

**EXPECTATIVAS FINANCIERAS Y LA CURVA DE TASAS
FORWARD DE CHILE**

Luis Oscar Herrera B.
Igal Magendzo W.

DOCUMENTOS DE TRABAJO DEL BANCO CENTRAL
N° 23
Octubre 1997

EXPECTATIVAS FINANCIERAS Y LA CURVA DE TASAS FORWARD DE CHILE

Luis Oscar Herrera B.

Gerente de Programación Macroeconómica
del Banco Central de Chile

Igal Magendzo W.

Economista
Gerencia de Programación Macroeconómica
del Banco Central de Chile

Resumen

El objetivo de este estudio es desarrollar una metodología para medir la curva de tasas forward para los pagarés a plazo del Banco Central. Se utiliza la metodología propuesta por Nelson y Siegel (1987) basada en un modelo paramétrico de la curva de tasas forward. Una ventaja de esta forma paramétrica es que, con un número reducido de parámetros, tiene la flexibilidad necesaria para adaptarse a las formas que típicamente adopta la estructura de tasas.

Abstract

The goal of this paper is to develop a methodology to estimate the forward interest rate curves for Central Bank bonds. The paper uses the methodology proposed by Nelson and Siegel (1987) based on a parametric model of the forward curve. An advantage of this parametric estimation is that -with a reduced number of parameters- it is flexible enough to describe the different shapes that term structure typically takes.

Versión Preliminar. Se agradecen comentarios. Banco Central. Casilla 967, Santiago Chile. E-mail: imagendz@condor.bcentral.cl Los autores son los únicos responsables por las opiniones vertidas en el trabajo, las cuales pueden no reflejar las del Consejo del BCCh

1. Introducción

En el transcurso de los últimos años el Banco Central de Chile ha ido entregando un mayor rol al mercado en la determinación de la curva de retornos, restringiendo su esfera de influencia al horizonte más corto de la misma. En mayo de 1995 se abandonó la modalidad de ventanilla abierta para la venta de los pagarés reajustables a 90 días (PRBC90) que se venía utilizando desde mediados de la década anterior, y la política monetaria pasó a establecer objetivos instrumentales sobre la tasa a un día (interbancaria), dejando el resto de la estructura de tasas al mercado. En la práctica, el Banco Central mantiene un grado importante de influencia sobre la estructura de tasas de interés, pero su impacto es indirecto y mediado por las expectativas que mantengan los agentes financieros sobre la trayectoria futura de la política monetaria y de otras variables relacionadas, como el crecimiento y la inflación. El objetivo de este estudio es medir este componente de expectativas, que está implícito en la estructura de tasas de interés, a través de la estimación de la curva de tasas *forward* para los instrumentos del Banco Central.

La curva de tasas *forward* corresponde a la estructura de tasas para préstamos o inversiones contratados en el período actual, pero con fecha de entrega y madurez futura. Esta curva está implícita en la curva de retorno medio que regularmente se publica en la prensa financiera, pero el formato de presentación es más conveniente para su interpretación y análisis. En efecto, si el premio por madurez no es significativo, entonces la curva *forward* refleja las expectativas de mercado sobre el curso futuro de las tasas de interés de corto plazo, mientras que la tasa interna de retorno corresponde a un promedio ponderado de las tasas *forward* y, por lo tanto, confunde los componentes de expectativas de corto, mediano y largo plazo implícitos en la estructura de tasas de interés.

En principio, la curva de tasas *forward* podría construirse directamente a partir de los precios de operaciones *forward* sobre la tasa de interés, sin embargo, este tipo de transacciones no es frecuente y tampoco existe un registro sistemático de las mismas que pueda utilizarse para fines estadísticos. Por esta razón, se utiliza un procedimiento indirecto para construir esta curva, estimando la estructura de tasas *forward* a partir de los precios de pagarés del Banco Central. Este trabajo utiliza la metodología propuesta por Nelson y Siegel (1987) (NS) basada en un modelo paramétrico de la curva de tasas *forward*. Este modelo es atractivo por la simplicidad de su formulación, la facilidad de interpretación de sus parámetros, y porque en aplicaciones empíricas ha demostrado un grado de precisión comparable o superior a métodos más sofisticados de estimación y, en todo caso, suficiente

para los fines propios del análisis monetario (Svensson, 1995). En la actualidad, el modelo de NS es utilizado por los Bancos Centrales de Inglaterra y Suecia como herramienta de construcción de la curva de tasas forward.

En la siguiente sección se definen los conceptos de curva de retornos spot, curva de tasas forward y curva de tasas internas de retorno (TIR), así como la relación teórica entre unas y otras. En la tercera sección se describen algunas de las alternativas de estimación de la curva de tasas forward, y se introduce el modelo de NS. Luego se procede a estimar el modelo a partir de los datos de las TIR de PRC y PRBC del Banco Central resultantes de las licitaciones del propio instituto, así como de las transacciones en el mercado secundario. El estudio se concentra en la última semana de los meses comprendidos entre marzo y junio de 1996, incluyendo así semanas anteriores y posteriores al ajuste de tasas de comienzos de abril de ese año. La estimación de los parámetros se realiza a través de mínimos cuadrados no lineales, y los resultados se resumen presentando las correspondientes curvas forward y de retorno. Finalmente, se realiza un ejercicio de interpretación de los resultados para el período más reciente y se presentan algunas consideraciones sobre los supuestos necesarios para efectuar este análisis, en particular, en lo que se refiere al premio por madurez.

2. Definiciones Previas

Los estudios de tasas de interés a distintos plazos se realizan normalmente sobre la información contenida en instrumentos de renta fija, o bonos. Estos instrumentos se caracterizan por devengar pagos ciertos a los inversionistas, por lo que su valoración sólo requiere descontar los pagos anunciados para obtener su valor presente.

Los pagarés emitidos por el Banco Central de Chile cumplen con las características antes descritas, por lo que el presente estudio se concentra en las tasas de interés de esos pagarés. Los pagarés del Instituto Emisor se dividen en los Pagarés Reajustables (PRBC) y los Pagarés Reajustables con Cupones (PRC). Los primeros realizan un pago único en una fecha futura predeterminada, la fecha de madurez. Normalmente pagarés de este tipo, tanto en Chile como en otros países, tienen una madurez igual o menor a un año. Actualmente en Chile se emiten PRBC sólo con una madurez de 90 días. A los instrumentos de renta fija que realizan un pago único, en la fecha de su madurez, se les llama también bonos cero-cupón, término que se utilizará en adelante.

Los PRC, por su parte, corresponden a pagarés a más de un año y prometen un flujo de varios pagos intermedios, además de un pago final a la fecha de vencimiento del pagaré. Estos pagos son conocidos como cupones. En la actualidad, el Banco Central de Chile emite PRC a 8, 10, 12, 14 y 20 años, y en el pasado se han emitido con plazos de 2, 4 y 6 años. Cada uno de estos pagarés cuenta con cupones semestrales de igual monto, aunque el último pago es levemente mayor a los anteriores¹. A partir de las tasas de interés de los pagarés del Banco Central se puede construir la estructura de tasas internas de retorno (TIR), que corresponde a la curva formada por las TIR a las cuales se transan estos pagarés a distintos plazos. Esta curva se describe como $R(t,T)$, donde t es el momento de la transacción y T es la madurez residual del bono. La TIR del pagaré corresponde al promedio ponderado de la tasa de retorno para cada uno de sus cupones. Esto último significa que la TIR de un bono depende del tamaño y plazo de los cupones, lo que se conoce como "efecto cupón", y que impide comparar bonos con estructura de cupones diferentes y dificulta la interpretación de las tasas internas de retorno y la curva derivada de ellas. Por lo tanto, con el propósito de limpiar el "efecto cupón", es necesario traducir la curva TIR a una curva de tasas spot de pagarés cero-cupón, comparables entre sí.

La curva de retornos relaciona la tasa de interés pagada por bonos cero-cupón con su madurez, tal que $r(t,T)$ corresponde al retorno *spot* en t de un pagaré cero-cupón de madurez T . Del mismo modo, se define la tasa de retorno spot instantánea como la tasa de retorno spot de un pagaré cero-cupón cuya madurez tiende a cero, $r(t)$. En principio, las tasas de pagarés con cupón cero pueden deducirse directamente de la tasa de los PRC, considerando que estos últimos son equivalentes a una cadena de pagarés cero-cupón con intervalos de madurez de seis meses. Sin embargo, esto requiere contar con un conjunto de transacciones y precios que abarquen el horizonte completo de madurez a espacios regulares de seis meses, lo que excede con creces la disponibilidad de datos.

Finalmente, la curva de tasas *forward*, $f(t,t',T)$, corresponde a transacciones de bonos cero-cupón realizadas en un período de tiempo (t), pero que establecen una fecha de entrega futura ($t' > t$), con un plazo de madurez T a partir de t' . Esta operación *forward* es equivalente a la venta simultánea de un pagaré cupón cero en t con un pago al vencimiento en t' junto con la compra en t de un pagaré cupón cero que vence en $t' + T$. Por lo tanto, la diferencia entre ambos precios corresponde al precio de la transacción *forward*, de donde se

¹Los cupones de los PRC son de igual monto y calculados en base 180 días. Como un semestre por lo general tiene poco más de 180 días, los intereses y amortizaciones acumulados en el semestre por sobre los 180 días se pagan junto con el último cupón, lo que hace que éste sea levemente mayor que los otros.

puede deducir la tasa de rendimiento que rige para una inversión que se realizará en el período que comienza en t' y termina en $t' + T$. En forma homóloga a las tasas *spot*, se puede decir que, en un período dado, las tasas forward instantáneas corresponden a las tasas para operaciones que se concretarán en diferentes plazos futuros con pagarés cuya madurez tiende a cero, $f(t, t')$.

