

# RIESGO EN RENTA FIJA. CASO COLOMBIANO

## INVERSIÓN EN TES <sup>®</sup> 2008<sup>1</sup>

*Fernando de Jesús Franco Cuartas*  
*Especialista en Finanzas, Universidad EAFIT;*  
*Administrador de Negocios, Universidad EAFIT;*  
*Consultor Freelance del mercado de capitales, en*  
*Global Securities*  
[f francoc@une.net.co](mailto:f francoc@une.net.co)

*Ponencia presentada en el V Simposio Nacional*  
*y II Internacional de Docentes de finanzas con-*  
*vocado por la Universidad Javeriana de Bogotá.*  
*agosto 2008*

*Artículo recibido el 19 de agosto de 2008 y apro-*  
*bado para su publicación el 06 de noviembre de*  
*2008*

**Eje Temático:** Mercado de Capitales  
**Subtema:** Mercado de Renta Fija

### RESUMEN

Las inversiones en renta fija presentan grandes volatilidades en sus precios, como resultado de la dinámica de las tasas de descuento y los TES emitidos por el gobierno colombiano no son la excepción. Para los agentes del mercado, es importante conocer la sensibilidad de estos instrumentos. Los inversores encuentran diferentes vencimientos, lo cual determina el perfil de riesgo. El análisis preliminar de riesgo en finanzas advierte que a mayor plazo, mayor incertidumbre sobre los flujos de caja. Una de las técnicas disponibles para analizar la exposición al riesgo por tasa de interés, es la duración desarrollada por Frederick Macaulay. La pregunta es: ¿Cuál será la exposición al riesgo de tasas de interés de precio, ante cambios en la tasa de referencia del banco central? El objetivo del presente estudio es determinar, la sensibilidad del precio, en forma absoluta y relativa, como una aproximación al Valor en Riesgo (VaR), de la deuda pública interna colombiana, ante cambios en la tasa de mercado.

**Palabras clave:** TES, Bonos, Cupón, Volatilidad, Correlación, *Yield*, Duración, Renta Fija, Riesgo.

---

1. Trabajo elaborado por. FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS. Administrador de Negocios EAFIT. Especialista en Finanzas EAFIT. Estudios de: MBA Sc. EAFIT / HEC Canadá. Maestría Economía U.N. Medellín. Profesor universitario. Docente postgrado UPB. Consultor Gerencial, Asesor Mercado de Capitales. E\_mail ejecutivo: f francoc@une.net.co. E\_corporativo: gaceta@gacetafinanciera.com . Medellín.

**ABSTRACT**

The investments in fixed rent display great volatilenesses in their prices, as a result of the dynamics of the rates of discount and the TES emitted by the Colombian government are not the exception. For the agents of the market, it is important to know sensitivity these instruments. The investors find different maturations, which determines the risk profile. The preliminary analysis of risk in finances notices that greater term, major uncertainty on the cash flows. One of the techniques available to analyze the exhibition to the risk by interest rate, is the duration developed by Frederick Macaulay. The question is: Which will be the exhibition to the risk of price and interest rates, before changes in the rate of reference of the central bank? The objective of the present study is to determine, the sensitivity of the price, in absolute and relative form, like an approach to the value in risk (VaR), of the national debt commits Colombian, before changes in the rate of market.

**Key Words:** TES, Bonds, Coupon, Volatileness, Correlation, Yield, Duration. Fixed Rent. Risk.

## Introducción

Las inversiones denominadas en títulos de renta fija<sup>2</sup>, están nominalmente libres de riesgo, pero en una economía globalizada como se muestra el despunte del siglo XXI, estos activos implican grandes volatilidades en sus precios como resultado de la dinámica de las tasas de descuento y éstas a su turno en función de las expectativas, entre otras variables, del nivel de liquidez mundial.

Los títulos valores representativos de renta fija, son los bonos y para el mercado colombiano son los TES<sup>3</sup>, siendo el de mayor liquidez, los que vencen en el año 2020, los cuales fueron emitidos el 24 de julio de 2005 a una tasa de cupón del 11% anual<sup>4</sup>.

Para los diferentes agentes del mercado, es de vital conocimiento la sensibilidad de cada uno de los fundamentales de los títulos valores, y en particular, los de renta fija, sobre el valor de mercado de sus inversiones, ante cambios en la rentabilidad esperada por los diferentes actores de la economía.

Los fundamentales ó características faciales de un bono están dados por: el valor nominal o principal, la tasa de cupón y el plazo. Se denominan faciales, pues son de la sustancia jurídica y comercial del título valor, además son de manejo exclusivo del emisor. Para poder circular estos títulos, el mercado fija una tasa de interés ó tasa de descuento, - *Yield* - que al final constituye la rentabilidad esperada al invertir en dichos instrumentos del mercado de capitales.

