

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA  
CONSTRUCCIÓN DE PORTAFOLIOS DE INVERSIÓN EN INSTRUMENTOS  
FINANCIEROS DE RENTA FIJA

DIANA MARÍA BEDOYA RAMÍREZ  
JOSÉ FERNEY FRANCO BAQUERO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA  
PEREIRA  
2008

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA  
CONSTRUCCIÓN DE PORTAFOLIOS DE INVERSIÓN EN INSTRUMENTOS  
FINANCIEROS DE RENTA FIJA

DIANA MARÍA BEDOYA RAMÍREZ  
JOSÉ FERNEY FRANCO BAQUERO

Trabajo de grado para optar al título de  
Magíster en administración económica y financiera

Director:  
MSC. EDUARDO ARTURO CRUZ TREJOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA  
PEREIRA  
2008

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Pereira, 14 de noviembre de 2008

*A mi familia, amigos y a todos los que me inspiran a seguir conquistando metas y  
alcanzando objetivos*

Diana María

*A todas las personas que contribuyeron en mi formación...*

José Ferney

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Magister Eduardo Arturo Cruz Trejos por estar siempre dispuesto a brindarnos su conocimiento y sus ideas y por el apoyo dado en cada una de las etapas del presente proyecto .

A cada uno de los profesores de la Maestría en Administración Económica y Financiera por los conocimientos impartidos durante el desarrollo de la Maestría.

A nuestros compañeros de maestría por enriquecernos con sus experiencias y por conformar un grupo multidisciplinario de excelente calidad en esta promoción.

# TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>15</b>
<b>1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>16</b>
<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>16</b>
1.1.1 Antecedentes	16
1.1.2 Situación problema	17
1.1.3 Formulación del problema	19
1.1.4 Sistematización del problema a investigar	19
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>20</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
<b>3.1 OBJETIVO GENERAL</b>	<b>21</b>
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>21</b>
<b>4. MARCO DE REFERENCIA</b>	<b>22</b>
<b>4.1 MARCO HISTÓRICO</b>	<b>22</b>
4.1.1 El objetivo básico financiero	22
4.1.2 Responsabilidades de la gerencia financiera	22
4.1.3 Formas de invertir	23
4.1.4 Análisis de riesgo	24
<b>4.2 MARCO TEÓRICO</b>	<b>24</b>
4.2.1 Administración de portafolios	25
4.2.2 Administración del riesgo	25
4.2.3 La escala de calificación de valores	27
<b>4.3 MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>28</b>
<b>5. METODOLOGÍA PROPUESTA</b>	<b>31</b>
<b>5.1 TIPO DE ESTUDIO</b>	<b>31</b>
<b>5.2 PROCESO METODOLÓGICO PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>31</b>

<b>6.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DE PORTAFOLIOS DE RENTA FIJA</b>	<b>32</b>
6.1	INTRODUCCIÓN A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	32
6.2	UNA SOLUCIÓN NO ÓPTIMA	34
<b>7.</b>	<b>SOLUCIÓN UTILIZANDO EL COMPLEMENTO PARA EXCEL SOLVER</b>	<b>37</b>
<b>8.</b>	<b>MODELO DE PORTAFOLIO DE RENTA FIJA ÓPTIMO</b>	<b>45</b>
<b>9.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE PORTAFOLIO DE RENTA FIJA ÓPTIMO EN MATLAB</b>	<b>49</b>
9.1	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA CODIFICADO EN MATLAB	49
9.2	CÓDIGO FUENTE DEL PROGRAMA DESARROLLADO EN MATLAB	51
9.3	CREACIÓN DEL COMPONENTE EN MATLAB	52
9.4	INTEGRACIÓN DEL COMPONENTE CREADO EN MATLAB CON VISUAL BASIC	58
<b>10.</b>	<b>INSTALACIÓN DEL COMPLEMENTO</b>	<b>77</b>
<b>11.</b>	<b>USO DEL COMPLEMENTO</b>	<b>81</b>
<b>12.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>89</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>90</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>92</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Escala de calificación para títulos valores de largo plazo .....	27
Tabla 2. Escala de calificación para títulos valores de corto plazo .....	28
Tabla 3. Títulos del portafolio .....	32
Tabla 4. Flujo de caja de una solución factible pero no óptima .....	33
Tabla 5. Títulos del portafolio con tasa efectiva anual.....	35
Tabla 6. Flujo de caja de una solución con análisis de rendimientos sin uso de herramientas de optimización.....	36
Tabla 7. Flujo de caja de la solución óptima usando el complemento de Excel Solver.....	44
Tabla 8. Descripción de objetos de la interfaz gráfica.....	65

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Volumen de transacciones de la bolsa de valores de Colombia 14 Agosto de 2008 .....	17
Figura 2. Construcción de flujo de caja. Capital inicial y requerimientos .....	38
Figura 3. Construcción de flujo de caja. Fórmula de maduración de títulos.....	39
Figura 4. Construcción de flujo de caja. Fórmula de rendimientos de títulos.....	39
Figura 5. Construcción de flujo de caja. Saldo final.....	40
Figura 6. Construcción de flujo de caja. Relación entre saldo final y saldo inicial..	40
Figura 7. Construcción de flujo de caja. Total rendimientos .....	41
Figura 8. Ejecución de Solver .....	42
Figura 9. Opciones de Solver .....	43
Figura 10. Resultados de Solver.....	43
Figura 11. Diagrama de flujo del programa desarrollado en MATLAB .....	50
Figura 12. Ambiente de desarrollo de MATLAB.....	52
Figura 13. Creación de un proyecto en MATLAB Builder .....	53
Figura 14. Configuración de las opciones de un proyecto .....	54
Figura 15. Adición de los archivos del proyecto .....	55
Figura 16. Ejecución del comando mbuild -setup .....	57
Figura 17. Compilación del componente .....	58
Figura 18. Habilitar ficha de programador .....	59
Figura 19. Abrir editor de Visual Basic.....	59
Figura 20. Referencias necesarias para la utilización del componente .....	60
Figura 21. Opciones del menú para insertar un módulo .....	61
Figura 22. Nombre del módulo e inserción del código fuente .....	62
Figura 23. Inserción del formulario .....	63
Figura 24. Diseño gráfico .....	64
Figura 25. Descripción de objetos de la interfaz gráfica .....	65
Figura 26. Inserción del código fuente del formulario.....	67
Figura 27. Inserción del código fuente del libro.....	68
Figura 28. Propiedades del complemento .....	69
Figura 29. Campos que especifican la descripción del complemento .....	69
Figura 30. Grabación del complemento .....	70
Figura 31. Opciones de Excel .....	71
Figura 32. Ficha complementos .....	72
Figura 33. Cuadro de diálogo de complementos .....	73
Figura 34. Selección del complemento .....	74
Figura 35. Adición a la lista de complementos .....	75
Figura 36. Ejemplo de uso del complemento de optimización de portafolios.....	76
Figura 37. Instalación de MATLAB Component Runtime .....	78
Figura 38. Ejecución de PortOptim.exe .....	79

Figura 39. Habilitar macros en Microsoft Excel .....	79
Figura 40. Registro de la librería PortOptim_1_0.dll.....	80
Figura 41. Datos de entrada del complemento .....	82
Figura 42. Ejecución del complemento "Optimización de Portafolios" .....	83
Figura 43. Selección de la celda del capital inicial.....	84
Figura 44. Selección del rango correspondiente a los requerimientos.....	84
Figura 45. Selección del rango correspondiente al stock de seguridad.....	85
Figura 46. Selección del rango correspondiente a las etiquetas de los títulos financieros.....	85
Figura 47. Selección del rango correspondiente a las tasas de los títulos .....	86
Figura 48. Selección del rango correspondiente a los plazos de vencimiento de los títulos .....	86
Figura 49. Selección de la celda de salida.....	87
Figura 50. Rangos especificados en la interfaz gráfica de usuario.....	87
Figura 51. Resultado de la optimización.....	88

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. CÓDIGO FUENTE DE LA FUNCIÓN DE OPTIMIZACIÓN EN MATLAB .....	92
ANEXO B CÓDIGO FUENTE DEL COMPLEMENTO EN VISUAL BASIC .....	95
ANEXO C. MATLAB OPTIMIZATION TOOLBOX.....	103
ANEXO D. MATLAB AMD PROCESSOR ISSUE TECHNICAL SOLUTION .....	112
ANEXO E. INTRODUCCIÓN A EXCEL SOLVER .....	114

## RESUMEN

De acuerdo a cifras obtenidas en el movimiento de la bolsa de valores de Colombia<sup>1</sup>, cerca del 80% del valor de las transacciones se concentran en instrumentos de renta fija. De esta manera se puede concluir que las inversiones en productos financieros de renta fija son la opción más utilizada por los inversionistas particulares y por los fondos de inversión, los últimos atendiendo las disposiciones y normas de la superintendencia financiera sobre los porcentajes de inversión en los diferentes papeles financieros de acuerdo a los riesgos de crédito y mercado.

El trabajo realizado consiste en el desarrollo de una herramienta computacional que se puede integrar a la hoja de cálculo y que permite soportar el análisis de inversiones en renta fija. Como es sabido, la hoja de cálculo es una de las herramientas más conocidas y de uso más generalizado para el análisis y toma de decisiones financieras. Por medio de la herramienta desarrollada se hace la evaluación de un conjunto de opciones del mercado financiero tomando en consideración un número variable de títulos, un número variable de períodos y las restricciones del flujo de caja, presentando como resultado el portafolio que genere la máxima rentabilidad.