Las tres curvas descritas anteriormente, la curva TIR $R(t, T)$, la curva de retorno $r(t, T)$ y la curva forward $f(t, t', T)$, están relacionadas a través de las siguientes fórmulas para el precio de un PRC con plazo residual de T años, $P(t, T)$:

$$P(t, T) = \sum_{s=1}^{2T} \frac{C_s}{(1+R(t, T))^{s/2}} = \sum_{s=1}^{2T} \frac{C_s}{(1+r(t, s))^{s/2}} = \sum_{s=1}^{2T} \frac{C_s}{\prod_{v=1}^s (1+f(t, v, v+1/2))^{1/2}} \quad (1)$$

donde C_i corresponde al valor del cupón i .

El álgebra se simplifica bastante si se utiliza la especificación en tiempo continuo de las curvas de retorno y forward.² En este caso, la tasa de retorno spot de madurez T es el promedio simple de las tasas forward instantáneas que prevalecen para el período de t a $t+T$:

$$r(t, T) = \frac{\int_0^T f(t, t+x) dx}{T} \quad (2)$$

Las tasas forward instantáneas y las tasas spot a una madurez dada se relacionan como costos de producción marginal y promedio respectivamente, donde el tiempo a la madurez se identifica con la cantidad producida. La curva forward corta a la curva de retorno, donde ésta alcanza un máximo o un mínimo local, y si la tasa forward está por encima del retorno, entonces la curva de retorno es creciente, y viceversa si está por debajo.

Por otro lado, la tasa interna de retorno (TIR) para un pagaré en t de madurez (residual) T es un promedio ponderado de las tasas forward entre los períodos t y $t+T$, donde los ponderadores capturan el efecto de los cupones. Si aproximamos la especificación de un PRC por un bono que paga un flujo continuo de cupones de igual

²La tasa compuesta en tiempo continuo, r es equivalente a la tasa en tiempo discreto, r' , a través de la relación: $1 + r' = e^r$

valor por un plazo de T años, entonces una aproximación de primer orden de la relación entre la TIR y las tasas spot corresponde a la relación:

$$R(t, T) \approx \int_0^T \frac{e^{-\bar{R}x} (1 - e^{-\bar{R}(T-x)})}{\bar{R}} f(t, x) dx \quad (3)$$

donde \bar{R} es la tasa de interés de equilibrio de largo plazo y el ponderador, que antecede a $f(t, x)$, tiende a disminuir en el tiempo reflejando que mientras más alejada en el tiempo, la tasa forward afecta a un menor número de cupones y aquellos a los cuales afecta tienen un menor peso en el precio del bono por cuanto están descontados a una tasa mayor (dada su lejanía en el tiempo).

Estas relaciones entre las curvas de tasas TIR, de retorno spot, y forward corresponden a restricciones de arbitraje cerrado -- sin riesgo--, y sugieren cómo pueden estimarse las restantes si al menos una de ellas está disponible. El paso siguiente es utilizar esta información para derivar un indicador sobre las expectativas de los agentes económicos respecto de la trayectoria futura de las tasas de interés de corto plazo. En efecto, la trayectoria implícita de las curvas forward no se puede alejar "mucho" de la trayectoria esperada de tasas de interés, porque de lo contrario existirían oportunidades de arbitraje. Si la trayectoria implícita de tasas forward está por encima de la trayectoria esperada, entonces es conveniente comprar pagarés de largo plazo, y financiarlos con endeudamiento de corto plazo, hasta que ambas trayectorias sean mutuamente consistentes (teoría de las expectativas). Obviamente, esto supone que no hay restricciones de arbitraje y que el riesgo de plazos no es un elemento relevante en el cálculo de las relaciones de arbitraje, condiciones que probablemente son falsas en la práctica, pero aún así la curva forward puede proveer de información relevante respecto a las expectativas financieras.

3. Modelos Para la Estimación de la Curva Forward

3.1 Métodos alternativos de estimación de la curva *forward*

En la práctica existe una variedad de métodos para estimar la curva de tasas forward³. El método más simple y directo es un procedimiento recursivo que resuelve el factor de descuento de un bono cero-cupón de madurez T a partir de la diferencia entre el precio de PRC's con plazos de madurez sucesivos (T y $T+1$). Luego obtiene la tasa forward entre T y $T+1$ a partir de los precios de bonos de cupón cero con plazos de madurez sucesivos. Sin embargo, este procedimiento requiere disponer de un arreglo completo de precios para pagarés de plazos a intervalos regulares en el tiempo, condiciones que no se satisfacen y que, por lo tanto, hacen impracticable este método. Una variante de este método es interpolar los precios de pagarés para intervalos regulares, y luego aplicar el procedimiento antes descrito. Si los datos cubren un espectro amplio de plazos de madurez este procedimiento aproximado puede ser igualmente satisfactorio que el procedimiento exacto.

Otro enfoque estima la curva de retorno a partir de las tasas TIR corregidas por el efecto duración⁴, y luego deduce la curva forward a partir de la curva de retorno. En este caso, el precio de los bonos de cupón cero se aproxima por el precio de un PRC de similar duración promedio, donde la duración promedio se define como el plazo promedio ponderado de madurez de los cupones, y el ponderador es la participación del respectivo cupón en el precio del PRC. Finalmente, una tercera alternativa es simplemente tomar directamente la curva de retorno TIR. Este procedimiento, aunque incorrecto, parece ser la práctica habitual en el análisis e interpretación de los movimientos de la estructura de tasas, porque, hasta donde sabemos, en las publicaciones financieras regulares no aparece información sobre la curva de retorno corregida, y menos aún de la curva de tasas forward.

Svensson (1993) discute y compara la precisión y robustez empírica de estos métodos, concluyendo en favor del método de interpolación sobre los otros dos y, sorprendentemente, por el método no corregido en lugar del método de duración. Sin embargo, ninguno de estos enfoques es teóricamente satisfactorio porque el objeto de análisis, la curva TIR o la curva de retorno, se relaciona indirectamente con los fundamentos respectivos y porque su aproximación a la estimación de la curva *forward* es

³Cada uno de los métodos discutidos a continuación se encuentran en Svensson, L. E. O. (1995).

⁴La duración de un pagaré con cupones corresponde al plazo ponderado del pagaré, en que se pondera el monto de cada cupón por su plazo residual.

indirecta, a través de la estimación o interpolación de la curva de retorno, lo que a veces puede traer consecuencias insospechadas sobre la curva forward. Así por ejemplo, discontinuidades en la pendiente de la curva de retorno, que pueden aparecer como resultado del proceso de interpolación, se traducen en quiebres de nivel en la curva forward que no tienen una justificación teórica válida.

Un enfoque más satisfactorio, propuesto originalmente por McCulloch(1971, 1975), es estimar directamente la función de descuento a través de un procedimiento de mínimos cuadrados ordinarios sobre una especificación paramétrica de la misma. El presente estudio utiliza una variante de este enfoque, estimando la curva de tasas de interés forward y spot a partir de la forma funcional propuesta por NS, enfoque que recientemente ha sido aplicado por Svensson (1994, 1995) para estudiar la estructura de curvas forward en Suecia y otros países europeos, así como también por el Banco de Inglaterra para deducir expectativas de inflación a partir de transacciones aparejadas de bonos indexados y no indexados (Deacon y Derry, 1994).

Otro modelo paramétrico de gran difusión en la literatura empírica es el propuesto por McCulloch (1971, 1975), o variantes del mismo, que utilizan polinomios cúbicos traslapados para especificar la función de descuento, restringidos para asegurar la continuidad de la función forward implícita. Este modelo involucra un mayor número de parámetros, lo que normalmente mejora la precisión del ajuste de los datos muestrales, pero en la práctica se ha visto que sus resultados tienden a ser más inestables que el método de NS y entregan proyecciones poco confiables para tasas fuera del rango muestral. Sin embargo, una comparación entre estos métodos está fuera del alcance de este estudio.⁵

3.2 El modelo de Nelson y Siegel

El modelo paramétrico de NS asume que la tasa forward instantánea es la solución a una ecuación diferencial de segundo orden con dos raíces iguales, la cual se puede escribir como:

$$f(t, m; \Theta_t) = \beta_{0,t} + \beta_{1,t} \exp\left(-\frac{m}{\tau_t}\right) + \beta_{2,t} \frac{m}{\tau_t} \exp\left(-\frac{m}{\tau_t}\right) \quad (4)$$

⁵Ver Dahlquist y Svensson (1993) para una comparación entre la estimaciones de tasas spot y forward con la forma funcional simple de Nelson y Siegel (1987) y formas más complejas.

donde m es el tiempo residual a la madurez, y donde $\Theta_t = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \tau)$ es el vector de parámetros que representa la curva forward que prevalece en t . Las tasas spot, por su parte, pueden ser derivadas integrando la trayectoria de las tasas forward y promediando su nivel, de acuerdo a la relación propuesta en (2):

$$r(t, m; \Theta_t) = \beta_{0,t} + (\beta_{1,t} + \beta_{2,t}) \frac{1 - \exp(-\frac{m}{\tau_t})}{\frac{m}{\tau_t}} - \beta_{2,t} \exp(-\frac{m}{\tau_t}) \quad (5)$$

y el factor de descuento, el precio de un bono cero-cupón de madurez m que paga una unidad monetaria es:

$$d(m; \Theta_t) = \exp(-r(m; \Theta_t)m) \quad (6)$$

El parámetro β_0 corresponde a la tasa de largo plazo, $r(\infty; \Theta) = f(\infty; \Theta) = \beta_0$, y el parámetro $\beta_0 + \beta_1$ corresponde a la tasa de interés instantánea $r(0; \Theta) = f(0; \Theta)$. A su vez, el máximo (o mínimo) de las tasas forward corresponde a $\beta_0 + \beta_2 \exp(\beta_1 / \beta_2 - 1)$, y la madurez de la tasa forward máxima (o mínima) es $\tau(1 - \beta_1 / \beta_2)$. Estas relaciones facilitan la interpretación de los resultados de estimación y la selección de los valores iniciales para el procedimiento computacional que se señala más adelante.

