

**APROXIMACIÓN A LA CONSTRUCCIÓN DE UN PORTAFOLIO ACTIVO DE
DEUDA PÚBLICA COLOMBIANA**

**JUAN SEBASTIÁN DELGADO UPEGUI
DANIEL ESTEBAN GAVIRIA BENÍTEZ**

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA
MEDELLÍN
2017**

**APROXIMACIÓN A LA CONSTRUCCIÓN DE UN PORTAFOLIO ACTIVO DE
DEUDA PÚBLICA COLOMBIANA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
magíster en Administración Financiera**

**JUAN SEBASTIÁN DELGADO UPEGUI¹
DANIEL ESTEBAN GAVIRIA BENÍTEZ²**

Asesor: José Adolfo Colorado González, M. I. F.

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA
MEDELLÍN
2017**

¹ Negociador internacional de la Universidad EAFIT, sede Medellín, especialista en Finanzas y candidato a magíster en Administración Financiera de la misma universidad. Se desempeña como estratega de renta fija en la Gerencia de Estrategia de Asset Management en Fiduciaria Bancolombia. jsdelgado3@hotmail.com

² Administrador de negocios de la Universidad EAFIT, sede Medellín, especialista en Finanzas y candidato a magíster en Administración Financiera de la misma universidad. Se desempeña como gerente comercial de la Mesa de Derivados en Valores Bancolombia. dangaviria@hotmail.com

Resumen

En la actualidad, en el mercado de capitales colombiano se ofrecen diferentes alternativas de inversión entre las que se destacan los productos de renta fija, renta variable, derivados y productos estructurados entre otros. Entre los productos de renta fija, los títulos de deuda interna del Gobierno (bonos TES) cobran relevancia por los volúmenes negociados y la participación de los grandes agentes en dicho mercado. Al tener en cuenta lo anterior, en este trabajo se construyó un portafolio de inversión activo de TES mediante la evaluación de su desempeño relativo frente a un portafolio referente. Se analizaron las variables fundamentales y de mercado a partir de información histórica y se determinó la relevancia de las mismas en el portafolio recomendado. En último lugar se simuló los resultados obtenidos para proponer un portafolio óptimo.

Palabras clave: modelos de regresión múltiple, teoría de portafolio, renta fija, deuda pública, riesgo, optimización.

Abstract

Nowadays, the Colombian capital market offers different investment alternatives, such as fixed income, equities, derivatives and structured products. Among fixed income instruments, local government bonds (TES B) play an important role within the market, due to its traded volumes and the participation of the main agents. Considering the importance of the local sovereign debt, an active investment portfolio was constructed using TES by assessing its performance versus a benchmark portfolio. The portfolio was built using historical data, defining fundamental, market variables and its relevance over the portfolio. Finally, an optimization was done to find the optimum portfolio.

Keywords: *multiple or simultaneous equation models, portfolio theory, fixed income, sovereign debt, risk, optimization*

1 INTRODUCCIÓN

Para cualquier inversionista siempre será de vital importancia seleccionar cuáles activos incluir dentro de sus portafolios, lo que no es tarea fácil. A lo anterior se suma que la literatura en Colombia se enfoca hacia portafolios óptimos de renta variable, lo que condujo que el presente estudio se centrara en la aproximación a

la construcción de un portafolio activo de deuda pública colombiana. Al tener en cuenta que el mercado de renta fija en Colombia negocia altos volúmenes y, además, juega un papel importante tanto para la financiación del Gobierno como para el mercado de capitales, la construcción de portafolios de renta fija cobra vital importancia.

Con la entrada en vigencia de la Constitución Política de 1991, el Gobierno Nacional de Colombia se vio en la necesidad de buscar nuevas fuentes de financiación internas. Por ello, en 1990 se promulgó la ley 51 de 1990, mediante la que se introdujeron los títulos de deuda interna (bonos TES) como mecanismo de financiamiento.

Con la introducción de los títulos de deuda interna, el mercado de renta fija entró a desempeñar un papel importante como dinamizador del crecimiento económico. Por un lado, como formador de capital y, por otro, como complemento del sector bancario, al ofrecer fuentes de financiación más amplias y flexibles (Valderrama, Martínez, Gonzáles y Ramírez, 2017).

Al tener en cuenta la importancia de la deuda pública en el mercado de capitales y principal herramienta de inversión de los agentes de mercado, se pretende con la elaboración de este trabajo llegar a la presentación de lo siguiente:

1.) La aproximación a un portafolio de deuda pública colombiana, que tendría rebalanceos trimestrales, al tomar en consideración la incidencia de variables financieras. Para la construcción del mismo se tuvieron en cuenta únicamente los índices TES denominados en tasa fija y en unidad de valor real (UVR) (COLTES), índices elaborados por la Bolsa de Valores de Colombia con el fin de tener exposición al mercado de renta fija colombiano (BVC, 2016).

2.) Además, el planteamiento de una metodología que ayude a la construcción de un portafolio activo de deuda soberana, al tener en cuenta que puede ser aplicado a otro tipo de deudas latinoamericanas. Sin embargo, para este caso la aproximación solamente se hizo para Colombia.

Para la construcción del portafolio y la definición de la metodología del mismo, este trabajo se inspiró en la teoría moderna de portafolios (Markowitz, 1952). Luego se recopiló la información histórica de las variables fundamentales y de mercado para ser utilizadas en la creación del portafolio. Con las mismas se buscó determinar la incidencia que juegan en un portafolio óptimo con el fin de encontrar la significancia que tiene cada variable para determinar el comportamiento de los TES. Por último, se llevó a cabo un análisis con datos históricos que se conoce como *backtesting* a la metodología aplicada en el portafolio para evaluar su eficiencia y su desempeño relativo frente a un portafolio de referencia, al que en el manejo de portafolios se le conoce como *benchmark*, definido para un período determinado.

Para realizar el trabajo se utilizaron datos históricos desde el 31 de julio de 2010 hasta el 31 de diciembre de 2015 para calibrar el modelo para con ello poder proyectar el período del 1 de enero de 2016 al 31 de diciembre del mismo año. El último período se utiliza para probar la eficacia del modelo. El primer período con datos históricos que sirvió para graduar el modelo se conoce como la muestra *in sample*, mientras que al segundo se le denomina la muestra *out of sample* o fuera de la muestra y es el que permite pronosticar y medir la eficiencia del modelo.

En último lugar, para el desarrollo de este proyecto no se tuvieron en cuenta las restricciones jurídicas que se puede tener al momento de constituir un portafolio. Además, no se incluyeron las comisiones transaccionales de las operaciones, ni las cargas impositivas. Se limitó el trabajo tan solo a la utilización de los índices COLTES creados por la Bolsa de Valores de Colombia y no se utilizaron las referencias específicas de la deuda pública colombiana (BVC, 2016).

2 MARCO TEÓRICO

Ante la importancia de la deuda pública para el mercado de capitales en Colombia es importante para los agentes del mercado encontrar cada vez mejores formas de invertir en dichos instrumentos y con este trabajo se busca, como se mencionó en

la introducción, una propuesta de un portafolio eficiente de deuda pública colombiana con rebalanceo periódico, con el que se busca que la composición del portafolio cambie de acuerdo con los resultados del modelo. Lo anterior es importante porque las condiciones del mercado y de los activos de un portafolio van cambiando y según los pronósticos de las variables independientes la participación de los activos del portafolio óptimo se debe ajustar.

El artículo insignia de Harry Markowitz, que se escribió en 1952 en *The Journal of Finance*, dio inicio a la teoría moderna del portafolio que busca maximizar el retorno y minimizar el riesgo de uno de ellos con el propósito de buscar la composición óptima entre los activos de un portafolio. De esta teoría se deriva la frontera eficiente que se utilizó en este estudio para determinar los portafolios óptimos. Para la construcción de los mismos es necesario estimar los retornos esperados de los activos, hallar la matriz de varianzas y covarianzas y, por último, encontrar portafolios de máximo retorno y mínimo riesgo. Para no usar los retornos históricos como aproximación a los retornos esperados, puesto que las condiciones económicas y de mercado son cambiantes, se utilizaron regresiones lineales en las siguientes variables con el fin de explicar el comportamiento de los COLTES.

