en riesgo VaR y al mismo tiempo una mayor rentabilidad, frente a las posibilidades de inversión que ofrece cada título por separado, e inclusive, ante las posibilidades que brinda cualquier otra combinación entre estos instrumentos.

Con base en la evidencia, para la fecha de valoración del 28 de junio 2019, el portafolio que ofrece la máxima rentabilidad es el número 15, conformado por el TES TFIT16280428, con un rendimiento del 4.427% y un riesgo del 5.440%. Su opuesto, es el portafolio número 1, conformado por el TES TFIT15240720, que ofrece una rentabilidad del 0.843% y un riesgo del 0.497%. Sin embargo, en busca de un equilibrio,

se determina que el portafolio óptimo es el número 5, conformado en un 67% por el TES TFIT15240720 y un 33% por el TES TFIT16280428, con una rentabilidad del 2.024% y un riesgo del 1.909%.

El método de cálculo del VaR del portafolio que proyecta menor variación al cambio de tasas y menor exposición diaria de la cartera es Montecarlo-Wiener (el cual asume una distribución normal), tanto para el método diversificado como para el método no diversificado, por el primer método se exponen hasta \$388.968 y con el segundo \$422.669 al día.

Paralelamente, se observa que las mediciones del VaR obtenidas para el portafolio, a partir de los tres métodos: Método paramétrico, no paramétrico o simulación histórica y Montecarlo-Wiener, cumplen la condición de monotonicidad, homogeneidad positiva, subaditividad y estabilidad, respecto al nivel de confianza que se estableció previamente para la interpretación de los resultados (95%).

Las pruebas de validación de backtesting y kupiec efectuadas para el periodo del 01 de julio hasta el 27 de septiembre 2019, permiten concluir que la eficiencia de los mismos en la cuantificación de las posibles pérdidas es adecuada y por lo tanto sus resultados son confiables, bajo los límites establecidos (nivel de confianza del 95%). Lo anterior, está basado en que en la evaluación de desempeño de la metodología a través del backtesting del TES TFIT15240720, se encontró que de las 45 observaciones del rango de estudio solo una superó el VaR negativo calculado y las demás obtuvieron un valor cercano al VaR y en el TES TFIT16280428, las 62 observaciones estuvieron dentro del rango calculado y ninguna superó el VaR negativo. En consecuencia, se recomienda la utilización de estos modelos.

Por último, se logró el objetivo de ofrecer al inversionista un portafolio con participación de títulos de renta fija de mediano y largo plazo del mercado colombiano con un nivel de riesgo de mercado moderado y que se ajusta a su perfil de riesgo.

Bibliografía

- Anónimo. (s.f.). *Basilea*. Recuperado el 25 de 08 de 2019, de
https://www.felaban.net/archivos_boletines_clain/archivo20140722153358PM.pdf
- Anónimo. (s.f.). *Value at Risk: VaR*. Recuperado el 04 de 2019, de
<https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2016-11-25-VALOR%20EN%20RIESGO.pdf>
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria. (2019). *BBVA*. Obtenido de
<https://www.bbva.es/general/finanzas-vistazo/fondos-inversion/que-es-la-renta-fija/index.jsp>
- Banco de la República. (2018). Recuperado el 04 de 2019
- Banco de la República. (2019). Recuperado el 09 de 2019, de
<http://www.banrep.gov.co/es/contenidos/page/qu-son-tes>
- Banco de la República de Colombia. (03 de 2019). *Banco de la República de Colombia*.
Recuperado el 25 de 08 de 2019, de <http://www.banrep.gov.co/es/eventos/seminario-semanal-economia-bogota-549>
- BBVA. (2017). Recuperado el 22 de 04 de 2019, de <https://www.bbva.es/estaticos/mult/renta-fija-gestion-riesgos.pdf>
- Betancur Rodriguez, A., & Cuervo Paloma, L. (2011). Recuperado el 09 de 2019, de
<https://es.slideshare.net/WFPACHON/pruebas-de-estres-y-backtesting1-9952627>
- Betzuen Álvarez, A. J., & Betzuen Zalbidegoitia, A. (2016). *Técnicas de medición, control y cobertura de los riesgos de mercados financieros*. Universidad del País Vasco.