Una ventaja de esta forma paramétrica es que, con un número reducido de parámetros, tiene suficiente flexibilidad para adaptarse a las formas que típicamente adopta la estructura de tasas. El primer término del lado derecho en la ecuación (4) corresponde al componente de largo plazo de la estructura de tasas, el segundo término corresponde al componente de corto plazo, que comienza en un valor positivo o negativo, pero converge a cero en el largo plazo, y el tercer componente corresponde al componente de mediano plazo que comienza en cero en el corto plazo, luego se hace positivo o negativo en plazos intermedios, y finalmente converge a cero en el largo plazo. Estos tres componentes permiten replicar las formas más características de la curva de retorno, monotónica creciente o decreciente y también curvas con una joroba intermedia. El gráfico 1 muestra las formas que se derivan para la curva de rendimiento, a partir de diferentes combinaciones de parámetros.

4. Estimación Econométrica

4.1 La ecuación de precios

Los parámetros en Θ_t se estiman para cada momento del tiempo t a través del ajuste de mínimos cuadrados de la ecuación para los precios de pagarés del Banco Central. Dado que los cupones son casi idénticos entre sí para todos los PRC, es decir, el perfil es el mismo, la estimación se normaliza por el tamaño del cupón y se realiza en términos de la razón precio-cupón del PRC "i" emitido originalmente en t_0 con plazo de T años. Su razón precio-cupón p_{it} se modela según la siguiente ecuación:

$$p_{it}(\Theta_t) = \left(\sum_{j=1}^K d(m_{jt}; \Theta_t) \right) \exp(u_{it}) \quad (7)$$

donde $d(m_j; \Theta_t)$ corresponde al factor de descuento, K representa el número de cupones por ser pagados, m_j es el plazo de maduración del cupón j , y u_{it} es el error porcentual de ajuste.^{6,7} La especificación es no lineal, por lo que los parámetros se estiman a través del método de mínimo cuadrados no lineales⁸. A modo de referencia, se calculó la varianza de los parámetros bajo los supuestos clásicos implícitos en la estimación de mínimos cuadrados ordinarios y, a partir de esta varianza, se calculan los errores estándar de funciones derivadas de los parámetros Θ_t utilizando el método delta.⁹ Sin embargo, estas medidas de desviaciones no pueden interpretarse en forma estricta, en la medida que no hay

⁶Específicamente, $K = \left\lceil \frac{t_0 + 360T - t}{180} \right\rceil$, $m_1 = t_0 + 180 * \left\lceil \frac{t - t_0}{180} + 1 \right\rceil - t$ y $m_j = m_{j-1} + 180$.

⁷Dado que los cupones de los PRC son iguales entre sí (exceptuando el último pago que es levemente mayor), la razón precio-cupón puede ser calculada a través de:

$$\frac{P_{it}}{C_{it}} = \sum_{j=1}^K (1 + TIR_{it})^{-m_j/360}$$

conformando así la serie correspondiente al lado izquierdo de la ecuación (7).

⁸Todos los cálculos se realizaron a través del programa RATS 4.0 usando el algoritmo de maximización *simplex*.

⁹Esta varianza se calcula a partir de la derivadas numéricas respecto a Θ ,

$$Var(\Theta_t) = \sigma_u^2 \left[\left(\frac{\partial p(\Theta_t)}{\partial \Theta_t} \right) \left(\frac{\partial p(\Theta_t)}{\partial \Theta_t} \right)' \right]^{-1}$$

una especificación a priori del proceso de los errores u_{jt} , que en este contexto corresponden a errores de la aproximación funcional.

La ecuación planteada presenta la debilidad que entrega una mayor importancia a movimientos en las tasas de interés de largo plazo. En efecto, si la tasa de largo plazo varía, esto afecta fuertemente los precios de los pagarés y, por lo tanto, los parámetros a calcular, mientras que el efecto de movimientos en las tasas de interés de corto plazo es mucho menor. Con el fin de dar una solución a esta asimetría, y siguiendo la recomendación de Svensson(1994) los parámetros se restringen de tal modo que $\beta_0 + \beta_1$ sea igual a la tasa de interés interbancaria, en forma coherente con lo descrito en la interpretación de los parámetros.¹⁰

Una vez que se obtienen los parámetros se puede calcular la curva de tasas de interés forward, de acuerdo a la definición en (4), la curva de retorno para tasas spot, de acuerdo a la definición en (5), y la curva TIR de la definición en (1).

4.2 Los datos

Para la estimación econométrica se seleccionaron datos correspondientes al período anterior y posterior al ajuste de la política monetaria de principios de abril de 1996. Los datos utilizados corresponden a la tasa interna de retorno de los pagarés del Banco Central. Para maximizar el número de datos y, en particular, el espectro de madurez cubierto por la muestra la estimación, el estudio se realiza agrupando en una sola muestra las observaciones dentro de una misma semana, y se consideran simultáneamente las tasas de corte de las licitaciones de pagarés efectuadas por el Banco Central para los PRBC y PRC y la tasa TIR intermedia entre el precio de compra y venta para las transacciones de PRC en la Bolsa de Comercio. Esto puede introducir volatilidad artificial en los precios de instrumentos de plazo similar debido a diferencias en el día de transacción y en la

¹⁰Respecto al resto de los parámetros se examinaron diferentes alternativas: (i) se dejó libre $\beta_{0,t}$ para cada período t , donde cabe recordar que, según la igualdad (6), este parámetro iguala a la tasa de interés spot y forward cuando la madurez tiende a infinito; (ii) se impuso que este parámetro fuese igual en todos los períodos; (iii) se utilizó un procedimiento de mínimos cuadrados ponderados para poner un mayor énfasis en la estimación del horizonte más corto de la curva forward y; (v) se utilizó un procedimiento de mínimos cuadrados ponderados de acuerdo al monto de las transacciones involucradas para considerar la "representatividad" de los precios involucrados. Los resultados de estas últimas modificaciones no se reportan, ya que su efecto sobre los parámetros no resulta de real relevancia.

modalidad de venta. Con respecto a la volatilidad entre días, su importancia se ve reducida por la práctica habitual del Banco Central de introducir modificaciones importantes en su política monetaria el último día de la semana, lo que ciertamente ocurre en los ejemplos considerados dentro del período de estimación. Con respecto a la volatilidad por modalidad de venta, se verificó que no existía una diferencia sistemática ni significativa entre los precios de transacciones en la bolsa y los de licitaciones, y que los resultados de estimación eran robustos a la exclusión de los precios de licitaciones.

Los datos básicos se presentan en el gráfico 2. Cada semana cuenta con aproximadamente ochenta datos. Con todo, las transacciones, monto y número, se encuentran muy concentradas en papeles con madurez de 6 a 8 años, como se muestra en el gráfico 3. Esta concentración puede introducir un premio por liquidez en este segmento de madurez, hipótesis que, sin embargo, no se verifica en la sección empírica.

La tasa de interés de corto plazo se identifica con el promedio de la tasa de interés interbancaria para cada semana, la cual, a partir de las modificaciones de política monetaria de mayo de 1995, sirve de objetivo instrumental para la política monetaria. Todas las tasas han sido expresadas en términos reales (sobre la variación de la Unidad de Fomento) y en base anual (360 días). Las semanas contempladas son las que comienzan el 25 de marzo, el 29 de abril, el 27 de mayo y el 24 de junio de 1996.

4.3 Resultados de estimación

En el cuadro 1 se presentan los resultados para la estimación econométrica para cada una de las semanas. Se puede apreciar que la tasa de largo plazo, que en el modelo corresponde a β_0 , considerando la transformación a tiempo continuo, fluctúa en torno al 6,1%. El parámetro β_2 por lo general es bastante cercano a cero, o incluso igual a cero si se consideran cuatro decimales, lo que indica que la curva forward en este período tiene una forma monotonía y siendo $\beta_1 > 0$ en todos los casos, se ve que para el período en observación la curva de retorno es descendente. Estos resultados son coherentes con la distribución de los datos recopilados, en que los pagarés de mayor madurez presentan una tasa de interés menor. Cabe destacar además que el error estándar porcentual de ajuste de los precios es muy pequeño, siempre inferior al 0,4%, siendo el máximo error encontrado en todo el período en estudio de un 0,85%, para la semana que comienza el 24 de junio.

Las curvas de tasas *forward*, es decir, la trayectoria de tasas diarias implícita en los resultados del cuadro 1, aparecen en el gráfico 4 para cada una de las semanas en el estudio, con un horizonte de 40 trimestres, así como un rango correspondiente a 2

desviaciones estándar. A su vez, el gráfico 5 presenta estas curvas en forma traslapada en un horizonte que va hasta abril de 1998, así como la evolución efectiva de la tasa interbancaria diaria.

