



Delay Duration

Claudio Molina Mac-Kay
Magister en Finanzas Universidad de Chile
Departamento de Contabilidad y Gestión Financiera
Facultad de Administración y Economía
Universidad Tecnológica Metropolitana.
c.molina@utem.cl

■ **Extracto¹**

Análisis de las medidas de volatilidad que afectan al precio de los bonos. En particular se hace un análisis de la relación de las tasas de colocación de los bonos y sus medidas de volatilidad que impactaría a los flujos futuros de los instrumentos o también denominada delay duration.

Se analizó las medidas de volatilidad en el precio de los bonos corregidas por convexidad para muestras independientes de sociedades anónimas abiertas productivas. Se reveló a través de lo anterior, las relaciones que son posibles de obtener entre las tasas de colocación y las relaciones de delay duration.

Lo anterior, sustentándose en la hipótesis de segmentación de mercados. La que plantea en síntesis que hay escasa sustitución en activos de distinto vencimiento. Ya que, reconoce que los inversionistas tienen distintos habitats.

Las estimaciones se mejoraron al utilizar el modelo censurado Tobit.

■ **Abstract**

This paper analyses the volatility measures that affect the price of bonds. In particular, we include an analysis of the relation between the market rate and its volatility measures that would impact future cash flows of the instruments also called "delay duration". Measures of volatility of the bonds prices corrected by convexity were analyzed for independent samples of opened corporate companies. The procedure highlighted the possible relation between market rate and delay duration.

The previous assertion is based on the market segmentation hypothesis (i.e. lower substitution between assets of different maturity).

Improved results between market rates and elasticity measures described above are

1 Agradezco los valiosos comentarios recibidos por el Profesor Roberto Pastén Carrasco. Los errores que subsistan son de responsabilidad del autor. La realización de éste trabajo contó con el apoyo de los Ingenieros Comerciales Fabián Rojas, Guillermo Muñoz y Sergio Andrés Matta y de la Dirección de Investigación Académica de la Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile.



obtained through the use of a censored Tobit model.

Palabras Claves/keywords

Bonos ñ duration ñ convexity ñ

■ Introducción

El mercado chileno posee instrumentos financieros de corto y largo plazo, entre los cuales se encuentran los bonos, títulos de oferta pública representativos de deuda y cuya característica es que son instrumentos que permiten a tenedores obtener cupones y a emisores, lograr el financiamiento.

Dado lo anterior, el problema se origina en la incertidumbre del precio final de mercado, ya que los tenedores deben esperar los pagos parciales según el vencimiento del título y rendimiento del bono. Debido a esto la tasa de colocación se transforma en un instrumento de estudio, ya que ésta se relaciona directamente con el riesgo de mercado de un bono. Para conocer su comportamiento es necesario saber si los indicadores de elasticidad - respecto a la tasa de interés- explican la variabilidad de la tasa colocación.

El principal objetivo de esta investigación fue verificar si la variabilidad en las tasas de colocación es explicada por la variabilidad de las medidas de volatilidad², para lo cual se trabajó con una muestra de bonos de sociedades anónimas abiertas chilenas.

Se cumplieron algunos objetivos específicos entre estos obtener las medidas de elasticidad de la duration, duration modificada y la convexity; validar las

medidas como herramienta para la toma de decisiones financieras y verificar la existencia de sesgos de truncación en la regresión.

Para llevar a cabo la investigación se postuló que existe sensibilización de la tasa de colocación ante cambios en la duration tradicional, duration modificada y convexity para sociedades anónimas abiertas.

■ Bonos

Un bono no es más que un préstamo donde una de las partes (emisor de deuda) posee déficit de dinero y sale a pedirlo, y otra de las partes (tenedor de deuda) tiene superávit y lo presta durante un plazo y tasa determinada. Los tenedores de deuda exigirán un rendimiento (TIR) por el lapso de tiempo en que fueron privados del uso de ese dinero que prestaron. Dicha tasa se compone de dos partes: Una es la tasa libre de riesgo y una prima por riesgo.

El riesgo se define como el grado de incertidumbre de un resultado o más estadísticamente como la probabilidad de ocurrencia o no de un suceso.

Debido a la diferencia en los pagos de intereses y capital de acuerdo a las condiciones de emisión, es posible distinguir diferentes clases de bonos: Cero cupón, con periodo de gracia, con tasas de interés fija o flotante, amortizables, con capitalización de intereses y con contingencias, dividiéndose este último en bonos convertibles y bonos con opciones.

2 Por medidas de volatilidad se refiere a las medidas llamadas duration tradicional de Macaulay, duration modificada y convexity. Se prefirió mantener en el texto las palabras en inglés dado que con ello se evitan errores de concepto que tiene su traducción al español.

Para calcular el precio de un bono se necesita saber de dos componentes, los flujos de caja y una tasa de interés³. Para el emisor ésta tasa no es más que un costo que se le cobra por la petición de financiamiento a un inversor, en cambio para éste último es el rendimiento o la ganancia que obtiene por realizar un préstamo.

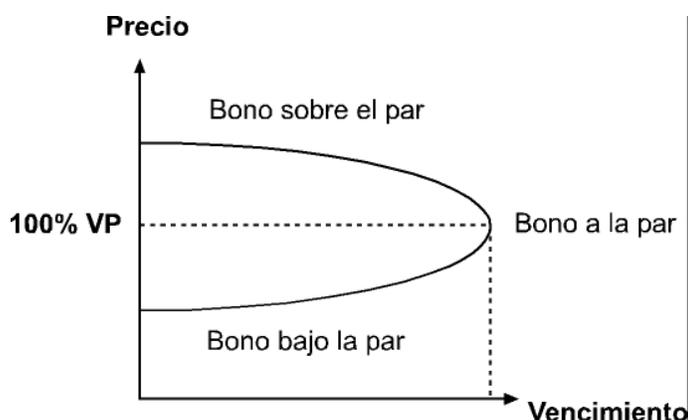
El precio de un bono se define como el valor actual o valor presente de los flujos de caja esperados de dicho instrumento, descontados a una determinada tasa de rendimiento. Por lo tanto, para determinar el precio de un bono se requiere de:

Estimar el flujo de fondos esperados, que en el caso de los bonos es el flujo de intereses y la devolución del capital.

Estimar la tasa de descuento apropiada, que en el caso de los bonos resulta de la investigación de la tasa de rendimiento ofrecida por bonos comparables⁴ en el mercado.

Se puede inferir que, ante cambios en la tasa de interés se genera un cambio en el valor de mercado del bono, lo que se traduce en un riesgo financiero para los inversionistas. El tenedor de bonos además de estar expuesto a riesgos de la tasa de interés, también está expuesto a otros riesgos como lo es el riesgo crediticio⁵. No obstante, el estudio se centra en las variaciones del precio del bono ante cambios en su tasa de interés, interviniendo en esto, el plazo de vencimiento y la estructura convexa de éste.

Gráfico N° 1
Relación precio-vencimiento



Fuente: Fabozzi & Fabozzi, "Bond Markets analysis and strategies", Prentice Hall International 1989

³ La tasa de interés que se tomará en consideración para determinar el precio de los bonos será la tasa de colocación, que es el rendimiento que en definitiva le asigna el mercado al instrumento.

⁴ Bonos comparables, se entiende por bonos de la misma calidad crediticia y del mismo plazo promedio.

⁵ Riesgo crediticio, es el riesgo que se le asigna a las empresas emisoras en base a la capacidad de pago que tienen para cumplir con sus compromisos u obligaciones.