Recuperado el 04 de 2019, de

https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/13918/mod_resource/content/1/tema1%20ocw2016.pdf

Bolsa de valores de Colombia. (2017). *Bolsa de valores de Colombia*. Recuperado el 25 de 08 de 2019, de

<https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Mercados/descripciongeneral/rentafija?action=dummy>

Bolsa de valores de Colombia. (09 de 2019). Recuperado el 09 de 2019, de

https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Mercados/enlinea/rentafija?com.tibco.pagesvc.renderParams.sub5d9e2b27_11de9ed172b_-73dc7f000001=action%3Dbuscar%26org.springframework.web.portlet.mvc.ImplicitModel%3Dtrue%26

Bolsa de valores de Colombia. (s.f.). *Bolsa de valores de Colombia*. Recuperado el 25 de 08 de 2019, de

<https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Mercados/descripciongeneral/rentafija?action=dummy>

Bolsa millonaria. (s.f.). *Bolsa millonaria*. Recuperado el 14 de 04 de 2019, de

http://www.bolsamillonaria.com.co/Centro/BlogGeneric/bonos_otro_titulo_en_el_que_puedes_invertir_en_la_bvc

Broseta, A. (2017). *Rankia*. Recuperado el 09 de 2019, de <https://www.rankia.cl/blog/analisis-ipsa/3513817-que-renta-fija-variable-ejemplos>

BVC. (s.f.). *Bolsa de valores de Colombia*. Recuperado el 14 de 04 de 2019, de

https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Inversionistas/Como_Invertir_en_Colombia?com.tibco.ps.pagesvc.action=updateRenderState&rp.currentDocumentID=577588e0_1347f40f8d9_64750a0a600b&rp.revisionNumber=1&rp.attachmentPropertyName=Attachment&com.tibc

BVC- Bolsa de valores de Colombia. (s.f.). Recuperado el 14 de 04 de 2019, de Bolsa de valores de Colombia:

https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Inversionistas/Como_Invertir_en_Colombia?com.tibco.ps.pagesvc.action=updateRenderState&rp.currentDocumentID=577588e0_1347f40f8d9_64750a0a600b&rp.revisionNumber=1&rp.attachmentPropertyName=Attachment&com.tibc

Chandrasekhar, R. (2009). *Fixed- Income Portfolio Optimization*. Texas. Recuperado el 04 de 2019, de

<http://qcfinance.in/Fixed%20income%20thesis%20for%20matlab%20CHANDRASEKHAR-MASTERS-REPORT.pdf>

Chen, J. (31 de 08 de 2018). *Investopedia*. Recuperado el 22 de 09 de 2019, de

<https://www.investopedia.com/terms/m/macaulayduration.asp>

Claro E. , F., Contador A. , S., & Quiroga P. , C. (2006). (f. d. Universidad de Chile, Ed.)

Recuperado el 09 de 2019, de

<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/141728/Extreme%20Value%20Theory.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Comité de supervisión bancaria de Basilea. (01 de 2016). Recuperado el 25 de 08 de 2019, de https://www.bis.org/bcbs/publ/d352_es.pdf

Contreras, J. (2007). *Títulos de tesorería - TES: Análisis, tendencias y riesgos para el*. Bogotá. Recuperado el 04 de 2019, de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/12124/T10.08%20C758t.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Correa, C. A., & Quintero Cuartas, R. (2015). *Valoración de portafolios de bonos en el mercado Colombiano*. Pereira. Recuperado el 04 de 2019, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5582/65883C824.pdf?sequence=1>

DAFP. (s.f.). *Función Pública*. Recuperado el 24 de 08 de 2019, de <https://www.funcionpublica.gov.co/documents/418537/506911/1592.pdf>

Economipedia. (s.f.). Recuperado el 14 de 04 de 2019, de <https://economipedia.com/definiciones/renta-fija.html>

Economipedia. (s.f.). (G. Westreicher, Productor) Recuperado el 25 de 08 de 2019, de <https://economipedia.com/definiciones/comite-de-basilea.html>

Economipedia. (2017). Recuperado el 25 de 08 de 2019, de <https://economipedia.com/definiciones/acuerdos-de-basilea.html>

Franco Arbeláez, L. C., & Franco Ceballos, L. E. (2005). *El valor en riesgo condicional CVaR*. Medellín: Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Recuperado el 05 de 06 de 2019, de <http://www.redalyc.org/pdf/750/75040604.pdf>

García Domínguez,, C. D., Meza González, A. K., & Ventura García, B. (2017). San Cristobal.