4.4 Interpretación de los resultados

La interpretación de estos resultados requiere postular hipótesis auxiliares respecto al premio por madurez implícito en la curva forward. En efecto, el premio por madurez puede estar relacionado con el riesgo no sistemático en el retorno de los instrumentos del Banco Central, una compensación por el grado de liquidez, restricciones de arbitraje u otras características relevantes del mercado. Si este premio es nulo o lo suficientemente pequeño, entonces la curva *forward* corresponde a una buena aproximación de la trayectoria de las tasas de interés que esperan los participantes del mercado, que no necesariamente coincide con la trayectoria de expectativas racionales. Si el premio por madurez es significativo, pero constante en el tiempo, entonces aunque el nivel de la curva estimada no corresponde exactamente a la trayectoria esperada de las tasas, sus movimientos en el tiempo pueden interpretarse como cambios en las expectativas subjetivas de tasas subyacentes en la curva forward. Por último, si el premio por madurez es significativo y variable en el tiempo, entonces la interpretación de los resultados requiere incorporar explícitamente un modelo para separar éste del componente de expectativas implícito en la curva forward, lo que está fuera del alcance de este estudio en particular. Hechas las salvedades correspondientes, los resultados pueden interpretarse bajo el supuesto de que el premio por madurez no es significativo o, alternativamente, que éste es constante.

En relación al período bajo estudio, desde septiembre de 1995 el Banco Central comenzó a elevar gradualmente la tasa de interés de corto plazo a través de un estrechamiento de las condiciones de liquidez, llevando su nivel al segundo tramo de la línea de crédito de liquidez, y posteriormente al tercero. A fines de 1995 se modificó al alza el nivel de la estructura de tasas activas y pasivas del Banco Central con el fin de acomodarlas al mayor nivel prevaleciente en el mercado, aunque sin cambiar el objetivo instrumental para las tasas diarias. Luego, en abril del presente año, la política monetaria impulsó un estrechamiento adicional de las condiciones de liquidez, apuntando las tasas de interés de corto plazo al tercer tramo de la línea de crédito de liquidez, en torno a 7,5%.

En el gráfico 4 puede observarse que los agentes esperaban, para las semanas en estudio, que las tasas spot en el largo plazo se ubicarán aproximadamente en 6,1%, nivel que no ha variado significativamente luego del ajuste de tasas que ha involucrado las tasas

de interés de corto plazo. Respecto a la trayectoria de corto plazo de las tasas, en el gráfico 5 se aprecia que, una vez iniciado el ajuste, los agentes económicos estimaban que éstas demorarían aproximadamente 5 trimestres, agosto de 1997, en volver al nivel que presentaban antes del ajuste, en torno a 6,8%. Sin embargo, en mayo, un mes después, este horizonte se había reducido a 4 trimestres, verificándose expectativas que el ajuste tendría efectos más rápidos de lo que reflejaba la curva anterior. En efecto, se observa un giro hacia un mayor nivel de tasas en el corto plazo, pero con una mayor velocidad de convergencia hacia su nivel de largo plazo, situación que se acentúa levemente en la última semana de junio.

Estos resultados se comparan con la experiencia histórica reciente para verificar su plausibilidad. Bajo el supuesto de expectativas racionales y primas por madurez no significativas, las tasas forward antes estimadas corresponden a las expectativas de los agentes de la tasa de retorno spot que prevalecerá en cada período futuro.¹¹ Se estima la media histórica de las tasas de los PRBC y su evolución a través de un proceso ARMA. Los resultados de la estimación se presentan en el cuadro 2 para el periodo 1985-1996, que coincide con el período en que la tasa de interés ha sido el objetivo instrumental de la política monetaria, y también para el período más reciente, 90-96, cuyo inicio marca un quiebre en la institucionalidad monetaria al comenzar la etapa de autonomía del Banco Central. Se puede observar que la tasa de interés de largo plazo obtenida del estudio de 6,1% es algo menor al promedio histórico del período más reciente, 1990 a abril de 1996, que es de 6,4%. Sin embargo, se debe destacar que el error estándar para este promedio, entre paréntesis en el cuadro, es bastante alto, alcanzando el 1%.

La comparación de la proyección dinámica del modelo ARMA, que reemplaza los rezagos en el proceso por los valores proyectados, respecto a la trayectoria implícita en las semanas bajo estudio indica que la convergencia implícita en la estructura de tasas es algo más lenta de lo que podría esperarse de la experiencia histórica. En efecto, como se observa en los Gráficos 7 y 8, esta proyección indica que la tasa de los PRBC llegaría a 6,8% a principios de 1997, cerca de un trimestre antes de lo que indican la curva de tasas *forward* para operaciones a 90 días correspondientes a las últimas semanas de mayo y junio, y dos

¹¹En relación a la hipótesis de expectativas racionales, Campbell (1995) concluye de la revisión de la literatura empírica sobre la curva de retorno que la evidencia es mixta: el spread entre las tasas de interés de corto plazo y de largo plazo tiende a predecir la evolución de las tasas de corto plazo, sin embargo, no es útil para predecir la evolución de las tasas de largo plazo, aunque existen problemas econométricos importantes en éste último caso.

trimestres antes respecto a la curva *forward* de la última semana de abril (Gráfico 9). La trayectoria para los trimestres siguientes refleja, sin embargo, un mayor grado de divergencia entre las predicciones de los modelos ARMA y aquellas de las curvas *forward*. En efecto, el modelo ARMA predice que a fines de 1997, las tasas de los PRBC están en niveles cercanos al 6%, mientras que la curva *forward* indica niveles superiores, entre 0,4% y 0,6%. Asimismo, la proyección converge a un nivel de largo plazo inferior al implícito en las curvas *forward*, particularmente, la estimación que abarca el período completo, 1985:1 a 1996:4, coherente con el menor promedio histórico de tasas, pero, como ya se ha señalado, existe considerable incertidumbre respecto a este promedio.

Una interpretación de los resultados de esta comparación es que la curva *forward* incluye un premio por madurez positivo y significativo. En efecto, la evidencia histórica de diversos países indica que la curvas de retorno tiene normalmente una pendiente positiva, es decir, a mayor plazo, mayor retorno promedio. En la medida que esta situación se mantiene en el tiempo, y las tasas de interés cortas no muestran una tendencia sostenida al alza, la inclinación positiva de la curva de retorno es coherente con la existencia de un premio de madurez significativo.

Cabe señalar, sin embargo, que la mayor parte de la evidencia internacional se refiere a bonos nominales, en contraste con los pagarés indexados considerados en este estudio, predominantes en el mercado chileno. En efecto, existen muy pocos estudios sobre la estructura de tasas de interés reales. La investigación de Brown y Schaefer (1994) para el premio por riesgo en Inglaterra, uno de los pocos países industrializados que cuentan con bonos indexados, calcula el spread histórico en términos reales para los promedios de 1984 a 1989. Los resultados se muestran en el cuadro 3. Estos resultados indican que, en promedio, la curva de rendimiento tiene pendiente positiva, existiendo un premio positivo para los pagarés a mayores plazos. De manera similar, para el caso chileno, el promedio del spread entre los PRBC a 90 días y los PRC a 8 años, entre 1992 y marzo de 1996, es de 0.26%. Esto último, junto con las cifras expuestas para el caso inglés, apunta en el sentido que resulta razonable pensar que existe un premio real creciente con el plazo. Este premio sería capturado en la estimación empírica de la curva *forward*, llevando a una estimación de las expectativas sobre la dinámica de las tasas que estaría sesgada hacia arriba. En términos de los gráficos 4 y 9, la convergencia efectiva de las expectativas de tasas de interés sería más rápida que la estimada en el modelo.

5. Conclusiones

Este trabajo ha mostrado una metodología simple de estimación de la curva de tasas forward a partir de los precios de transacciones de documentos del Banco Central. El modelo paramétrico de NS es atractivo por la simplicidad de su formulación, la facilidad de interpretación de sus parámetros, y porque tiene un grado de precisión comparable o superior a métodos más sofisticados de estimación y, en todo caso, suficiente para los fines de análisis monetario. Y la curva forward es un instrumento útil para el seguimiento del mercado de renta fija, que entrega información pertinente sobre las expectativas del mercado financiero respecto del curso de la política monetaria.

Partiendo de un nivel de tasas relativamente alto en términos históricos, las curvas forward estimadas indican que las tasas convergen hacia niveles menores, aunque más lentamente de lo que podría esperarse de la experiencia histórica. Asimismo, convergen a un nivel superior del promedio del período 85-96, y también superior al nivel que se observa internacionalmente. Estas observaciones son compatibles con la existencia de un premio positivo por madurez, aspecto que no ha sido abordado en este estudio.

Referencias

Brown, R. H. y S. M. Schaefer (1994), "The Term Structure of Real Interest Rates and the Cox, Ingersoll, and Ross Model", *Journal of Financial Economics*, 35(1): 3-42.

Campbell, J. Y. (1995), "Some Lessons from the Yield Curve", NBER Working Paper 5031, Cambridge, MA: NBER.

Deacon, M. y A. Derry (1994), "Estimating Market Interest Rate and Inflation Expectations from the Price of UK Government Bonds", *Bank of England Quarterly Review*, August: 232 - 240.

McCulloch, J. H. (1971), "Measuring the Term Structure of Interest Rates", *Journal of Business*, 44(1): 19-31.

McCulloch, J. H. (1975), "An Estimate of the Liquidity Premium", *Journal of Political Economy*, 83(1): 95-119.

Nelson, C. R. and A. F. Siegel (1987), "Parsimonious Modeling of Yield Curves", *Journal of Business*, 60(4): 473-89.

Svensson, L. E. O. (1993), "Estimating Forward Interest Rates", *Sveriges Riskbank Quarterly Review* 1993(3): 32 - 42.

