

# **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 adecuada para la programación científica (en comparación con lenguajes como 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 metodología 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". Es decir, cada usuario es responsable del uso y beneficios que reciba de una metodología.

## **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 2000 con Service Pack 1.

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 2000.

## **Descripción del programa.**

---

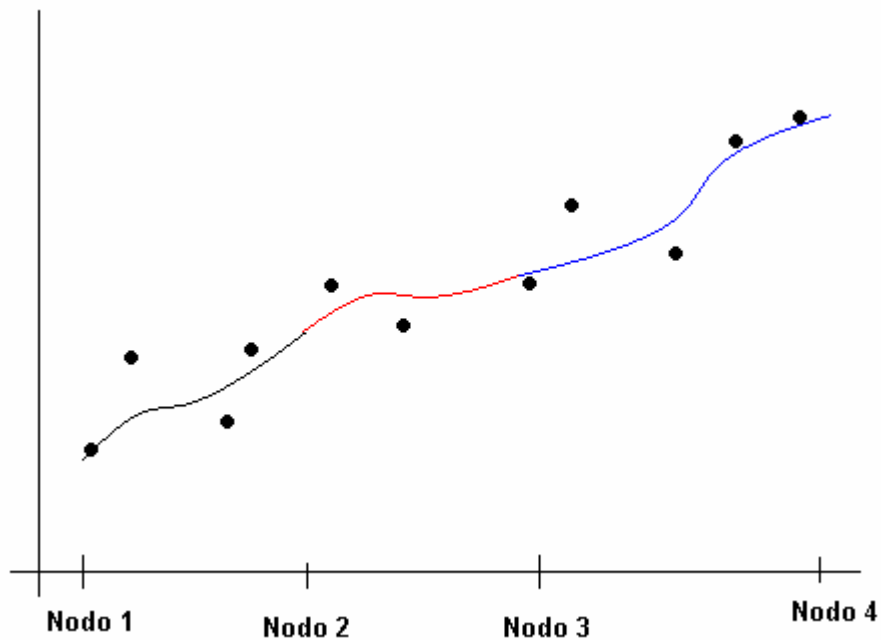
\* Los resultados, opiniones y comentarios que se encuentran en este artículo y el artículo que describe la metodología son responsabilidad exclusiva de los autores y no comprometen al BANCO DE LA REPUBLICA ni a su junta directiva. El uso del programa que se describe en este documento es responsabilidad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

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.

### Splines de Regresión.

Un spline de regresión es una aproximación a una curva desconocida (la forward 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 una curva 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 muy fuertes en periodos muy cortos, y esto genera una curva spot estimada muy variable. Este es un hecho conocido en análisis de regresión. 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.

## **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, con lo cual se obtiene una mayor estabilidad al programa de estimación. 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  $\tau$ , 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, adicionamos un término de la forma

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

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

En la implementación actual el se debe introducir un valor para el parámetro lambda. Es claro que entre más pequeño el valor de lambda, los errores de valoración de los bonos dentro de la muestra tiende a ser mejor 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.


### **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 llegan 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 por alguna circunstancia, siempre puede obtenerlo de la dirección <http://www.banrep.gov.co/variados/home4.htm>. Siempre es buena idea chequear esta dirección por si se han producido actualizaciones que amplíen la capacidad del programa o se han corregido errores.

Es recordable 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 "SmSplForEncScvDDMMYY.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 se 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.