Recuperado el 04 de 2019, de

<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5962/METODOS%20DE%20CALCULO%20DEL%20VALOR%20EN%20RIESGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Global Standar. (2013). *Fundamentos para la dirección de proyectos* (Quinta ed.). Project

Managment Intitute. Recuperado el 24 de 08 de 2019, de

file:///D:/Downloads/libros_pmbok_guide5th_spanish.pdf

Haro, A. d. (2008). *Medición y control de riesgos financieros* (3a ed.). México: Limusa.

Recuperado el 09 de 2019

Incontec Internacional. (16 de 02 de 2011). *NTC-ISO 31000*. Recuperado el 24 de 08 de 2019, de

https://sitios.ces.edu.co/Documentos/NTC-ISO31000_Gestion_del_riesgo.pdf

ISO. (2018). *Organisation internationale de normalisation*. Recuperado el 02 de 09 de 2019, de

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>

Jorion , P. (2007). *Valor en Riesgo*. Mexico: Limusa S.A. Recuperado el 04 de 2019

JP Morgan Chase & Co. (2019). *JP Morgan*. Obtenido de

<https://www.jpmorgan.com/jpmpdf/1320744970377.pdf>

Korn, D., & Koziol, D. (2003). *Bond Portfolio Optimization*:. Recuperado el 04 de 2019, de

<https://pdfs.semanticscholar.org/ea88/2e8acfce70c561ad4697f0cdcf691d07a6ab.pdf>

La república. (17 de 07 de 2018). *La república*. Recuperado el 25 de 08 de 2019, de

<https://www.larepublica.co/analisis/sergio-clavijo-500041/regulacion-financiera-y-transito-a-basilea-iv-2750020>

- Lara Haro, A. (2006). *Medición y Control de riesgos financieros* (3ª ed.). Mexico: Limusa.
Recuperado el 04 de 2019, de <https://epdf.tips/queue/medicion-y-control-de-riesgos-financieros-3ra-edicion.html>
- Lasso, C. E. (2015). *Modelo de optimización de un portafolio de bonos de tasa fija*. Pereira.
- McMurray, A., Pearson, T., & Casarim, F. (2017). Recuperado el 24 de 09 de 2019, de <https://www.winrock.org/wp-content/uploads/2018/03/UncertaintyReport-12.26.17-ES.pdf>
- McNeil, A. J., Frey, R., & Embrechts, P. (2005). *Quantitative Risk Management Concepts, Techniques and Tools*. Princeton: Princeton University Press. Recuperado el 02 de 09 de 2019, de <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=attachment&id=56287>
- Melo Velandia, L. F., & Becerra Camargo, O. R. (2005). *Medidas de riesgo, características y técnicas de medición: una*. Recuperado el 04 de 2019, de <http://www.banrep.gov.co/docum/ftp/borra343.pdf>
- Pastor Paredes, J. L. (2012). *Valoración de bonos y acciones*. Universidad de San Martín de Porres. Recuperado el 04 de 2019, de <http://www.usmp.edu.pe/recursos humanos/pdf/4Valoracion%20de%20Bonos%20y%20Acciones.pdf>
- Pérez Barbeito, J. (2014). *Finanzas Internacionales*. Santiago de Chile: Universidad Santiago de Chile. Recuperado el 24 de 08 de 2019, de <https://ebookcentral-proquest-com.aure.unab.edu.co/lib/unabsp/reader.action?docID=3221361&query=riesgos%2Bfinancieros&ppg=10>

Puig, X. (s.f.). *El economista*. Recuperado el 09 de 2019, de

<https://www.economista.es/diccionario-de-economia/beta>

Red Global de Conocimientos en Auditoría y Control Interno. (06 de 2017). *Auditool*.

Recuperado el 24 de 08 de 2019, de <https://www.auditool.org/blog/auditoria-externa/5387-el-riesgo-de-negocio-y-el-riesgo-de-fraude-en-la-valoracion-del-riesgo-en-la-planeacion-de-auditoria-externa>

República, B. d. (2010). *Títulos de Tesorería TES*. Obtenido de Consultorio Contable

Universidad Eafit: <http://www.eafit.edu.co/escuelas/administracion/consultorio-contable/Documents/boletines/contabilidad-finanzas/boletin2.pdf>

Stevens, R. (06 de 2017). *Rankia*. Recuperado el 02 de 09 de 2019, de

<https://www.rankia.co/blog/analisis-colcap/3600744-riesgo-tipos-clases-ejemplos>

Super Intendencia Financiera de Colombia. (2013). Recuperado el 09 de 2019, de

<https://www.superfinanciera.gov.co/inicio/circular-basica-contable-y-financiera-circular-externa--de---15466>

Superintendencia financiera de Colombia. (2007). *Superintendencia financiera de Colombia*.