Es importante observar que al momento de colocar una emisión surgen diferencias entre la tasa de emisión del bono y el tipo de interés de mercado exigido. De este modo, si la tasa de emisión es menor que la tasa de colocación se cotiza bajo la par.

El caso contrario ocurre cuando la tasa de emisión es mayor que la tasa de mercado, en este caso el bono se está cotizando sobre la par. Finalmente, está el caso de que ambas tasas sean iguales, es decir un bono colocado a la par, extrayendo de esto la situación de que un bono no es atractivo si la tasa de mercado es mayor que la tasa de emisión del bono -Bajo la par-, pudiendo éste capital rendir más en otra inversión, situación que se refleja en el gráfico N° 1.

En caso de la existencia de una diferencia en la tasa debido a que en un futuro la tasa de interés cambie, la variación en el valor de un bono va a estar dado por la multiplicación entre el precio del bono y el diferencial de éstas.

De esto surge el riesgo de la tasa de interés al que se exponen los inversionistas, por lo

tanto, se hace necesario profundizar en el comportamiento del rendimiento relacionado con el plazo de vencimiento de un bono expresado en su estructura convexa, para posteriormente examinar los distintos tipos de desplazamientos de la curva de rendimientos.

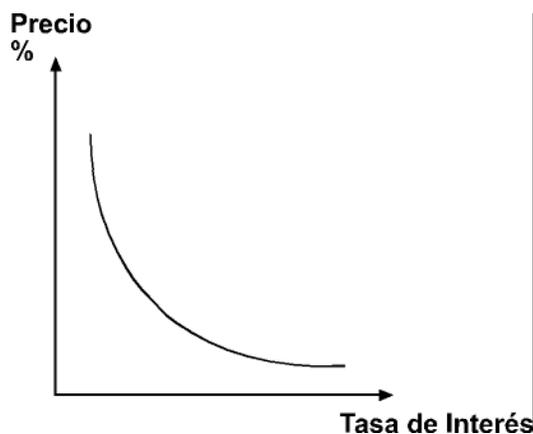
■ Estructura convexa de un bono

El principio de un bono, es la relación inversa entre el precio del instrumento y su rendimiento. Este principio se desprende del hecho que el precio de un bono es igual al valor presente de los flujos de caja esperados.

Las propiedades que caracterizan el principio de relación inversa de un bono son cuatro: En primer lugar, para un cambio en el rendimiento, el precio del bono se mueve en forma opuesta, debido a que dicho precio es el valor presente de los flujos de caja. Sin embargo, el cambio porcentual en el precio no es igual para todos los bonos.

En segundo lugar, para cambios pequeños en la rentabilidad, el cambio en el porcentaje

Gráfico N° 2
Relación Precio-Rendimiento de un bono



Fuente: Fabozzi & Fabozzi, "Bond Markets analysis and strategies", Prentice Hall International 1989

del precio del bono es aproximadamente el mismo, debido a la proximidad al punto de tangencia entre la relación precio-rendimiento y la duration.

Tercero, para cambios grandes en la rentabilidad, el cambio en el porcentaje del precio del bono no es el mismo.

Y finalmente, para cambios dados en la rentabilidad el aumento del porcentaje del precio es más grande que la disminución del porcentaje del precio, lo que quiere decir que la pendiente ubicada al lado izquierdo de la tangente entre la convexidad y la duration es mayor que la del lado derecho.

Cuando se grafica la relación precio-rendimiento de un bono se observa dicha relación inversa. Sin embargo, ésta no es lineal sino que denota una forma convexa, como se observó en el gráfico N° 2. De este modo, un incremento -baja- en la tasa de mercado provoca una baja -incremento- en el valor presente de los flujos de caja esperados y por ende en el precio del bono.

La relación precio-rendimiento que se señaló se refiere a cambios instantáneos en la tasa requerida. El precio de un bono cambia inmediatamente como resultado de un cambio en el riesgo de crédito percibido del emisor.

Para observar esta relación puede considerarse un bono adquirido a la par. Es decir, su tasa de emisión es igual a la tasa de colocación. Dada ésta condición ante un aumento en la tasa de interés, el monto de los cupones no es suficiente para generar el nuevo rendimiento exigido por el mercado, resulta entonces obvio, que el precio del bono debe bajar. Puede percibirse que la relación negativa precio-rendimiento se suaviza a medida que el tipo de interés se incrementa.

En resumen, la variación del precio de un bono ante un cambio dado del tipo de interés, será menor a medida que la fecha de madurez se encuentre más próxima.

■ Medidas tradicionales de volatilidad

Duration

El concepto de duration de un bono fue desarrollado por Frederick Macaulay en el año 1938. La duration es una medida de elasticidad, que mide cómo cambia porcentualmente el precio de un bono ante cambios porcentuales en la tasa de rendimiento. La duration se obtiene calculando la primera derivada del precio del bono con respecto a la tasa de rendimiento. Matemáticamente esta derivada se expresa:

$$\text{Duration} = - \frac{dP(1+r)_6}{d(1+r)P}$$

6 Para obtener la expresión de la duration de Macaulay, se deriva la ecuación del precio del bono respecto a la tasa requerida:

$$\frac{dP}{d(1+r)} = \frac{(-1)FC}{(1+r)^2} + \frac{(-2)FC}{(1+r)^3} + \dots + \frac{(-n)FC}{(1+r)^{n+1}}$$

Reordenando la ecuación se obtiene:

$$\frac{dP}{d(1+r)} = - \frac{1}{(1+r)} * \left[\frac{1FC}{(1+r)^1} + \frac{2FC}{(1+r)^2} + \dots + \frac{nFC}{(1+r)^n} \right]$$

Y multiplicando por 1/p a ambos lados de la expresión anterior, se tiene que:

$$\text{Duration} = \frac{\frac{1FC}{(1+r)^1} + \frac{2FC}{(1+r)^2} + \dots + \frac{nFC}{(1+r)^n}}{P}$$

La que puede ser reescrita como:

$$\text{Duration} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{t * FC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+r)^t}}$$

La que puede ser reescrita de la siguiente forma:

$$\text{Duration} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{t \cdot FC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+r)^t}}$$

Donde:

FC	Son los flujos de caja que genera el bono.
r	Tasa de colocación del instrumento.
t	Es el número de periodos que faltan para el periodo de pagos.
n	Representa el último periodo de pago de cupón o flujo de caja.

El resultado obtenido con la fórmula de duration está expresado en la misma unidad

de tiempo de los flujos del bono. Por ejemplo, si un bono paga cupones semestralmente, la duration de este bono también será semestral.

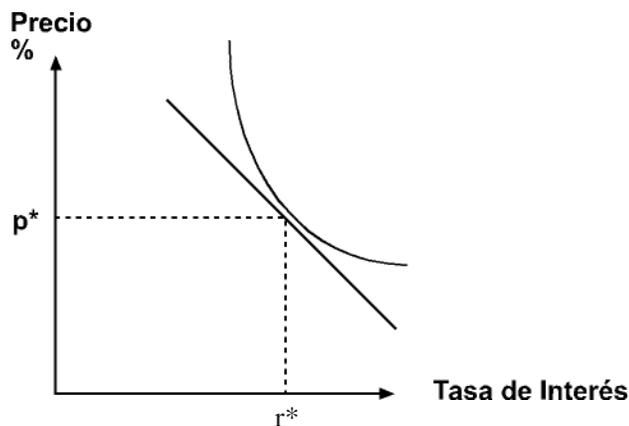
En general, se pueden ajustar los flujos a una medida estándar, para ello es posible definir la duration en términos de años.

$$\text{Duration} = \frac{\text{Duration en n periodos anuales}}{n}$$

Donde n representa la base temporal, sobre la cual se ha calculado la duration.