Como lo plantea Antonio Grandio Dopico, en su texto *Mercados Financieros*, pag. 164: "El riesgo de mercado en los activos de renta fija denominados en moneda nacional se reduce al riesgo - volatilidad - provocado por movimientos en los tipos de interés de mercado. Este riesgo de interés se puede subdividir en dos partes: riesgo de reinversión y riesgo de precio. El riesgo de precio nace de la venta de un bono en un momento anterior a su vencimiento, ya que existe incertidumbre sobre el precio al que se podría realizar la operación. Si desde el momento de la compra del bono hasta la fecha de venta se ha producido un incremento en los tipos de interés de mercado, registraremos una pérdida en la rentabilidad de la inversión ya que el precio de venta del bono en cuestión será

- 
2. A diferencia del titular de acciones, que se convierte en copropietario de la compañía, los titulares de productos de renta fija (obligaciones, bonos, letras, etc.) se convierten en acreedores de la empresa que los emite.
  3. TES (Títulos de Tesorería). Títulos de deuda pública interna emitidos por la Tesorería General de la Nación (en pesos, en UVR´s - Unidades de Valor Real Constante - o en pesos ligados a la TRM), que son subastados por el Banco de la República. Se caracterizan por ser una de las mayores fuentes de financiación del Gobierno. Por otro lado, el gobierno central, emite títulos de deuda externa en dólares: *Yankees*. Deuda en pesos redimida en dólares: globales y, finalmente se financia con eurobonos: bonos emitidos en euros
  4. Fuente: Ministerio de Hacienda.

inferior. Por su lado, el riesgo de reinversión surge en el momento en el que compramos un bono que tiene un vencimiento inferior a nuestro horizonte temporal, por lo que deberemos renovar nuestra inversión, esto es, comprar nuevamente en el mercado otro bono cupón cero. La incógnita en este caso se refiere a cuál va a ser el tipo al que podamos renovar nuestra inversión, ya que de él dependerá la rentabilidad final durante el horizonte temporal. En este caso, si se produce una disminución en los tipos de interés de mercado, la rentabilidad final será inferior a la estimada inicialmente”.

Para el caso colombiano, los inversores encuentran diferentes vencimientos y cupones lo cual entra a determinar los perfiles de riesgo de los agentes superavitarios y especulativos presentes en el mercado. El análisis preliminar de riesgo en finanzas nos advierte que a mayor plazo, en condiciones de *ceteris paribus*, mayor incertidumbre sobre los flujos futuros de caja. Pero la inferencia deja de ser intuitiva, para el común de los inversores potenciales, cuando se trata de analizar la variedad de cupones disponibles por parte del agente emisor.

Una de las técnicas disponibles para acercarnos a la exposición de riesgo por tasa de interés, como medición relativa o porcentual y de precio, o cuantificación absoluta o en unidades monetarias, es el acervo conceptual de Frederick Macaulay. Este autor, desarrolló en 1938 el indicador de Duración, pero que a partir de la década de los años '70 cobró gran importancia en las Finanzas Internacionales manteniendo su vigencia hoy en día. La duración es una medida de la sensibilidad

- elasticidad - del precio ante cambios en los tipos de interés. “La importancia de este concepto en la evaluación del riesgo de tasa de interés, radica en que el mismo permite calcular en forma aproximada el valor en riesgo (Value at Risk), medido este último como la pérdida porcentual en el precio de un bono, como consecuencia de un aumento de la tasa de interés”. Javier Serrano Rodriguez. Mercados Financieros. pp. 75

Para el presente estudio se parte del comportamiento histórico de la tasa de mercado, de cinco títulos de deuda pública interna colombiana en pesos: 2020, 2015, 2014, 2012 y 2010. Ver tabla1. La serie de tiempo diaria analizada inicia desde el 4 de agosto de 2005, fecha en la cual se empiezan a transar los TES2020 en el mercado secundario, hasta finalizar el primer semestre de 2008: 27 de junio.

Las alternativas de inversión presentes en los mercados financieros, pasan por títulos valores<sup>5</sup>, entre otros: acciones, bonos, divisas, notas estructuradas y *commodities*. El desarrollo de cada mercado es una función del perfil de riesgo de los inversionistas. En periodos de alta volatilidad en los fundamentales de la economía, la teoría financiera, recomienda a los inversores refugiarse en alternativas con menor incertidumbre y es en dichos periodos cuando los instrumentos de renta fija se tornan en alternativas atractivas para las personas que no desean asumir riesgo al realizar sus inversiones.

En las condiciones actuales de la economía global, bajas tasas de interés, desaceleración económica en EEUU, presión inflacionaria, demanda “real del bloque BRIC”<sup>6</sup> por materias primas, la industria de

- 
5. El perfil jurídico de los inversores en renta variable y renta fija es diferente; mientras los accionistas tienen derecho, entre otros, a voto y a participar en los beneficios de la empresa, los tenedores de renta fija tienen tres derechos fundamentales: percibir el interés periódico predeterminado, devolución del capital principal una vez finalizada la vida del producto y la transmisión del producto
  6. Brasil, Rusia, India y China. Palabras textuales del Presidente de Petrobrás: José Sergio Gabrielli, en la cumbre de zares petroleros que se celebra en Madrid desde el 30 de junio a 3 de julio de 2008.

los biocombustibles, las tensiones geopolíticas, entre otras variables han desembocado en altos precios del crudo y su impacto en la estructura de costos de los emisores. En el contexto anterior, las inversiones aumentan en incertidumbre generando mayores riesgos motivo por el cual la renta fija de emisores centrales cobra relevancia para minimizar las probabilidades de los retornos esperados en el mercado de capitales. Lo anterior no es cierto en su totalidad, pues los bancos centrales para poder hacer frente a la inflación, tienen un instrumento natural de política monetaria que consiste en el incremento de tasas de interés lo cual va en contra vía del valor de los portafolios estructurados en renta fija.

Con la reforma pensional realizada en Colombia, y el surgimiento de las administradoras de fondos de pensiones obligatorias, voluntarias, de cesantías y pensión media; han dinamizado el mercado de capitales colombiano. A marzo 31 de 2008, el valor del portafolio de dichos fondos ascendió a 65 billones 154 mil millones de pesos De los cuales el 70.6% de las AFP obligatorias son en renta fija, es decir, 35 billones 880 mil millones y de estos el 41.5% son inversiones en títulos deuda pública interna y un 2.4% en títulos de deuda externa colombiana<sup>7</sup>.