Recuperado el 25 de 08 de 2019, de <https://www.superfinanciera.gov.co/inicio/circular-basica-contable-y-financiera-circular-externa--de---15466>

Superintendencia Financiera de Colombia. (2019). Recuperado el 09 de 2019, de

<https://www.superfinanciera.gov.co/jsp/Glosario/user/main/letra/T/f/0/c/00>

Ultraserfinco. (2019). Recuperado el 09 de 2019, de

<https://www.ultraserfinco.com/site/Productosyservicios/Rentafija.aspx>

Universidad Eafit. (2018). *Títulos de tesorería TES*. Boletín 10. Recuperado el 04 de 2019, de <http://www.eafit.edu.co/escuelas/administracion/consultorio-contable/Documents/boletines/contabilidad-finanzas/boletin2.pdf>

Wikipedia. (02 de 09 de 2019). Recuperado el 22 de 09 de 2019, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Convexidad_\(finanzas\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Convexidad_(finanzas))

Wikipedia. (07 de 2019). Obtenido de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3a/Standard_deviation_diagram_micro.svg/800px-Standard_deviation_diagram_micro.svg.png

Glosario

Emisor: Es la entidad pública o privada que emite (genera) la deuda, es decir, los títulos.

Principal o nominal del bono: Es la cantidad de dinero que pide prestado el emisor, correspondiente a cada título.

Cupón: Es el tipo de interés que debe pagar el emisor. Se expresa como un porcentaje del principal.

Fecha de vencimiento: Es el momento en el que el emisor debe devolver el dinero y se termina el préstamo.

Emisión a la par: Requiere que el inversionista pague el valor nominal a cambio del título, para recibir al vencimiento, dicho valor más los intereses pactados.

Emisión con prima: Requiere el pago del valor nominal, más una cantidad adicional;

Emisión con descuento: Implica que, para acceder al título, es necesario pagar el valor nominal menos una cantidad pactada.

Bonos: Es una especie de contrato en el cual una empresa necesita dinero y emite un papel al público donde le paga a una tasa de interés en un periodo determinado.

Bonos a corto plazo: El vencimiento se encuentra entre 1 y 3 años

Bonos de mediano plazo: Son aquellos cuyo vencimiento ronda los 5 años

Bono de largo plazo: Son aquellos cuyo vencimiento es de 10 años o más

Bonos que pagan cupones periódicos

Análisis del riesgo. Proceso sistemático para entender la naturaleza del riesgo y deducir el nivel del riesgo.

Consecuencia. Resultado o impacto de un evento.

Control. Proceso, política, dispositivo, práctica u otra acción existente que actúa para minimizar el riesgo negativo o potenciar oportunidades positivas.

Evaluación del control. Revisión sistemática de los riesgos para garantizar que los controles aún son eficaces y adecuados.

Evento. Ocurrencia de un conjunto particular de circunstancias.

Frecuencia. Medición del número de ocurrencias por unidad de tiempo.

Posibilidad. Se usa como descripción general de la probabilidad o la frecuencia.

Monitorear. Verificar, supervisar o medir regularmente el progreso de una actividad, acción o sistema para identificar los cambios en el nivel de desempeño requerido.

Probabilidad. Medida de la oportunidad de ocurrencia expresada como un número entre 0 y 1.

Riesgo. La oportunidad que suceda algo que tendrá impacto en los objetivos

Bonos cupón cero: La rentabilidad es obtenida debido a la diferencia entre el precio de compra y el pago del principal al vencimiento del bono.

Bonos corporativos: Son títulos emitidos por empresas, los plazos de pago son muy variados y pueden llegar hasta los 50 años.

Bonos convertibles en acciones: Estos bonos se pueden convertir en acciones del propio emisor.

Títulos de deuda pública externa: Son esos títulos cuya obligación es contraída con inversionistas en el exterior y esos productos son negociados en el mercado extranjero.

Probabilidad es la posibilidad de ocurrencia del riesgo.

Impacto son las consecuencias que puede ocasionar

ⁱ GR: Siglas de gestión del riesgo

ⁱⁱ Para la valoración de los títulos, se tuvo en cuenta los años bisiestos.

ⁱⁱⁱ Solver es una herramienta de análisis de hipótesis que busca el valor óptimo de una celda objetivo cambiando los valores de celdas usadas para calcular la celda objetivo.