La metodología utilizada consiste en la construcción de un modelo matemático que relaciona los diferentes flujos de caja de los periodos a evaluar. De esta forma, mediante la investigación de operaciones, específicamente el método *Simplex*, se maximizan los rendimientos generados. Para ello se utilizó la herramienta matemática MATLAB la cual incluye poderosas funciones de optimización además de contar con la posibilidad de integrarse a Microsoft Excel.

---

<sup>1</sup> Bolsa de valores de Colombia; Boletín informativo; [en línea], 2008. [citado en 14 de agosto 2008]. Disponible en internet:  
<<http://www.bvc.com.co/bvcweb/mostrarpagina.jsp>>

## SUMMARY

According to Colombian Stock Market publications, about 80% of transactions are concentrated in fixed-income financial instruments. This information allows thinking that investments in fixed rent financial products are a frequent choice of particular investors and mutual funds, the last following regulations of the Colombian financial supervision entity about allowed investment percentages in available financial papers in conformity with credit and market risks.

The goal of this investigation was to deploy a Microsoft Office Excel add-in that supports fixed rent investments analysis in financial field. As we all know, Microsoft Office spreadsheet is the most used software to make financial analysis and make decisions based on obtained results. Using the tool developed in this investigation, a group of assets in the fixed rent financial market are evaluated, no matter the time horizon neither the number of options to be considered. Also, the cash flow constraints in every period are included in the analysis. Finally, the add-in execution generates the maximum benefit portfolio.

The methodology implemented in this research is based on the construction of a mathematical model, linking data contained in every period of the cash flow with next period information. In this way, using operations research simplex algorithm, it is possible to achieve the optimal problem solution. In order to implement the model, MATLAB mathematical software was used. This software includes powerful optimization toolboxes and can be integrated with Microsoft Excel.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación en el campo de las inversiones en portafolios de renta fija fue concebida teniendo en mente la amplia utilización que este tipo de instrumentos financieros tiene entre los inversionistas corporativos e individuales.

El objetivo perseguido fue desarrollar una herramienta que pudiera integrarse con la hoja de cálculo, dado que es el programa más popular en el momento de realizar análisis financiero. El resultado obtenido fue un instrumento práctico, fácil de utilizar y que no requiere demasiados conocimientos en temas financieros para su ejecución.

Para la representación de los datos del flujo de caja del portafolio, se construyó un modelo matemático basado en los principios de la investigación de operaciones, logrando la optimización mediante el método *Simplex*. Para ello se hizo uso de MATLAB debido a las diferentes funciones de optimización con que cuenta este software.

A través del desarrollo del proyecto se describe de manera clara y haciendo uso de tomas de pantalla el problema que se pretende solucionar, así como los medios usados en la investigación para lograrlo. La descripción de cada paso del proceso permite al usuario hacer uso efectivo de la herramienta para realizar el análisis de un conjunto de títulos de renta fija obteniendo el portafolio que maximice la rentabilidad.

El presente trabajo es además una referencia de consulta para futuras investigaciones interesadas en integrar el software matemático MATLAB con la hoja de cálculo Microsoft Excel, para realizar aplicaciones en temas como la optimización en inversiones en instrumentos variables y la cobertura de riesgos a través de contratos de futuros y opciones, ya que describe en detalle la forma como se logró generar un complemento para Excel que invoca funciones desarrolladas en MATLAB. Al contemplar la amplia gama de *toolbox* (caja de herramientas) de optimización, redes neuronales y financieros con que cuenta MATLAB, este proyecto abre las puertas a un sin número de futuras investigaciones en el campo de las finanzas basadas en este poderoso ambiente de desarrollo.

# 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con referencia al área financiera, existen oportunidades de inversión con diferentes parámetros, nivel de las tasas de interés, riesgo de crédito, plazos de maduración, condiciones de inversión en tipos de tasa de interés (anticipada, vencida, nominal), topes mínimos para cada inversión, los impuestos por rendimientos financieros, el tipo de emisor (privado, público), el perfil del inversionista (agresivo, conservador) y las expectativas de su inversión. Todo lo anterior, manifiesta la necesidad de gestar herramientas de fácil manejo para cualquier interesado en invertir en activos financieros, que le permita manejar un conjunto mixto de inversiones en forma sencilla, pero que lo encaminen a constituir su inversión de acuerdo a sus preferencias optimizando la rentabilidad del portafolio de las inversiones seleccionadas<sup>2</sup>.

### 1.1.1 Antecedentes

Aunque existen paquetes de software financiero desarrollados para estos propósitos, los profesionales que se desempeñan en el área financiera comúnmente desarrollan sus propias herramientas de análisis utilizando el software más popular: la hoja de cálculo, pues cada quien tiene su manera particular de realizar los análisis y todos desean que los programas que utilicen están acorde a sus necesidades. Sin embargo, es acertado suponer que en los casos en que estas personas programan sus propias herramientas, su mayor interés es resolver una oportunidad de inversión con el mejor resultado posible en el menor tiempo. El inversionista o intermediario financiero desconoce temas como la programación de computadores y desarrollo de aplicativos, exploración de nuevas herramientas de software disponibles en el mercado y su adaptación en el campo financiero, lo que reduce las posibilidades de compartir este tipo de aplicaciones. Por otra parte, quienes publican sus trabajos en áreas financieras son empresas dedicadas al desarrollo de software que buscan vender sus productos, los cuales abarcan muchos temas que no cumplen con el objetivo de realizar análisis puntuales en el área del mercado financiero de renta fija, pues se dedican más al análisis de las cuotas de préstamos, al análisis de riesgo, al análisis de sensibilidad, sin mencionar que algunas de estas herramientas requieren conocimientos en estadística y uso de herramientas de cómputo específicas.

---

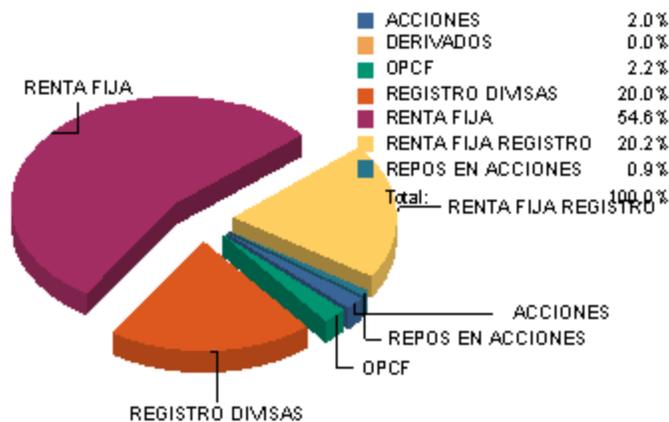
<sup>2</sup> ADAMIDOU, Evdokia *et al.* The optimal portfolio system. Cambridge: ZENIOS. 1993. p. 136

### 1.1.2 Situación problema

De acuerdo a cifras obtenidas en el movimiento de la bolsa de valores de Colombia<sup>3</sup>, cerca del 80% del valor de las transacciones se concentran en instrumentos de renta fija. De esta manera se puede concluir que las inversiones en productos financieros de renta fija son la opción más utilizada por los inversionistas particulares y por los fondos de inversión, los últimos atendiendo las disposiciones y normas de la superintendencia financiera sobre los porcentajes de inversión en los diferentes papeles financieros de acuerdo a los riesgos de crédito y mercado. Lo anterior se puede observar en la Figura 1. Volumen de transacciones de la bolsa de valores de Colombia 14 Agosto de 2008.

**Figura 1. Volumen de transacciones de la bolsa de valores de Colombia 14 Agosto de 2008**

MERCADO	CANTIDAD	VOLUMEN	PARTICIPACIÓN
ACCIONES	345.874.516,00	132.953.041.123,38	2,02%
REPOS EN ACCIONES	11.459.537.305,00	59.892.844.843,64	0,91%
RENTA FIJA	2.853.865.821.875,00	3.590.387.468.562,00	54,63%
OPCF	15.721,00	145.865.982.400,00	2,22%
REGISTRO DIMSAS	708.848.994,06	1.313.920.404.665,29	19,99%
DERIVADOS	0,00	0,00	0,00%
RENTA FIJA REGISTRO	1.173.001.549.696,00	1.329.255.230.910,00	20,23%
<b>TOTAL</b>	<b>4.039.381.648.107,06</b>	<b>6.572.274.972.504,31</b>	<b>100,00%</b>



Bolsa de valores de Colombia [www.bvc.com.co](http://www.bvc.com.co)

De acuerdo a lo observado en los reportes de la bolsa de valores de Colombia, se debe reconocer la importancia de una adecuada planificación cuando se decide realizar inversiones teniendo como opciones de inversión un portafolio de títulos en renta fija. No obstante, normalmente este proceso de análisis no es realizado

<sup>3</sup> Bolsa de valores de Colombia, Op. cit.

considerando factores de optimización y tomando decisiones a la ligera que, en la mayoría de los casos no dan como conducen al resultado de mayor rentabilidad. De igual forma, cuando dicho análisis es realizado ya sea mediante el uso de alguna herramienta sencilla o empíricamente, existe una dificultad que crece a medida que se incrementan el número de periodos, cantidad de títulos en el portafolio y condiciones de flujo de caja disponible.

En este orden de ideas, es importante que las personas interesadas en realizar inversiones en el mercado de la renta fija cuenten con una herramienta que apoye el análisis de las diferentes alternativas, una herramienta sencilla, fácil de utilizar y flexible, adaptable a las necesidades y requerimientos de los usuarios. Por otro lado un requisito fundamental es que obvие el alto grado de conocimientos en temas financieros como la ingeniería económica y los métodos de optimización en programación lineal. Adicionalmente, si se tiene presente que por lo general las personas vinculadas al área financiera hacen uso de una herramienta de hoja de cálculo, la cual en la mayoría de los casos es Microsoft Office Excel, es acertado pensar en la gran utilidad que tendría un complemento accesible desde este mismo programa para realizar el análisis de inversiones, y convertirlo de esta manera en una opción de uso cotidiano. Como ya se ha mencionado, dado que las personas que no tienen formación financiera también participan activamente en el mercado de la renta fija, una herramienta de análisis de este tipo de inversiones podría llegar a ellas también, ya que es normal en la actualidad que se tenga acceso a un computador con el paquete de Microsoft Office, ya sea en el hogar, en el trabajo o en un simple café internet, sin recurrir en altos costos de adquisición y manejo de herramientas como MATLAB.