Svensson, L. E. O. (1994), "Monetary Policy with Flexible Exchange Rates and Forward Interest Rates as Indicators"; *National Bureau of Economic Research Working Paper* 4634.

Svensson, L. E. O. (1995), "Estimating Forward Interest Rates with the Extended Nelson & Siegel Method", *Sveriges Riskbank Quarterly Review* 1995(3): 13 -26.

Cuadro 1

Mínimos Cuadrados No Lineales

Ultima semana de marzo a junio de 1996.

Parámetros	25/03	29/04	27/05	24/06
β_0	0.0580	0.0594	0.0604	0.0580
β_1	0.0076	0.0125	0.0119	0.0143
β_2	0.0000	-0.0062	-0.0112	-0.0102
τ	4.8222	2.8871	2.6333	2.4957
$f(\infty)$	5.97%	6.12%	6.23%	5.97%
$f(0)$	6.77%	7.45%	7.50%	7.50%
n° obs	96	42	77	85
error est.	0.001	0.002	0.002	0.003
max lerrorl	0.005	0.006	0.008	0.009

Cuadro 2

Modelos ARMA Para Tasas Promedio Mensuales de los PRBC

	1985:01 - 1996:04	1990:01 - 1996:04
C	6.005 (0.286)	6.374 (0.214)
AR(1)	1.937 (0.030)	1.062 (0.101)
AR(2)	-0.948 (0.029)	0.682 (0.152)
AR(3)	-	-0.785 (0.087)
MA(1)	-0.881 (0.058)	0.122* (0.102)
MA(2)	-	-0.860 (0.100)
Promedio Var. Dep.	5.855 (1.369)	6.446 (0.992)
Nº de Observaciones	134	76
R ² Ajustado	0.959	0.929

Error estándar entre paréntesis.

Todos los parámetros son significativos al 1% excepto * (t = 1.2).

Cuadro 3

Spread Histórico Para Inglaterra: 1984 a 1989

Plazo	Spread Real
0 a 1 año	0.40%
0 a 2 años	0.47%
0 a 3años	0.53%
0 a 5años	0.62%
0 a 10años	0.73%
0 a 20años	0.53%
0 a 30 años	0.27%

$r(0) = 3.16\%$

GRAFICO 1

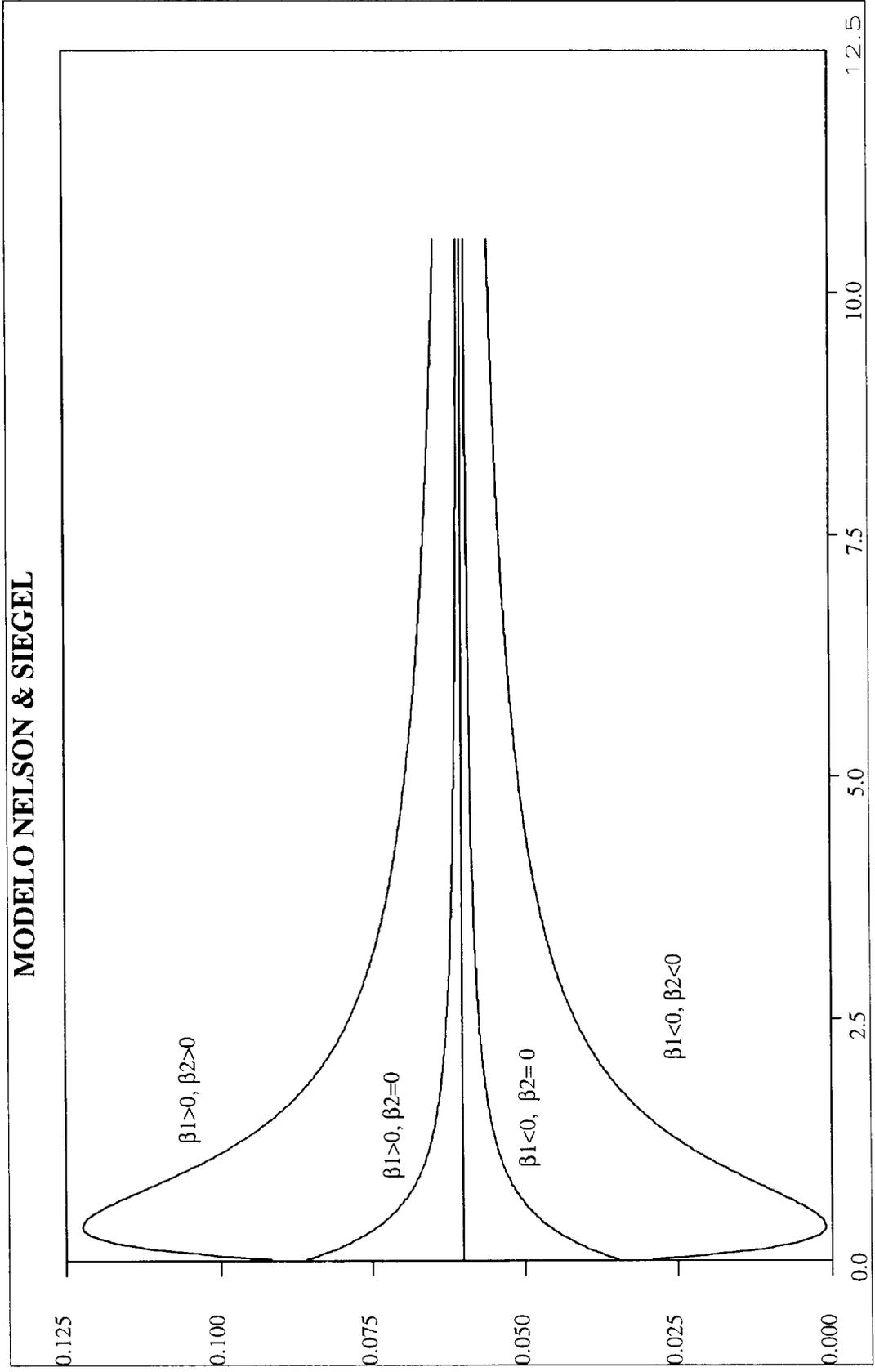


GRAFICO 2

TIR DE LOS PAGARES DEL BANCO CENTRAL

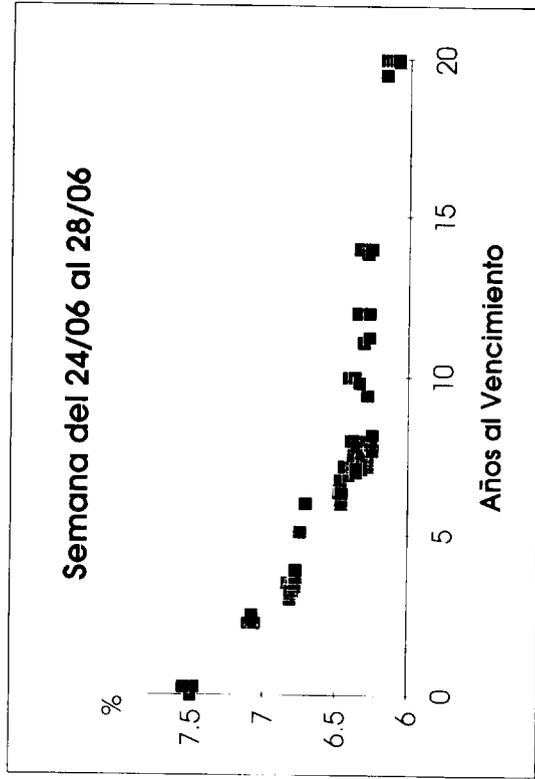
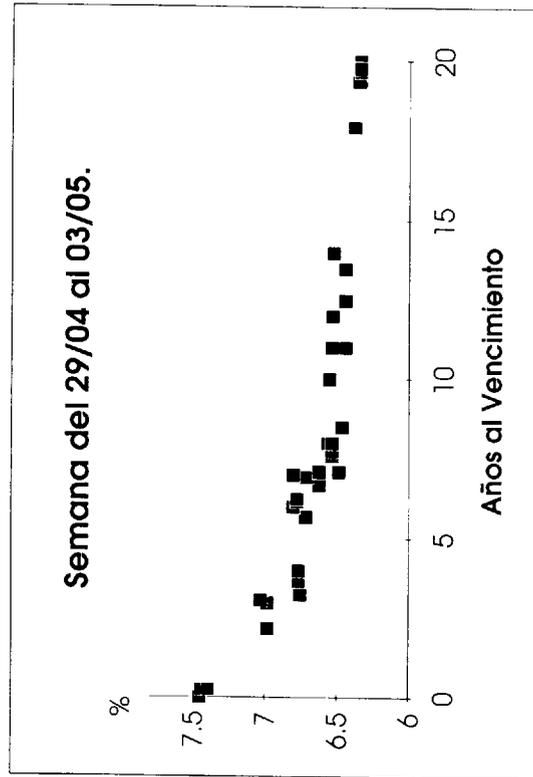
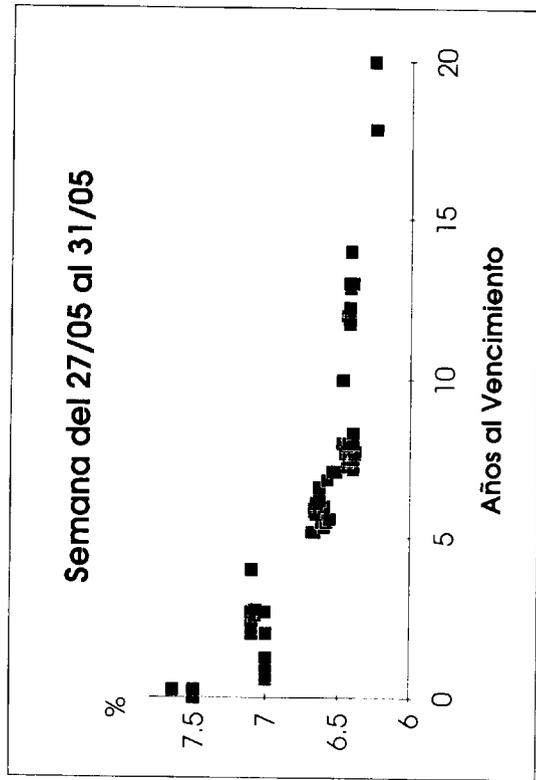
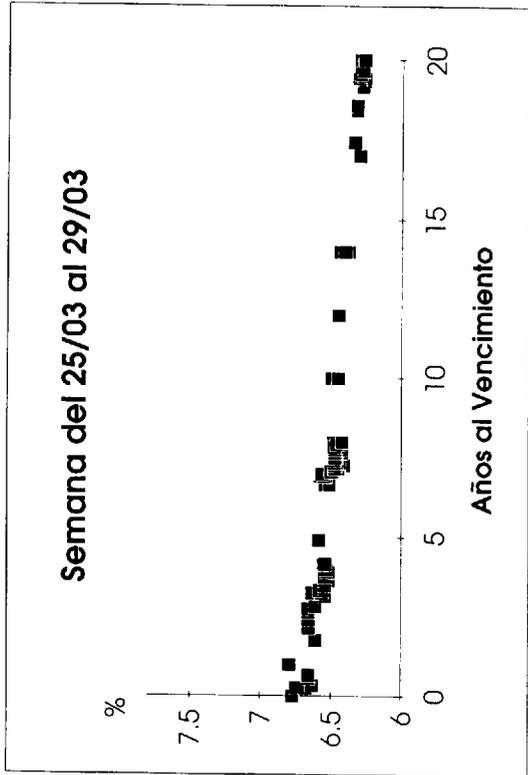


