

La Curva Spot (Cero Cupón) Estimación con Splines Cúbicos Suavizados: Programa en Excel*

Introducción.

Este documento describe el uso del programa para la estimación de la curva spot (Cero Cupón) que se describe en el artículo del mismo nombre en la serie "Lecturas en Finanzas". Debido a que "Visual Basic para Aplicaciones", VBA, no es una herramienta muy adecuada para la programación científica (en comparación con lenguajes como SAS, Matlab, Mathematica o Gauss), esta aplicación es exigente en términos de la máquina en que se debe ejecutar. De igual forma, como VBA ha recibido modificaciones con cada versión, el programa podría fallar si se ejecuta en versiones distintas de Office a la versión de programación.

Existen diversas metodologías para la estimación de la curva "spot" y cada una de ellas tiene sus ventajas y desventajas comparativas. Es importante resaltar que no existe una metodología única para la estimación de la curva Spot. En efecto, cada persona de acuerdo con sus necesidades puede desarrollar su propia metodología y la validez de una u otra depende de su uso particular. Por ejemplo, una "buena" curva para "trading" es aquella que en promedio produce más ganancias que pérdidas en el ejercicio del "trading". Sin embargo, una "buena" curva para valoración es aquella que en promedio comete menos errores en la valoración de los títulos que no se tranzaron en un día particular. Finalmente, una "buena curva para medición de riesgo es la que descubre más fácilmente los eventos "outlier" que pueden afectar el valor de un título o un portafolio.

En conclusión, cada usuario es responsable del uso y beneficios que reciba de una metodología particular para estimar la curva.

Requerimientos Básicos.

El programa fue desarrollado en un computador con procesador Pentium 4 de 1.5 Mg con 256 Mg de memoria RAM y sistema operativo Windows-2000 versión 5.00.2195 Service Pack 2. El programa se escribió en el lenguaje VBA de Excel 2002 (Xp) con Service Pack 1.

* Los resultados, opiniones y comentarios que se encuentran en este artículo y el artículo que describe la metodología son responsabilidad exclusiva de los autores y no comprometen al BANCO DE LA REPUBLICA ni a su junta directiva. El uso del programa que se describe en este documento es responsabilidad del usuario y las pérdidas o ganancias derivadas de su uso no son responsabilidad de los autores, del BANCO DE LA REPUBLICA o de su junta directiva.

Para su ejecución el programa requiere un computador con un procesador Pentium 3 con un mínimo de 256 Mb de memoria RAM en compañía del office 2002 (Xp).

Descripción del programa.

Este programa **estima** la curva cero cupón para bonos TES tasa fija a partir de la información sobre las operaciones de bonos TES B tasa fija en pesos que se realizan en la *fecha de liquidación*.

La metodología para la estimación de la curva que se utiliza este programa es la de splines suavizados sobre la curva forward instantánea.

Splines de Regresión.

Un spline de regresión es una aproximación a una curva desconocida (la forward instantánea en este caso) de la cual sólo se conocen algunos puntos observados (los flujos de los diferentes bonos) a través de la unión continua de polinomios cúbicos en puntos que se conocen como *nodos*. La figura 1 muestra la conformación de un spline con cuatro nodos (es decir, la unión de tres polinomios cúbicos), que intenta aproximar unos puntos observados (valor de la forward implícita en los diferentes flujos).