Un complemento de Microsoft Office Excel<sup>4</sup> que permite realizar el análisis de inversiones en renta fija es el Solver. Con unas entradas adecuadas y con unas condiciones y parámetros acordes al problema se puede obtener una solución óptima. No obstante, el problema asociado al uso de esta herramienta es el hecho de que dicho complemento no es tan conocido y en ocasiones es difícil de usar si no se cuenta con los conocimientos que el uso de esta herramienta exige. Por otra parte, en ocasiones aún cuando se conozca el funcionamiento de la herramienta es complicado establecer cuál es la expresión matemática así como las condiciones de entrada del Solver de forma tal que se obtenga el portafolio de mejor inversión.

Las empresas y las personas naturales, en un momento dado cuentan con excedentes disponibles de dinero, ya sea por la actividad misma del negocio,

---

<sup>4</sup> Microsoft. Excel Homepage - Microsoft Office Online; [en línea], 2008. [citado en 10 de noviembre 2008]. Disponible en internet: <<http://office.microsoft.com/es-es/excel/default.aspx>>

ventas estacionales o de temporada, por las fechas de recaudo de la facturación por prestación de servicios, por desembolsos grandes en el cumplimiento de contratos. En otros casos por la venta de activos improductivos o disponibilidad de reservas extralegales o reservas con destinación específica. El manejo eficiente de estos recursos conlleva a buscar alternativas de inversión a corto y largo plazo que generen rentabilidad bajo condiciones controlables de riesgo. ¿Las decisiones de inversión en activos temporales tomadas por el tesorero de la empresa o el inversionista para manejar los excedentes de tesorería son las acertadas?

### **1.1.3 Formulación del problema**

¿Es factible desarrollar una herramienta de manera integrada al software de hoja de cálculo Microsoft Office para la conformación de portafolios en renta fija generalizada?

### **1.1.4 Sistematización del problema a investigar**

- ¿Es factible desarrollar una herramienta de manera integrada al software de hoja de cálculo Microsoft Office Excel para la conformación de portafolios con “m” títulos y “n” periodos?
- ¿Cómo diseñar una interfaz amigable para el ingreso de la información relacionada con el capital disponible, requerimientos, títulos y condiciones del flujo de caja asociados a la inversión deseada?
- ¿El modelo financiero de portafolio de renta fija implementado en un software a desarrollar permitirá el análisis de un número variable de títulos y un número variable de periodos?
- ¿Cómo probar que el portafolio desarrollado con el software construido, hallará la rentabilidad óptima?

## 2. JUSTIFICACIÓN

En la vida cotidiana, el inversionista (persona natural o jurídica), debe optimizar el manejo de los recursos representados en dinero, terrenos, maquinaria, construcciones y equipos entre otros. El dinero como recurso debe manejarse de tal manera que cumpla con los objetivos que tiene la empresa o el inversionista, maximizar y alcanzar los objetivos de rentabilidad y crecimiento con la menor inversión posible. Cada inversionista tiene unas condiciones específicas de liquidez, rentabilidad y riesgo de acuerdo a sus necesidades y perfil y son muchos los que prefieren las inversiones en renta fija debido a su bajo riesgo y corto plazo de maduración.

A nivel técnico, la investigación expone una metodología de optimización que aprovecha los recursos tecnológicos para desarrollar los procedimientos de una manera más eficiente, ya que el análisis manual de las inversiones que debe hacerse en un conjunto de alternativas financieras para maximizar los rendimientos, no asegura el alcance de una solución óptima. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que el uso del componente elaborado, facilita la toma de decisiones en inversiones en activos financieros de renta fija al presentarle al usuario de manera inmediata el portafolio que genera la máxima rentabilidad, sin importar el número de títulos ni de periodos.

El mercado financiero es muy dinámico y requiere de herramientas sencillas pero eficientes, las cuales se pueden obtener por medio de la integración de programas como MATLAB que aportan robustez y eficiencia en el manejo de datos y la hoja electrónica Excel que es de mayor conocimiento de los usuarios y facilita la construcción de interfaces.

Con el desarrollo de la herramienta propuesta y aprovechando que podrá utilizarse desde el software de hoja de cálculo más comúnmente utilizado, como es Microsoft Excel, se espera que la distribución sea amplia y que se convierta en una utilidad de uso cotidiano entre las personas involucradas en el análisis de inversiones, de manera que se facilite el proceso de toma de decisiones en lo que respecta a la conformación de portafolios de instrumentos de renta fija.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una herramienta de cómputo para el análisis de inversiones en instrumentos financieros de renta fija en el mercado primario que trabaje de manera integrada con la hoja de cálculo y presente el portafolio que genere la máxima rentabilidad.

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el desarrollo de la herramienta de manera integrada al software de hoja de cálculo Microsoft Office Excel.
- Utilizar en el desarrollo de la herramienta el software matemático MATLAB.
- Diseñar una interfaz amigable para el ingreso de la información relacionada con el capital disponible, requerimientos, títulos y condiciones del flujo de caja asociados a la inversión deseada.
- Permitir el análisis de un número variable de títulos y un número variable de períodos.
- Presentar, como resultado del análisis, el portafolio que genere la máxima rentabilidad y cumpla con las restricciones de capital.
- Realizar un manual que indique al usuario cómo utilizar la herramienta desarrollada
- Comprobar los resultados obtenidos con el modelo frente al procedimiento manual.
- Redactar el documento de tal forma que se convierta en una referencia de consulta para desarrolladores interesados en la integración de MATLAB con Microsoft Excel.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1 MARCO HISTÓRICO

#### 4.1.1 *El objetivo básico financiero*

Existe un amplio consenso con respecto a que el objetivo básico financiero de las empresas consiste en maximizar la riqueza de los propietarios o accionistas a través del reparto de utilidades por medio de dividendos y el incremento en el valor de mercado de la empresa directamente relacionado con el valor de la acción.

La toma de decisiones debe estar orientada hacia el alcance de los objetivos básicos de las diferentes actividades empresariales y debe definir los atributos de satisfacción de sus principales grupos de interés:

- **Clientes:** dentro de las diferentes ventajas que buscan los clientes de una compañía se pueden resaltar el precio adecuado de los artículos adquiridos, así como productos de calidad óptima con un excelente servicio.
- **Proveedores:** la satisfacción de los proveedores está dada principalmente por el cumplimiento de las diferentes obligaciones contraídas por la empresa así como de una buena relación inter empresarial.
- **Empleados:** los empleados de la empresa esperan normalmente una compensación justa por el trabajo realizado, un ambiente agradable en donde desarrollar sus actividades acompañados de una estabilidad laboral.
- **Propietarios:** en cuanto a los propietarios, al realizar una inversión en una compañía y correr los riesgos que esta implica, lo mínimo que esperan es percibir utilidades traducidas en dividendos. De esta forma, al momento de invertir realizan un análisis de la relación precio/ganancia esperando un crecimiento continuo de la empresa hasta alcanzar una estabilidad que garantice la permanencia de la compañía en el sector.

#### 4.1.2 *Responsabilidades de la gerencia financiera*

La gerencia debe acatar las estrategias establecidas por la dirección general de la empresa y debe cumplir con las políticas que son de su responsabilidad:

- **Planeamiento Empresarial:** Debe determinar el monto de los recursos exigidos para atender la operación inmediata haciendo uso adecuado del capital de trabajo y para respaldar los proyectos de inversión a largo plazo<sup>5</sup>.
- **Política de Financiamiento:** Determinar las fuentes de financiamiento a corto y largo plazo mediante diferentes alternativas como acciones, bonos, títulos de deuda, créditos a corto plazo, titularización y capitalización de utilidades, a través de una estructura de financiamiento con los costos mínimos y compatibles con la generación de utilidades.
- **Políticas vinculadas con la inversión:** Está relacionada con la inversión de los recursos y el manejo en el corto y largo plazo de los excedentes de tesorería temporales. Es necesario en el caso del corto plazo incursionar en el mercado monetario, mientras que si es a largo plazo se debería hacer en el mercado de capitales. La utilización de saldos improductivos de caja o el manejo optimizado de las reservas es una prioridad para elevar los ingresos adicionales del inversionista o de la empresa.

El propósito de emplear los recursos monetarios, materiales, humanos y tecnológicos se compila en las unidades productivas que inicia con la labor de costeo, sigue con la presupuestación y termina con el cumplimiento de los objetivos de la empresa.

#### **4.1.3 Formas de invertir**

La optimización del valor económico de la empresa es la combinación de las actividades de financiación e inversión, de tal forma que se minimice lo negativo como costos, gastos y riesgos y se maximice lo positivo: ingresos, utilidades y rendimientos.

Dentro de las actividades de inversión que permitan la optimización del valor económico de la empresa se tienen instrumentos de renta fija como CDT, bonos, aceptaciones bancarias y financieras, papeles comerciales, títulos de tesorería TES y títulos inmobiliarios, e instrumentos de renta variable como acciones ordinarias, acciones con dividendo preferencial y acciones privilegiadas.