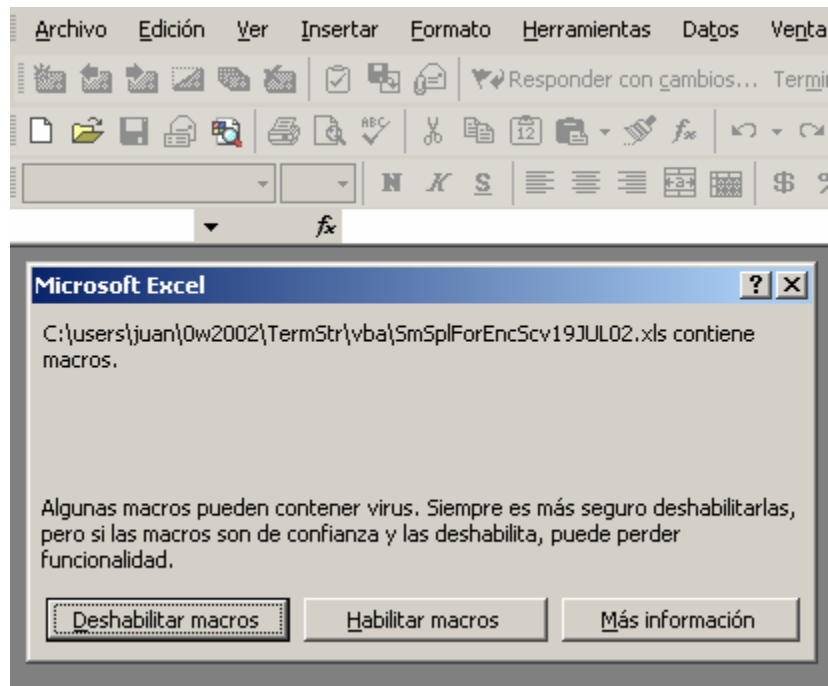
### **Reporte de Errores**

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

1. La muestra contiene por lo menos cuatro bonos distintos.
2. Se están introduciendo rangos en las casillas de la ventana de delación de parámetros.
3. No haya otra aplicación muy grande ejecutándose al tiempo con esta.
4. Memoria RAM suficiente ( $\geq 256$  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](mailto:jjulioro@banrep.gov.co) o [areveihe@banrep.gov.co](mailto:areveihe@banrep.gov.co) para su verificación.