Tabla 1. Variables

Referente (benchmark)	COLTES
Variables dependientes	COLTES de largo plazo COLTES de corto plazo COLTES UVR
Variables independientes	Índice de precios al consumidor (IPC) Producto Interno Bruto (PIB) Indicador de Seguimiento a la Economía (ISE) Ventas Minoristas Producción Industrial Tasa de Intervención Banco de la República Moneda (USDCOP) Índice Dólar (DXY) (Índice que mide el comportamiento del dólar frente a las (6) principales divisas del mundo) Tesoros americanos de 10 años Prima de riesgo de Colombia (CDS) 5Y y 10Y índice bursátil de la BVC (COLCAP) Petróleo (Brent) Índice Bloomberg USD Emerging Market Sovereign Bond (BEMS) Índice Bloomberg USD High Yield Emerging Market Sovereign Bond (BEHS)

Fuente: Elaboración Propia.

Las variables dependientes que se encuentran en la tabla 1 se eligieron para simplificar el modelo y el tratamiento de los datos históricos y la homogeneidad en las series. En vez de utilizar los TES de referencias específicas se empleó una familia de índices sobre los que se profundizará un poco más adelante. Las variables independientes fueron seleccionadas debido a las correlaciones entre estas variables y los activos por pronosticar, pues tanto las variables de mercado como las macroeconómicas tienen estrecha relación con los TES y, en consecuencia, con las variables dependientes seleccionadas para el estudio.

Se utilizó para este trabajo la regresión lineal por la facilidad de uso y se usó como supuesto la linealidad entre las variables. Es una metodología que busca encontrar la relación de dependencia lineal que tengan unas variables entre sí. De esta manera lo que se busca es la aproximación entre una variable dependiente (Y) y otras independientes (X) y un término aleatorio E. Este modelo se puede expresar de la siguiente manera:

Ecuación 1. Regresión Lineal $Y = \beta_0 + \beta_1X + \varepsilon$ (Szretter Noste, 2013)

Donde ε es el término de error.

Los supuestos del modelo de regresión lineal son los siguientes (Szretter Noste, 2013):

- La relación entre las variables es lineal.
- Los errores en la medición de las variables explicativas son independientes entre sí.
- Los errores tienen varianza constante, es decir, son homocedásticos.
- Los errores tienen una esperanza matemática igual a cero.
- El error total es la suma de todos los errores.

Además, se utilizaron en el estudio regresiones múltiples con el fin de determinar el comportamiento de los TES a partir de las variables utilizadas. El modelo de regresión múltiple es similar al de regresión simple y con él busca explicar una variable dependiente (Y) cuando se tienen varias variables explicativas (X).

Entre las variables independientes se mencionó el *Bloomberg USD emerging market sovereign bond index* o BEMS, que es un índice de Bloomberg de deuda soberana de países emergentes denominado en dólares americanos que incluye valores que como mínimo tengan un valor nominal de 250 millones de dólares. Este índice fue creado en 2009, se recompone cada mes y se pondera por valor de mercado. La vida media del índice, que no es más que la media al vencimiento de todos los flujos de caja del mes, es de 11.89 años y la calidad es BB+ (Bloomberg, 2017).

Además, las variables dependientes, como se explicó en la introducción, no son las referencias de TES, sino que con el fin de buscar la simplificación el modelo y el tratamiento de los datos históricos y la homogeneidad en las series se utilizaron los COLTES, una familia de índices diseñados por la Bolsa de Valores de Colombia para inversionistas que busquen exposición al mercado colombiano de renta fija. Comprenden las emisiones en el mercado local de las referencias en pesos y en UVR. Son índices de retorno total, es decir, hay reinversión de los cupones y se ponderan por capitalización de mercado. Los índices de deuda pública son cuatro: el COLTES general, COLTESCP, que son los de corto plazo, el COLTESLP, que es el de largo plazo, los tres denominados en pesos y que abarcan los TES de clase B, y los COLTES en UVR denominados en dicha unidad (BVC, 2016).

El valor del COLTES no es más que la sumatoria del precio sucio de cada bono que conforma la canasta del índice por el ponderador, que se determina por la BVC y corresponde a la participación del saldo en circulación de los bonos en el mercado y al precio sucio de cada bono que tiene cada uno en la misma. Cada índice se recompone (selección de la canasta que conforma cada índice) con periodicidad mensual y se realiza después del cierre del mercado de renta fija el último día hábil bursátil de cada mes (BVC, 2016).

Después de lograr encontrar los portafolios óptimos se comparan contra el portafolio referente o *benchmark* que para el caso de este estudio fue el COLTES general, por medio de varias medidas de desempeño aplicables a portafolios que es importante mencionar y que se presentan más adelante.

Lo que se busca con este estudio es encontrar un portafolio que logre generar un valor de alfa sobre el portafolio referente, que para este estudio es el COLTES. El retorno en exceso o alfa mide el retorno activo de una inversión, ya sea de un solo activo o de una canasta de ellos. No es más que el retorno adicional por encima de un *benchmark* o del mercado. Esta medida se utiliza en la actualidad para comparar el desempeño entre diferentes fondos de inversión (Vanguard®, 2009).

En este estudio se utilizó el cociente de Sharpe para comparar los portafolios por la importancia del mismo a la hora de determinar la rentabilidad por cada unidad de riesgo; lo anterior permitió elegir el que mayor cociente de Sharpe obtenga. El cociente de Sharpe es una medida del exceso de rendimiento por unidad de riesgo de una inversión y se calcula de la siguiente manera (Investopedia, 2017c):

Ecuación 2. Cociente de Sharpe: $S = \frac{E[R - R_f]}{\sigma}$

Donde:

R = rendimiento de la inversión,

R_f = rendimiento de una inversión de referencia,

$E[R - R_f]$ = valor esperado del exceso de rendimiento de la inversión comparado con la inversión de referencia, y

σ = desviación estándar del exceso de rendimiento de la inversión.

Este indicador lo que busca es medir hasta dónde el rendimiento de una inversión compensa al inversionista por asumir riesgo en su inversión. Cuanto más alto es el valor de este cociente, más alto es el rendimiento para un mismo nivel de riesgo.

También se usó el cociente de Información (IR) para comparar los portafolios puesto que el mismo permite comparar el portafolio contra el mercado en el que se cotiza. Esto lo hace al comparar el riesgo ante el retorno del índice contra su índice de referencia. El IR muestra cuál es la rentabilidad adicional que obtiene un fondo o portafolio contra el índice de referencia por cada unidad de riesgo de desviación del índice de referencia, al igual que en el cociente de Sharpe cuanto más alto sea este número es mejor (Infomercados, 2017). El cálculo se realiza de la siguiente manera:

Ecuación 3. Information Ratio
$$IRa = \frac{Ra - Rm}{\sigma ER}$$

Donde:

Ra = rentabilidad del portafolio del fondo,

Rm = rentabilidad del índice de referencia y

σER = tracking error

Para el uso del IR es importante encontrar el *tracking error* pues el mismo mide la volatilidad entre un fondo o portafolio y un *benchmark*. Dicho de otra manera, la diferencia en rendimientos entre un portafolio y su referente. Se calcula al hallar la desviación estándar de la resta entre el retorno del portafolio y el del *benchmark*. Si el *tracking error* de un portafolio es bajo, es probable que el mismo se comporte de manera similar al *benchmark* (Investopedia, 2017e).

Además, la volatilidad como medida de riesgo financiero se utilizó en este estudio para comparar los portafolios puesto que permite cuantificar el riesgo de los portafolios y se mide como la desviación estándar del cambio en el precio de los portafolios en un lapso de tiempo determinado. La volatilidad de un instrumento financiero no es más que la fluctuación o amplitud de los movimientos contra la media de un activo durante un tiempo, lo que ayuda a determinar qué tanto riesgo tiene el activo y muestra que cuanta más volatilidad tenga el activo, mayor riesgo representará (BNP Paribas, España (s.f.)).

Otra medida utilizada para medir el desempeño de los portafolios en este estudio fue el VaR, que se llama el valor en riesgo y que cuantifica la exposición al riesgo

de mercado. Mide la pérdida que se podría sufrir en un intervalo de riesgo determinado y con cierto nivel de confianza en condiciones normales de mercado. Esta medida de riesgo busca encontrar, con un nivel de confianza dado, las probabilidades de tener una pérdida superior a un valor dado; por ejemplo, un portafolio con un VaR del 2% sobre 500 millones de pesos quiere decir que hay una probabilidad de 2% de que el portafolio presente una pérdida de más de 500 millones de pesos (BBVA, 2015).