GRAFICO 3

Distribución de los Datos Por Plazo Residual

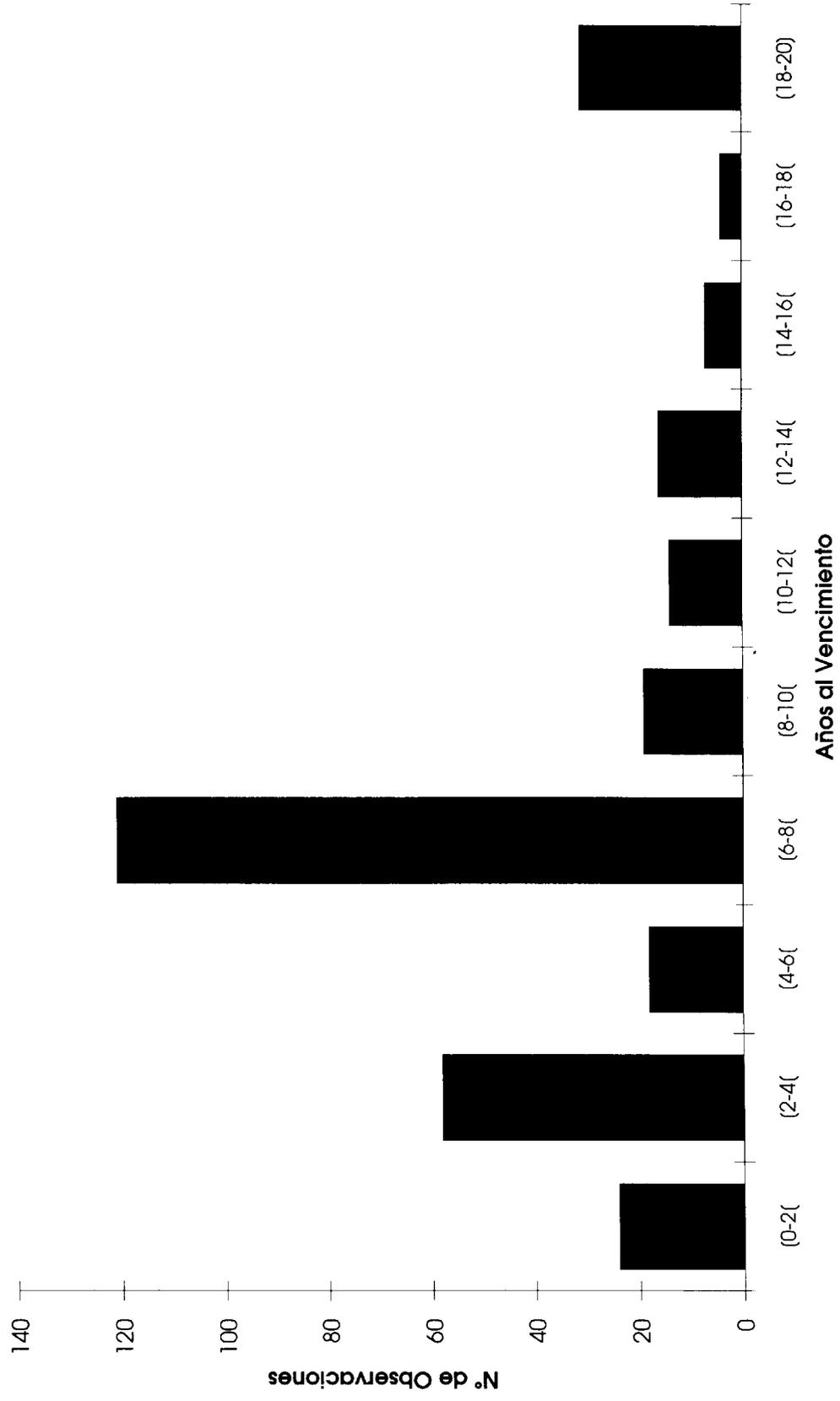


GRAFICO 4

CURVA DE TASAS FORWARD

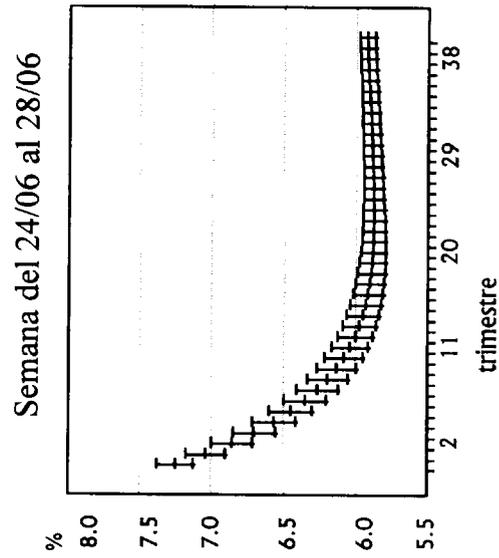
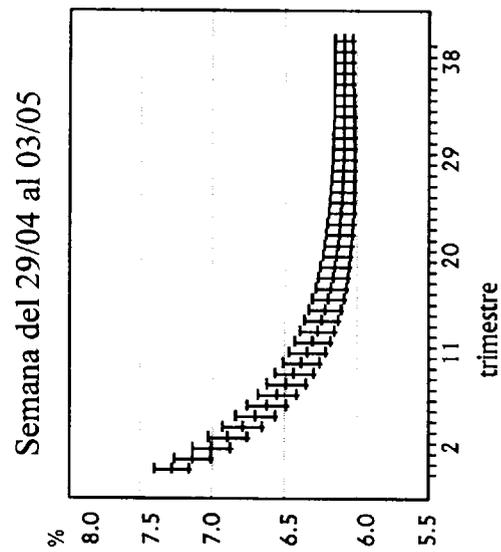
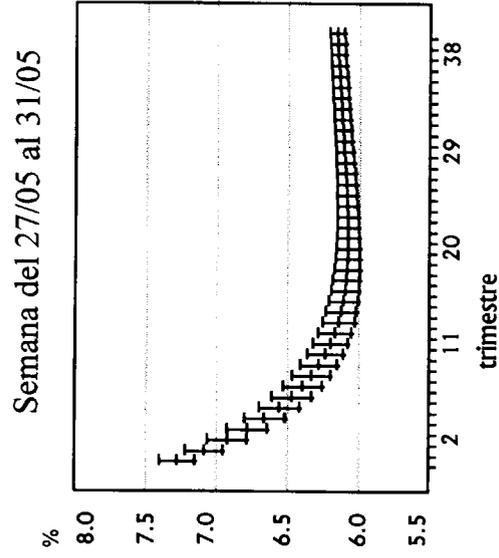
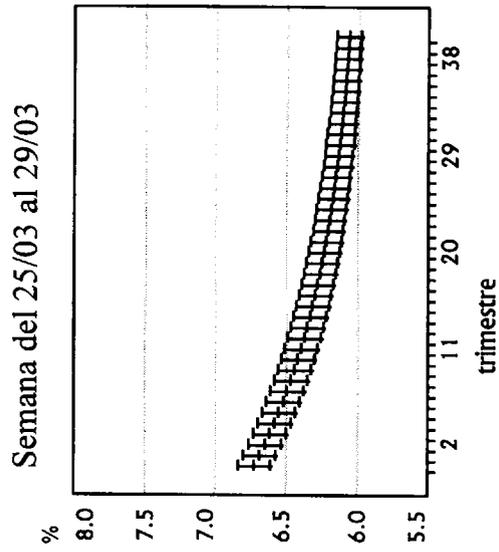