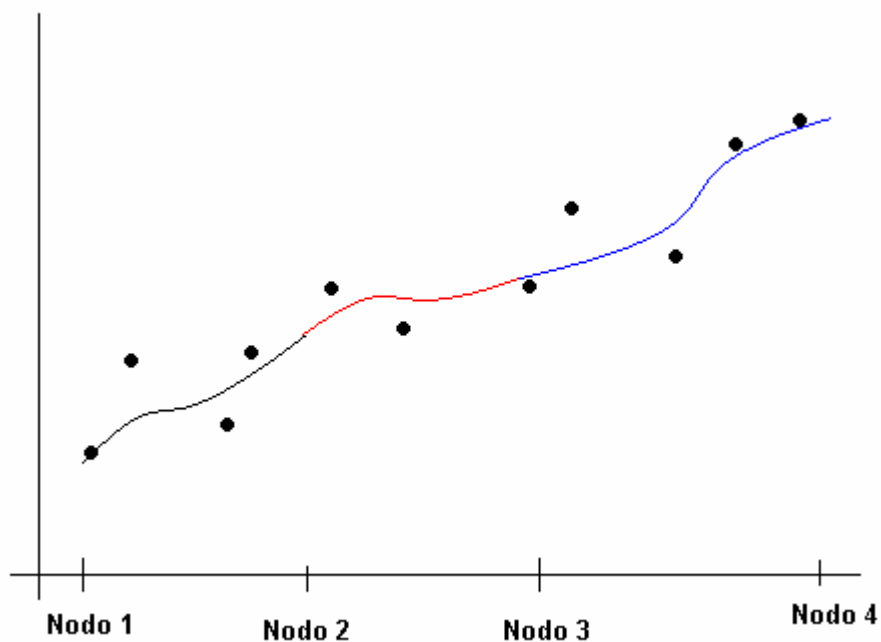


Figura 1. Spline con cuatro nodos y puntos que aproxima

Los splines se ajustan a los puntos observados al cambiar los coeficientes de los polinomios. Por esta razón, el ajuste de la curva spot a partir de splines es simplemente una regresión no lineal donde las variables independientes son los splines.

Es claro de esta gráfica que entre más nodos se utilicen, mejor será la aproximación a la curva forward, y también es claro que si los nodos se localizan exactamente sobre un punto observado, la curva spline se ajusta perfectamente al dato observado en el citado punto. Sin embargo, esto viene con el costo de que la forward va a mostrar oscilaciones en periodos muy cortos, y esto genera una curva spot estimada muy variable.

En análisis de regresión se reconoce que el sobreajuste a los puntos observados en la muestra implica que el ajuste a los puntos que se quieren pronosticar (el valor de la forward para los bonos que no están en la muestra pero que se quieren valorar en esta fecha de liquidación) no va a ser adecuado, y entonces los bonos que no están en la muestra van a ser valorados erróneamente.

En conclusión, un número “grande” de nodos o un “sobreajuste” de los nodos a las fechas de los flujos no es aconsejable en términos de la valoración de bonos que están por fuera de la muestra.

El programa anexo permite la introducción manual de las fechas de los nodos (por lo menos cuatro), que deben estar entre la fecha de liquidación y la fecha de vencimiento del bono más largo en la muestra. Sin embargo, si no se introducen fechas de nodos o no se introducen suficientes, el programa automáticamente selecciona un esquema de nodos similar al usado por Fisher, Zervos Y Nishka(1999) para la curva norteamericana. Vale la pena anotar que el primer y último nodos son por definición la fecha de liquidación y la fecha de vencimiento del bono más largo en la muestra.

Este programa “estima” opcionalmente el parámetro de suavización lambda a través de la minimización de una medida de la dimensionalidad del modelo. Esto es lo que se conoce como Validación Cruzada Generalizada, y es el método que se expone en el artículo mencionado anteriormente.

Bases B-Spline

Una base B-spline es una metodología para generar las variables del spline de tal forma que se reducen problemas de cómputo numérico, lo cual lleva a un algoritmo más estable. La implementación que se encuentra en este programa se basa en las bases B-Spline.

Splines de Suavizamiento.

Los splines de regresión gozan de muchísima popularidad por su facilidad de implementación y porque (dependiendo de la ubicación de los nodos) puede lograr aproximaciones dentro de muestra arbitrariamente buenas. Sin embargo, tienen la desventaja de producir estimaciones de la curva forward con demasiadas oscilaciones y esto ha sido visto como una desventaja.