Los instrumentos de renta fija son negociados en las bolsas de valores y en el mercado financiero extrabursátil, estos son instrumentos de deuda que ofrecen una remuneración sobre el dinero invertido, en general preestablecida, siendo determinable en el momento mismo de la compra del instrumento. Esa renta asume bien sea la forma de un descuento sobre el valor nominal del título o de un pago de interés. Obviamente quien emite tales instrumentos adquiere el

---

<sup>5</sup> ORTIZ GÓMEZ, Alberto. Gerencia financiera un enfoque estratégico. McGraw-Hill

compromiso de reembolsar el capital, al final de la vida del título o durante su vigencia mediante pagos a capital.

Los instrumentos de renta fija tienen características variadas no sólo en cuanto a la forma de pago de la remuneración, sino en cuanto a su liquidez y periodicidad de los pagos. Que se conozcan como de renta fija no implica que el comprador de un título de esta naturaleza no esté tomando riesgos. El primero de los riesgos tiene relación con lo probable o improbable del reembolso. Esta probabilidad debe ser evaluada en el momento de la compra de un título. Los procesos de evaluación de son efectuados por agencias especializadas llamadas calificadoras de riesgo, que asignan notas en función de la probabilidad de reembolso, determinadas tras un detenido examen de la situación de quien emite el título. La forma misma de calificación varía de una agencia a otra.

Además con la renta fija existe el riesgo de liquidez y también el riesgo de tasa. Si, por ejemplo se adquiere un título que promete determinada rentabilidad y al día siguiente de su compra, por cualquier circunstancia, las tasas de interés del mercado aumentan, el valor de mercado del título sufrirá un deterioro. El dinero que se invierte o que se invertirá en el futuro en instrumentos de renta fija está entonces sujeto al impacto de la evolución de las tasas de interés, del mismo modo que ocurre con las inversiones en acciones. De allí que en los mercados de deuda se hayan desarrollado operaciones a futuro sobre tasa de interés. Una tasa de interés implica un precio, que es posible, como el de las acciones, fijar desde hoy para pago futuro.

#### **4.1.4 Análisis de riesgo**

Uno de los desarrollos más importantes en la teoría de finanzas durante los últimos 35 años es la habilidad de medir el riesgo. Cuando se tiene incertidumbre acerca de los resultados futuros, lo mejor que se puede hacer es asignar probabilidades a todas las eventualidades. Es generalmente aceptado que una medida de la dispersión de dichas posibilidades es directamente proporcional al riesgo de éstas, tal vez la mejor medida de dispersión es la varianza, en finanzas el riesgo se mide por la varianza de los resultados futuros<sup>6</sup>. Para reducir la influencia de cada una de las fuerzas, la diversificación del portafolio de la compañía puede ser muy efectiva.

## **4.2 MARCO TEÓRICO**

---

<sup>6</sup> MOYER, Charles; MCGUIGAN, James y KRETLOW, William. Administración financiera contemporánea. 7 ed. México D.F., México: Thompson. p. 226

### **4.2.1 Administración de portafolios**

La teoría del portafolio estudia la selección de activos en el mercado de acuerdo a su riesgo y su retorno para alcanzar un determinado objetivo. A menudo este objetivo es la minimización de riesgo para un retorno dado o la maximización de la rentabilidad con la diversificación.

Los elementos de análisis para la toma de decisiones en la conformación de un portafolio son variados, entre ellos se pueden resaltar la diversificación de inversiones, la especulación en la inversión, análisis de la situación temporal en el momento en que se realiza la inversión, inclusión de los conceptos de corto y largo plazo, la devaluación asociada a la moneda, el mercado de acciones, la triangulación de monedas, la valoración de activos, los perfiles de los clientes, el nivel de las tasas de interés entre otros. Además, existen tres requisitos fundamentales que deben ser tenidos en cuenta para la administración de una alternativa o conjunto de alternativas de inversión:

- **Seguridad:** La cual contempla la tolerancia al riesgo.
- **Rentabilidad:** Asociada al incremento del valor patrimonial.
- **Liquidez:** Capacidad de vender rápidamente a precio de mercado.

Por otra parte, en la administración financiera se deben considerar las grandes ventajas asociadas a la rotación del portafolio. La principal ventaja está en la posibilidad de hacer fondeos, repos y carruseles, así como la posibilidad de efectuar inversiones de corto y largo plazo. En el corto plazo se obtienen tasas de mercado y en el largo plazo se tienen spreads indexadas al DTF, TCC, IPC, UVR. Es importante considerar el riesgo del emisor para que un papel de largo plazo se pueda vender en el corto plazo, ya sea temporal o definitivamente.

### **4.2.2 Administración del riesgo**

El riesgo se define como la diferencia entre el valor real y el valor esperado de una inversión o de una operación financiera. Es la posibilidad de pérdida financiera debido a la variabilidad de rendimientos asociados con un activo dado. Existen diferentes clases de riesgos:

#### **Riesgos Administrativos**

- **Jurídicos:** consiste en realizar negocios con entidades no autorizadas para hacerlo.
- **Contraparte:** se trata del riesgo de que al realizar la venta y al momento de cerrar la operación no se finiquite.

#### **Riesgos Financieros**

- **Liquidez:** es la facilidad con que se compra o vende un instrumento financiero en el mercado.
- **Maduración:** representa el riesgo de la tasa interna de la inversión, presupone reinversión a la misma tasa.
- **Tasa de interés:** incluye el riesgo de precio y el riesgo de la inversión.
- **Bursatilidad:** es la variación que presentan los títulos en el mercado y se clasifican en dos tipos de riesgo.
  - **Riesgo sistemático:** depende de las variables exógenas que afectan al mercado bursátil en general.
  - **Riesgo no sistemático:** se refiere al riesgo que afecta a cada instrumento financiero en particular.
- **Volatilidad:** es la variación abrupta de las tasas de interés del mercado, como consecuencia de las diferentes variables económicas.
- **Riesgo de crédito:** probabilidad de un no pago de intereses o del capital<sup>7</sup>.

### Riesgos Estructurales

- **Apalancamiento:** permite establecer la sincronización de los valores a precio de mercado de los activos y los pasivos.
- **Gap de liquidez:** determina la velocidad de conversión de los activos en efectivo y la velocidad de exigencia de los pasivos.
- **Gap de tasa de interés:** mide el efecto de los compromisos financieros y las rentabilidades de las inversiones financieras ante un cambio en la tasa de interés en el mercado.
- **Gap de tasa de cambio:** manifiesta el efecto de los compromisos y beneficios de la empresa en el manejo de divisas.

En tiempos de incertidumbre, la alternativa de la renta fija le permite cubrirse de asumir riesgos innecesarios y obtener una rentabilidad atractiva. El perfil del riesgo del inversionista determina su actitud hacia ciertas inversiones en momentos de turbulencia, siendo necesario analizar factores como la situación nacional en el momento de incursionar en el mercado financiero. En tiempos de incertidumbre lo mejor es invertir de forma segura y apostar en el corto plazo a inversiones que no involucren altos niveles de riesgos.

La renta fija es el instrumento ideal para aquellos inversionistas que prefieren en momentos de crisis permanecer a la espera de un indicio más claro sobre el rumbo de la economía. Aunque los papeles de renta fija pueden ser poco rentables a comparación de otros títulos valores, representan inversiones

---

<sup>7</sup> BREALEY A. Richard y MYERS C. Stewart. Principios de finanzas corporativas. 4 ed. España: McGraw-Hill Interamericana. Capítulo 7

cautelosas siempre y cuando se hagan con entidades que tengan una buena calificación de riesgo.

#### **4.2.3 La escala de calificación de valores**

Es una opinión profesional que produce una agencia calificadora de riesgos, sobre la capacidad de un emisor para pagar el capital y el interés de sus obligaciones en forma oportuna. Para llegar a esa opinión, las calificadoras desarrollan estudios, análisis y evaluaciones de los emisores. La calificación de valores es el resultado de la necesidad de dotar a los inversionistas de herramientas para la toma de sus decisiones. Esta escala puede verse en las tablas Tabla 1. Escala de calificación para títulos valores de largo plazo y Tabla 2. Escala de calificación para títulos valores de corto plazo.

**Tabla 1. Escala de calificación para títulos valores de largo plazo**

<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>AAA</b>	Emisiones con la más alta calidad crediticia. Prácticamente no tienen riesgo.
<b>AA+, AA, AA-</b>	Emisiones con alta calidad crediticia y con fuertes factores de protección. Riesgo modesto.
<b>A+, A, A-</b>	Emisiones con buena calidad crediticia y con factores de protección adecuados. Sin embargo en períodos de bajas económicas, los riesgos son mayores y más variables.
<b>BBB+, BBB, BBB-</b>	Los factores de protección al riesgo son inferiores al promedio; no obstante, se consideran suficientes para una inversión prudente. Son vulnerables a los ciclos económicos.
<b>BB+, BB, BB-</b>	Emisiones situadas por debajo del grado de inversión. Pero se estima probable que cumplan sus obligaciones al vencimiento.
<b>B+, B, B-</b>	Emisiones situadas por debajo del grado de inversión. Existe el riesgo de que no puedan cumplir con sus obligaciones. Los factores de protección financiera fluctúan ampliamente con los ciclos económicos.
<b>CCC</b>	Emisiones situadas muy por debajo del grado de inversión. Se caracterizan por tener alto riesgo en su pago oportuno. Los factores de protección son escasos.
<b>DD</b>	Las emisiones de esta categoría se encuentran en incumplimiento de algún pago u obligación.
<b>EE</b>	Sin suficiente información para calificar.