3 METODOLOGÍA

Para construir el portafolio activo de deuda pública y plantear la metodología para la elaboración del mismo se tomó información de una terminal de Bloomberg, herramienta de soluciones financieras utilizada en el mundo por las grandes compañías del sector financiero, así como la Bolsa de Valores de Colombia (BVC) y *Excel*. Mediante el uso del complemento de Bloomberg en *Excel* y la función *PX_LAST* se descargaron las series de precios y tasas de variables macroeconómicas y financieras desde el 31 de julio de 2010 hasta el 31 de diciembre de 2016, para así determinar cuáles de ellas tenían mayor significancia para el modelo que se pretendía plantear. Sin embargo, hay que aclarar que en el proceso de construcción de la metodología se trabajó con la muestra *in sample*. Como se señala en la tabla 1, se evaluaron variables macroeconómicas y financieras durante la investigación.

La metodología que se buscó plantear en este trabajo para aproximarse a la construcción del portafolio de deuda pública colombiana partió de la idea de elaborar un modelo que buscase la combinación de pronósticos de variables macroeconómicas y financieras, con la mira de obtener así mejores perspectivas sobre la deuda pública.

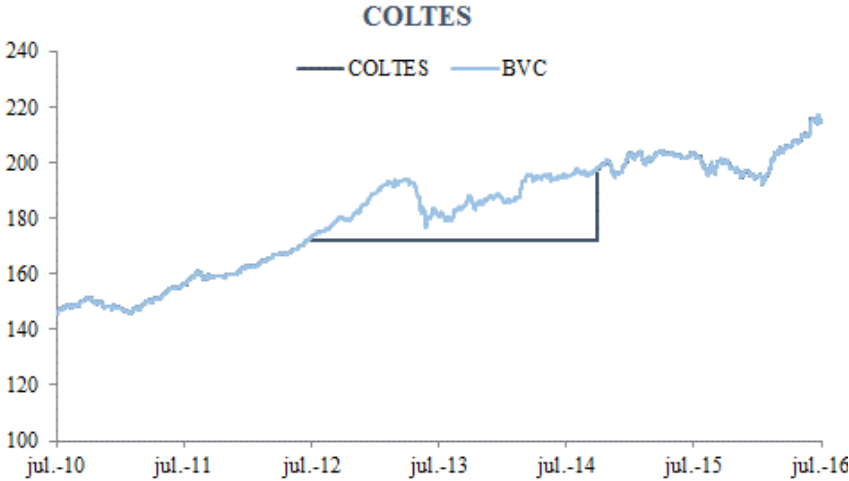
El estudio de métodos de combinación de pronósticos sobre modelos ha sido desarrollado por diferentes autores a lo largo de la historia, con el objetivo de hallar

una estimación más precisa sobre las variables que se pretendía analizar (Castaño Vélez y Melo Velandia, 1988).

Para llevar a cabo la metodología se descargaron las series, tanto de variables fundamentales como financieras mencionadas con anterioridad con diferentes periodicidades (diaria, semanal y mensual) para así construir la base de datos. En el proceso de construcción se encontró que la periodicidad indicada era la semanal, al tener en cuenta que permitía tener la cantidad de datos necesarios para realizar las regresiones y, en el caso de las variables macroeconómicas, se disminuía la repetición de datos.

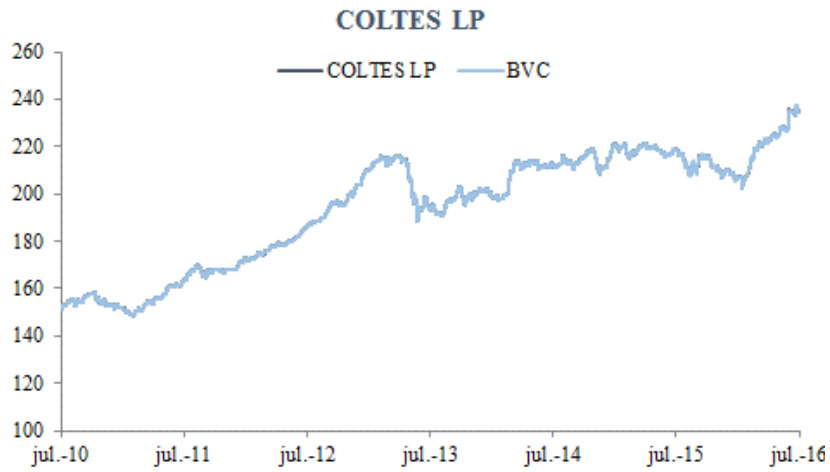
Las variables se graficaron para identificar alguna inconsistencia en las series. Se encontraron diferencias en los índices COLTES, COLTES de largo plazo, COLTES de corto plazo y COLTES en UVR, que se ajustaron al descargar las series con el valor de cada uno de los índices de la Bolsa de Valores de Colombia (BVC), como se puede observar a continuación:

Grafica 1. COLTES



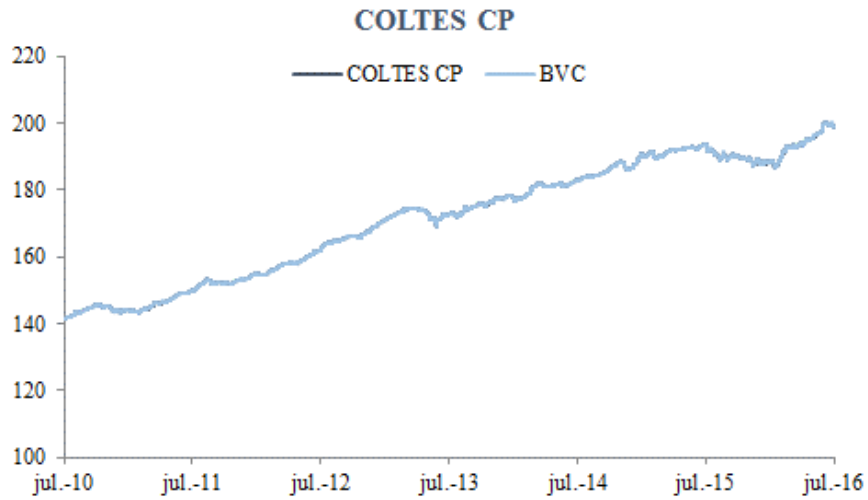
Fuente: elaboración propia con base en Bloomberg (2017) y BVC (2016)

Grafica 2. COLTES de largo plazo (LP)



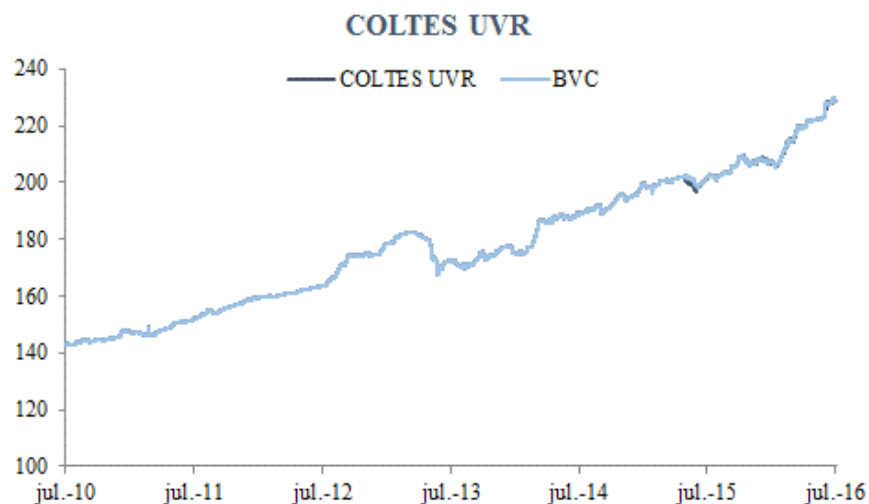
Fuente: elaboración propia con base en Bloomberg (2017) y BVC (2016)

Grafica 3. COLTES de corto plazo (CP)



Fuente: elaboración propia con base en Bloomberg (2017) y BVC (2016)

Grafica 4. COLTES en UVR



Fuente: elaboración propia con base en Bloomberg (2017) y BVC (2016)

Diferentes autores han desarrollado modelos mediante utilización de la relación entre las variables macro y la curva de rendimientos que permitiese hallar información sobre cómo dichas variables incidían en la determinación de la curva y viceversa. Variables como la tasa interbancaria (TIB), el índice de bonos de mercados emergentes de Colombia (EMBI), el índice de precios al consumidor (IPC) y la brecha del producto interno bruto han sido utilizadas en la construcción de tales modelos (Melo Velandia y Castro Lancheros, 2010).