Para solucionar este problema se propone penalizar las aproximaciones que muestren oscilaciones fuertes. Una medida de la rugosidad (o falta de suavidad de una curva) es la integral de la segunda derivada al cuadrado de esta. Entre más grande sea éste valor, más oscilaciones presentará la curva. Por ejemplo, si denotamos como $f(\tau)$ a la forward instantánea al plazo τ , su rugosidad sería proporcional a

$$\int_0^T [f''(\tau)]^2 d\tau$$

si en el proceso de hallar los coeficientes del spline que generan la mejor aproximación (minimizar la suma de cuadrados de los errores de valoración de los bonos en la muestra, $\sum_i \varepsilon_i^2$, minimizamos una ecuación de la forma

$$(1-\lambda)\sum_i \varepsilon_i^2 + \lambda \int_0^T [f''(\tau)]^2 d\tau$$

donde $0 \leq \lambda \leq 1$, entonces la curva forward estimada va a ser más o menos suave, de acuerdo con el valor de λ .

En la implementación actual no es necesario introducir un valor para el parámetro lambda. Cuando esto sucede, el programa determina un lambda óptimo en el sentido que minimiza la dimensionalidad del modelo. Es claro que entre más pequeño el valor de lambda, los errores de valoración de los bonos dentro de la muestra tiende a ser menores pero la de los bonos por fuera de la muestra tiende a desmejorar. Un valor muy grande de lambda implica una curva spot demasiado suave o incluso una línea recta.

Validación Cruzada Generalizada: Hallando lambda

Este procedimiento consiste en determinar el valor del parámetro lambda que minimiza una medida de la dimensionalidad del modelo.

Las pruebas preliminares con nuestro modelo muestran que cuando la curva está arbitrada el valor del parámetro lambda es pequeño, hasta de 0.0003, lo cual sucede si se toman transacciones sólo del SEN. En cambio, el parámetro lambda toma valores altos, hasta 0.99, si el mercado no está arbitrado o si se incluye información del MEC también. Sin embargo, Valores pequeños de lambda también pueden ser problemáticos porque generan una spot ondulante.

El valor del parámetro lambda que arroja el programa es una aproximación que en algunos casos no resulta ser adecuada. La elección del valor del parámetro lambda adecuado es una cuestión que requiere conocimiento del mercado y criterio, dos cualidades que sólo se obtienen luego de realizar el ejercicio de ajustar la curva durante algún tiempo.

Tome su tiempo para cambiar los valores de lambda, e identifique en cada paso el efecto del cambio con respecto a lo que sucedió en el mercado. Luego de realizar este ejercicio una decena de veces, se dará cuenta que su criterio para seleccionar el parámetro lambda se va afinando.

Operación del Programa.


Si su computador cumple con los requisitos descritos anteriormente, existe una probabilidad muy alta de que la aplicación se ejecute sin errores. Sin embargo, si se llegaran a presentar, por favor realice las verificaciones descritas más adelante, y si es el caso, envíe un reporte a las direcciones descritas.

Guarde el archivo que contiene el programa en cualquier directorio de su predilección. Si el programa se daña, puede obtenerlo de la dirección http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/lectusem/indice1-4.htm. Es buena idea chequear esta dirección por si se han producido actualizaciones que amplíen la capacidad del programa o se hayan corregido errores.

Es recomendable que mantenga sus datos y resultados de la estimación de la curva spot en un archivo diferente. Esto no afecta la operación del programa siempre y cuando se tengan los dos archivos abiertos. Es también recomendable que mantenga archivos separados para cada día con el fin de no recargar la memoria del computador y generar errores por falta de memoria.

Abra el archivo adjunto llamado "SmSpIForEncCVDDMMYY.xls" donde DDMMYY se refiere a la fecha de la última actualización del programa.

1. Excel advierte que este programa contiene macros y da la opción de habilitarlas. Habilite las macros ya que de otra forma el programa no se puede ejecutar. Vea el gráfico 1.
Es recomendable que le asigne un botón para la ejecución automática de la macro.