## Anexo 1. Gráficos

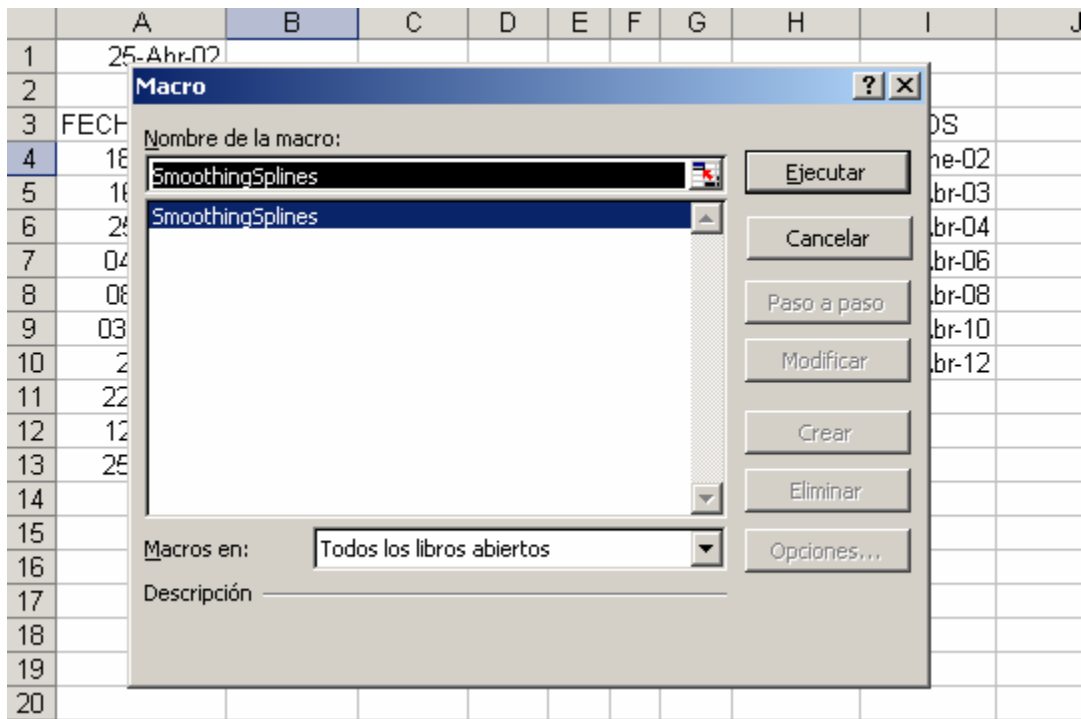


**Gráfico 1. Habilite macros**

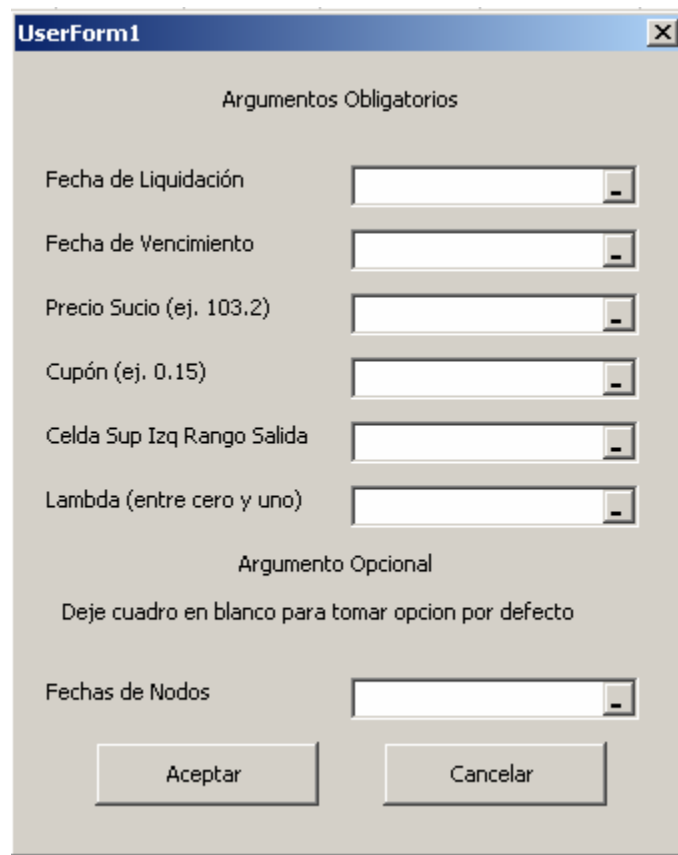
The image shows the Microsoft Excel interface with the initial worksheet displayed. The worksheet has columns labeled A through I and rows numbered 1 through 16. The data is as follows:

|    | 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**

UserForm1

Argumentos Obligatorios

|                            |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| 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       |
| Lambda (entre cero y uno)  | '25ABR02'!\$H\$4         |