En la elaboración de esta investigación se utilizaron variables económicas y de mercado como las mencionadas en el párrafo anterior y otras seleccionadas por los autores del este estudio con base en su experiencia en el sector financiero y la de un asesor con amplio recorrido en el mercado de capitales³.

Como se mencionó en la introducción, se tomaron variables que fueran significativas en primera instancia, es decir, sin llevar a cabo ningún ajuste estadístico. Se

³ José Adolfo Colorado González. Se desempeña como director de Investigación de Inversiones en Protección S.A.

calcularon los retornos logarítmicos y simples de acuerdo a la variable, entre el 31 de julio de 2010 y el 25 de diciembre de 2015, con periodicidad semanal. Más tarde se llevaron a cabo regresiones lineales simples entre cada variable dependiente y cada independiente mediante el complemento de *Excel* denominado *análisis de datos, regresión*. Al trabajar con un nivel de confianza del 95%, ninguna variable macroeconómica explicó (en otros términos: no fue significativa) el comportamiento de las variables dependientes (COLTES de largo plazo, COLTES de corto plazo y COLTES en UVR) en primera instancia, es decir, sin realizar ningún ajuste econométrico y se encontró relación estrecha entre los índices COLTES y las variables fundamentales.

Como antes de enunció, no se encontró relación entre las variables macro y los índices del COLTES. Una hipótesis acerca de lo anterior es que lo estudiado por diferentes autores ha sido la relación de las variables sobre la curva de rendimientos; sin embargo, en este caso al utilizar el COLTES se está tomando una canasta de bonos y no una estructura de rendimientos. Además, si bien desde la perspectiva de un un criterio fundamental puede explicarse la relación entre las variables macroeconómicas y los índices, desde un punto de vista técnico, en este caso una prueba-t, no se explicó la misma.

Por el contrario, en la investigación sí se encontró evidencia de que las variables financieras o de mercado, de igual manera al trabajar con un nivel de confianza del 95%, sí explican el comportamiento de los índices del COLTES. Según lo anterior, se podría suponer que los COLTES al ser índices que permiten medir y estar expuestos a la deuda colombiana, es decir, a títulos del mercado, tendrán una relación más estrecha con las variables independientes de mercado, como se observa a continuación:

Tabla 2. COLTES de largo plazo

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00166	0,00046	3,62020	0,00035
COL_USDCOP_COP	-0,25605	0,02978	-8,59898	0,00000

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00111	0,00049	2,27064	0,02393
COL_UST10Y_COP_T	-2,06087	0,42445	-4,85536	0,00000

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00131	0,00046	2,86173	0,00453
COL_CDS5Y_USD_P	-0,03529	0,00421	-8,37648	0,00000

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00122	0,00051	2,40928	0,01663
COL_DXY_USD_P	-0,09479	0,04640	-2,04285	0,04200

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00056	0,00046	1,22937	0,21996
COL_BEHS_USD_P	0,44011	0,05007	8,79041	0,00000

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00119	0,00044	2,72987	0,00674
COL_BEMS_USD_P	-3,97782	0,39078	-10,17906	0,00000

Fuente: Construcción propia. Datos de Bloomberg.

Tabla 3. COLTES de corto plazo

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00115	0,00017	6,61519	0,00000
COL_USDCOP_COP	-0,06348	0,01133	-5,60022	0,00000

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00102	0,00018	5,70003	0,00000
COL_UST10Y_COP_T	-0,53993	0,15448	-3,49528	0,00055

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00107	0,00017	6,23746	0,00000
COL_CDS5Y_USD_P	-0,00961	0,00158	-6,07588	0,00000

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00106	0,00018	5,86472	0,00000
COL_DXY_USD_P	-0,04337	0,01649	-2,63032	0,00900

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00086	0,00017	5,01907	0,00000
COL_BEHS_USD_P	0,12440	0,01877	6,62643	0,00000

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00104	0,00017	6,14631	0,00000
COL_BEMS_USD_P	-1,03243	0,15119	-6,82852	0,00000

Fuente: Construcción propia. Datos de Bloomberg.

Tabla 4. COLTES en UVR

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00149	0,00027	5,53381	0,00000
COL_USDCOP_COP_P	-0,08823	0,01746	-5,05238	0,00000

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00130	0,00027	4,73889	0,00000
COL_UST10Y_COP_T	-0,70016	0,23719	-2,95192	0,00342

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00137	0,00026	5,18877	0,00000
COL_CDS5Y_USD_P	-0,01355	0,00244	-5,56227	0,00000

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00132	0,00028	4,73364	0,00000
COL_DXY_USD_P	-0,00617	0,02547	-0,24223	0,80878

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00107	0,00026	4,04964	0,00007
COL_BEHS_USD_P	0,18340	0,02880	6,36723	0,00000

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepto	0,00133	0,00026	5,12191	0,00000
COL_BEMS_USD_P	-1,52712	0,23192	-6,58467	0,00000

Fuente: Construcción propia. Datos de Bloomberg.

Al tener en cuenta que las variables financieras o de mercado serían las seleccionadas para el modelo, se construyó una matriz de correlaciones, con la que se pretendió identificar problemas de multicolinealidad, es decir, determinar si las variables explicativas que harían parte del estudio estaban correlacionadas entre sí, para descartar variables que no eran necesarias por la alta correlación con otra de las variables explicativas puesto que se quería disminuir el riesgo de que las variables independientes explicasen la variable dependiente de la misma manera.

Tabla 5. Matriz de correlaciones

	COL_USDCOP_COP_P	COL_UST10Y_COP_T	COL_BEMS_USD_T	COL_BEHS_USD_T	COL_CDS5Y_USD_T	COL_DXY_USD_P
COL_USDCOP_COP_P	100,0%					
COL_UST10Y_COP_T	-9,5%	100,0%				
COL_BEMS_USD_T	43,1%	19,9%	100,0%			
COL_BEHS_USD_T	31,4%	0,1%	77,9%	100,0%		
COL_CDS5Y_USD_T	58,9%	-15,8%	66,1%	54,1%	100,0%	
COL_DXY_USD_P	28,9%	2,2%	23,2%	9,1%	29,7%	100,0%

Fuente: Construcción propia. Datos de Bloomberg.

Si bien las variables de la tabla 5 pueden explicar el comportamiento de los índices COLTES, las marcadas con rojo presentan correlaciones muy altas. Por ejemplo, al

mirar la relación entre los índices BEMS y BEHS se observa una correlación cercana al 78%, lo que quiere decir que el 78% de las veces si el primer índice sube el segundo lo hará; por lo tanto, era necesario elegir uno de los dos. La elección se hizo necesaria para que el modelo no tuviese dos variables o más que explicasen de igual manera la variable dependiente.

Al tener en cuenta lo anterior y los valores de correlación de la matriz (tabla 5) se pudo identificar que las variables resaltadas en rojo podrían presentar problemas de multicolinealidad, es decir, niveles de correlación positivos entre medios y muy fuertes (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2006). Debido a ello, las variables seleccionadas para ser usadas en el modelo serían USDCOP, UST10Y, DXY y BEMS puesto que con las otras dos, BEHS y CDS5Y, se podrían presentar problemas de multicolinealidad.

Una vez identificadas las variables explicativas se efectuaron regresiones lineales múltiples entre cada una de las variables independientes, los COLTES y las variables dependientes. Al realizarlas se evidenció que el índice del dólar (DXY) no era significativo dentro del modelo, posiblemente porque este índice recoge el comportamiento del dólar frente a otras monedas de mercados desarrollados (euro, yen japonés, libra inglesa, dólar canadiense, corona sueca y franco suizo) (*¿Qué es el índice DXY y para qué sirve?*, 2017) y en este caso es una aproximación en un mercado emergente que no necesariamente se comporta en la misma dirección; por lo tanto el DXY se omitió.

Una vez descartadas las variables macroeconómicas por falta significancia y de relación con los índices COLTES, y de haber identificado las variables financieras que no presentarían problemas de multicolinealidad, se seleccionaron las tres variables explicativas por utilizar en el modelo, que fueron: USDCOP, UST10Y y el BEMS.

Una vez identificadas las variables explicativas que conformarían el modelo se procedió a realizar las proyecciones trimestrales para cada una de las mismas para 2016.