Si gráficamente se combina la duration con la estructura convexa de un bono se puede obtener una representación como la que se observa en el gráfico N° 3.

Gráfico N° 3
Representación gráfica de la Duration



Fuente: Fabozzi & Fabozzi, "Bond Markets analysis and strategies", Prentice Hall International 1989

Se aprecia que la representación de la duration es la de una línea recta tangente a la estructura convexa del bono en el punto r^* . Matemáticamente la línea tangente a la estructura convexa en el punto r^* es la primera derivada del precio de un bono, evaluada en el punto r^* . Esta línea representa la duration de Macaulay.

Esta medida es usada para aproximar el cambio en el precio de un bono ante pequeños cambios en la tasa de interés, no obstante lo anterior, no representa el verdadero cambio en el precio del bono ante cambios considerables en la tasa de interés. Es decir, esta medida incurre en un error. El gráfico N° 4 muestra el error en que incurre la medida lineal de la duration de Macaulay ante la estructura convexa de un bono.

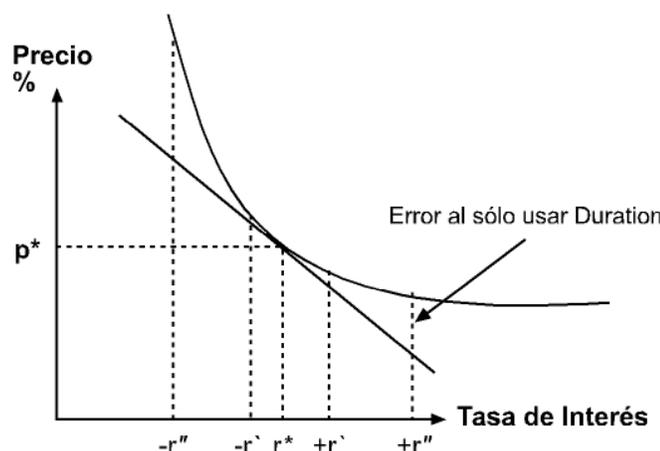
Como se observa para pequeños cambios en la tasa de interés, puntos $-r'$ y $+r'$, la

duration es una aproximación bastante adecuada para el nuevo precio. No obstante, difiere de la estructura convexa cuando los cambios en la tasa de interés son de mayor magnitud, puntos $-r''$ y $+r''$.

Consistente con lo anterior, la medida de duration subestima el nuevo precio, por lo tanto, no es una medida de aproximación del real cambio en el precio de un bono para cambios considerables en la tasa de rendimiento. En resumen, la duration de Macaulay incurre en un error de estimación para cambios significativos en la tasa de interés.

Para lograr una medida más cercana a la relación precio-rendimiento se requiere combinar dos medidas que minimicen el error que se produce al utilizar la duration de Macaulay. Estas medidas son la duration Modificada y la Convexity.

Gráfico N° 4
Variaciones en la tasa de Interés



Fuente: Fabozzi & Fabozzi, "Bond Markets analysis and strategies", Prentice Hall International 1989

■ Muestra

La población utilizada en la investigación fueron los bonos de sociedades anónimas abiertas, vigentes a marzo del 2005.

De ésta población definida, se consideró como factores relevantes para el análisis: La tasa de colocación, el monto de las series, los periodos de capitalización y la vigencia de la emisión. Una vez obtenida ésta información se definió el espacio de la muestra, eligiéndose los bonos colocados a una tasa fija, sobre la base de Unidad de Fomento -UF- y que se capitalizaran semestralmente, todo ello para obtener resultados comparables y conclusiones que pudieran ser validadas.

Una vez definida la población en estudio, se inició la búsqueda de aquellas series de bonos que cumpliesen con las características mencionadas.

La búsqueda de la información se obtuvo de los prospectos de emisión de cada una de las empresas que se encontraban en los archivos de la Superintendencia de Valores y Seguros, de donde se extrajo un detalle de características asociadas a la emisión de bonos, tales como número y fecha de inscripción, cantidad de series, cantidad máxima de bonos, periodos de cortes, tipo de reajustabilidad, tasa de emisión y la tabla de desarrollo de los bonos, donde se identificaban la forma y plazo de las amortizaciones y pago de intereses.

La población constó de 194 series genéricas⁷ correspondientes a 75 sociedades anónimas abiertas distintas.

Sólo se tomó una muestra del universo de bonos de sociedades anónimas, dado que no todos los instrumentos una vez emitidos se colocan, además de presentar distintas bases monetarias y distintos periodos de capitalización. Para efectos de la investigación sólo se consideraron los bonos emitidos y colocados, expresados en unidades de fomento y con capitalizaciones semestrales.

La información referida a las tasas de colocación de las sociedades anónimas abiertas se obtuvo de los boletines mensuales publicados por la Superintendencia de Valores y Seguros a marzo del año 2005. Estos boletines presentaban las tasas bajo la sección "colocadores y colocaciones", las cuales correspondan a las tasas de interés anuales que efectivamente se colocaron los bonos, descontando para su cálculo los gastos de colocación. Sin embargo, para algunos casos se requirió asistir a la biblioteca nacional, debido a que en la S.V.S. no se encontraban todos los boletines mensuales.

No obstante lo anterior, se debieron determinar las tasas de colocación de algunos bonos por un método indirecto⁸, puesto que dichas tasas no estaban explicitadas por ninguna entidad. Para ello, se tomaron los precios de cotización de los bonos y los flujos de caja los cuales son conocidos y se encuentran en las tablas de desarrollo-, y se procedió a calcular la TIR de estos instrumentos, utilizando la fórmula del precio del bono. Así se obtuvo la equivalencia a una tasa de colocación.

7 Se entiende por series genéricas a aquellas que para el caso de dos o más emisiones presentan tablas de desarrollo equivalentes, por lo tanto es posible agruparlas para el efecto del cálculo de las medidas de volatilidad, excepto cuando las tasas de colocación son distintas.

8 Cuando se desconoce la tasa de mercado, es factible calcularla por medio del precio del bono, por lo tanto, la tasa de interés que genera el bono a ese precio representa su rendimiento efectivo, el que se conoce como tasa interna de retorno -TIR- la cual es equivalente a la tasa de mercado.

La muestra depurada de los bonos y arrojó un total de 194 bonos distintos, correspondientes a 66 empresas distintas.

Para proceder con el cálculo de las medidas de volatilidad primero hubo que establecer formas de cálculo que facilitarían la comparación entre las distintas condiciones de cada serie y empresa, las cuales fueron:

El **primero** consideró la fecha de cálculo de cada uno de los bonos como periodo de corte al *31 de marzo del año 2005*, esto permitió hacer comparables las medidas de volatilidad a una fecha dada. Los flujos de caja pagados con anterioridad a dicha fecha se excluyeron, debido a que son más relevantes los flujos futuros y no así los flujos históricos.

El **segundo** estipuló que los cupones de los bonos fueron descontados a la tasa de colocación, en desmedro de la tasa de emisión, puesto que esa tasa es la que mejor refleja el rendimiento efectivo de los bonos.

El **tercer** criterio estableció que la tasa de descuento de los flujos de caja estuviese expresada en forma diaria, evitando truncar aquellos flujos que no tuviesen periodicidad

semestral exacta. El último criterio consideró los cálculos a un año de 360 días.