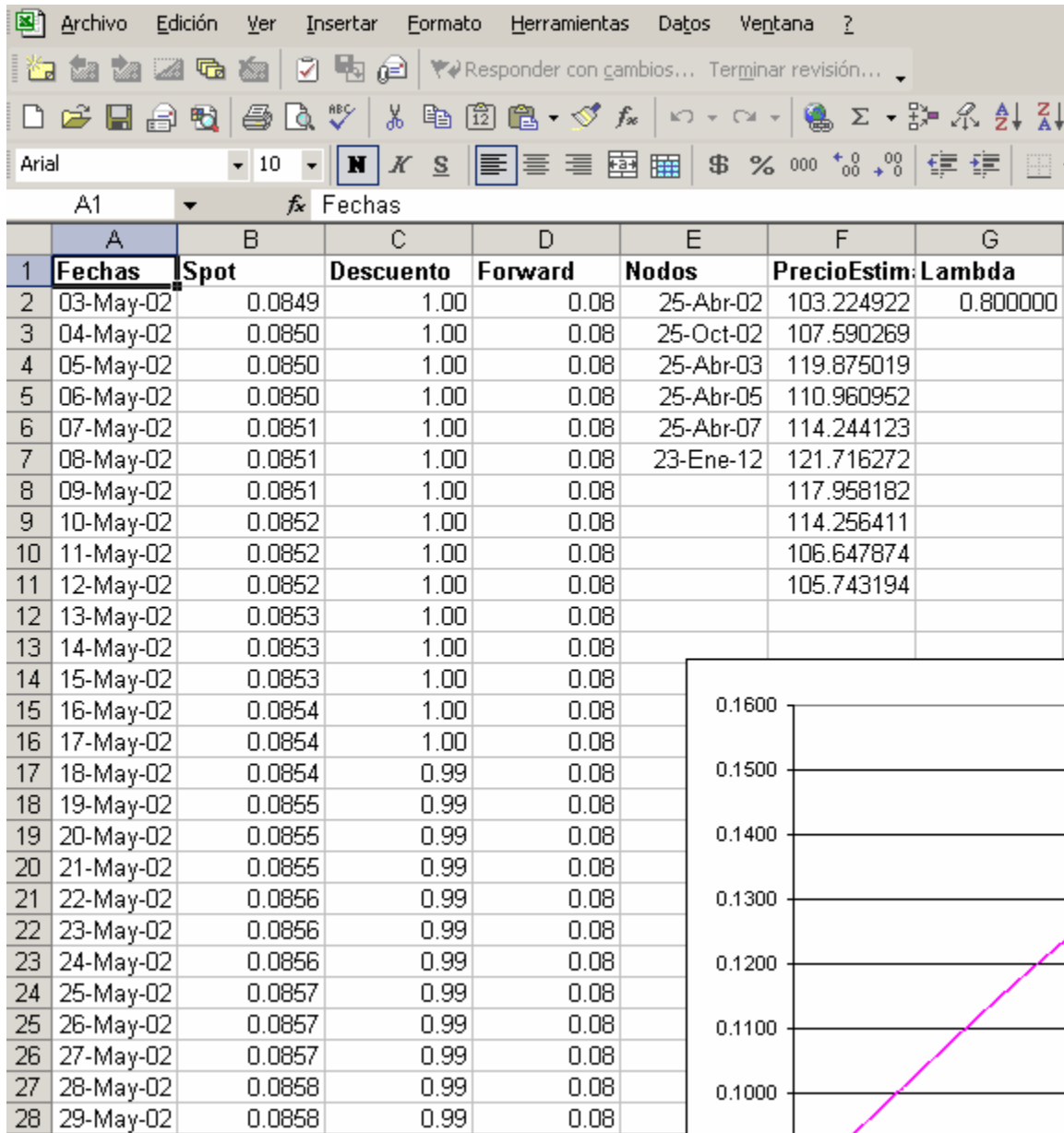
Argumento Opcional

Deje cuadro en blanco para tomar opcion por defecto

|                 |  |
|-----------------|--|
| Fechas de Nodos |  |
|-----------------|--|

Aceptar Cancelar

Gráfico 5. Parámetros Seleccionados sin Nodos Opcionales



**Gráfico 6. Rango de Salida.**

The image shows a Microsoft Excel spreadsheet with a UserForm dialog box open. The spreadsheet has columns labeled A through I and rows numbered 1 through 28. The following table represents the data visible in the spreadsheet:

|    | A         | B | C | D | E | F | G | H      | I         |
|----|-----------|---|---|---|---|---|---|--------|-----------|
| 1  | 25-Abr-02 |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 2  |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 3  |           |   |   |   |   |   |   | LAMBDA | NODOS     |
| 4  |           |   |   |   |   |   |   | 0.840  | 10-Ene-02 |
| 5  |           |   |   |   |   |   |   |        | 25-Abr-03 |
| 6  |           |   |   |   |   |   |   |        | 25-Abr-04 |
| 7  |           |   |   |   |   |   |   |        | 25-Abr-06 |
| 8  |           |   |   |   |   |   |   |        | 25-Abr-08 |
| 9  |           |   |   |   |   |   |   |        | 25-Abr-10 |
| 10 |           |   |   |   |   |   |   |        | 25-Abr-12 |
| 11 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 12 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 13 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 14 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 15 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 16 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 17 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 18 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 19 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 20 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 21 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 22 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 23 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 24 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 25 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 26 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 27 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |
| 28 |           |   |   |   |   |   |   |        |           |

The UserForm dialog box, titled 'UserForm1', is open and contains the following fields:

- Argumentos Obligatorios**
  - 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
  - Lambda (entre cero y uno): '25ABR02'!\$H\$8
- Argumento Opcional**
  - Deje cuadro en blanco para tomar opcion por defecto
  - Fechas de Nodos: '25ABR02'!\$I\$4:\$I\$10

Buttons for 'Aceptar' and 'Cancelar' are located at the bottom of the dialog box.

**Gráfico 7. Parámetros Seleccionados Asignando Nodos**