Para el USDCOP, mediante la utilización de Bloomberg se descargó la serie de inversión del riesgo de tres meses con 25 como valor de delta. La inversión del riesgo en el mercado de divisas se entiende como la diferencia en volatilidades entre opciones *call* y *put* (Investopedia, 2017b). Por su parte, delta es una de las letras griegas utilizadas para la gestión del riesgo y mide la sensibilidad en la variación del precio de un activo, para este estudio el USDCOP (Investopedia, 2017a). Esta medida de volatilidad de las opciones se puede considerar un buen estimador puesto que permite identificar un encarecimiento o un abaratamiento de las mismas y, además, un aumento o una disminución en su volatilidad. Lo anterior significaría una devaluación o revaluación de la moneda que permitiría pronosticar dicha variable en cada uno de los trimestres.

Para entender un poco más el concepto de inversión del riesgo, si se observa la tabla 6, por ejemplo, para el 31 de marzo de 2016, el promedio de inversión del riesgo de tres meses con delta de 25 fue de 2.1134, que no es más que la diferencia en volatilidades entre las opciones *call* y *put* que estima el mercado a tres meses. Lo anterior significa que las opciones *call* se están cotizando más caras que las *put* y, por lo tanto, se puede concluir que el mercado espera una devaluación de la moneda. En caso de que fuera una revaluación, el signo de la inversión del riesgo sería negativo, lo que significaría que las opciones *put* estarían más caras que las *call*.

Tabla 6. Risk Reversal de 3 meses con 25 Delta

	USDCOP 3 Month 25 Delta RR								
	Desvest q/q	Desvest +1	Desvest -1	Percentil				Promedio	Interpolación Y
				-2 10%	-1 30%	1 70%	2 90%		
31/03/2016	0.3009	1.9859	1.3841	1.7653	1.8780	2.2230	2.5475	2.1134	0.3646
30/06/2016	0.1236	1.7486	1.5014	1.4685	1.6100	1.7050	1.7870	1.6559	-0.0343
30/09/2016	0.2167	2.0192	1.5858	1.6665	1.8520	1.9535	2.2270	1.9105	0.1519
31/12/2016	0.2342	2.3317	1.8633	1.4800	1.6835	2.0350	2.0865	1.8242	-0.1995

Fuente: Elaboración Propia.

Para el cálculo del pronóstico del USDCOP en cada uno de los trimestres del 2016, se partió de la inversión del riesgo de tres meses con delta de 25, para la que se calcularon los percentiles 10, 30, 70 y 90, correspondientes al número de desviaciones estándar que se aleja la inversión del riesgo de su promedio histórico trimestral. Más tarde se hizo una interpolación lineal simple con el propósito de encontrar el número de desviaciones que se encuentra el promedio en el trimestre. Por último, para obtener el pronóstico del USDCOP, como se observa en la tabla 7, se multiplicó el valor interpolado por la desviación estándar del USDCOP en el trimestre y se le sumó el dato del trimestre anterior.

Tabla 7. Pronóstico trimestral del USDCOP para 2016

	USDCOP	
	Desvest q/q	Pronóstico
31/03/2016	113.31	3041.8
30/06/2016	63.89	2918.0
30/09/2016	60.12	2892.5
31/12/2016	86.06	2984.8

Fuente: elaboración propia

Para pronosticar bonos del Tesoro estadounidense de diez años se usó Bloomberg y la función *BYCF* (*bond yield forecast*), que refleja las expectativas de los analistas de mercado y la tasa *forward* implícita de los títulos; la última representa la tasa implícita entre dos tasas *spot* de la curva de rendimientos con diferentes

vencimientos. Para el desarrollo del estudio se usó la tasa *forward* implícita puesto que se considera un buen predictor si se tiene en cuenta que por ser una variable de mercado incorpora los hechos económicos y de mercado que puedan incidir sobre la variable. A continuación se presenta la proyección para cada trimestre:

Tabla 8. Pronóstico trimestral de bonos del Tesoro estadounidense de diez años

UST 10Yr	
	Pronóstico
31/03/2016	2.31%
30/06/2016	2.00%
30/09/2016	1.75%
31/12/2016	1.65%

Fuente: Bloomberg

En el mercado de capitales global, la deuda emergente denominada en dólares presenta un *spread* sobre los bonos del Tesoro estadounidense asociado a una mayor percepción de riesgo, debido a condiciones económicas, fiscales, financieras y políticas diferentes a la americana. En el contexto del mercado de renta fija, el *spread* de tasa o crédito representa la diferencia entre las tasas de dos activos de renta fija (Investopedia, 2017d). Por ejemplo, si la tasa de los soberanos americanos de diez años es 2.30% y de los colombianos en USD del mismo plazo es 3.75%, el *spread* del soberano colombiano sobre el americano de diez años sería de 145pbs (puntos básicos).

Para pronosticar el *Bloomberg USD emerging market sovereign bond index* (BEMS) se buscó determinar dicho *spread* sobre el pronóstico de los bonos del Tesoro estadounidense de diez años a partir de una interpolación lineal a partir de de la historia del cuarto trimestre del 2015, con el fin de incorporar así el *spread* de crédito.

Para el cálculo del pronóstico del BEMS en cada uno de los trimestres de 2016, se calcularon los percentiles 10, 30, 70 y 90, correspondientes al número de

desviaciones estándar que se aleja el BEMS de su promedio histórico trimestral. Más tarde se hizo una interpolación lineal simple con el propósito de encontrar el número de desviaciones que se encuentra el promedio en el trimestre. Por último, para obtener el pronóstico del BEMS, como se observa en la tabla 9, se multiplicó el valor interpolado por la desviación estándar del BEMS en el trimestre y se le sumó el dato del trimestre anterior.

Tabla 9. Pronóstico trimestral del *spread* del índice BEMS

BEMS	
	Pronóstico
31/03/2016	297
30/06/2016	313
30/09/2016	272
31/12/2016	237

Fuente: elaboración propia

Una vez hechos los pronósticos para cada trimestre del 2016 del peso-dólar (USDCOP), los bonos del Tesoro estadounidense de diez años años (UST10Y) y del *Bloomberg USD emerging market sovereign bond index* (BEMS) se procedió a estimar cada una de las variables dependientes, que para este estudio fueron los diferentes COLTES, al tener en cuenta los pronósticos de las variables y los modelos resultantes de las regresiones lineales múltiples, como se puede observar a continuación.

Ecuación 4. $COLTESLP = 0.0015 + (-0.1909 * Var \% USDCOP) + (-1.8220 * Var \% UST10Y) + (-2.4789 * Var \% BEMSY)$

Ecuación 5. $COLTESCP = 0.00111 + (-0.0458 * Var \% USDCOP) + (-0.4689 * Var \% UST10Y) + (-0.6661 * Var \% BEMSY)$

Ecuación 6. $COLTESUVR = 0.00142 + (-0.0587 * Var \% USDCOP) + (-0.5686 * Var \% UST10Y) + (-1.0643 * Var \% BEMSY)$

Una vez estimados los COLTES de largo plazo, de corto plazo y en UVR, para cada trimestre, como se observa en la tabla 9, se procedió a la construcción de los portafolios. Como se mencionó desde el comienzo del trabajo, la búsqueda del portafolio óptimo surgió de la teoría moderna del portafolio de H. Markowitz, a partir de la frontera eficiente, con la mira de buscar maximizar el retorno y minimizar el riesgo del mismo.

Tabla 9. Pronóstico trimestral de índices de los COLTES

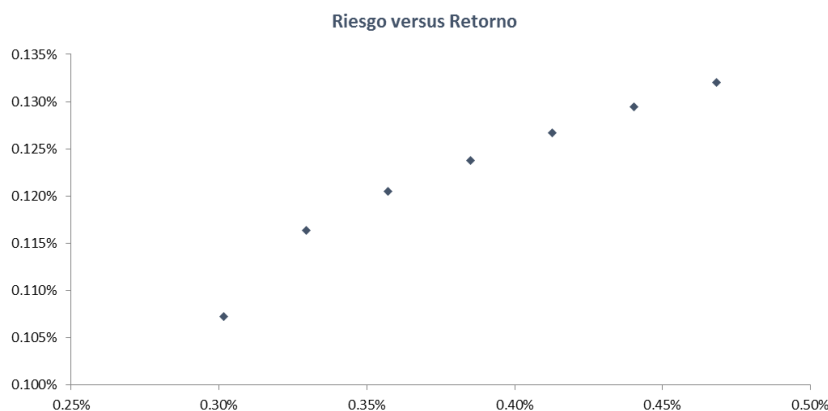
	COLTES LP	COLTES CP	COLTES UVR
4Q15	212	190	207
1Q16	218	191	209
2Q16	225	193	211
3Q16	236	195	215
4Q16	233	195	214

Nota: 4Q15: cuarto trimestre de 2015; 1Q16: primer semestre de 2016 y de manera similar en los tres restantes casos

Fuente: elaboración propia

Para el estudio, la frontera eficiente en cada uno de los trimestres de 2016 se construyó mediante el portafolio de mínima varianza, el de máximo retorno y cinco puntos intermedios.