**Tabla 2. Escala de calificación para títulos valores de corto plazo**

No	NIVEL	DESCRIPCION
1	Alto	La más alta certeza de pago oportuno. Factores de liquidez y protección muy buenos.
2	Bueno	Emisores con buena certeza en el pago oportuno. Sin embargo las necesidades continuas de fondos pueden incrementar los requerimientos totales de financiamiento. Los factores de riesgo son mayores, están sujetos a variaciones.
3	Satisfactorio	Es de esperar que se dé el pago oportuno. La liquidez es satisfactoria y otros factores de protección hacen que la emisión sea calificada como inversión aceptable. Los factores de riesgo son mayores, están sujetos a variaciones.
4	No alcanza a calificar para inversión	Emisiones con características de emisión especulativa. La liquidez no es suficiente para garantizar el servicio de la deuda. Los factores de operación están sujetos a un alto grado de variación.
5	Incumplimiento	Las emisiones se encuentran en incumplimiento de algún pago u obligación.
6	Sin información	Sin suficiente información para calificar.

### 4.3 MARCO CONCEPTUAL

El presente marco conceptual intenta proporcionar información acerca de las diferentes definiciones que son relevantes en el área de inversiones en renta fija. De esta forma los conceptos que se presentan a continuación están basados en la cartilla preparada por la delegatura para promoción y seguimiento del mercado de la superintendencia de valores<sup>8</sup>.

#### **Inversiones**

Una inversión es el compromiso real de un dinero o de otros recursos en espera de cosechar rendimientos futuros. Según la superintendencia de valores, es la forma de utilizar el dinero con el fin de obtener más dinero, en períodos de tiempo que el inversionista elige. Por medio de las inversiones las personas se protegen de la inflación y obtienen ganancias adicionales.

<sup>8</sup> Perfil Gerencial Consultores; El mercado público de valores; [en línea], 2005. [citado en 16 de agosto 2008]. Disponible en internet: <[http://www.geocities.com/perfilgerencial/COMO\\_SER\\_UN\\_INVERSIONISTA.html](http://www.geocities.com/perfilgerencial/COMO_SER_UN_INVERSIONISTA.html)>

Un portafolio de inversiones se conforma con títulos valores, combinando volúmenes, plazos y rentabilidades que se ajusten a los proyectos de los inversionistas. La constitución del portafolio se puede constituir personalmente o con la ayuda de un comisionista de bolsa o se puede realizar la inversión del dinero en portafolios ya conformados y administrados por sociedades fiduciarias o por sociedades comisionistas.

La rentabilidad de la inversión puede ser de tipo fijo o variable:

### **Renta fija**

La rentabilidad de la inversión está dada por una tasa fija de interés, pactada para todo el período de duración de la inversión. Algunos ejemplos de títulos de renta fija en los cuales se puede invertir son los siguientes: CDT, bonos, aceptaciones bancarias y financieras, papeles comerciales, títulos de tesorería TES y títulos inmobiliarios.

### **Renta variable**

La rentabilidad de la inversión está ligada a las utilidades obtenidas por la empresa en la que se invierte, así como a las posibles variaciones en los precios de los títulos, dados por las condiciones existentes en el mercado. Algunos ejemplos de este tipo de papeles son los siguientes: acciones ordinarias, acciones con dividendo preferencial y acciones privilegiadas.

### **Títulos valores**

Un título valor es un documento negociable en el cual están incorporados los derechos que el dueño posee. Teniendo en cuenta que el alcance del proyecto que está siendo planteado abarca sólo los títulos de renta fija, se describirán brevemente algunos títulos sólo de este tipo de rentabilidad.

- **Bonos**

Son títulos que representan una parte de un crédito constituido a cargo de una entidad emisora. Su plazo mínimo es de un año; en retorno de la inversión se recibe una tasa de interés que fija el emisor de acuerdo con las condiciones de mercado al momento de realizar la colocación de los títulos. Por sus características estos títulos son considerados de renta fija. Además de los bonos ordinarios, existen en el mercado bonos de prenda y bonos de garantía general y específica y bonos convertibles en acciones.

- **Certificados de depósito a término (CDTs)**

Es el certificado que se recibe por depósitos de sumas de dinero. Los plazos pueden ser de 30 días en adelante siendo los más comunes los de 30, 60, 90, 180 y 360 días. Pueden ser realizados en bancos comerciales, corporaciones

de ahorro y vivienda, corporaciones financieras o compañías de financiamiento comercial. La tasa de interés por su depósito está determinada por el monto, el plazo y las condiciones existentes en el mercado al momento de su constitución.

- **Aceptaciones bancarias y financieras**

Son letras de cambio giradas por un comprador de mercancías o bienes muebles a favor del vendedor de los mismos. Estas letras se convierten en aceptaciones bancarias o financieras cuando el girador de la letra, comprador o importador, solicita al banco, corporación financiera, corporación de ahorro y vivienda o compañía de financiamiento comercial que acepte la responsabilidad principal por el pago oportuno de la misma. El plazo máximo de estos papeles es de 360 días.

- **Títulos de tesorería TES**

Los títulos de tesorería creados en la ley 51 de 1990 son títulos de deuda pública interna emitidos por el Gobierno Nacional.

Existen dos clases de títulos: clase A y clase B. Los primeros fueron emitidos con el objeto de sustituir la deuda contraída en las operaciones de mercado abierto realizadas por el Banco de la República. Los segundos se emiten para obtener recursos para apropiaciones presupuestales y efectuar operaciones temporales de la Tesorería del Gobierno Nacional. En la actualidad solamente se emiten los títulos de clase B.

El plazo se determina de acuerdo con las necesidades de regulación del mercado monetario y de los requerimientos presupuestales o de tesorería, y fluctúa entre 1 y 7 años. El rendimiento de los títulos lo determina el Gobierno Nacional de acuerdo con las tasas del mercado para el día de colocación de los mismos.

- **Titularización**

También es posible invertir en títulos emitidos a través del mecanismo de titularización. Este es un proceso en el que diferentes activos como pueden ser: cartera, bienes inmuebles, proyectos de construcción, rentas, flujos futuros de fondos, son movilizados, constituyéndose un patrimonio autónomo, con cargo al cual se emiten títulos. La rentabilidad de los papeles la fija el emisor de acuerdo con las condiciones del mercado, y el plazo de los mismos está ligado a las características del activo, sin que éste sea inferior a un año.

## **5. METODOLOGÍA PROPUESTA**

### **5.1 TIPO DE ESTUDIO**

Para el proyecto realizado se utilizó la investigación deductiva para la construcción de herramientas informáticas generando un producto de software que aplica y sistematiza la teoría de las inversiones en renta fija y apoya de esta manera el área financiera.

El estudio es además descriptivo porque plasma algunas características fundamentales sobre el mercado de títulos de renta fija, el mercado electrónico colombiano y el Infoval (información sobre valoración de títulos y el mercado de capitales de Colombia).

El estudio es exploratorio porque se evalúan las diferentes alternativas de cómputo para llevar a cabo el desarrollo de software.

### **5.2 PROCESO METODOLÓGICO PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN**

1. Descripción de la construcción de portafolios de renta fija.
2. Solución a un caso de estudio en forma manual invocando el complemento para Excel Solver.
3. Presentación del modelo matemático a utilizar.
4. Descripción metodológica del desarrollo del algoritmo (pseudocódigo).
5. Codificación del algoritmo en el programa de cómputo incluyendo la respectiva documentación a lo largo del programa.
6. Incorporación del manual de usuario del programa desarrollado.
7. Validar el modelo desarrollado comparando los resultados obtenidos con los cálculos en forma manual.
8. Conclusiones y recomendaciones del trabajo.

## 6. CONSTRUCCIÓN DE PORTAFOLIOS DE RENTA FIJA

### 6.1 INTRODUCCIÓN A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Un portafolio de renta fija está conformado por un conjunto de títulos que generan rendimientos a una tasa que no cambia durante su periodo de vencimiento. Cada título tiene una tasa y un periodo de vencimiento independientes. Normalmente la tasa de interés está relacionada con el periodo de maduración de forma que entre más largo sea el periodo de maduración, el título tendrá una tasa más alta.

Para el análisis de las inversiones realizadas en este tipo de títulos se hace uso de un flujo de caja, el cual permite tener una visión de las entradas y salidas de efectivo del portafolio durante el tiempo en que se realizarán las inversiones.

El flujo de caja debe incluir además los requerimientos de efectivo que tenga el inversionista en cada uno de los periodos en los cuales se realizan las inversiones y considerar restricciones en cuanto al saldo final de tal manera que se cuente con un stock de seguridad en cada periodo.

Para ilustrar lo anterior se desarrollará un ejemplo en donde se cuenta con un capital inicial de \$100.000.000 y se cuenta con un portafolio compuesto por tres títulos con las tasas y plazos de vencimiento especificados en la Tabla 3. Títulos del portafolio.

**Tabla 3. Títulos del portafolio**

Título	Tasa	Plazo
Título 1	1%	1
Título 2	2,5%	2
Título 3	4%	3

Suponiendo que el inversionista cuenta con un total de cuatro periodos para realizar inversiones en cada uno de los títulos y que en cada uno de los periodos debe cumplir con unos requerimientos de efectivo de \$10.000.000, \$8.000.000, \$7.000.000 y \$9.000.000 respectivamente se construirá el flujo de caja del portafolio considerando, en este caso, un stock de seguridad de \$1.500.000 para cada uno de los periodos, este último para suplir las necesidades de efectivo que se puedan presentar.