2. Luego aparece una hoja en Excel con la información necesaria para la estimación. Vea gráfico 2.
 - a. En la celda “A1” aparece la fecha de liquidación para la cual se quiere estimar la curva.
 - b. En los rangos “A4:A13”, “B4:B13” y “C4:C13”, como el título lo indica, son la Fecha de Vencimiento, el Precio Sucio promedio ponderado por volumen de transacción, y el Valor del Cupón para los diez títulos que se tranzaron en la fecha de liquidación.
Note que este programa opera exclusivamente sobre títulos completos. En una actualización posterior se permitirá el uso de cupones o principales.
 - c. La celda “H4” contiene un valor arbitrario para el parámetro lambda con el que se quiere estimar la curva spot.
 - d. El rango “I4:I10” contiene unas fechas arbitrarias para los nodos del spline.
3. Verifique que las columnas “A” a “G” de la hoja “25ABR02_A” estén en blanco y seleccione de nuevo la hoja “25ABR02”.
4. Seleccione el menú de “Herramientas” de Excel y tome la opción “macro”, y dentro de esta la opción “macros”, luego de lo cual aparece una pantalla como la que está en el gráfico 3. Seleccione la macro “SmoothingSplines” y haga clic sobre el botón “Ejecutar”, luego de lo cual aparece una pantalla como la del gráfico 4.
5. Haga clic sobre la casilla de selección de rango  de uno de los parámetros, por ejemplo “Fecha de Liquidación” y haga clic sobre el botón derecho que tiene el signo “menos”. Marque la celda correspondiente que tenga el valor, y en la casilla de selección de rango debe aparecer '25ABR02'!\$A\$1. Seleccione ahora las demás casillas de selección de rango para los parámetros obligatorios (deje la casilla de selección de rango vacía para el parámetro opcional “Fecha de Nodos”), y seleccione los rangos adecuados, luego de lo cual debe aparecer una pantalla como la del gráfico 5. Note que para el campo “Celda Sup Izq Rango Salida” seleccionamos la celda “A1” de una hoja diferente *que está en blanco*. Es necesario hacer esto porque el programa sobrescribe sobre un rango considerablemente grande de la hoja y puede dañar datos que usted tenga en la hoja actual.
Note que en las casillas de la ventana de selección de rangos se deben introducir únicamente rangos, no valores. Si introduce valores, el programa reporta error.
6. Haga clic sobre el botón “Aceptar” y el programa empieza a ejecutar, lo cual puede tardar varios minutos, e incluso el computador puede parecer bloqueado durante la ejecución. La primera vez que ejecute el programa espere un máximo de 15 minutos, y si el computador no responde termine Excel y verifique los requerimientos de computador y software para la ejecución.
7. Al terminar la ejecución, desaparece la pantalla que pide los parámetros y en el rango de salida debe aparecer una pantalla como la del gráfico 6.
 - a. Las curvas estimadas se muestran siempre a partir de la primera fecha de cupón que aparezca en los bonos de la muestra.

- b. La curva Spot se muestra en tasa efectiva anual con interés compuesto discretamente, mientras que la forward y de descuento se muestran con interés compuesto continuamente para efectos de comparación.
- c. Se muestran las fechas de nodos efectivos utilizados.
- d. Se muestran los precios sucios estimados de los bonos en la muestra.
- e. Se muestra el valor del parámetro de suavizamiento, "lambda".
- f. Las columnas "PrecioObservado" y "Dif^2" sirven para realizar la comparación entre la apreciación estimada de los bonos y su precio sucio real.
- g. Se seleccionó este día particular porque es uno de los peores para la estimación de la curva, y espero que los resultados sean infinitamente mejores para los demás días de la muestra en el archivo Excel de ejemplos.

El gráfico 7 muestra la pantalla de selección de parámetros al asignar valores a los nodos del spline. Usted puede asignar los nodos de la manera como quiera, siempre y cuando haya por lo menos cuatro fechas que estén entre la fecha de liquidación y la del vencimiento del título más largo.

Reporte de Errores

En caso de que el programa muestre un error, verifique lo siguiente:

- 1. La muestra contiene menos de cuatro bonos distintos.
- 2. No se están introduciendo rangos en las casillas de la ventana de selección de parámetros.
- 3. Hay otra aplicación muy grande ejecutándose al tiempo con esta.
- 4. Memoria RAM insuficiente (=256 MB) en el computador.
- 5. Requerimientos de software; Windows XP y Office 2002.