Gráfica 5. Frontera eficiente con datos históricos



Fuente: elaboración propia

Por último, para encontrar el portafolio óptimo en cada uno de los trimestres de 2016 se eligieron portafolios que estaban dentro de la frontera eficiente, como el de máximo exceso de retorno y el de el cociente de Sharpe y fuera de ella, como el de igual ponderación:

- a. **Igual ponderación (*equally weighted*):** en este caso la selección se hizo al asignar una ponderación igual del 33.33% para los índices que componían el portafolio.
- b. **Máximo exceso de retorno:** la optimización del portafolio se llevó a cabo mediante la maximización del exceso de retorno, es decir, con la mira de superar en rentabilidad al portafolio *benchmark* lo máximo posible.
- c. **Máximo cociente de Sharpe:** al tener en cuenta que el cociente de Sharpe mide el exceso de rendimiento por unidad de riesgo, la selección del portafolio se efectuó con el fin de buscar la ponderación entre COLTES que presentara la mejor relación entre riesgo y retorno.

En cada una de las optimizaciones se hallaron métricas como rentabilidad esperada, volatilidad, cociente de Sharpe, exceso de retorno (*excess return*), volatilidad del *tracking error*, cociente de información y valor en riesgo (VaR) mensual.

Al tener en cuenta las métricas anteriores se comparó cada uno de los portafolios según los diferentes criterios de optimización, mediante la identificación de los de mejores medidas de desempeño que superaban al portafolio *benchmark*, en este estudio el COLTES.

4 RESULTADOS

Los resultados del estudio se muestran a continuación por medio de tablas y gráficas para facilitar la explicación de los mismos. Se comienza con las tablas 9 y 10, que fueron un insumo importante para el desarrollo del estudio propuesto en el trabajo.

Tabla 10. Significancia de las variables con un nivel de confianza del 95% (contra los índices COLTES)

VARIABLE	COLTES LP	COLTES CP	COLTES UVR
IPCY	11%	2%	41%
IPCM	46%	14%	68%
PIBY	22%	83%	79%
PIBQ	39%	100%	91%
ISEY	69%	46%	87%
ISEM	91%	83%	52%
ISESA	37%	33%	41%
ISE	70%	14%	75%
VTAS MIN	59%	68%	92%
PIY	33%	50%	11%
REPO	33%	16%	60%
USDCOP	0%	0%	0%
UST10Y	0%	0%	0%
CDS5Y	0%	0%	0%
CDS10Y	0%	0%	0%
COLCAP	0%	0%	0%
FWD3M1D	1%	0%	32%
BRENT	1%	0%	55%
DXY	4%	1%	81%
BEHS	0%	0%	0%
BEMS	0%	0%	0%

Fuente: elaboración propia

A partir de las estimaciones no hubo suficiente evidencia para demostrar la relación entre las variables macroeconómicas y los índices del COLTES, con un nivel de significancia del 5%. Por el contrario, sí se encontró evidencia de que las variables

financieras o de mercado sí explicaban el comportamiento de los índices COLTES, como se puede observar en la tabla 10.

Al tener en cuenta que las variables de mercado serían las seleccionadas para el estudio, se construyó una matriz de correlaciones

Tabla 11. Matriz de correlaciones

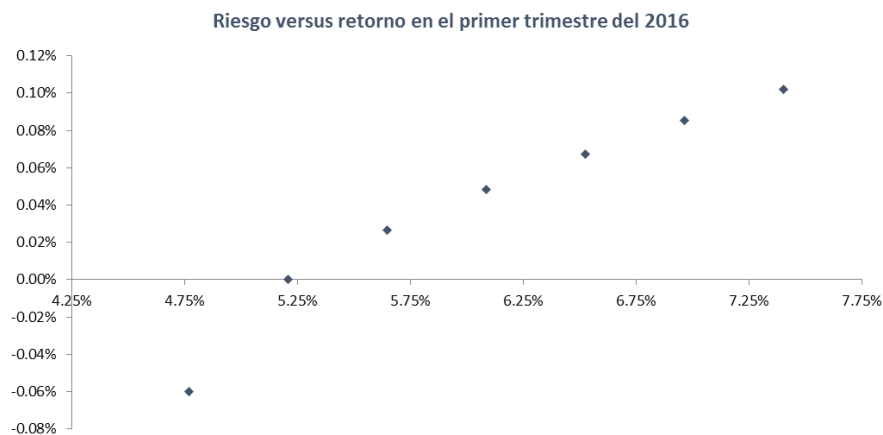
	COL_USDCOP_COP_P	COL_UST10Y_COP_T	COL_BEMS_USD_T	COL_BEHS_USD_T	COL_CDS5Y_USD_T	COL_DXY_USD_P
COL_USDCOP_COP_P	100.0%					
COL_UST10Y_COP_T	-9.5%	100.0%				
COL_BEMS_USD_T	43.1%	19.9%	100.0%			
COL_BEHS_USD_T	31.4%	0.1%	77.9%	100.0%		
COL_CDS5Y_USD_T	58.9%	-15.8%	66.1%	54.1%	100.0%	
COL_DXY_USD_P	28.9%	2.2%	23.2%	9.1%	29.7%	100.0%

Fuente: elaboración propia con base en Bloomberg (2017)

Según la tabla 11, y como se explicó en la sección de metodología, se obtuvo como resultado que las variables seleccionadas para el estudio serían USDCOP, UST10Y, DXY y BEMS puesto que con las otras dos, BEHS y CDS5Y, se podrían presentar problemas de multicolinealidad.

Una vez fueron estimados los COLTES largo plazo, de corto plazo y en UVR para cada trimestre de 2016, de acuerdo con las ecuaciones (4), (5) y (6) presentadas en la metodología, se procedió a la construcción de los portafolios y a la presentación de las fronteras eficientes, como se puede apreciar, por ejemplo, para la frontera eficiente del primer trimestre de 2016 en la gráfica 6. El resto de los trimestres se encuentran en el anexo.

Gráfica 6. Frontera eficiente para el primer trimestre de 2016



Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica 6, la frontera eficiente en cada uno de los trimestres de 2016 se construyó al hallar el portafolio de mínima varianza, el de máximo retorno y cinco puntos intermedios.

Por último, para alcanzar la aproximación de un portafolio de deuda pública colombiano óptimo, se procedió a seleccionar el portafolio según tres criterios: **i.** Igual ponderación (*equal weight*), **ii.** Máximo exceso de retorno y **iii.** Máximo cociente de Sharpe. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 12. Igual ponderación (*equal weight*). Retornos trimestrales (2016)

	1Q16		2Q16		3Q16		4Q16	
	Benchmark	Portafolio	Benchmark	Portafolio	Benchmark	Portafolio	Benchmark	Portafolio
Rentabilidad esperada (efectivo anual)	8.11%	6.34%	8.67%	6.58%	13.63%	10.11%	-3.42%	-2.50%
Volatilidad (anual)	9.70%	7.66%	10.09%	7.86%	10.23%	7.78%	10.68%	8.04%
Cociente de Sharpe	0.17	-0.02	0.12	-0.12	0.57	0.30	-1.02	-1.24
Retorno en exceso	0.00%	-1.77%	0.00%	-2.09%	0.00%	-3.51%	0.00%	0.92%
Volatilidad del <i>tracking error</i>	0.00%	3.00%	0.00%	3.14%	0.00%	3.33%	0.00%	3.49%
Cociente de información		-0.59		-0.67		-1.05		0.26
VaR mensual (efectivo anual)	6.51%	5.14%	6.78%	5.28%	6.87%	5.22%	7.17%	5.40%

Nota: 1Q16: primer trimestre de 2016 y de manera similar en los restantes tres casos