GRAFICO 5

Evolución Curvas Forward y Tasa de Interés Interbancaria

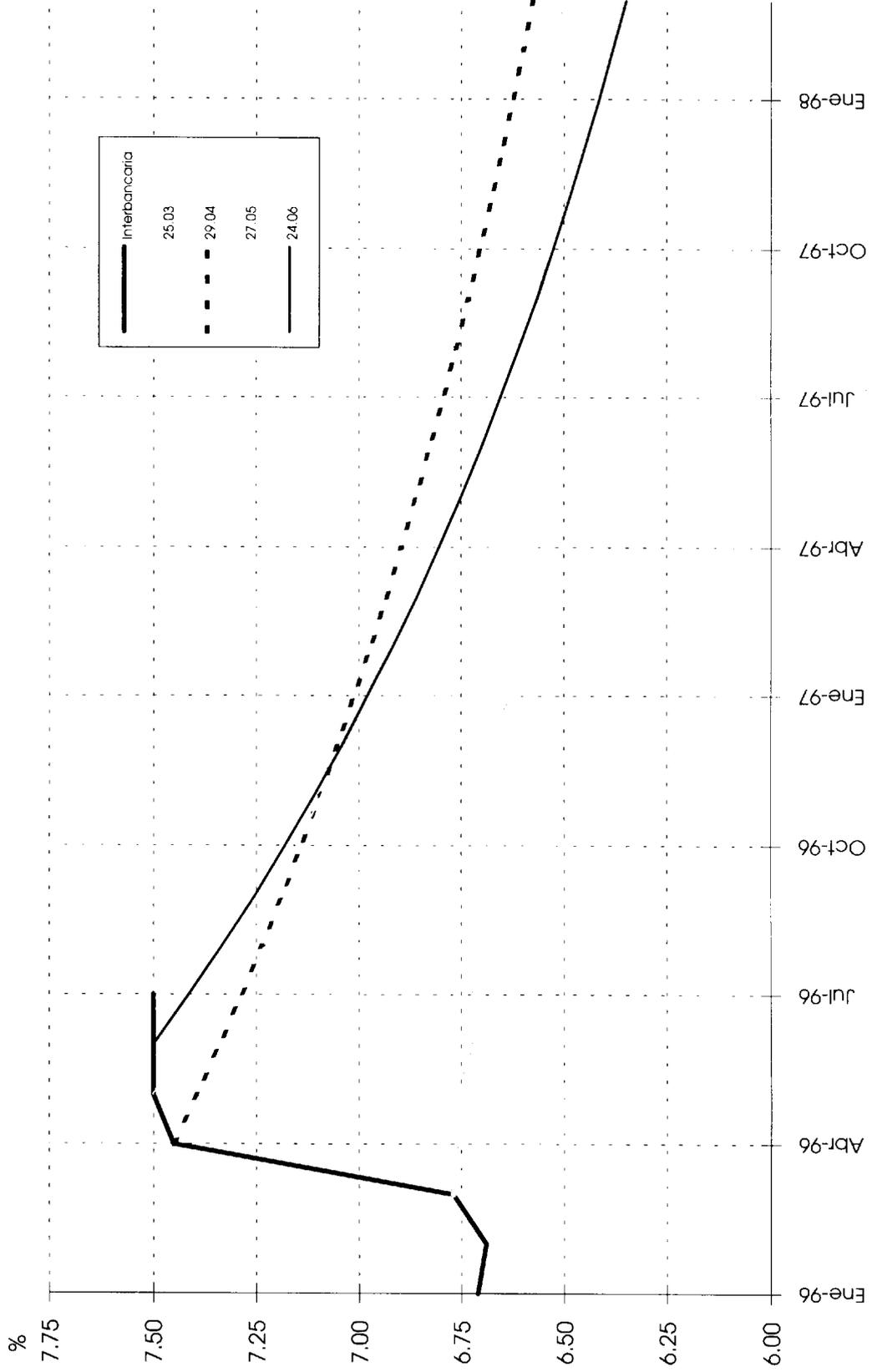


GRAFICO 6

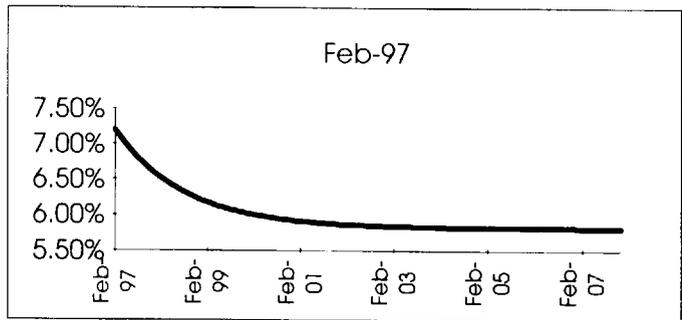
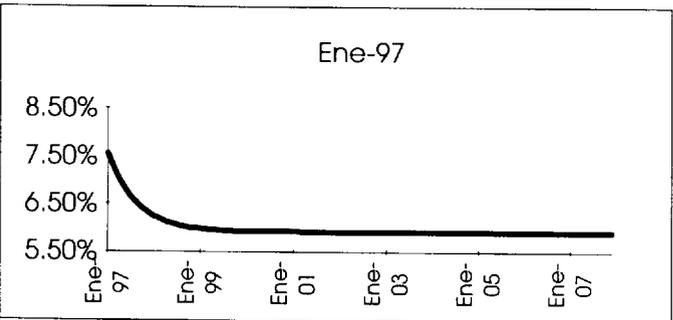
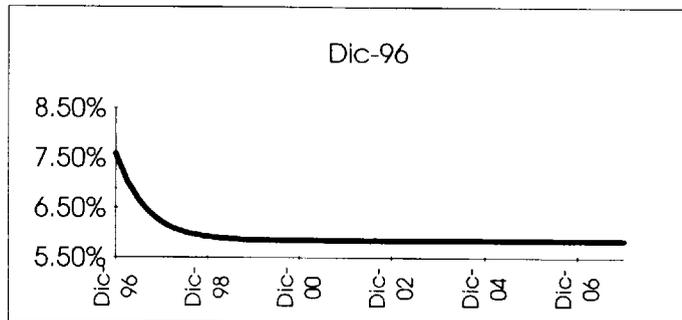
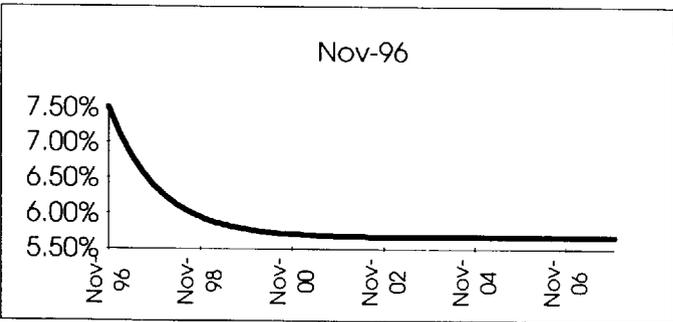
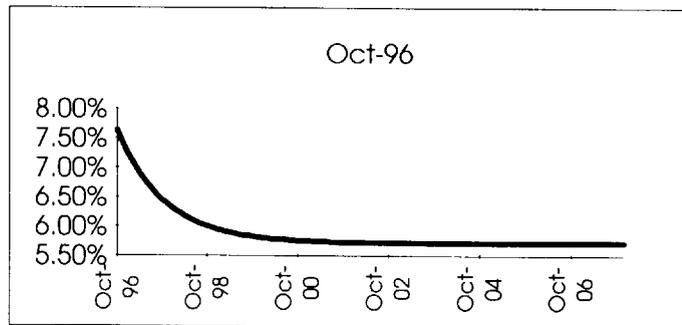
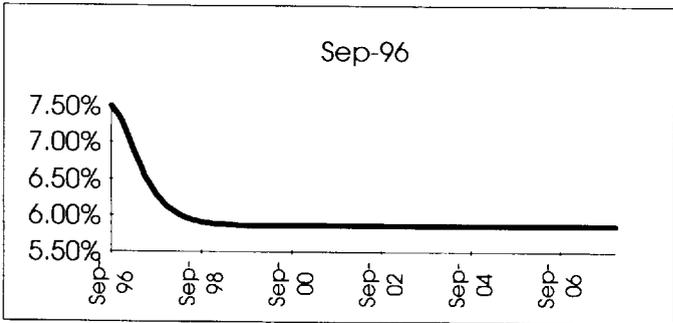
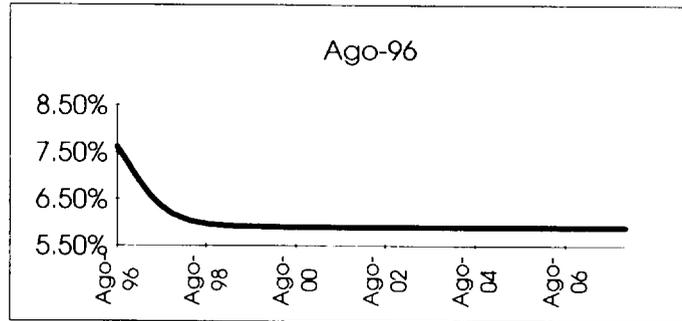
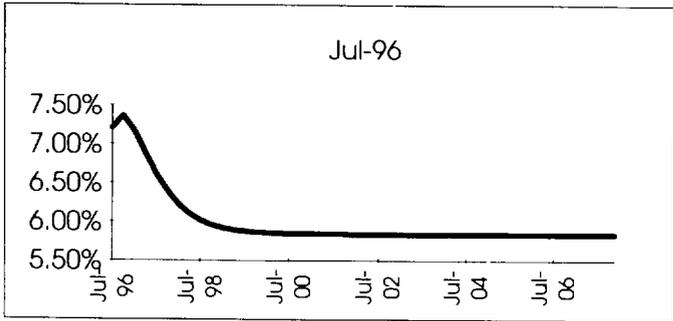
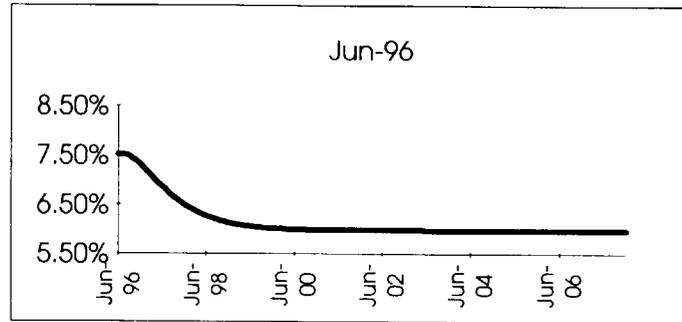
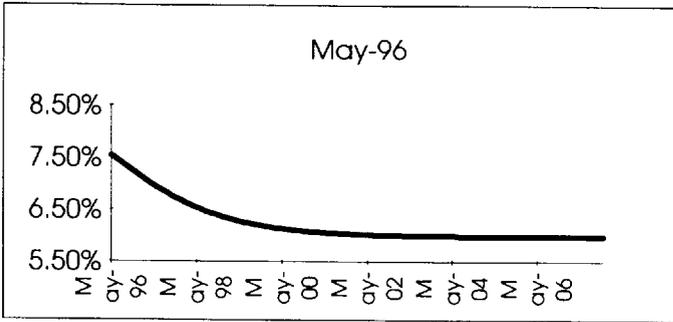