Las fuentes teóricas y prácticas para que el inversionista cumpla con el objetivo de disminuir el riesgo (diversificación) son cada vez mayores. Desde lo pragmático, basta con observar la estructura de vencimientos<sup>8</sup>, los cupones y la volatilidad del *Yield*, es decir, la diversificación se puede asumir desde la estructuración de carteras de renta fija por plazos y niveles de cupones.

En el terreno de los determinantes que nos permiten la fijación del precio de los bonos, en condiciones de *ceteris paribus*, nos encontramos con la relación inversa entre tasa de cupón, y tasa de descuento; y la relación directa entre tasa de descuento y maduración del título. Como correlato podemos inferir mayor sensibilidad en el precio de mercado de los TES a menores cupones y mayor maduración, ante cambios de igual magnitud en las tasas de mercado. Ver tabla3.

La constante en el mercado de capitales es la volatilidad simultánea de los fundamentales de los instrumentos de renta fija, motivo por el cual, la sensibilidad del precio viene dada por el indicador duración, el cual por si solo no aporta mayor información. Su importancia radica en la cuantificación del riesgo tomado por los inversionistas en forma porcentual y en forma absoluta, vale decir, si las tasas de mercado oscilan "X" puntos básicos, a cuánto asciende el riesgo de mi portafolio en forma porcentual y en unidades monetarias o pesos para el caso colombiano.

Lo anterior, se logra implementando el concepto de duración, duración modificada, y el diseño de estrategias activas de reinversión y descuento al igual que la valoración por arbitraje mediante el cálculo del perfil del bono: Convexidad.

El presente documento, pretende aportar evidencias sobre la sensibilidad de la inversión en deuda pública interna colombiana, como productos financieros a ser tenidos en cuenta, por parte de los inversionistas nacionales y externos, y en particular por las AFP's, a la hora de estructurar y gestionar el ahorro de los colombianos.

---

7. [www.superfinanciera.gov.co](http://www.superfinanciera.gov.co). Comunicado de prensa Superfinanciera de Colombia marzo 31 de 2008.

8. A la fecha la estructura de vencimiento de los títulos de deuda pública interna colombiana, en pesos, entre otros, son: agosto 2008, julio 2009, febrero 2010, enero 2012, abril 2012, noviembre 2010, septiembre 2014, octubre 2015 y julio 24 de 2020. fuente minhacienda.

## Recolección de información

Las cotizaciones, con frecuencia diaria, del *Yield* se obtuvo accedendo a la ruta siguiente:

Para los TES2020 la ruta fue:  
<http://www.grupoaval.com/oc4j/portales/jsp/historicoindicadores.jsp?indi=3837>

Para los TES2015 la ruta fue:  
<http://www.grupoaval.com/oc4j/portales/jsp/historicoindicadores.jsp?indi=4108>

Para los TES2014 la ruta fue:  
<http://www.grupoaval.com/oc4j/portales/jsp/historicoindicadores.jsp?indi=3360>

Para los TES2012 la ruta fue:  
<http://www.grupoaval.com/oc4j/portales/jsp/historicoindicadores.jsp?indi=747>

Para los TES2010 la ruta fue:  
<http://www.grupoaval.com/oc4j/portales/jsp/historicoindicadores.jsp?indi=2922>

## Metodología

Se parte del desempeño histórico del comportamiento de las tasas de cierre de los TES del 2020, que transan en el mercado de capitales colombiano; debido a que el análisis de las series de tiempo se basa en la elaboración del modelo de regresión de una sola ecuación. Una serie de tiempo de precios de cierre relacionaría esta variable con sus valores pasados y con variables que describen la naturaleza aleatoria de su comportamiento pasado<sup>9</sup>.

Tabla 1

Instrumento	VN	TC	FE	FV	Yi	Tipo	Yf	Tipo
TES2020	100	11%	24/07/2005	24/07/2020	10.47%	Prima	12.5%	Descuento
TES2015	100	8%	28/10/2005	28/10/2015	7.27%	Prima	12.2%	Descuento
TES2014	100	13.5%	12/09/2004	12/09/2014	13.5%	Par	11.05%	Prima
TES2012	100	15%	26/04/2002	26/04/2012	13.83%	Prima	11.16%	Prima
TES2010	100	13%	12/02/2004	12/2//2010	13.01%	Descuento	11.12%	Prima

VN= Valor nominal. TC = Tasa de cupón. FE. Fecha de emisión. FV= Fecha de vencimiento. Yi = Yield inicial. Yf= Yield a junio 27/2008

Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

Para iniciar, recordemos que el valor de mercado de un bono, es una función inversa de la tasa de descuento, ver Ec.1. Al comparar los TES15, TES14 y TES12 observamos que sólo difieren, en sus tasas de cupón. Tabla2. Si las tasas de mercado, *Yield*, oscilan en un periodo 100 puntos básicos, frente a su valor par<sup>10</sup>; se encuentra que

la mayor variación - sensibilidad - en el precio de mercado la experimenta el título de tesorería con vencimiento en el 2015. Este instrumento, en un escenario de tasas a la baja, frente a su *par value*, se apreciaría 7.02 unidades monetarias, -u.m - frente a 5.54 y 5.22 u.m para el TES14 y TES12 respectivamente. Por su lado, los TES15,