Fuente: elaboración propia

Tabla 13. Máximo exceso de retorno. Retornos trimestrales (2016)

	1Q16		2Q16		3Q16		4Q16	
	Benchmark	Portafolio	Benchmark	Portafolio	Benchmark	Portafolio	Benchmark	Portafolio
Rentabilidad esperada (efectivo anual)	8.11%	10.46%	8.67%	11.14%	13.63%	17.45%	-3.42%	-2.35%
Volatilidad (anual)	9.70%	12.41%	10.09%	12.79%	10.23%	12.93%	10.68%	8.09%
Cociente de Sharpe	0.17	0.32	0.12	0.28	0.57	0.75	-1.02	-1.22
Retorno en exceso	0.00%	2.35%	0.00%	2.47%	0.00%	3.82%	0.00%	1.07%
Volatilidad del <i>tracking error</i>	0.00%	2.90%	0.00%	2.90%	0.00%	2.89%	0.00%	2.90%
Cociente de información		0.81		0.85		1.32		0.37
VaR mensual (efectivo anual)	6.51%	8.33%	6.78%	8.59%	6.87%	8.68%	7.17%	5.43%

Nota: 1Q16: primer trimestre de 2016 y de manera similar en los restantes tres casos

Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Máximo cociente de Sharpe. Retornos trimestrales (2016)

	1Q16		2Q16		3Q16		4Q16	
	Benchmark	Portafolio	Benchmark	Portafolio	Benchmark	Portafolio	Benchmark	Portafolio
Rentabilidad esperada (efectivo anual)	8.11%	10.45%	8.67%	11.14%	13.63%	17.45%	-3.42%	-4.14%
Volatilidad (anual)	9.70%	12.39%	10.09%	12.79%	10.23%	12.92%	10.68%	12.26%
Cociente de Sharpe	0.17	0.32	0.12	0.28	0.57	0.75	-1.02	-0.95
Retorno en exceso	0.00%	2.34%	0.00%	2.47%	0.00%	3.82%	0.00%	-0.72%
Volatilidad del <i>tracking error</i>	0.00%	2.90%	0.00%	2.90%	0.00%	2.90%	0.00%	2.23%
Cociente de información		0.81		0.85		1.32		-0.33
VaR mensual (efectivo anual)	6.51%	8.32%	6.78%	8.59%	6.87%	8.68%	7.17%	8.23%

Nota: 1Q16: primer trimestre de 2016 y de manera similar en los restantes tres casos

Fuente: elaboración propia

Al comparar las tablas 11, 12 y 13 se puede ver que el portafolio óptimo resultante de la optimización por el criterio de maximización del exceso de retorno, y con rebalances trimestrales, es el que en mayor medida supera al portafolio *benchmark*, lo que se conoce portafolio dominante puesto que ofrece el máximo retorno dado un nivel de riesgo específico y en las medidas de desempeño evaluadas es el que en mayor número de veces sobrepasó al portfolio referente. El portafolio resultante por medio de esta optimización superó al COLTES en un 67% de las medidas entre los trimestres primero y tercero de 2016 y en el cuarto logró superarlo en 83% de las medidas evaluadas.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En Colombia, el mercado más líquido y de mayores volúmenes transados es el de deuda pública, por lo que la selección de portafolios de TES para los inversionistas cobra gran relevancia y se hace necesario el uso de metodologías para la selección de activos dentro de los portafolios.

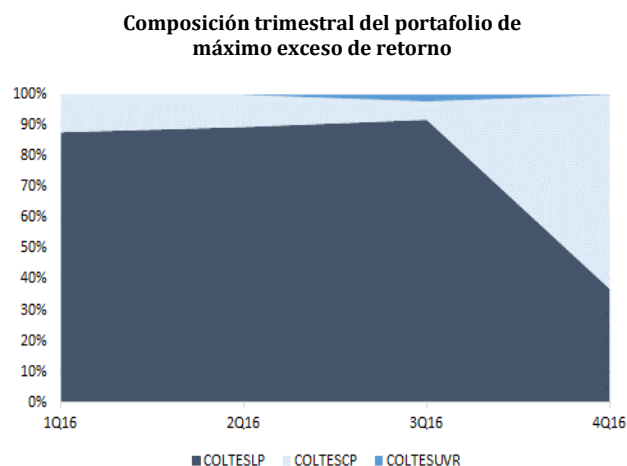
De acuerdo con la metodología alcanzada en este trabajo para la construcción de un portafolio de deuda pública colombiana mediante la utilización de las canastas del COLTES, las variables financieras se vuelven mejores herramientas para el pronóstico de un portafolio que las macroeconómicas, por medio de regresiones lineales múltiples.

La teoría de H. Markowitz continúa siendo relevante a la hora de la selección o el rebalanceo de un portafolio de inversión puesto que uno de ellos ofrece mayor rentabilidad que la de los títulos por sí solos con un nivel de riesgo determinado, lo que se puede explicar por el efecto de diversificación de un portafolio.

Sin embargo, la teoría moderna de portafolios tiene ciertas limitaciones porque supone que los mercados son perfectos, completos y eficientes (Markowitz, 1952) y bien se sabe que los mismos tienen costos transaccionales, los inversionistas no tienen libre acceso a la información y que no siempre son racionales a la hora de buscar activos de alto rendimiento y bajo riesgo.

El portafolio recomendado para un inversionista con un perfil de riesgo agresivo es el de máximo exceso de retorno, que, de acuerdo con el modelo desarrollado en el trabajo y con base en los rebalanceos trimestrales compone el portafolio de la siguiente manera para cada trimestre:

Tabla 15. Composición del portafolio de máximo exceso de retorno



Nota: 1Q2016: primer trimestre de 2016 y de manera similar en los restantes tres casos

Fuente: elaboración propia

Este portafolio dominante fue seleccionado incluso sobre el de máximo cociente de Sharpe porque para un inversionista con alta tolerancia al riesgo es el portafolio que presenta las mayores medidas de rentabilidad esperada, la menor volatilidad anual y el mayor exceso de retorno frente al referente. Supera, en el 61% de los casos comparados, las medidas de desempeño frente al portafolio referente, lo que se puede ver en la tabla 13. Para el portafolio dominante, la rentabilidad esperada total para el período fuera de la muestra superó al referente en 2.97% efectivo anual, mientras que el portafolio con máximo cociente de Sharpe lo hizo en 2.32% efectivo anual y la volatilidad anual fue incluso menor en el de máximo retorno y se situó en 13.69%, mientras que en el de máximo cociente de Sharpe fue de 15.17% efectivo anual. En la siguiente tabla se encuentra la clasificación de los cuatro portafolios analizados:

Tabla 16. Clasificación de los portafolios

Portafolio	Rentabilidad esperada (efectivo anual)	Clasificación	Volatilidad (anual)	Clasificación	Cociente de Sharpe	Clasificación	Puntaje total	Clasificación final
Referente (COLTES)	6,45%	3	9,81%	2	-0,33	3	8	3
De igual ponderación	4,96%	4	7,62%	1	-1,08	4	9	4
De máximo exceso de retorno	8,70%	1	11,07%	3	0,14	2	6	1
De máximo cociente de Sharpe	8,24%	2	12,04%	4	0,4	1	7	2

Fuente: elaboración propia

La clasificación se realizó con las principales variables y la numeración se hizo de mejor a mayor, luego se sumaron los puntos totales y al final se encontró que el de máximo exceso de retorno tuvo el menor puntaje, lo que determinó como el portafolio dominante.

El portafolio dominante (el de máximo retorno) para el período estudiado, 2016, arrojó retornos absolutos de 10.46% efectivo anual en el primer trimestre, 11.14% efectivo anual en el segundo, 17.45% efectivo anual en el tercero y una pérdida de 2.35% efectivo anual en el cuarto trimestre. Frente al *benchmark* este portafolio presentó un retorno adicional de 2.35% efectivo anual en el primer trimestre, 2.47% efectivo anual en el segundo, 3.82% efectivo anual en el tercero y 1.07% efectivo anual en el cuarto. El retorno acumulado total en el período fuera de la muestra fue de 8.70% efectivo anual mientras que el del referente fue de 6.45% efectivo anual.

Con el estudio propuesto se logró vencer al portafolio referente gracias a la metodología de regresiones y a las buenas metodologías de pronósticos utilizadas en el mismo, que lograron estimar de manera acertada el comportamiento de las tres variables independientes, con un grado de certeza lo suficientemente bueno como para ganarles a tres portafolios con los que se comparó. Con el estudio se logró una aproximación recomendable para la construcción de un portafolio de deuda pública colombiana con rebalanceos trimestrales en el período estudiado.