GRAFICO 7

Proyecciones sobre PRBC

modelo arma(2,1) 85:1-96:4

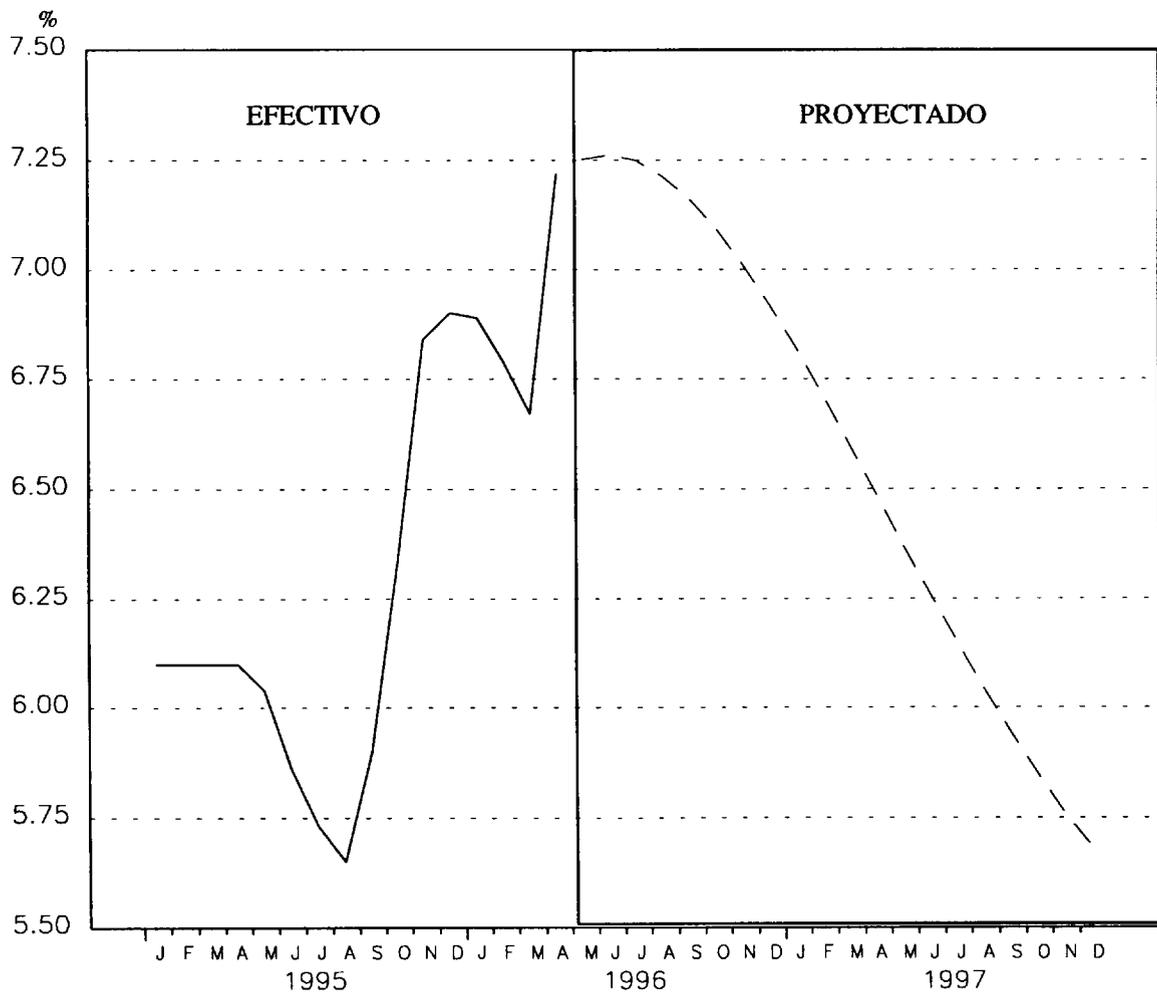


GRAFICO 8

Proyecciones sobre PRBC

modelo arma(3,2) 90:1-96:4

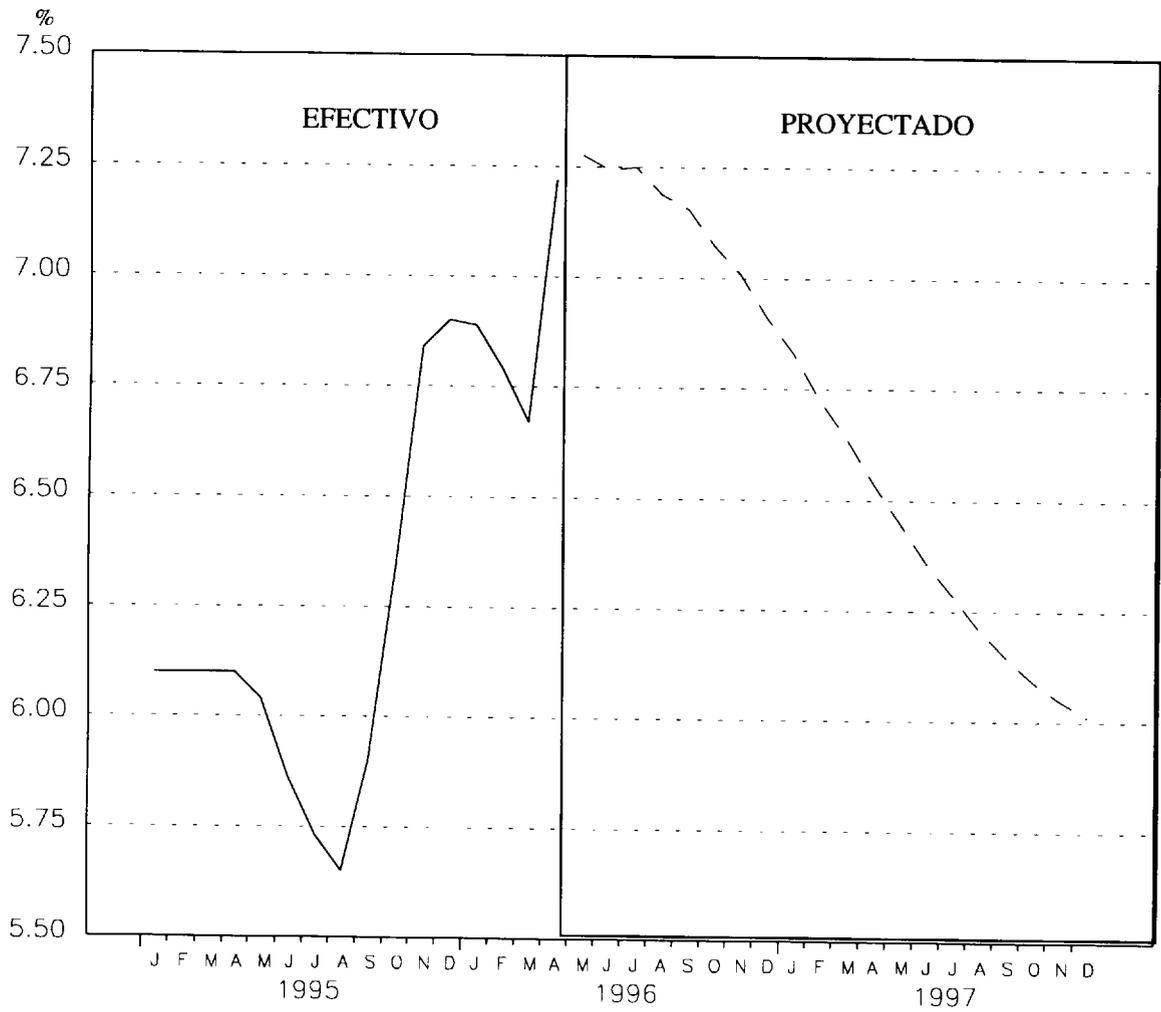


GRAFICO 9

Evolución Curvas Retorno 90 días y Tasa de Interés de los PRBC