Si luego de verificar estos problemas el error persiste, por favor envíe el archivo de datos a jjulioro@banrep.gov.co o areveihe@banrep.gov.co para su verificación.

Anexo 1. Gráficos

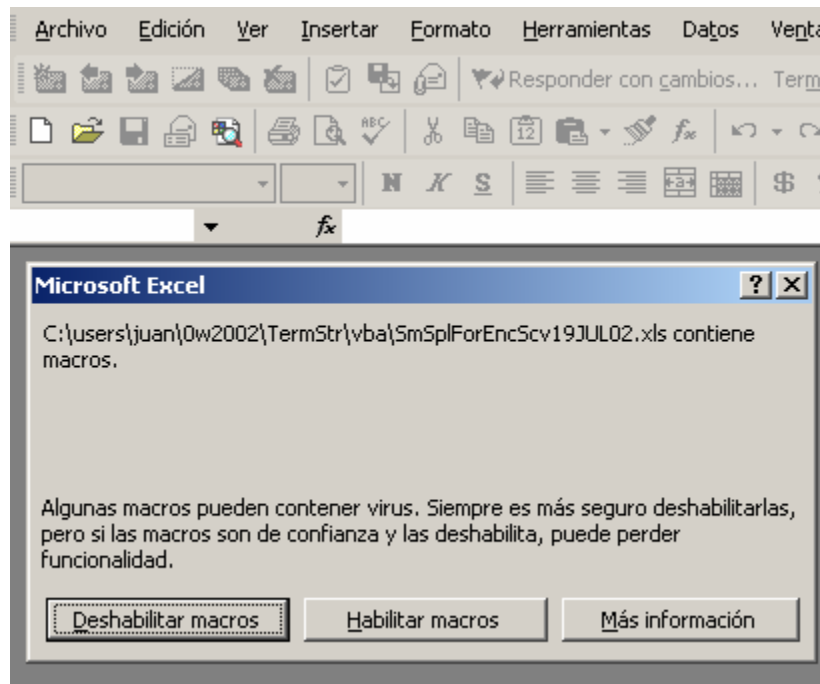


Gráfico 1. Habilite macros

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	25-Abr-02								
2									
3	FECHAVE	PSUCIO	CUPON					LAMBDA	NODOS
4	18-Mar-03	103.24900	0.12					0.001	10-Ene-02
5	16-Abr-04	107.50975	0.15					0.050	25-Abr-03
6	25-Jun-04	120.12573	0.15					0.148	25-Abr-04
7	04-Feb-05	111.31246	0.15					0.500	25-Abr-06
8	08-Nov-05	115.98800	0.15					0.800	25-Abr-08
9	03-May-06	120.83729	0.15						25-Abr-10
10	25-Jul-06	117.23271	0.15						25-Abr-12
11	22-Ago-08	113.81093	0.15						
12	12-Feb-09	106.78589	0.15						
13	25-Ene-12	105.89855	0.15						
14									
15									
16									