La duration de Macaulay y modificada, para cada uno de los bonos de la muestra fueron calculados con las fórmulas⁹ descritas. Dada la naturaleza de estas fórmulas permiten realizar los cálculos, independiente de la forma de capitalización del instrumento.

La fórmula de la duration modificada es la razón entre la duration de Macaulay y un factor de descuento, el cual depende de la tasa de colocación y del tipo de capitalización que posea el instrumento. Es decir, si el bono capitaliza en forma semestral, el factor debe expresarse en términos semestrales. Al igual que para las medidas de duration, la convexity de cada uno de los bonos de la muestra se obtuvo utilizando la fórmula¹⁰ descrita, pudiéndose realizar los cálculos, cualquiera sea la forma de capitalización del instrumento.

En resumen, los cálculos de las distintas medidas de volatilidad de los bonos se realizaron utilizando una tasa diaria y siguiendo la metodología expuesta. La Tabla N° 3 presenta el resultado del cálculo de las tres medidas de volatilidad.

$$9 \quad Duration = - \frac{dP(1+r)}{d(1+r)P}$$

$$Duration = \frac{Duration \text{ de Macaulay}}{(1+r)}$$

$$10 \quad Convexity = \left[\sum_{t=1}^n \frac{t(t+1)}{(1+r)^2} \frac{FC}{(1+r)^t} \right] \frac{1}{2} \frac{1}{P}$$

Tabla N° 3
Medidas de Volatilidad

N°	Empresa	Serie	Duration	Duration modificada	Convexity
1	Aguas Andinas	A-1	1,374	1,331	1,224
2	Aguas Andinas	A-2	1,374	1,331	1,224
3	Aguas Andinas	B-1	8,515	8,229	47,043
4	Aguas Andinas	B-2	8,519	8,229	47,088
5	Aguas Andinas	C-1	2,646	2,580	5,350
6	Aguas Andinas	C-2	2,645	2,580	5,346
7	Aguas Andinas	D-1	2,421	2,364	4,342
8	Aguas Andinas	D-2	2,420	2,363	4,340
9	Aguas Cordillera	A-1	0,500	0,483	0,233
10	Aguas Cordillera	A-2	0,500	0,483	0,233
11	Aguas Cordillera	A-3	0,500	0,483	0,233
12	Aguas Cordillera	B-1	0,738	0,713	0,504
13	Aguas Cordillera	B-2	0,738	0,713	0,504
14	Aguas Cordillera	B-3	0,738	0,713	0,504
15	Aguas Cordillera	C-1	0,493	0,478	0,260
16	Aguas Cordillera	C-2	0,493	0,478	0,260
17	Aguas Cordillera	C-3	0,493	0,478	0,260
18	Aguas Cordillera	D-1	1,227	1,191	1,144
19	Aguas Cordillera	D-2	1,227	1,191	1,144
20	Aguas Cordillera	D-3	1,227	1,191	1,144
21	Antarchile	A	1,243	1,197	1,023
22	Antarchile	B	6,974	6,722	32,348
23	Aut. del Bosque	A1-A2	8,351	8,097	45,531
24	Aut. del Maipo	A1-A2	12,610	12,319	101,434
25	Bicecorp	A	8,309	7,999	49,088
26	Cap	C1-C2	0,812	0,783	0,573
27	Cementos Bio-Bio	D1-D2	1,442	1,399	1,553
28	Cementos Bio-Bio	E	7,387	7,162	36,787
29	Cencosud	A-1	2,234	2,169	3,653
30	Cencosud	A-2	2,234	2,169	3,654
31	Cencosud	B-1	9,594	9,286	62,172
32	Cencosud	B-2	9,597	9,290	62,211
33	CGE	A1-A2	0,659	0,638	0,387
34	CGE	B-1	2,018	1,967	3,198
35	CGE	B-2	2,018	1,966	3,194
36	CGE	C	6,957	6,723	33,449
37	CGE distribucion	A	10,475	10,292	69,038
38	CGE distribucion	B	4,887	4,774	14,102
39	CGE transmision	B	10,043	9,764	65,528
40	Cia. Electrometal.	C1-C2	9,049	8,740	53,442
41	Cia. Sud. Vapores	A1-A2	7,555	7,297	37,567
42	Cia. Tel. Chile	F-1	4,422	4,289	15,021
43	Cia. Tel. Chile	F-2	4,422	4,289	15,021
44	Embonor	B-1	7,046	6,776	33,726
45	Embonor	B-2	7,048	6,778	33,745
46	Codelco	A	6,445	6,293	23,187
47	Colbún	B-1	0,663	0,641	0,390
48	Colbún	B-2	0,663	0,641	0,390

N°	Empresa	Serie	Duration	Duration modificada	Convexity
49	Colbún	C	6,308	6,076	29,943
50	Colbún	D	0,815	0,784	0,640
51	CCU	E	7,429	7,246	41,975
52	Conafe	A	1,851	1,792	2,506
53	Conafe	D	8,903	8,702	53,247
54	Conatel	C	0,897	0,868	0,734
55	Conatel	D	4,786	4,637	16,487
56	Conatel	E	1,994	1,927	2,934
57	Conatel	F	5,676	5,493	22,773
58	Conatel	G1-G2	0,409	0,396	0,204
59	Conatel	H1-H2	6,670	6,440	31,058
60	Cristalerías de Chile	C1-C2	1,688	1,645	2,227
61	Cristalerías de Chile	D1-D2	9,044	8,764	53,260
62	D&S	A-1	1,451	1,400	1,335
63	D&S	A-2	1,450	1,399	1,334
64	D&S	B-1	8,699	8,397	50,385
65	D&S	B-2	8,684	8,379	50,222
66	D&S	C	2,715	2,654	5,132
67	D&S	D	9,754	9,468	64,169
68	Emb. Andina	A1-A2	1,549	1,501	1,955
69	Emb. Andina	B1-B2	9,105	8,821	56,919
70	Sanitario Los lagos	B1-B2	9,720	9,424	64,001
71	Emp. Alm. Paris	D	2,632	2,566	4,377
72	Emp. Alm. Paris	E	2,832	2,770	5,920
73	Emp. Alm. Paris	F	7,603	7,402	43,905
74	Emp. Carozzi	C-1	1,040	1,007	0,766
75	Emp. Carozzi	D-1	7,900	7,624	41,943
76	Emp. Carozzi	D-2	7,895	7,619	41,897
77	Emp. Carozzi	E-1	1,665	1,621	2,327
78	Emp. Carozzi	E-2	1,665	1,622	2,327
79	Emp. Carozzi	F	3,727	3,665	9,421
80	Emp. Carozzi	G	8,426	8,236	50,265
81	Emp. Emel	A-1	1,289	1,251	1,103
82	Emp. Emel	A-2	1,289	1,252	1,103
83	Emp. Emel	B	8,603	8,343	49,474
84	Enap	A1-A2	6,510	6,375	23,766
85	Endesa	C-2	0,329	0,318	0,157
86	Endesa	D1-D2	2,628	2,539	5,215
87	Endesa	E-1	1,289	1,250	1,101
88	Endesa	E-2	1,289	1,250	1,101
89	Endesa	F	8,907	8,620	52,293
90	Endesa	G	4,808	4,671	13,154
91	Endesa	H	8,881	8,588	55,632
92	Energis	B-1	2,119	2,063	3,417
93	Energis	B-2	9,809	9,538	63,752
94	Entel	D	2,306	2,217	3,951
95	Entel	E	6,363	6,117	29,293
96	Entel	F-1	1,918	1,856	2,213