Es importante aclarar que para cada título se pueden realizar inversiones en cada uno de los periodos y que de igual forma una vez se cumpla el plazo de vencimiento del título este madurará y generará rendimientos. Estas maduraciones

y rendimientos serán ingresos en el flujo de caja que podrán eventualmente ser reinvertidos. Así pues, suponiendo que para cada título en cada uno de los periodos se invierten \$10.000.000, el flujo de caja del portafolio descrito es el siguiente

**Tabla 4. Flujo de caja de una solución factible pero no óptima**

<b>Flujo de Caja</b>					
	<b>Mes 1</b>	<b>Mes 2</b>	<b>Mes 3</b>	<b>Mes 4</b>	<b>Final</b>
Saldo Inicial	\$ 100.000.000	\$ 60.000.000	\$ 32.100.000	\$ 25.450.000	\$ 37.200.000
<b>INGRESOS</b>					
Maduración	\$ -	\$ 10.000.000	\$ 20.000.000	\$ 30.000.000	\$ 30.000.000
Rendimientos	\$ -	\$ 100.000	\$ 350.000	\$ 750.000	\$ 750.000
<b>EGRESOS</b>					
Título 1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000	\$ -
Título 2	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000	\$ -	\$ -
Título 3	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000	\$ -	\$ -	\$ -
Requerimientos	\$ 10.000.000	\$ 8.000.000	\$ 7.000.000	\$ 9.000.000	\$ -
<b>Saldo Final</b>	<b>\$ 60.000.000</b>	<b>\$ 32.100.000</b>	<b>\$ 25.450.000</b>	<b>\$ 37.200.000</b>	<b>\$ 67.950.000</b>
				<b>Tot Rend</b>	<b>\$ 1.950.000</b>

En el primer periodo el efectivo disponible para invertir está representado únicamente por el capital inicial, es claro que aún no se ha producido ninguna maduración y ningún rendimiento, por lo tanto no hay ingresos. Los egresos de este periodo están constituidos por las inversiones en cada uno de los títulos, además de los requerimientos en este periodo. Al realizar la diferencia entre la suma del saldo inicial con los ingresos del periodo y los egresos del mismo se obtiene el saldo final. Este último será entonces el saldo inicial del periodo siguiente. Es importante observar que el saldo final obtenido cumple con la restricción de ser mayor o igual que el stock de seguridad para dicho periodo.

Para el segundo periodo se cuenta con un saldo inicial de \$60.000.000 los cuales son el saldo final del periodo anterior. En este periodo se produce la maduración de la inversión realizada en el mes anterior en el título "Título 1", que tiene un plazo de vencimiento de un mes. Igualmente se produce un ingreso por concepto de rendimientos de dicha inversión. Estas dos cantidades representan ingresos en el flujo de caja. Similar al periodo anterior, se realizan inversiones en cada uno de los títulos, los cuales al sumarse con los requerimientos del mes dan como resultado los egresos del periodo. Finalmente, y al igual que en el periodo anterior, se observa como el saldo final no supera el stock de seguridad establecido.

Para el tercer el tercer periodo, si bien la relación del saldo inicial y el saldo final del periodo inmediatamente anterior es similar a la establecida en el segundo periodo, los ingresos por concepto de maduración y rendimientos no sólo contemplan la inversión realizada en el mes anterior en el título "Título 1" sino que también incluyen la maduración y rendimientos de la inversión realizada en el título "Título 2" dos meses atrás, el cual tiene un plazo de vencimiento de dos meses. Los requerimientos de efectivo de este periodo constituyen junto con las inversiones hechas en cada título los egresos del flujo de caja, los cuales se restan de los ingresos para calcular el saldo final del periodo. No obstante, debe considerarse que dado que sólo se tienen cuatro periodos para realizar inversiones, el título "Título 3", el cual tiene un plazo de tres meses, no alcanza a madurarse antes de terminar el periodo final. Por lo tanto la inversión realizada en este título debe ser igual a cero.

En el cuarto periodo los ingresos están conformados por las maduraciones y los rendimientos de los títulos "Título 1", "Título 2" y "Título 3" realizadas en los meses tres, dos y uno respectivamente. Análogamente al periodo anterior, en este periodo no se deben realizar inversiones en los títulos "Título 2" y "Título 3" debido a que su plazo de vencimiento supera el periodo final. Mientras que es posible invertir en el título "Título 1" ya que dicha inversión alcanza a madurar en el periodo final.

Para el periodo final no se realiza ninguna inversión. Sin embargo en este periodo se presentan maduraciones de los títulos "Título 1", "Título 2" y "Título 3" realizadas uno, dos y tres meses atrás respectivamente.

En este ejemplo, se obtuvieron unos rendimientos de \$1.950.000 fruto de las inversiones realizadas en cada periodo. Sin embargo, es claro que dicha solución no constituye una solución óptima, ya que aunque cumple con los requerimientos mensuales y el saldo final no es inferior a lo considerado en el stock de seguridad, fueron efectuadas de manera arbitraria y sin ningún tipo de análisis, lo cual no garantiza que la solución sea la mejor.

## **6.2 UNA SOLUCIÓN NO ÓPTIMA**

A partir del mismo problema planteado en el problema anterior, se realizará un análisis tratando de llegar a una solución óptima. Lo anterior se hará sin utilizar ningún método de optimización.

El primer paso del análisis consiste en comparar las tasas de rendimientos de todos los títulos para elegir el título de mayor rentabilidad. Para ello se expresarán todas las tasas en una misma unidad, en este ejemplo se hará mediante tasas efectivas anuales, tal como se ilustra en la Tabla 5. Títulos del portafolio

**Tabla 5. Títulos del portafolio con tasa efectiva anual**

Título	Tasa	Plazo	Efectiva Anual
Título 1	1%	1	12,68%
Título 2	2,5%	2	15,97%
Título 3	4%	3	16,99%

Según la tabla anterior el mayor rendimiento es el generado por el título “Título 3” lo que lleva a pensar que debe invertirse la mayor cantidad de dinero en este título. Sin embargo, dado que en el momento de invertir en dicho título el dinero no estaría disponible durante un periodo de tres meses se hace necesario reservar el efectivo suficiente para cumplir con los requerimientos y tener el stock de seguridad de estos tres meses.

Por consiguiente la máxima inversión que podría realizarse en este título está determinada por el saldo inicial menos los requerimientos de los tres primeros meses menos el stock de seguridad del periodo de la inversión. Esto da un total de \$73.500.000. El título siguiente en términos de rentabilidad es el título “Título 2” en el cual se invertirá el dinero que sobró de la inversión en el título “Título 3” menos los requerimientos de los dos primeros meses en los cuales no estará disponible el capital invertido en este título menos el stock de seguridad del periodo de la inversión lo que da como resultado \$7.000.000. Finalmente del dinero restante se substraen lo necesario para cubrir los requerimientos y el stock de seguridad del periodo para calcular la inversión en el título “Título 1” dando un total de \$8.000.000.

En el segundo mes, el dinero disponible para invertir es el saldo inicial más la maduración y los rendimientos obtenidos al invertir en el título “Título 1” en el mes inmediatamente anterior restando a ello los requerimientos y el stock de seguridad del mes, es decir, \$80.000, los cuales se invierten por completo en el título “Título 3” el cual es el que ofrece mayor rentabilidad.

De igual forma, en el mes tres, el capital disponible para invertir es el total del saldo inicial más la maduración y los rendimientos obtenidos de la inversión realizada en el título “Título 2” en el primer mes sin olvidar restar los requerimientos del mes y stock de seguridad para un total de \$175.000. No obstante no es posible invertir dicho dinero en el título “Título 3” ya que para este mes no alcanza a madurar antes de que se cumpla el periodo final. De esta forma se invierte en el título “Título 2” el cual es el título que le sigue en rentabilidad.

Para el cuarto mes se cuenta con capital de \$77.940.000 el cual se obtiene del saldo inicial más la maduración y rendimientos de la inversión realizada en el título “Título 3” en el primer mes. Considerando que se deben cumplir los requerimientos

y el stock de seguridad se tiene un total de \$67.440.000 para invertir. Dicho capital únicamente puede ser invertido en el título “Título 1” ya que tanto el “Título 2” como el “Título 3” no alcanzan a madurar antes del periodo final.

El flujo de caja para el portafolio descrito es el siguiente :

**Tabla 6. Flujo de caja de una solución con análisis de rendimientos sin uso de herramientas de optimización**

<b>Flujo de Caja</b>					
	<b>Mes 1</b>	<b>Mes 2</b>	<b>Mes 3</b>	<b>Mes 4</b>	<b>Final</b>
Saldo Inicial	\$ 100.000.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
<b>INGRESOS</b>					
Maduración	\$ -	\$ 8.000.000	\$ 7.000.000	\$ 73.500.000	\$ 67.695.000
Rendimientos	\$ -	\$ 80.000	\$ 175.000	\$ 2.940.000	\$ 681.975
<b>EGRESOS</b>					
Título 1	\$ 8.000.000			\$ 67.440.000	
Título 2	\$ 7.000.000		\$ 175.000		
Título 3	\$ 73.500.000	\$ 80.000			
Requerimientos	\$ 10.000.000	\$ 8.000.000	\$ 7.000.000	\$ 9.000.000	
<b>Saldo Final</b>	<b>\$ 1.500.000</b>	<b>\$ 1.500.000</b>	<b>\$ 1.500.000</b>	<b>\$ 1.500.000</b>	<b>\$ 69.876.975</b>
				<b>Tot Rendim.</b>	<b>\$ 3.876.975</b>

## **7. SOLUCIÓN UTILIZANDO EL COMPLEMENTO PARA EXCEL SOLVER**

En el ejercicio anterior se obtuvo un total de rendimientos mayor al realizar un análisis básico sobre la rentabilidad de los títulos disponibles para invertir. Sin embargo, dicha solución no constituye una solución óptima ya que haciendo uso de herramientas de optimización es posible obtener soluciones que ofrecen mayor rentabilidad.

A continuación se presentará una manera de obtener el portafolio óptimo a través del complemento para Excel Solver. Para mayor información sobre el uso de Solver ver el ANEXO E. INTRODUCCIÓN A EXCEL SOLVER.