9. Series de tiempo. Pindyck, Robert. Econometría Modelos y Pronósticos. McGraw Hill. 4ª. Edición. p. 487\_8

10. Tasa de cupón igual a tasa de descuento.

se depreciarían en 6.42 u.m frente a 5.12 y 4.82 para el TES14 y TES12 respectivamente; si las tasas descienden en idéntico periodo 1% frente a su tasa par. Ver tabla3.

$$VA = \sum_{t=1}^n \left( \frac{FFC_t}{(1+Y)^t} \right) \text{ Ec. 1}$$

Donde,

Por medio de procedimiento análogo, si entre los títulos objeto del presente estudio, sus fundamentales, difieren solamente en el vencimiento, ver tabla1, en el mercado primario, el título más sensible en su precio, sería el título con mayor vencimiento.

VA = Valor de mercado o negociación.  
FFCt = Flujos futuros de caja incluido el nominal  
Y = Tasa descuento. *Yield*.  
t = El periodo en el cual ocurre los FFC  
n = Vencimiento

Tabla 2

TC Vs Yield			
TES	2015	2014	2012
VN	100	100	100
TC	8%	13.50%	15%
V años	10	10	10
Yield0	7%	12.50%	14%
Yield1	8%	13.50%	15%
Yield2	9%	14.50%	16%

Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

Tabla 3

TES15	Sensibilidad		TES14	Sensibilidad		TES12	Sensibilidad		
	abs	%		abs	%		abs	%	
VA(Y0)	(107.02)	7.02	7.02%	(105.54)	5.54	5.54%	(105.22)	5.22	5.22%
VA(Y1)	(100.00)			(100.00)			(100.00)		
VA(Y2)	(93.58)	6.42	-6.42%	(94.88)	5.12	-5.12%	(95.17)	4.83	-4.83%

Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

La técnica anterior para determinar sensibilidad en el valor de mercado en los TES, presenta el inconveniente derivado de las condiciones de *ceteris paribus*, en la realidad económica, encontramos la volatilidad conjunta de los fundamentales de un bono, motivo por el cual se recurre a la técnica

de la duración para encontrar la variación en el precio de negociación en el mercado secundario ante cambios en las tasas de descuento.

La duración - D - permite comparar una cesta de renta fija, en el contexto del riesgo. Es así,

como la D del TES20 - 8.1 años - al momento de la emisión es superior a las demás, factor que lo convierte en el más sensible frente a la volatilidad de las tasas de descuento. Ver tabla4. Es de resaltar que dicha sensibilidad, se traduce en mayor liquidez, y por tanto en mayores oportunidades de inversión para los diferentes actores de mercado.

Tabla4

Duración		
Título	MP	Actual
TES20	8.1	6.3
TES15	7.3	5.3
TES14	6.0	4.3
TES12	5.9	3.2
TES10	4.5	1.5

Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

La D se puede calcular aplicando el modelo de Macaulay. Ec2. O en forma tabular desarrollando en Excel dicha relacion como se ilustra en la tabla5.

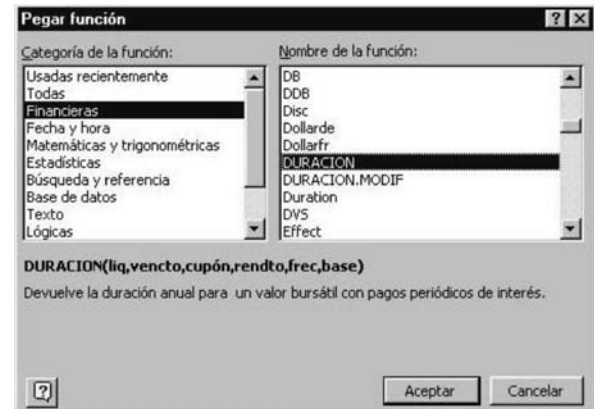
$$D = \sum_{t=1}^n \left[ \frac{\left( \frac{FFC_t}{(1+Y)^t} \right)}{VA} * t \right], \text{ Ec.2}$$

$$D = \sum_{t=1}^n [Wt * t], \text{ Ec.3}$$

$\frac{\left( \frac{FFC_t}{(1+Y)^t} \right)}{VA}$  Es Wt en Ec.3, o la velocidad para recuperar la inversión mediante la venta de los cupones como se muestra en la tabla5.

La D también se puede calcular y de forma más rápida, por medio de las funciones financieras del Excel como se ilustra en la gráfica 1.

Gráfica1.



En la gráfica2, el campo liq, corresponde a la fecha de negociación en el mercado del titulo. En el campo Vnccto, se captura la fecha de vencimiento o redención del TES. El campo Cupón, equivale a la tasa de interés efectiva periódica que promete pagar el emisor. Por su parte, el campo Rendto, representa la rentabilidad objetivo del inversionista o tasa de descuento efectiva periódica. Antes de activar el botón aceptar, debemos ingresar, el número de cupones a pagar por periodo en el campo Frec.

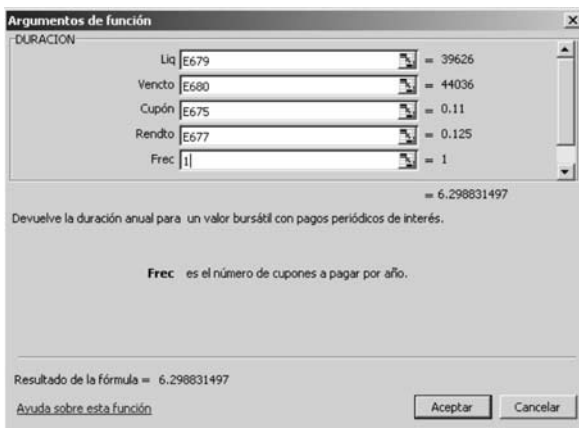
Nótese que la D es igual a 6.2988, ver gráfico 2, es decir. 6.30 igual al obtenido por el método tabular. Tabla5.