Tabla N° 3 - Continuación
Medidas de Volatilidad

N°	Empresa	Serie	Duration	Duration modificada	Convexity	N°	Empresa	Serie	Duration	Duration modificada	Convexity
97	Entel	F-2	1,918	1,860	2,222	129	Gasco	F-1	9,213	8,900	57,559
98	Entel	G-1	7,419	7,165	39,053	130	Gasco	F-2	9,220	8,907	57,628
99	Entel	G-2	7,414	7,160	39,008	131	Grupo Security	B	2,791	2,720	5,377
100	Essbio	A	2,633	2,562	4,061	132	Grupo Security	C	5,599	5,479	20,713
101	Essbio	B	8,360	8,110	46,692	133	HQI Transelec	A1-A2	1,830	1,775	2,051
102	Esval	A	6,499	6,270	31,447	134	HQI Transelec	B1-B2	8,784	8,524	50,672
103	Esval	B	2,027	1,956	3,323	135	Madeco	D	3,227	3,142	7,613
104	Esval	C-1	2,627	2,548	4,871	136	Manquehue-Net	A1-A2	2,424	2,335	4,226
105	Esval	C-2	2,627	2,549	4,874	137	Masisa	A	2,524	2,441	4,519
106	Esval	D1-D2	8,946	8,653	56,637	138	Masisa	B	8,638	8,320	48,701
107	Esval	E	4,996	4,903	14,541	139	Metro	A	10,420	10,108	72,201
108	Farm. Ahumada	C	4,482	4,393	14,241	140	Metro	B	10,532	10,232	74,538
109	Farm. Ahumada	D	8,261	8,059	48,062	141	Metro	C	11,147	10,851	82,332
110	FFCC del Estado	D-1	4,568	4,422	13,891	142	Metro	D	11,719	11,429	91,099
111	FFCC del Estado	E1-E2	1,710	1,655	2,234	143	Metro	E	12,048	11,761	97,304
112	FFCC del Estado	F	7,008	6,806	32,191	144	Metro	F	12,214	11,924	99,270
113	FFCC del Estado	G	8,030	7,781	46,456	145	Metrogas	A-1	2,164	2,083	3,439
114	FFCC del Estado	H	10,671	10,341	75,266	146	Metrogas	A-2	2,176	2,102	3,492
115	FFCC del Estado	I	10,626	10,282	75,480	147	Metrogas	B-1	8,153	7,852	45,878
116	FFCC del Estado	J	12,384	12,028	104,761	148	Metrogas	B-2	8,158	7,858	45,933
117	FFCC del Estado	K	12,760	12,370	114,584	149	Metrogas	C-1	2,026	1,959	2,484
118	FFCC del Estado	L	14,348	13,969	142,366	150	Metrogas	C-2	2,026	1,963	2,492
119	FFCC del Estado	M	13,719	13,325	133,655	151	Metrogas	D1-D2	11,163	10,773	87,416
120	FFCC del Estado	N	14,564	14,202	147,112	152	Metrogas	E	2,187	2,143	3,622
161	Ripley Chile	A	3,186	3,106	7,216	153	Metrogas	F	8,520	8,270	46,248
162	Ripley Chile	B	8,202	7,932	44,686	154	Parque Arauco	C-1	2,685	2,585	5,294
163	Ruta de la araucania	A1-A2	6,952	6,654	32,381	155	Parque Arauco	C-2	2,686	2,587	5,299
164	Saitec	A	3,998	3,871	11,403	156	Parque Arauco	D-1	6,623	6,402	30,260
165	S.A.C.I. Falabella	A1-A2	0,652	0,633	0,357	157	Parque Arauco	D-2	6,514	6,277	29,325
166	S.A.C.I. Falabella	B	7,008	6,796	34,740	158	Parque Arauco	E	8,498	8,222	48,095
167	S.A.C.I. Falabella	C	1,619	1,591	1,681	159	Quiñenco	A1-A2	5,888	5,692	26,262
168	S.A.C.I. Falabella	D	9,399	9,182	58,220	160	Quiñenco	B1-B2	1,458	1,411	1,799
169	Saesa	E	3,936	3,865	10,511	178	Autopista Central	A1-A2	10,917	10,619	78,014
170	Saesa	F	10,672	10,398	76,416	179	Costanera Norte	A-1	6,644	6,478	27,403
171	SCL Soc. Conc.	A	9,454	9,262	53,030	180	Costanera Norte	A-2	6,642	6,475	27,386
172	SCL Soc. Conc.	B	9,454	9,262	53,031	181	Costanera Norte	B-1	10,888	10,591	74,152
173	Aut. del sol	A1-A2	5,635	5,479	23,006	182	Costanera Norte	B-2	10,658	10,369	73,048
174	Aut. del sol	B1-B2	6,791	6,603	28,712	183	Soc. Elec. Santiago	B1-B2	8,900	8,562	56,849
175	Aut. Los Libertadores	A1-A2	2,517	2,457	4,629	184	Soc. Conc. Melipilla	A1-A2	9,051	8,766	58,830
176	Aut. Los Libertadores	B1-B2	9,658	9,390	59,618	185	Sodimac	B	0,999	0,963	0,713
177	Aut. Vespucio sur	A1-A2	11,225	10,976	82,476	186	Sodimac	C	7,893	7,610	41,801
121	FFCC del Estado	O	14,624	14,265	148,076	187	Talca Chillán	A1-A2	1,670	1,601	1,896
122	FFCC del Estado	P	15,310	14,969	163,354	188	Terranova	A-1	2,275	2,213	3,637
123	FFCC del Estado	Q	15,430	15,067	166,131	189	Terranova	A-2	2,276	2,215	3,643
124	Forum	B	0,989	0,957	0,767	190	Terranova	B-1	8,064	7,791	43,575
125	Gasco	B	6,248	5,988	25,155	191	Viña Sta. Rita	C-1	0,692	0,668	0,388
126	Gasco	C	2,402	2,316	4,178	192	Viña Sta. Rita	D1-D2	7,758	7,493	40,315
127	Gasco	D	11,438	11,025	94,526	193	Watt's	A1-A2	0,906	0,876	0,673
128	Gasco	E	3,132	3,016	7,067	194	Watt's	B1-B2	1,111	1,072	0,958

Fuente: Elaboración propia.

■ Estimación

La metodología empleada consistió en un análisis de regresión lineal en un estudio de corte transversal¹¹ y no de serie de tiempo.

Las variables utilizadas en el modelo fueron las denominadas medidas tradicionales de volatilidad:

La **variable dependiente** que se explicó mediante el modelo, fue la tasa de colocación de los bonos de sociedades anónimas abiertas, (r_c).

Las **variables independientes** incorporadas en el modelo para explicar el comportamiento de las tasas de colocación fueron:

Duration tradicional de Macaulay, (d_i).
Duration modificada, (d_{mi}).
Convexity, (c_i).

Inicialmente se esperaba explicar las tasas exigidas a partir de la inclusión conjunta de las variables¹², pero dado a que dichas variables resultaron estar fuertemente correlacionadas, las interpretaciones podrían haber llevado a inminentes problemas de multicolinealidad seria.

Para la estimación del modelo se utilizaron dos métodos distintos. El primero de ellos fue el denominado método de mínimos cuadrados ordinarios -MCO-, y las ecuaciones que se utilizaron con éste modelo fueron:

$$r_c = b_1 \cdot d_i + b_2 \cdot c_i + x_i$$

Donde b_1 es el coeficiente de elasticidad para la tasa de colocación respecto a la duration tradicional de Macaulay, y b_2 es el coeficiente de elasticidad para la tasa de colocación respecto a la convexidad.

$$r_c = b_1 \cdot dm_i + b_2 \cdot c_i + x_i$$

Donde b_1 es el coeficiente de elasticidad para la tasa de colocación respecto a la duration modificada, y b_2 es el coeficiente de elasticidad para la tasa de colocación respecto a la convexidad.