A partir de la información de plazos y tasas correspondiente a los títulos disponibles para invertir y conociendo el capital inicial y los requerimientos y el stock de seguridad de cada periodo se construye un flujo de caja que presente y relacione los ingresos y egresos de cada periodo.

Las celdas correspondientes a las inversiones se dejarán en blanco ya que estas serán las celdas que cambiará Solver en el momento de optimizar. Los datos referentes a los requerimientos y saldo inicial se ubican en las celdas correspondientes del flujo de caja. Esto se puede observar en la Figura 2. Construcción de flujo de caja. Capital inicial y requerimientos:

Figura 2. Construcción de flujo de caja. Capital inicial y requerimientos

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Saldo inicial						
3		\$ 100.000.000						
4								
5		Periodo	Requerimientos	Stock Seguridad	Alternativas de inversión			
6		1	\$ 10.000.000	\$ 1.500.000	Título	Tasa	Plazo	
7		2	\$ 8.000.000	\$ 1.500.000	Título 1	1,0%	1	
8		3	\$ 7.000.000	\$ 1.500.000	Título 2	2,5%	2	
9		4	\$ 9.000.000	\$ 1.500.000	Título 3	4,0%	3	
10								
11								
12		Flujo de Caja						
13			Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Final	
14		Saldo Inicial	\$ 100.000.000					
15		INGRESOS						
16		Maduración						
17		Rendimientos						
18		EGRESOS						
19		Título 1						
20		Título 2						
21		Título 3						
22		Requerimientos	\$ 10.000.000	\$ 8.000.000	\$ 7.000.000	\$ 9.000.000		
23		Saldo Final						
24						Tot Rend		
25								

El siguiente paso es programar las fórmulas relacionadas con las maduraciones y los rendimientos de las inversiones realizadas en cada periodo, tal como se observa en las figuras Figura 3. Construcción de flujo de caja. Fórmula de maduración de títulos y Figura 4. Construcción de flujo de caja. Fórmula de rendimientos de títulos.

Figura 3. Construcción de flujo de caja. Fórmula de maduración de títulos

Periodo	Requerimientos	Stock Seguridad	Alternativas de inversión		
			Título	Tasa	Plazo
1	\$ 10.000.000	\$ 1.500.000	Título 1	1,0%	1
2	\$ 8.000.000	\$ 1.500.000	Título 2	2,5%	2
3	\$ 7.000.000	\$ 1.500.000	Título 3	4,0%	3
4	\$ 9.000.000	\$ 1.500.000			

Flujo de Caja					
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Final
Saldo Inicial	\$ 100.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>INGRESOS</b>					
Maduración	\$ -	\$ -	\$ -	=-C520+D519+SE18	
Rendimientos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>EGRESOS</b>					
Título 1					
Título 2					
Título 3					
Requerimientos	\$ 10.000.000	\$ 8.000.000	\$ 7.000.000	\$ 9.000.000	
<b>Saldo Final</b>					
					Tot Rend

Figura 4. Construcción de flujo de caja. Fórmula de rendimientos de títulos

Periodo	Requerimientos	Stock Seguridad	Alternativas de inversión		
			Título	Tasa	Plazo
1	\$ 10.000.000	\$ 1.500.000	Título 1	1,0%	1
2	\$ 8.000.000	\$ 1.500.000	Título 2	2,5%	2
3	\$ 7.000.000	\$ 1.500.000	Título 3	4,0%	3
4	\$ 9.000.000	\$ 1.500.000			

Flujo de Caja					
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Final
Saldo Inicial	\$ 100.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>INGRESOS</b>					
Maduración	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Rendimientos	\$ -	\$ -	\$ -	=-C520*SF59+D519*SF58+SE18*SF57	
<b>EGRESOS</b>					
Título 1					
Título 2					
Título 3					
Requerimientos	\$ 10.000.000	\$ 8.000.000	\$ 7.000.000	\$ 9.000.000	
<b>Saldo Final</b>					
					Tot Rend

El saldo final de cada periodo se calcula mediante la diferencia del total de ingresos y el total de egresos. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 5. Construcción de flujo de caja. Saldo final. Este saldo final constituye el saldo inicial

del periodo siguiente, tal como lo ilustra la Figura 6. Construcción de flujo de caja. Relación entre saldo final y saldo inicial.

**Figura 5. Construcción de flujo de caja. Saldo final**

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Saldo inicial						
3		\$ 100.000.000						
4								
5		Periodo	Requerimientos	Stock Seguridad	Alternativas de inversión			
6		1	\$ 10.000.000	\$ 1.500.000	Título	Tasa	Plazo	
7		2	\$ 8.000.000	\$ 1.500.000	Título 1	1,0%	1	
8		3	\$ 7.000.000	\$ 1.500.000	Título 2	2,5%	2	
9		4	\$ 9.000.000	\$ 1.500.000	Título 3	4,0%	3	
10								
11		Flujo de Caja						
12			Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Final	
13		Saldo inicial	\$ 100.000.000	\$ 90.000.000	\$ 82.000.000	\$ 75.000.000	\$ 66.000.000	
14		INGRESOS						
15		Maduración	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
16		Rendimientos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
17		EGRESOS						
18		Título 1						
19		Título 2						
20		Título 3						
21		Requerimientos	\$ 10.000.000	\$ 8.000.000	\$ 7.000.000	\$ 9.000.000		
22		Saldo Final	\$ 90.000.000	=SUMA(\$D\$11:\$D\$16)	=SUMA(\$E\$18:\$E\$21)		\$ 66.000.000	
23						Tot Rend	\$ -	
24								
25								

**Figura 6. Construcción de flujo de caja. Relación entre saldo final y saldo inicial**

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Saldo inicial						
3		\$ 100.000.000						
4								
5		Periodo	Requerimientos	Stock Seguridad	Alternativas de inversión			
6		1	\$ 10.000.000	\$ 1.500.000	Título	Tasa	Plazo	
7		2	\$ 8.000.000	\$ 1.500.000	Título 1	1,0%	1	
8		3	\$ 7.000.000	\$ 1.500.000	Título 2	2,5%	2	
9		4	\$ 9.000.000	\$ 1.500.000	Título 3	4,0%	3	
10								
11		Flujo de Caja						
12			Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Final	
13		Saldo inicial	\$ 100.000.000	\$ 90.000.000	-\$0\$22	\$ 75.000.000	\$ 66.000.000	
14		INGRESOS						
15		Maduración	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
16		Rendimientos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
17		EGRESOS						
18		Título 1						
19		Título 2						
20		Título 3						
21		Requerimientos	\$ 10.000.000	\$ 8.000.000	\$ 7.000.000	\$ 9.000.000		
22		Saldo Final	\$ 90.000.000	\$ 82.000.000	\$ 75.000.000	\$ 66.000.000	\$ 66.000.000	
23						Tot Rend	\$ -	
24								
25								

El último paso necesario para ejecutar el complemento Solver es el cálculo de la totalidad de rendimientos obtenidos en el portafolio. Lo anterior se hace realizando la suma de los rendimientos obtenidos en cada periodo. Esto es de gran importancia ya que esta será la celda objetivo utilizada por el Solver para realizar la optimización. La fórmula correspondiente a esta celda objetivo se puede observar en la figura Figura 7. Construcción de flujo de caja. Total rendimientos

**Figura 7. Construcción de flujo de caja. Total rendimientos**

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Saldo inicial						
3		\$ 100.000.000						
4								
5		Periodo	Requerimientos	Stock Seguridad	Alternativas de inversión			
6		1	\$ 10.000.000	\$ 1.500.000	Título	Tasa	Plazo	
7		2	\$ 8.000.000	\$ 1.500.000	Título 1	1,0%	1	
8		3	\$ 7.000.000	\$ 1.500.000	Título 2	2,5%	2	
9		4	\$ 9.000.000	\$ 1.500.000	Título 3	4,0%	3	
10								
11		Flujo de Caja						
12			Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Final	
13		Saldo inicial	\$ 100.000.000	\$ 90.000.000	\$ 82.000.000	\$ 75.000.000	\$ 66.000.000	
14		INGRESOS						
15		Maduración	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
16		Rendimientos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
17		EGRESOS						
18		Título 1						
19		Título 2						
20		Título 3						
21		Requerimientos	\$ 10.000.000	\$ 8.000.000	\$ 7.000.000	\$ 9.000.000		
22		Saldo Final	\$ 90.000.000	\$ 82.000.000	\$ 75.000.000	\$ 66.000.000	\$ 66.000.000	
23						Tot Rend	=SUMA(\$C\$16:\$G\$16)	
24								
25								

Una vez programadas todas las fórmulas que relacionan las variables del flujo de caja, se procede a la ejecución del complemento para Excel Solver. En caso de que el complemento no esté disponible puede adicionarse por la ficha “Opciones de Excel” → Complementos → Ir a..., y allí se selecciona la casilla correspondiente al Solver.

Al ejecutar el Solver, aparece un cuadro de diálogo para el ingreso de la información necesaria para la optimización, en el campo “Celda Objetivo” debe seleccionarse la celda correspondiente al total de rendimientos y ya que se trata de un problema de maximización, se selecciona la opción “Máximo”. En el campo “Cambiando Celdas”, se seleccionan las celdas que van a ser variables en el proceso, es decir, las que contienen los valores de la inversiones. Las restricciones a las que está sujeto el problema son dos: en primer lugar, se debe especificar que las celdas correspondientes a las inversiones (las mismas de la opción “Cambiando celdas”), deben ser mayores que cero, y como segunda

restricción se debe agregar que las celdas correspondientes a los saldos finales deben ser mayores que el stock de seguridad proporcionado. Estos parámetros son ilustrados en la Figura 8. Ejecución de Solver.