Si los tenedores de los TES, desean inmunización, mediante el cálculo y uso de la D, deben implementar estrategias activas de reinversión y descuento exactamente hasta la D, independiente del nivel de tasas de mercado. Ver tabla 8 y 9.

Para ilustrar el concepto de D como punto de equilibrio e inmunización partimos de un nivel de confianza del 95% de oscilación del Yield- ver tabla10. El inversionista estará en equilibrio, en la medida que siempre dispondrá de la misma riqueza compuesta hasta la D: RCD, ver gráfico 4, ya sea en escenarios bajistas o alcistas de tasas de interés. La hipótesis anterior, se cumple en

el terreno de lo teórico, dado que las utilidades percibidas al reinvertir a tasas mayores, hasta la D, se compensan o equilibran con las pérdidas que resultan de descontar los FFCT a tasas altas hasta dicho punto. En igual dirección, los bajos beneficios obtenidos al reinvertir a tasas bajas, se equilibran, con las utilidades al descontar a las mismas tasas bajas. En síntesis, el RCD, como flujo futuro, 233.7 para el presente caso de estudio, siempre será igual al margen de cualquier escenario de tasas de interés. Ver tabla 8.

Gráfica2.



Al seguir la estrategia activa de reinvertir los Flujo de Caja que se ubican al lado izquierdo - recibidos por el inversionistas - de la D, ver grafica 4 y descontar todos los FFCT - Flujos de Caja no recibidos - hasta la D, se garantiza la rentabilidad objetivo al momento de la adquisición del título, vale decir, 10.47% para los TES20 al 4 de agosto de 2005 como se muestra en la tabla 9. De esta prueba de inmunización en rentabilidad, se obtiene un excelente GAP de liquidez de 6.9 años, pues el horizonte temporal inicial de 15 años, se reduce a 8.1 años

Tabla5

Calculo D TES20: 27/06/2008				
T	FFCt	VP	Wt	Wt*t
0.07	11	(\$10.90)	10.8%	0.008
1.07	11	(\$9.69)	9.6%	0.103
2.07	11	(\$8.62)	8.5%	0.177
3.07	11	(\$7.66)	7.6%	0.233
4.07	11	(\$6.81)	6.7%	0.274
5.07	11	(\$6.05)	6.0%	0.304
6.07	11	(\$5.38)	5.3%	0.323
7.07	11	(\$4.78)	4.7%	0.335
8.07	11	(\$4.25)	4.2%	0.340
9.07	11	(\$3.78)	3.7%	0.339
10.07	11	(\$3.36)	3.3%	0.335
11.07	11	(\$2.98)	3.0%	0.327
12.07	111	(\$26.77)	26.5%	3.200
	VA	(\$101.04)		
	PL	(\$90.89)	D	6.30

Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

El análisis cuantitativo de dispersión y variación diaria promedio de cada título en forma individual se construye con base en funciones del Excel y arroja los siguientes resultados. Ver Tabla 6.

Tabla6.

TV	E(Y)	$\sigma(Y)$	E(PB)
TES20	0.036%	0.875%	3.6
TES15	0.152%	0.796%	15.2
TES14	-0.020%	0.977%	(2.0)
TES12	-0.013%	1009%	(1.3)
TES10	0.002%	1090%	0.2

Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS.



De la tabla 6, se infiere que los TES del 15, TES del 20 y los TES del 10, desde la fecha de apertura en el mercado secundario a la fecha, han presentado un incremento promedio diario de 0.152%, 0.036% y 0.002%, en forma respectiva, en sus tasas de descuento equivalentes a 15.2 PB para los TES15, 3.6 PB para los TES20 y de 0.2 PB para los TES del 10. Llama la atención la tasa promedio de desvalorización en precio de los títulos de tesorería con vencimiento en el 2015. A partir de la tabla

6, se construyen los intervalos de volatilidad de Chebichev como se indican en la tabla 10.

Lo anterior se refleja en el precio Limpio de cada título de la siguiente manera: los TES20 han caído 9.1%, los TES15 han visto decrecer su valor en 19.6%. En tanto que el resto de títulos estudiados se han negociado con primas del 10.6% para los TES14, de 11.5% para los TES12 y de 2.7% para los TES10. Ver tabla 7.

Tabla 7.

TV	VA	VA a la fecha
TES20	(90.89)	-9.1%
TES15	(80.37)	-19.6%
TES14	\$110.62	10.6%
TES12	\$111.48	11.5%
TES10	\$102.68	2.7%

Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

Tabla 8.