El segundo método utilizado fue el denominado modelo de Tobit, con las siguientes ecuaciones:

$$r_c = b_1 \cdot d_i + b_2 \cdot c_i + x_i$$

$$r_c = b_1 \cdot dm_i + b_2 \cdot c_i + x_i$$

Donde los coeficientes b_1 y b_2 tienen la misma interpretación que la descrita anteriormente.

Los signos esperados para las variables independientes de la ecuación fueron los siguientes:

$$\frac{\partial r_c}{\partial d} > 0 \quad \frac{\partial r_c}{\partial dm} > 0 \quad \frac{\partial r_c}{\partial c} < 0$$

Se debería esperar que la medida de duration se relacione positivamente respecto a las tasas exigidas, puesto que

11 Dicho corte se realiza desde el 31 de marzo del 2005 en adelante, debido a que son más relevantes los flujos futuros, que los históricos.

12 Duration, duration modificada y convexidad

dicha medida indica el plazo promedio que resta al instrumento en cuestión, definiendo en cierta medida el comportamiento que adopta la curva de rendimiento, por lo que mientras mayor es la duration de cierto instrumento, mayor debería ser la tasa exigida al mismo, por el mayor riesgo de tasas incurrido. Esto coincide con la teoría de premio por liquidez, pues señala que a medida que se acerca el vencimiento del contrato, la tendencia de los precios, es que suban.

Lo mismo ocurre con la variable duration modificada, ya que ambas son obtenidas de la misma base, por lo que tienen una misma interpretación con la única diferencia de que esta última corrige los errores producidos en la duration, pero sigue incurriendo en errores, puesto que relaciona cambios simétricos de tasa y precios.

Para el caso de la variable convexidad, se debería esperar que ésta se relacione en forma negativa respecto a las tasas exigidas, dado que, un mayor valor para la variable convexidad, estaría identificando a un bono con mayor curvatura, es decir, un bono que se ve más favorecido en su precio ante caídas en las tasas y menos desfavorecido ante aumentos de esta, por lo que mientras más convexo sea un bono, menos descontado debería encontrarse y por ende menor debería ser su tasa exigida en el mercado.

La censura se produce por un defecto de los datos de la muestra. La distribución de una variable censurada es una mezcla entre una distribución continua y otra discreta.

Con un único punto de censura, debe utilizarse el modelo de regresión censurado -modelo Tobit-. En el caso analizado se produce la censura dado que la variable aleatoria que es la tasa de colocación corresponde a una realización de variable aleatoria puntual de un bono, que es

independiente discretamente del otro y además no existe la posibilidad de tasas negativas.

El estudio tuvo por objeto evaluar cómo se afecta la tasa de colocación ante variabilidades de las medidas de duración, duración modificada y convexidad. Se intentó determinar, cuales de las variables incluidas, son relevantes para un inversionista a la hora de evaluar el precio de mercado que debería tener cierto instrumento financiero.

La tasa de colocación puede exhibir puntos de censura. Es decir, no existen tasas de colocación negativas, por lo que debe tomar sólo valores positivos. Es por ello, que los coeficientes estimados de acuerdo a MCO usuales se mejoraron al utilizar el modelo censurado de Tobit.

■ Análisis

El análisis econométrico de los modelos estimados, el cual fue posible mediante el software computacional Eviews 3.1. Para probar la capacidad predictiva del modelo se utilizaron distintos test estadísticos.

Para la estimación del modelo se utilizaron dos técnicas distintas, la de mínimos cuadrados ordinarios -MCO- y el modelo censurado de Tobit.

Dada la naturaleza de la investigación, de explicar el comportamiento de las tasas de colocación de los bonos de sociedades anónimas abiertas respecto de la duration, duration modificada y convexity, los cálculos de los modelos fueron realizados sin considerar el coeficiente de posición b_0 .

Como ya se expuso anteriormente, debido a la multicolinealidad que se detectó entre las variables duration tradicional y duration modificada se decidió incluir a ambas

variables, pero en modelos distintos. En definitiva, las ecuaciones utilizadas con los distintos métodos fueron las siguientes:

Al utilizar mínimos cuadrados ordinarios se siguió una primera especificación

$$r_c = b_1 \cdot d_i + b_2 \cdot c_i + x_i$$

Al utilizar mínimos cuadrados ordinarios se siguió una segunda especificación

$$r_c = b_1 \cdot dm_i + b_2 \cdot c_i + x_i$$

Donde:

- r_c : tasa de colocación
- d_i : duration tradicional de Macaulay
- dm_i : duration modificada
- c_i : convexity
- x_i : error

Al utilizar el modelo censurado de TOBIT se siguieron las mismas ecuaciones especificadas.

El modelo fue estimado de acuerdo al método de mínimos cuadrados ordinarios, en donde no se introduce la variable duration modificada. La forma de la ecuación fue la siguiente:

$$r_c = b_1 \cdot d_i + b_2 \cdot c_i + x_i$$

En el cuadro N° 1 se presentan los resultados de la estimación del modelo, de acuerdo a las especificaciones antes descritas.

Como se observó en los resultados de la estimación, las variables independientes duration y convexity fueron significativas, puesto que el t-observado fue menor al t-tabla ubicándose en la región de rechazo, por lo que se concluyó que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

$$- H_0 : b_i = 0 \text{ v/s } H_1 : b_i \neq 0 ; i = 1, 2 -$$

Cuadro N° 1
Primera especificación: sin duration modificada

Dependent Variable: TASA DE COLOCACIÓN (r_c)				
Method: Least Squares				
Sample: sin dm_i				
Included observations: 194				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
d_i	1.963971	0.106906	18.37092	0.0000
c_i	-0.184376	0.015434	-11.94612	0.0000
S.E. of regression	3.026095	Mean dependent var	6.342876	
Sum squared resid	1758.192	S.D. dependent var	1.124359	
Log likelihood	-489.0798	Akaike info criterion	5.062679	
Prob (White)	0,000000	Schwarz criterion	5.096368	
Prob (Jarque Bera)	0,010201	Durbin-Watson stat	1.160480	

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en consideración para su cálculo $n-k-1$ grados de libertad¹³ y un $\alpha = 5\%$.

En cuanto a los signos de las elasticidades de las variables independientes resultaron ser los esperados, puesto que la duration tuvo signo positivo, situación que se vio reflejada que ante aumentos marginales -un año- de ésta, la tasa de colocación aumenta; para el caso de la convexity el efecto fue de signo negativo, por lo que ante aumentos marginales -un año- de ésta, la tasa de colocación disminuye, todo aquello concuerda con la teoría.

Al observar el estadístico Durbin-Watson, se observó la existencia de autocorrelación positiva de primer orden en los residuos, ya que el indicador se encontró en la región de rechazo de la hipótesis nula - con un 5% de significancia-. Es normal encontrar autocorrelación cuando se trabaja con datos temporales, ya que es común que la relación sea dinámica por naturaleza dando lugar a la llamada correlación serial, pero también se encuentra cuando se utilizan datos de corte transversal que es el caso de ésta investigación, denominándose, en esta instancia, correlación espacial. Sin embargo, esto no es problema para éste último, ya que se soluciona sólo con desordenar la matriz de varianzas y covarianzas o cambiar a un modelo no generalizado.