Recomendaciones

Sobre el estudio presentado se recomienda realizar *backtesting* para la utilización del mismo en otros países o para emplearlo en otros períodos. Lo anterior permitirá detectar si el modelo tiene la cobertura deseada y evaluar cómo habría sido la eficacia del mismo.

Además, se recomienda revisar para cada uso particular variables, tanto de mercado como macroeconómicas, puesto que bajo otras condiciones, ya sea de activos, de países o de períodos, se podría encontrar que las variables macro también puedan ser apropiadas para las estimaciones y las proyecciones.

REFERENCIAS

- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, BBVA (2015, 23 de marzo). *Qué es el valor en riesgo*. Bilbao: BBVA. Recuperado el 05 de marzo de 2017 de:
<https://www.bbva.com/es/que-es-el-valor-en-riesgo-var/>
- Bloomberg (2017, julio). *Bloomberg USD emerging market sovereign bond index*. Nueva York, NY: Bloomberg. Recuperado el 2 de julio de 2017 de:
<https://www.bloomberg.com/quote/BEMS:IND>
- BNP Paribas España (s.f.). *¿Qué es la volatilidad?* Madrid: BNP Paribas (España), Departamento de Mercados. Recuperado el 5 de octubre de 2016 de:
https://pi.bnpparibas.es/pdf/ayuda_Volatilidad.pdf
- Bolsa de Valores de Colombia, BVC (2016, agosto). *Mercado de valores en Colombia*. Recuperado el 12 de febrero de 2017 de:
https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Mercados/descripciongeneral/indicesbursatiles?com.tibco.ps.pagesvc.action=updateRenderState&rp.currentDocumentID=772d448f_13f75d73b77_5580a0a600b&rp.revisionNumber=1&rp.attachmentPropertyName=Attachment&com
- Castaño Vélez, E., y Melo Velandia, L. F. (1998). Métodos de combinación de pronósticos: una aplicación a la inflación colombiana. *Borradores de*

- economía*, 109. Recuperado el julio de 2017 de:
<http://www.banrep.gov.co/docum/ftp/borra109.pdf>
- Cortés, P., Onieva, L., Guadix, J., & Muñuzuri, J. (2012). Designing fixed-income securities investment portfolios under different scenarios. *The Service Industries Journal*, 33(9), 859-875.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación*, 4ª ed. México: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado el julio de 2017:
<https://es.scribd.com/doc/38757804/Metodologia-de-La-Investigacion-Hernandez-Fernandez-Batista-4ta-Edicion>
- Infomercados (2017). Ratio de información. *Infomercados*. Recuperado el 15 de mayo de 2017 de: <http://www.infomercados.com/formacion/glosario/ratio-de-informacion/1851/>
- Investopedia (2017a). *Delta*. Recuperado el 15 de abril de 2017 de:
<http://www.investopedia.com/terms/d/delta.asp?lgl=rira-baseline-vertical>
- Investopedia (2017b). *Risk reversal*. Recuperado el 16 de abril de 2017 de:
<http://www.investopedia.com/terms/r/riskreversal.asp?lgl=rira-baseline-vertical>
- Investopedia (2017c). *Sharpe ratio*. Recuperado el 16 de abril de 2017 de:
<http://www.investopedia.com/terms/s/sharperatio.asp>
- Investopedia (2017d). *Spread*. Recuperado el 16 de abril de 2017 de:
<http://www.investopedia.com/terms/s/spread.asp>
- Investopedia (2017e). *Tracking error*. Recuperado el 16 de abril de 2017 de:
<http://www.investopedia.com/terms/t/trackingerror.asp>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- Melo Velandia, L. F., y Castro Lancheros, G. A. (2010). Relación entre variables macro y la curva de rendimientos. *Borradores de economía*, 605. Recuperado el julio de 2017 de:
<http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/pdfs/borra605.pdf>

¿Qué es el índice DXY y para qué sirve? (2008, 30 de julio). *Portafolio*.

Recuperado el 3 de diciembre de 2016 de:

<http://www.portafolio.co/economia/finanzas/buzon-inversionista-432198>

Szretter Noste, M. E. (2013). *Apunte de regresión lineal*. Buenos Aires:

Universidad de Buenos Aires. Recuperado el 15 de febrero de 2017 de:

http://mate.dm.uba.ar/~meszre/apunte_regresion_lineal_szretter.pdf

Valderrama, A., Martínez, A., González, C., y Ramírez, N. (2012, octubre).

Mercado de renta fija colombiano. Evolución y diagnóstico. Bogotá: BVC.

Recuperado el 22 de mayo de 2017 de:

www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/IE/Estudio_Diagnostico?com.tibco.ps.pagesvc.action=updateRenderState&rp.currentDocumentID=-8972d57_13cd3361e21_19f40a0a600b&rp.attachmentPropertyName=Attachment&com.tibco.ps.pagesvc.targetPage=1f9a1c33_132040fa022_-78750a0a600b&com.tibco.ps.pagesvc.mode=resource&rp.redirectPage=1f9a1c33_132040fa022_-787e0a0a600b

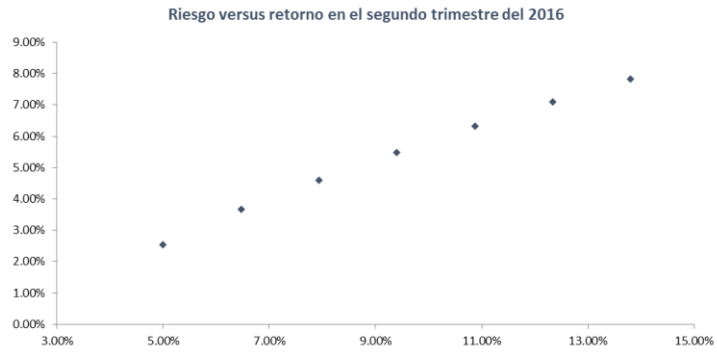
Vanguard® (2009). *Understanding excess return and tracking error*. Vanguard®.

Recuperado el 12 de diciembre de 2017 de:

<https://www.vanguard.com/jumppage/international/web/pdfs/INTUTE.pdf>

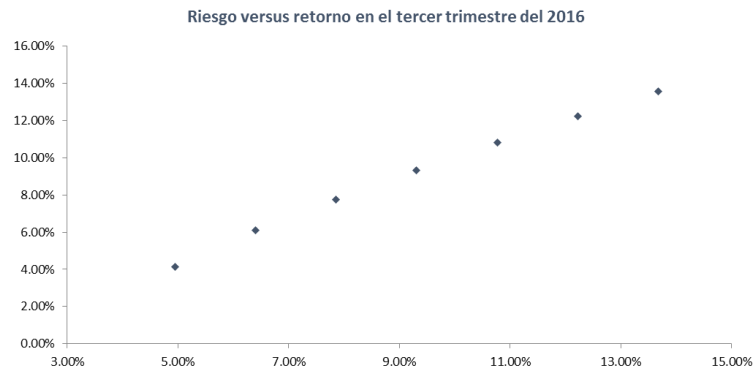
ANEXO

Gráfica 7. Frontera eficiente para el segundo trimestre de 2016



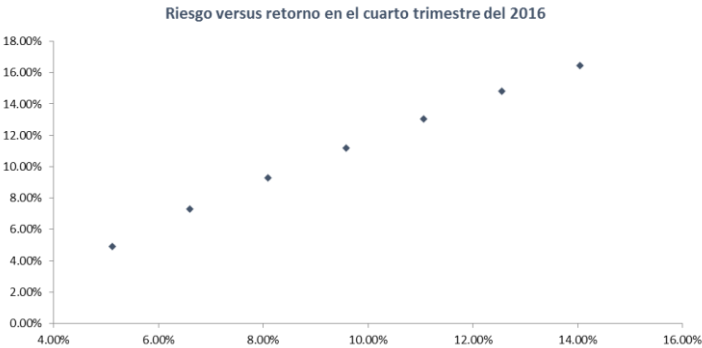
Fuente: elaboración propia

Gráfica 8. Frontera eficiente para el tercer trimestre de 2016



Fuente: elaboración propia

Gráfica 9. Frontera eficiente para el cuarto trimestre de 2016



Fuente: elaboración propia