PR	Reinversión			Descuento			
	VA	VF(8.76%)	VF(12.26%)	PD	FFCt	VA(8.76%)	VA(12.26%)
7.11	11	(\$19.97)	(\$25.02)	0.89	11	(\$10.21)	(\$9.92)
6.11	11	(\$18.37)	(\$22.29)	1.89	11	(\$9.38)	(\$8.84)
5.11	11	(\$16.89)	(\$19.85)	2.89	11	(\$8.63)	(\$7.87)
4.11	11	(\$15.53)	(\$17.69)	3.89	11	(\$7.93)	(\$7.01)
3.11	11	(\$14.28)	(\$15.75)	4.89	11	(\$7.30)	(\$6.25)
2.11	11	(\$13.13)	(\$14.03)	5.89	11	(\$6.71)	(\$5.57)
1.11	11	(\$12.07)	(\$12.50)	6.89	111	(\$62.24)	(\$50.03)
0.11	11	(\$11.10)	(\$11.14)				
	Total FFC	(\$121.33)	(\$138.27)		Total FFC	(\$112.39)	(\$95.49)
	Total RCD	(\$233.73)	(\$233.76)				

Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

**Tabla 9.**

Captación		Inmunización		
Inversión	\$103.93		Baja	Alza
Plazo	8.11	Inversión	\$103.93	\$103.93
Tasa	10.00%	Plazo	8.11	8.11
VF	225.06	VF	(\$233.73)	(\$233.76)
		Tasa	10.5%	10.5%
diferencia	8.67			

Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

**Tabla 10**

	Intervalo		P(Éxito)	P(Fracaso)
$E(R_i) \pm \sigma(R_i)$	11.66%	13.41%	68%	32%
$E(R_i) \pm 2 \otimes \sigma(R_i)$	8.76%	12.26%	98%	2%
$E(R_i) \pm 3 \otimes \sigma(R_i)$	7.88%	13.13%	99,70%	0,30%

Fuente. De Lara Haro, Alfonso. Medición y control de riesgos financieros. 2002. Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

De la tabla 10. Se concluye que la probabilidad que el rendimiento objetivo (tasa de descuento) promedio para un inversionista inicial en renta Fija con vencimiento en julio 24 de 2020 se ubiquen entre 11.66% y 13.41% es del 68%. La probabilidad que las variaciones de la tasa de mercado no estén en dicho intervalo es del 32% (1-68%). En forma análoga, se analiza para los otros dos intervalos.

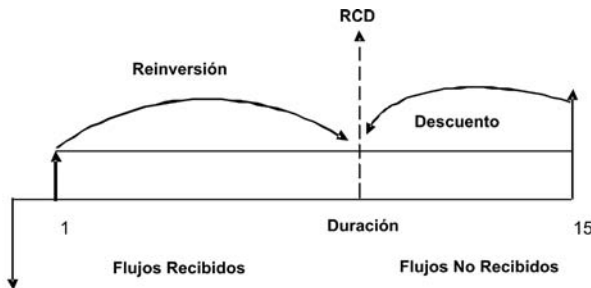
**Gráfica 3.**



Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

Del gráfico 3. Se observa que hasta el mes de mayo de 2007, las tasas de descuento de los TES20 y 15 se comportan de forma inversa, pero a partir de dicho mes a la fecha, se muestran correlacionados en forma directa en un porcentaje del 85.4% como se ilustra en la tabla 11.

Gráfica 4.



Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

La tabla 11. muestra la correlación entre las diferentes alternativas de deuda pública interna colombiana analizadas desde el 19 de octubre de 2006. Es de resaltar el comportamiento inverso de la tasa de descuento de los TES12 frente al descuento de los otros títulos: -34.5% con los TES20, -36.8% con los TES14 y, 15.6% con los TES10.

Para estructurar estrategias activas, de cara a la diversificación, se hace necesario obtener el coeficiente de correlación por medio del Excel. Como se ilustra en la tabla 11; la correlación es un índice simétrico, es decir, la correlación entre los rendimientos del TES20, con los rendimientos del TES15, es igual al nivel de correlación entre los rendimientos del TES15 con los rendimientos del TES20; por eso no existen valores a la derecha sobre la diagonal principal. Además, la correlación de un activo financiero consigo mismo es 100 por ciento. Los instrumentos que ofrecen posibilidad de diversificación, en el presente estudio, son los tesoros con redención en el 2012, debido a la

correlación indirecta que presenta con el resto de tesoros emitidos por el gobierno central colombiano. Hay que recordar que las correlaciones directas o inversas muy cercanas a cero también ofrecen diversificación leve, lo cual no ocurre cuando la correlación directa es alta.

Tabla 11.

	Correlación				
	TES20	TES15	TES14	TES12	TES10
TES20	100%				
TES15	85.4%	100.0%			
TES14	69.2%	56.8%	100.0%		
TES12	-34.5%	-36.8%	-38.0%	100.0%	
TES10	67.9%	53.6%	36.7%	-15.6%	100%

Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

La máxima importancia de la D se encuentra al calcular la primera derivada del precio ante cambios en la tasa de mercado  $\frac{d(VA)}{dY}$ , es decir, una medida de elasticidad del precio ante la volatilidad del *Yield*.

$$\frac{d(VA)}{dY} = -\frac{1}{(1+Y)} \sum_{t=1}^n \left( \frac{FFC_t}{(1+Y)^t} * t \right), \text{ Ec.4}$$

Multiplicando ambos lados de la Ec. 4 por el inverso del valor de mercado, se llega a:

$$\frac{d(VA)}{dY} * \frac{1}{VA} = -\frac{1}{(1+Y)} \sum_{t=1}^n \left( \frac{FFC_t}{(1+Y)^t} * t \right) * \frac{1}{VA}$$