Por otra parte el test de White mostró que la varianza de las perturbaciones no eran constantes -presencia de heteroscedasticidad, ya que el F-observado fue mayor que el F-tabla, por lo que se rechazó la hipótesis nula de existencia de homoscedasticidad, a un nivel de significancia del 5%. Cabe señalar que en presencia tanto de

autocorrelación como de heteroscedasticidad, los coeficientes dejan de ser eficientes, y los contrastes quedan inválidos.

La probabilidad de Jarque Bera, menor a 5%, indicó que los residuos no se comportaron normalmente. En cuanto a su cercanía a la normalidad la distribución de los errores arrojó una Kurtosis de 2.0099, significando ésta que la distribución es platicúrtica - anchas o de cola corta- y un coeficiente de asimetría -Skewness- de 0.1964 siendo éste mayor que cero, por lo que la distribución se encuentra sesgada hacia la derecha.

Finalmente, la ecuación estimada fue la siguiente:

$$r_c = 1.963971 \cdot d_i - 0.184376 \cdot c_i + x_i$$

$$\text{e.s.: (0.106906) (0.015434)}$$

La que indicó, que ante aumentos en un periodo -año- de la duration, la tasa de colocación aumenta en 1,96%, manteniéndose la convexity constante. También es cierto que, ante un aumento en la convexity de un año, la tasa de colocación disminuye en un 0.18%, manteniéndose la duration constante, todo esto con un nivel de significancia del 5%.

Al existir presencia de heteroscedasticidad, obligó a utilizar para la corrección métodos máximo verosímiles. Sin embargo, se incursionó con MCO en la segunda especificación, para observar si existió un problema similar.

Al utilizar el modelo de Tobit, las observaciones de la variable dependiente iguales o menores a cero se censuraron -

13 Grados de Libertad: Es el número total de observaciones en la muestra (n) menos el número de restricciones (lineales) independientes o de restricciones puestas en ellas (k), en otras palabras, es el número de observaciones independientes de un total de " n " observaciones. Cabe destacar que a medida que aumentan los grados de libertad la distribución t -student se aproxima a la distribución normal.

factor que no se consideró al utilizar el modelo MCO-, esto obligó a la tasa de colocación a asumir valores positivos, situación que aseguró que los resultados obtenidos no escapan de la realidad, debido a que no existen tasas de colocación negativas, pues, ningún inversionista colocaría su dinero en instrumentos de renta fija con retornos negativos. Por lo tanto, al recurrir a dicho modelo, se consideró sólo una parte de la función de normalidad, en este caso, la cola derecha, debido a que en ese tramo, se encuentran los valores positivos que debió tomar la variable dependiente – tasa de colocación-.

El modelo censurado de Tobit levanta el supuesto a largo plazo e incorpora la

estructura de varianza condicional, lo que implica que la varianza residual no es constante a lo largo del tiempo.

La estimación anterior llevó a la primera especificación que utilizó el modelo censurado de Tobit, se incluyeron en el modelo las variables independientes duration tradicional y convexity. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$r_c = b_1 \cdot d_i + b_2 \cdot c_i + x_i$$

En el cuadro N° 3 se presentan los resultados de la estimación del modelo, de acuerdo a las especificaciones antes descritas.

Tabla 3
Primera especificación: sin duration modificada

Dependent Variable: TASA COLOCACIÓN (r_c)				
Method: ML - Censored Normal (TOBIT)				
Sample: sin d_i				
Included observations: 194				
Left censoring (value) at zero				
Convergence achieved after 2 iterations				
Covariance matrix computed using second derivatives				
	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
d_i	1.963971	0.106347	18.46760	0.0000
c_i	-0.184376	0.015353	-12.00899	0.0000
Error Distribution				
SCALE: C(3)	3.010456	0.152807	19.70103	0.0000
Mean dependent var	6.342876	S.D. dependent var		1.124359
S.E. of regression	2.774289	Akaike info criterion		5.072988
Sum squared resid	1470.065	Schwarz criterion		5.123522
Log likelihood	-489.0798	Hannan-Quinn criter.		5.093451
Avg. log likelihood	-2.521030	Prob (Jarque Bera)		0.003921

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla N°3 se observó que los coeficientes de la variable duration y convexity fueron significativos individualmente debido a la probabilidad del z-Statistic, reflejándose en la primera que, ante cambios marginales en la duration la tasa de colocación aumentó en 1,96%, permaneciendo las demás variables constantes. Para el caso de la variable convexity los cambios marginales en ésta disminuyeron la tasa de colocación en un 0,18%, permaneciendo las demás variables constantes.

En cuanto a los signos de las variables, resultaron ser los esperados, pues la duration tuvo signo positivo, situación que se tradujo que ante un mayor plazo de vencimiento el bono quedó sujeto a mayor riesgo y por lo tanto, el mercado exigió una mayor tasa a dicho instrumento. En cuanto a la variable convexity, también arrojó el signo esperado, lo que se tradujo en una mayor curvatura. El precio se vio favorecido ante caídas en las tasas y desfavorecido ante aumentos de las mismas, desde el punto de vista de los inversionistas. Por lo que al ser más demandados, su precio se encontró menos descontado en el mercado y su tasa exigida fue menor.

Al utilizar el modelo Tobit, se incorporó una tercera variable -Scale, varianza de los errores de la distribución-, que resultó ser significativa para el modelo. Por lo tanto, dicha variable capturó los efectos que provocaba la heteroscedasticidad - asumiendo una varianza¹⁴ dada-, y por ende,

depura los coeficientes estimados, los cuales llegaron a ser eficientes.

En el caso de la probabilidad Jarque Bera, ésta indicó que no existe normalidad en los residuos, por lo que se estimó conveniente realizar el mismo proceso, pero ahora considerando la duration modificada en desmedro de la duration tradicional.

Para la primera especificación, la ecuación estimada fue la siguiente:

$$r_c = 1.963971 \cdot d_i - 0.184376 \cdot c_i + 3.010456 \cdot x_i$$

e.s.: (0.106347) (0.015353) (0.152807)

Al comparar con la primera especificación, calculada por MCO, se apreció que los valores de los parámetros fueron los mismos. La diferencia radicó en que los errores estándar son menores, lo que llevó a estimaciones más robustas y se eliminó el problema de sobreaceptación de la hipótesis nula de los parámetros.

De acuerdo a la segunda especificación que utilizó el modelo censurado de Tobit, se incluyeron en el modelo las variables independientes duration modificada y convexity. La ecuación que se utilizó fue la siguiente:

$$r_c = b_1 \cdot dm_i + b_2 \cdot c_i + x_i$$

En el cuadro N° 4 se presentan los resultados de la estimación del modelo, de acuerdo a las especificaciones antes descritas.

14 La forma de la varianza de los errores asumida fue: $\frac{\sigma^2}{6}$

Tabla 4
Primera especificación: sin duration tradicional

Dependent Variable: TASA DE COLOCACIÓN (r_c)				
Method: ML - Censored Normal (TOBIT)				
Sample: sin d_i				
Included observations: 194				
Left censoring (value) at zero				
Convergence achieved after 2 iterations				
Covariance matrix computed using second derivatives				
Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.	
dm_i	2.029004	0.110691	18.33035	0.0000
c_i	-0.185350	0.015515	-11.94643	0.0000
Error Distribution				
SCALE:C(3)	3.024766	0.153533	19.70103	0.0000
Mean dependent var	6.342876	S.D. dependent var		1.124359
S.E. of regression	2.789172	Akaike info criterion		5.082472
Sum squared resid	1485.881	Schwarz criterion		5.133006
Log likelihood	-489.9998	Hannan-Quinn criter.		5.102935
Avg. log likelihood	-2.525772	Prob (Jarque Bera)		0.006896

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 se observó que, al igual que los casos anteriores, las variables independientes duration modificada y convexity fueron significativas individualmente, por lo que se pudo concluir que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula siendo cierta -error tipo 1- y aceptar la hipótesis alternativa.

$$- H_0 : b_i = 0 \text{ v/s } H_1 : b_i \neq 0 ; i = 1,2 -$$

Para un $\alpha = 5\%$..