Gráfico 2. Hoja de Inicio

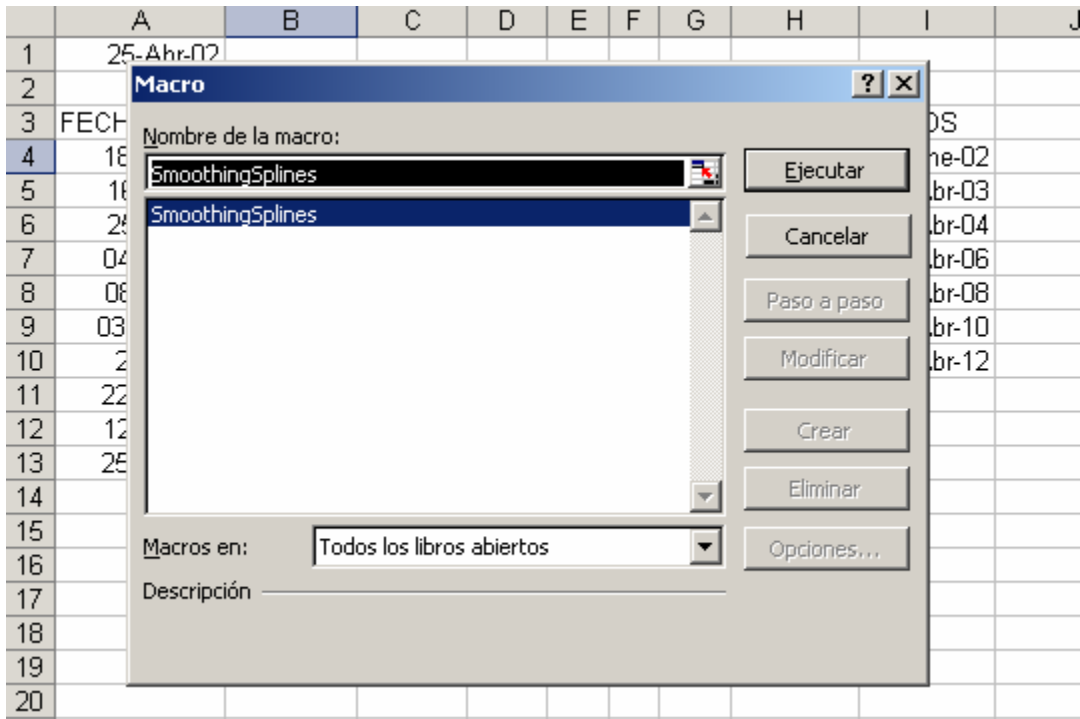


Gráfico 3. Selección de la Macro

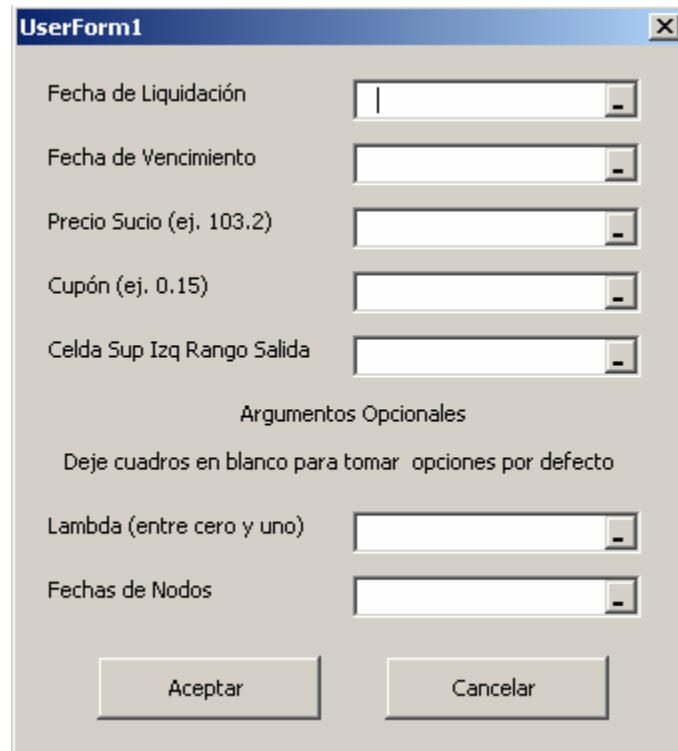


Gráfico 4. Selección de los Parámetros

The image shows a Microsoft Excel UserForm titled "UserForm1". It contains several input fields with the following labels and values:

- Fecha de Liquidación: '25ABR02'!\$A\$1
- Fecha de Vencimiento: '25ABR02'!\$A\$4:\$A\$13
- Precio Sucio (ej. 103.2): '25ABR02'!\$B\$4:\$B\$13
- Cupón (ej. 0.15): '25ABR02'!\$C\$4:\$C\$13
- Celda Sup Izq Rango Salida: '25ABR02_A'!\$A\$1