Dado que la expresión

$$\sum_{t=1}^n \left( \frac{FFC_t}{(1+Y)^t} * t \right) * \frac{1}{VA}, \text{ es igual a la Duración; se llega a la Ec. 5}$$

$$\frac{d(VA)}{dY} * \frac{1}{VA} = -\frac{D}{(1+Y)}, \text{ Ec.5}$$

El lado derecho de la Ec. 5 se conoce como duración modificada: DM. Ver Ec. 6

$$DM = -\frac{D}{(1+Y)}, \text{ Ec. 6}$$

Al calcular la DM, ver tabla 12, de los títulos se ratifica que el más sensible en su precio ante cambios en la tasa de mercado es el título de tesorería con vencimiento en el 2020. Para cuantificar dicha sensibilidad en términos relativos y absolutos, es necesario encontrar unos modelos, a partir de la Ec.5. El modelo para obtener la variación del precio en forma relativa o porcentual que experimenta un TES ante cambios en la tasa *Yield*, viene dada por la siguiente expresión:

$$\frac{d(VA)}{VA} = -\frac{D}{(1+Y)} * dY, \text{ Ec.7}$$

Para expresar la variación relativa como una variación absoluta, basta con multiplicar la Ec. 7, por el valor de negociación del título. Veamos:

$$d(VA) = -\frac{D}{(1+Y)} * dY * VA, \text{ Ec. 8}$$

Si las tasas del mercado colombiano oscilaran 25 PB, al momento de la emisión de cada título, el riesgo relativo de los TES20 era de 1.8% que representaban una apreciación (depreciación) de 1.91 pesos por cada cien de nominal, 1.7% equivalente a 1.79 pesos para los TES15, y así para los otros instrumentos como se muestra en la tabla 12. Al finalizar el primer semestre de 2008, se observa que el Valor en riesgo: VaR<sup>11</sup>, de los TES20 a disminuido un 26.18%, al pasar de 1.91 pesos en agosto de 2005 a 1.41 pesos a la fecha. Los TES15 su VaR lo han disminuido en 43.57%, en 12.78% la pérdida máxima diaria es la diversificación de los TES14, el riesgo de invertir en los TES12 a la fecha es del 40.86% menor que al momento de salir al mercado y por último, los TES10, se muestran como los menos volátiles, reducción del 61% en su sensibilidad de precio, lo anterior por su cercanía con la fecha de redención por parte del estado colombiano.

Tabla 12

Título	Duración Modificada		VMP		Vactual	
	MP	Actual	%	abs	%	abs
TES20	7.3	5.6	1.8%	\$1.91	1.4%	\$1.41
TES15	6.8	4.7	1.7%	\$1.79	1.2%	\$1.01
TES14	5.3	3.8	1.3%	\$1.33	1.0%	\$1.16
TES12	5.2	2.8	1.3%	\$1.37	0.7%	\$0.81
TES10	4.0	1.5	1.0%	\$1.00	0.4%	\$0.39

VMP = Sensibilidad o riesgo de cada título al momento de entrar al mercado secundario.

Vactual = Sensibilidad o riesgo de cada título a junio 27/2008.

Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

11. Máxima pérdida por unidad de tiempo dado un nivel de confianza al cual se encuentra expuesta una inversión.

La economía colombiana desde el 2002, muestra una expansión superior al promedio histórico de crecimiento: 5.7%<sup>12</sup>, resultado asociado, entre otros factores, a su estabilidad macroeconómica, lo cual se ha reflejado en los movimientos moderados de tasas del Banco de la República del orden de 25 básicos. Cuando una economía entra en desajustes de su política monetaria, lleva a que el nivel de tasas de referencia presenten promedios que oscilan superiores. Cuando se da este escenario, la teoría económica financiera, recomienda la valoración de portafolios de renta fija por medio del perfil de cada instrumento, vale decir, se hace necesario calcular el error en la trayectoria seguida por las tasas de descuento y su impacto en el precio de negociación: Convexidad: C.

La C al igual que la D y la DM por si mismos no aportan elemento alguno en la gestión de carteras, es mediante su aplicación, donde adquieren su relevancia. En este contexto, la C sirve para determinar el error por C, en forma relativa y absoluta ante cambios en la tasa de mercado. La C, en términos matemáticos, equivale a la segunda derivada del precio ante cambios en el Yield  $\frac{d^2(VA)}{dY^2}$ .

El modelo para obtener la variación del precio en forma relativa real, es decir, absorbiendo el

error por convexidad, o porcentual real que experimenta un TES ante cambios en la tasa Yield, viene dada por la siguiente expresión:

$$\frac{d(VA)}{VA} = -\frac{D}{(1+Y)} * dY + \text{error} , \text{ Ec.9}$$

La Ec. 9 es equivalente a sumarle el valor del error por C al riesgo relativo obtenido por medio de la DM.

Para expresar la variación relativa real como una variación absoluta real o por convexidad, basta con multiplicar la Ec. 9 por el valor de negociación del título. Veamos:

$$\frac{d(VA)}{VA} = \left[ -\frac{D}{(1+Y)} * dY + \text{error} \right] * VA , \text{ Ec.10}$$

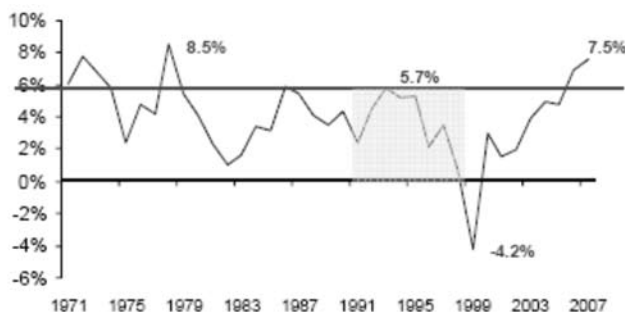
De nuevo, la Ec. 10, es el resultado de multiplicar la variación relativa real, obtenida con la Ec. 9, por el valor de mercado del título.