En cuanto a la incorporación de la tercera variable -Scale-, nuevamente resultó ser significativa, lo que generó una mejora en los coeficientes estimados. Estos fueron considerados eficientes, debido a que la varianza de los errores capturó en mejor medida los efectos que provocaba el problema de heteroscedasticidad del modelo.

La probabilidad de Jarque Bera indicó que los residuos no se comportaron normalmente debido a que la probabilidad del test fue inferior al 5% de significancia rechazando con esto la hipótesis nula de comportamiento normal en los residuos, situación causada por la censura. En cuanto a su cercanía a la normalidad la distribución de los errores arrojó una Kurtosis de 2.2301, significando ésta que la distribución es platicúrtica -anchas o de cola corta- y un coeficiente de asimetría -Skewness- de 0.3996 siendo este mayor que cero, por lo que la distribución se encuentra sesgada hacia la derecha.

Finalmente, la ecuación estimada fue la siguiente:

$$r_c = 2.029004 \cdot d_i - 0.185350 \cdot c_i + 3.02476 \cdot x_i$$

$$\text{e.s.: (0.110691) (0.015515) (0.153533)}$$

Ante cambios marginales en la duration modificada la tasa de colocación aumentó en un 2,03%, considerando las demás variables fijas. Para el caso de la convexity, los cambios marginales en ésta provocaron disminuciones en la tasa de colocación en un 0,19%, permaneciendo las demás variables constantes. Por otra parte, los signos de las variables fueron los esperados, ya que la duration modificada arrojó signo positivo, lo cual indicó que ante un horizonte mayor de vencimiento está afecto a mayor riesgo, por consiguiente la tasa exigida para el instrumento debe ser mayor teniendo como consecuencia una baja en el precio del instrumento situándolo a éste más alejado del valor par. En cuanto a la convexity, el signo arrojado resultó ser el esperado, ya que en la medida que un instrumento es más convexo, es más atractivo para un inversionista -por sufrir menores pérdidas ante aumentos en las tasas de interés de mercado y mayores ganancias ante disminuciones de las mismas-, por lo que al ser más demandados, su tasa exigida es menor, por ende su precio se encuentra menos descontado en el mercado siendo éste mayor, situándolo en este caso más cercano al valor par, si es que el bono fue colocado bajo la par; y más alejado del valor par, si es que éste fue colocado sobre la par.

■ Conclusiones

Los inversionistas caen en la disyuntiva de cómo minimizar el riesgo de inversión de cualquiera de sus oportunidades, es por ello que existen indicadores de riesgo que permiten determinar con mayor exactitud este punto. Con esta investigación se pudo determinar que los inversionistas deben tomar en consideración la duration, la duration modificada y la convexity para tomar una decisión de inversión, ya que éstas son variables individualmente

significativas que afectan a las tasas de colocación.

En cuanto a los signos y significancia de las variables independientes de los modelos, se observó como se esperaba, que la duration -tradicional y modificada- fueron positivas y la convexity negativa situación que va de la mano con la teoría, ya que en el caso de la duration se dice que la estructura de tasas a través del tiempo responde en gran medida a una demanda por liquidez de tales instrumentos financieros. Esto implicaría que aquellos instrumentos de menor plazo de vencimiento serían más demandados por los inversionistas que aquellos de mayor plazo de inversión, recuperando en un lapso menor el capital invertido. Derivado de ésta situación surge el premio por liquidez exigido a los instrumentos de mayor plazo compensando con esto la menor liquidez de estos instrumentos, este premio se refleja claramente en las estructuras temporales de tasas crecientes, surgiendo con ésta situación un sesgo que impulsa el aumento de éstas tasas en la medida que aumenta el plazo, complementado por el mayor riesgo por estar más tiempo afecto a influencias del entorno pudiéndose provocar movimientos inesperados de la tasa de interés.

Respecto a la convexity la que resultó influenciar negativamente a la tasa de colocación, es consistente con el hecho de que mientras más convexo es un instrumento, éste es más atractivo para un inversionista debido a que existe una mayor disminución en el precio ante alzas inesperadas de la tasa de interés o bien aumenta más su precio ante bajas inesperadas de la tasa, es decir existe una relación inversa entre la tasa de colocación y la convexidad.

Al utilizar el modelo mínimos cuadrados ordinarios surgieron problemas de

heteroscedasticidad, que en estudios de corte transversal siempre es conveniente verificar su eventual presencia, aunque la eficiencia de los métodos de estimación que la consideran, sólo está garantizada asintóticamente para el método máximo verosímil Tobit mejorando con el uso de este último, la eficiencia de los coeficientes, pues en éste se incorpora una tercera variable denominada, Scale -estimación de la varianza de las perturbaciones-, la cual captura los efectos provocados por la heteroscedasticidad, depurando los coeficientes estimados.

En relación a ellos, se llegó a observar que la combinación entre la duration modificada y la convexity provocaban un mayor cambio porcentual en la tasa de colocación -mayores elasticidades-, conjuntamente a esto, hubo un mayor acercamiento a la normalidad de los residuos en esta especificación, ya que la probabilidad de no rechazar la hipótesis de normalidad fue mayor.

Finalmente, al comparar los resultados de las estimaciones mediante MCO con las del modelo censurado de Tobit -en la primera y segunda especificación-, se apreció que los valores de los parámetros fueron los mismos. La diferencia radicó en que los errores estándar fueron menores, lo que llevó a estimaciones más robustas con el segundo modelo. Esto se debió a que el modelo Tobit incorporó una estructura de varianza condicional. Por ende, se concluyó que dicho modelo entrega estimaciones más confiables y eficientes ante problemas de heteroscedastidad.

■ Bibliografía

- Copeland Thomas E. & Weston J. Fred *"Financial theory and corporate policy"*, 3ª Ed USA Addison & Wesley.
- Elghanayan Szenfeld David, *"Mercado de letras hipotecarias chilenas: Riesgo de tasas y retornos exigidos"*, Tesis para optar al grado de Magíster en Finanzas Universidad de Chile, Escuela de economía y administración para graduados, abril 2001.
- Fabozzi & Fabozzi, *"Bond Markets analysis and strategies"*, 4ª Ed. Upper Saddle River, NJ Prentice Hall International Año 1989/ 2000.
- Gigoine Eugenio, *"Análisis de instrumentos financieros"*, apuntes de clases, Universidad de Chile, escuela de postgrado economía y negocios, mayo 2005.
- Gujarati Damodar N., *"Econometría Básica"*, 3ª Ed. New Jersey Prentice Hall Año 1997.
- Johnston John & Di Nardo John. *"Métodos de econometría"* 4ª Ed. Barcelona: Vicens-Vives, 2001-.
- Ross Stephen A., Westerfield Randolph W. & Jaffe Jeffrey, *"Finanzas corporativas"*, 5ª Ed. Interamericana de México, Mac Graw Hill Año 2001.