Below these fields is a section titled "Argumentos Opcionales" with the instruction "Deje cuadros en blanco para tomar opciones por defecto". It contains two more input fields:

- Lambda (entre cero y uno): (empty)
- Fechas de Nodos: (empty)

At the bottom of the form are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Gráfico 5. Parámetros Seleccionados sin Lambda ni Nodos Opcionales

	A	B	C	D	E	F	G	F
1	Fechas	Spot	Descuento	Forward	Nodos	PrecioEstim:	Lambda	
2	03-May-02	0.0854	1.00	0.08	25-Abr-02	103.316473	0.148200	
3	04-May-02	0.0854	1.00	0.08	25-Oct-02	107.912494		
4	05-May-02	0.0855	1.00	0.08	25-Abr-03	120.202659		
5	06-May-02	0.0855	1.00	0.08	25-Abr-05	111.216402		
6	07-May-02	0.0855	1.00	0.08	25-Abr-07	114.289003		
7	08-May-02	0.0855	1.00	0.08	23-Ene-12	121.625665		
8	09-May-02	0.0856	1.00	0.08		117.811974		
9	10-May-02	0.0856	1.00	0.08		114.012389		
10	11-May-02	0.0856	1.00	0.08		106.464488		
11	12-May-02	0.0857	1.00	0.08		105.916978		
12	13-May-02	0.0857	1.00	0.08				
13	14-May-02	0.0857	1.00	0.08				
14	15-May-02	0.0857	1.00	0.08				
15	16-May-02	0.0858	1.00	0.08				
16	17-May-02	0.0858	1.00	0.08				
17	18-May-02	0.0858	0.99	0.08				
18	19-May-02	0.0858	0.99	0.08				
19	20-May-02	0.0859	0.99	0.08				
20	21-May-02	0.0859	0.99	0.08				
21	22-May-02	0.0859	0.99	0.08				
22	23-May-02	0.0860	0.99	0.08				
23	24-May-02	0.0860	0.99	0.08				
24	25-May-02	0.0860	0.99	0.08				
25	26-May-02	0.0860	0.99	0.08				
26	27-May-02	0.0861	0.99	0.08				
27	28-May-02	0.0861	0.99	0.08				
28	29-May-02	0.0861	0.99	0.08				

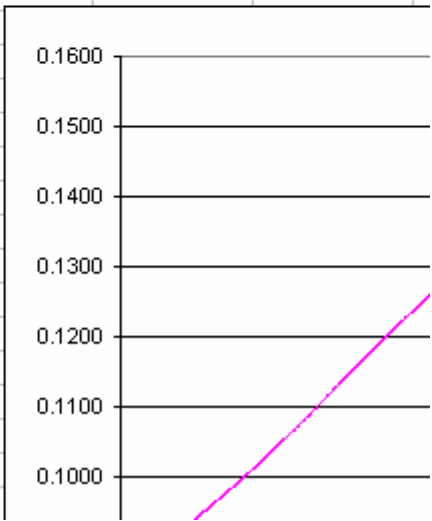


Gráfico 6. Rango de Salida.

The image shows a Windows-style dialog box titled "UserForm1". It contains several input fields with text labels to their left. Each field has a small dropdown arrow on its right side. Below these fields is a section titled "Argumentos Opcionales" with a sub-instruction. At the bottom are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Label	Value
Fecha de Liquidación	'25ABR02'!\$A\$1
Fecha de Vencimiento	'25ABR02'!\$A\$4:\$A\$13
Precio Sucio (ej. 103.2)	'25ABR02'!\$B\$4:\$B\$13
Cupón (ej. 0.15)	'25ABR02'!\$C\$4:\$C\$13
Celda Sup Izq Rango Salida	'25ABR02_A'!\$A\$1
Argumentos Opcionales	
Deje cuadros en blanco para tomar opciones por defecto	
Lambda (entre cero y uno)	'25ABR02'!\$H\$4
Fechas de Nodos	'25ABR02'!\$I\$4:\$I\$10

Buttons: Aceptar, Cancelar

Gráfico 7. Parámetros Seleccionados Asignando Lambda y Nodos