Donde el error viene dado por

$$\text{error} = \frac{C}{2} * dY^2 , \text{ Ec. 11.}$$

Al leer la tabla 13, en ambientes de oscilación normal de tasas de interés (+/- 0.25%), el error absoluto (relativo) por valoración de portafolios de deuda pública interna colombiana, al fina-

12. Fuente Bancolombia. Investigaciones económicas y estratégicas. Abril 2008. Pág. 28



lizar el primer semestre del 2008, para el caso de los TES20 es de 0.0148 (0.016%), TES: 0.0080 (0.010%), TES14: 0.0077 (0.0077%), TES12: 0.0040 (0.004%) y los TES10: 0.0012 (0.001%).

El efecto inmediato del error por C se manifiesta en una menor depreciación de los portafolios en ambientes alcistas de tasas de mercado. Veamos el caso de los TES20, si las tasas se incrementan

en 25 básicos, su valor de mercado, se depreciaría en 1.27 frente a 1.26 pesos si se valora en función de la C, es decir, capturando el impacto del error por su trayectoria aleatoria. Entre tanto, si la tendencia de tasas es bajista, el error por C, aumenta la apreciación de los portafolios, en los TES20, se pasa de una apreciación de 1.27 a 1.29 pesos. De igual forma, se puede canalizar las diferencias en precio por valoración: APT, como se indica en la tabla 13.

**Tabla 13**

Sensibilidad Real			Riesgo Real				Riesgo DM		error	APT	
			baja		alza		baja	alza	abs	baja	alza
Título	C	Error	%real	abs real	%	abs	abs	abs			
TES20	52.09	0.016%	1.42%	1.29	-1.38%	(1.26)	1.27	(1.27)	0.0148	0.0148	0.0148
TES15	31.80	0.010%	1.19%	0.96	-1.17%	(0.94)	0.95	(0.95)	0.0080	0.0080	0.0080
TES14	22.37	0.007%	0.97%	1.07	-0.95%	(1.06)	1.06	(1.06)	0.0077	0.0077	0.0077
TES12	11.57	0.004%	0.71%	0.80	-0.71%	(0.79)	0.79	(0.79)	0.0040	0.0040	0.0040
TES10	3.65	0.001%	0.37%	0.39	-0.37%	(0.38)	0.38	(0.38)	0.0012	0.0012	0.0012

Cálculos FERNANDO DE JESÚS FRANCO CUARTAS

## Observaciones

El objetivo general del documento se logra en la medida que fue posible medir la sensibilidad en los precios de mercado de los instrumentos de deuda pública interna colombiana, donde es importante resaltar la desvalorización, en el precio limpio, sufrida por los TES20 en un 9.1% y los TES15 en 19.6%. Por el contrario, los TES14, TES12 y los TES10, se han apreciado en 10.6%, 11.5% y 2.9%. Ver tabla 7.

Los resultados alcanzados, en el contexto de la teoría de portafolios de Macaulay, en primer lugar, si bien es cierto, que se ratifican los conceptos de la duración como punto de equilibrio e inmunización y riesgo, es de resaltar el sesgo al trabajar con tasas constantes. Lo anterior, se suavizaría, utilizando las tasas futuras implícitas.

El mercado colombiano atraviesa por una tendencia principal alcista<sup>13</sup> en las Tasas de mercado,

13. Las tasa de descuento, en agosto de 2005, para los TES20 fue de 10.47%, al momento de digitar estas observaciones dicha tasa se ubica en 12.9% (julio 10/2008).

en particular para los TES20 y TES15, lo cual ha llevado a una depreciación de dichas inversiones, al momento de entrar a la bolsa se transaron con prima y a la fecha presentan descuentos sustanciales; pero se concluye que estas pérdidas potenciales - causación contable - , se amortizarían, si los diferentes operadores al servicio de las AFP's las valoran por el criterio de la convexidad. Ver tabla 13. Algo similar se obtendría con los TES negociados a la fecha con prima, como se indica en la tabla 1, para los cuales la tasa actual de descuento es inferior a la exigida en años anteriores, al incluir el error por convexidad, el valor del portafolio se incrementaría. En síntesis, el efecto combinado o de portafolio de los TES estudiados produce el efecto diversificación del riesgo por depreciación al incluir el perfil de cada título en su proceso de evaluación. Además de incluir el efecto por correlación analizado en la tabla 11.

Es importante resaltar y ratificar la hipótesis de la disminución del VaR a medida que se acerca la redención de los títulos de renta fija: TES para nuestro caso como se infiere de la tabla 12.

## **Bibliografía**

1. Gujarati, Damodar. Econometría. 3ª. Edición. P. 697. McGraw Hill
2. Series de tiempo. Pindyck, Robert. Econometría Modelos y Pronósticos. McGraw Hill. 4ª. Edición. p. 487\_8
3. De Lara Haro, Alfonso. Medición y control de riesgos financieros. 2002
4. Grandio, Dopico Antonio. Mercados Financieros. McGraw Hill. 1998.
5. [www.gacetafinanciera.com](http://www.gacetafinanciera.com)
6. [www.grupoaval.com](http://www.grupoaval.com)
7. [www.bvc.com.co](http://www.bvc.com.co)
8. [www.superfinanciera.gov.co](http://www.superfinanciera.gov.co)