Figura 8. Ejecución de Solver

The screenshot shows the 'Parámetros de Solver' dialog box in Microsoft Excel. The 'Celda objetivo' is set to '\$B\$23'. The 'Valor de la celda objetivo' is set to 'Máximo'. The 'Cambiar las celdas' is set to '\$C\$10:\$F\$20'. The constraints are '\$C\$10:\$F\$20 >= 0' and '\$C\$22:\$F\$22 >= \$D\$6:\$D\$9'. The 'Opciones' button is highlighted. In the background, the spreadsheet shows a financial model with columns for 'Período', 'Requerimientos', 'Stock Seguridad', and 'Alternativas de inversión'. A 'Flujo de Caja' table is also visible, showing cash flows from 'Mes 1' to 'Final'.

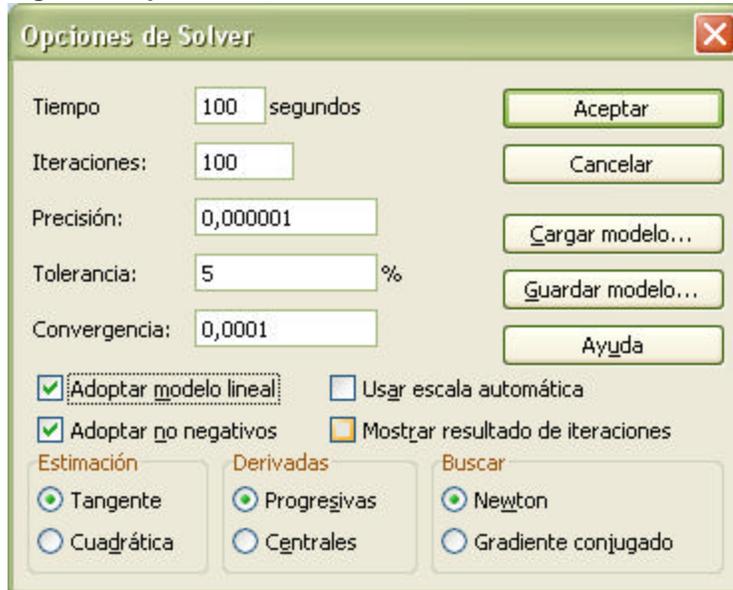
Período	Requerimientos	Stock Seguridad	Alternativas de inversión		
			Título	Tasa	Plazo
1	\$ 10.000.000	\$ 1.500.000	Título 1	1,0%	1
2	\$ 8.000.000	\$ 1.500.000	Título 2	2,5%	2
3	\$ 7.000.000	\$ 1.500.000	Título 3	4,0%	3
4	\$ 9.000.000	\$ 1.500.000			

Flujo de Caja					
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Final
Saldo Inicial	\$ 100.000.000	\$ 90.000.000	\$ 82.000.000	\$ 75.000.000	\$ 66.000.000
INGRESOS					
Maduración	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Rendimientos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
EGRESOS					
Título 1					
Título 2					
Título 3					
Requerimientos	\$ 10.000.000	\$ 8.000.000	\$ 7.000.000	\$ 9.000.000	
Saldo Final	\$ 90.000.000	\$ 82.000.000	\$ 75.000.000	\$ 66.000.000	\$ 66.000.000
Tot Rend				\$ -	

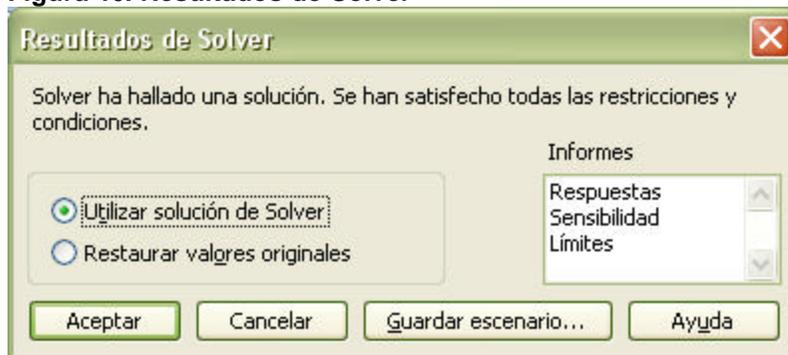
Algunas opciones adicionales deben especificarse para el correcto funcionamiento del complemento Solver, esto debe hacerse a través del cuadro de diálogo que aparece al dar clic en el botón "Opciones". Es necesario seleccionar los items "Adoptar modelo lineal" y "Adoptar no negativos". El resto de las opciones se dejan igual, con los valores que aparecen por defecto. Una vista de este cuadro de diálogo se muestra en la Figura 9. Opciones de Solver

**Figura 9. Opciones de Solver**



Luego de realizar la configuración anterior y cerrar el cuadro de diálogo, se presiona el botón “Resolver” de la pantalla inicial para generar la solución óptima calculada por Solver. Cuando este complemento termina el proceso, presenta una pantalla como la de la Figura 10. Resultados de Solver, en la que informa al usuario que se ha encontrado una solución al problema. Además se presentan algunas opciones de informes adicionales en los que el usuario puede estar interesado.

**Figura 10. Resultados de Solver**



Finalmente, al presionar el botón “Aceptar”, Solver retorna los valores de las celdas cambiantes, es decir los valores de las inversiones, que conforman la solución óptima y maximizan los rendimientos del portafolio. Para el ejemplo planteado, la solución propuesta por Solver es la que se presenta en la Tabla 7. Flujo de caja de la solución óptima usando el complemento de Excel Solver

**Tabla 7. Flujo de caja de la solución óptima usando el complemento de Excel Solver**

<b>Flujo de Caja</b>					
	<b>Mes 1</b>	<b>Mes 2</b>	<b>Mes 3</b>	<b>Mes 4</b>	<b>Final</b>
Saldo Inicial	\$ 100.000.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
<b>INGRESOS</b>					
Maduración	\$ -	\$ 7.920.792	\$ 71.925.362	\$ 8.653.846	\$ 66.723.496
Rendimientos	\$ -	\$ 79.208	\$ 1.798.134	\$ 346.154	\$ 1.668.087
<b>EGRESOS</b>					
Título 1	\$ 7.920.792	\$ -	\$ -	\$ -	
Título 2	\$ 71.925.362	\$ -	\$ 66.723.496	\$ -	
Título 3	\$ 8.653.846	\$ -	\$ -	\$ -	
Requerimientos	\$ 10.000.000	\$ 8.000.000	\$ 7.000.000	\$ 9.000.000	
<b>Saldo Final</b>	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 69.891.583
				<b>Tot Rend</b>	\$ 3.891.583

## 8. MODELO DE PORTAFOLIO DE RENTA FIJA ÓPTIMO

De acuerdo a las condiciones del problema se supondrá entonces que se tienen  $m$  títulos para ser invertidos en  $n$  periodos. De esta forma se define que  $T_j$  corresponde al título  $j$  con una duración  $d_j$  y que dicho título tendrá una tasa  $C_{ij}$  en el periodo  $i$ .

Se debe tener en cuenta que en cada periodo es posible invertir en cada uno de los títulos. Así, se define  $X_{ij}$  como el dinero para invertir en el título  $j$ , en el periodo  $i$ .

Considerando que en cada periodo se cuenta con un saldo inicial y un saldo final se define el saldo inicial en el periodo  $i$  como  $S_{i-1}$  y el saldo final en el mismo periodo como  $S_i$ . Se debe considerar que el saldo final en el periodo no puede ser inferior al stock de seguridad definido para dicho periodo el cual se define como  $St_i$ . Así mismo, se debe tener presente que  $S_0$  equivale al capital inicial que se tiene para invertir.

Si se tiene en cuenta que en el periodo  $i$  se producen maduraciones de las inversiones realizadas en periodos anteriores, se define  $M_{ij}$  como la maduración del título  $j$  en el periodo  $i$ . Esto quiere decir que para que este título madure en el periodo  $i$  debe haberse realizado la inversión  $d_j$  periodos atrás. De esta manera  $M_{ij} = X_{rj} \cdot (1 + C_{rj})$ , que es equivalente a la inversión  $X_{rj}$  más los rendimientos  $X_{rj} \cdot C_{rj}$  obtenidos. Donde  $r = i - d_j$  corresponde al periodo en que la inversión fue realizada.

Con lo anterior el saldo final para el periodo  $i$  estará determinado por los ingresos en dicho periodo menos los egresos. Así:

$$S_i = S_{i-1} + \sum_{j=1}^m M_{ij} - \sum_{j=1}^m X_{ij} - R_i$$

Es decir que el saldo final se obtiene de sumar al saldo

inicial del periodo las maduraciones y rendimientos obtenidos de las inversiones efectuadas en periodos anteriores y a este total restar las inversiones realizadas y los requerimientos que se tienen.

Con lo anterior es posible construir el modelo de programación lineal que permita maximizar los rendimientos obtenidos.

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (C_{ij} \cdot X_{ij})$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

- $S_i \geq St_i$  para  $i=1,2,\dots,n$ . Con lo cual se cumplen las restricciones de stock de seguridad.
- $X_{ij} \geq 0$  con  $i=1,2,\dots,n$  y  $j=1,2,\dots,m$ . Con lo que se garantiza que las inversiones deben ser positivas.
- $S_i = S_{i-1} + \sum_{j=1}^m M_{ij} - \sum_{j=1}^m X_{ij} - R_i$  para  $i=1,2,\dots,n$ . Con que se relaciona el saldo final de un periodo con el saldo inicial del periodo siguiente. Con  $S_0$  igual al capital inicial.
- Por último si para cada una de las inversiones  $X_{ij}$  con  $i=1,2,\dots,n$  y  $j=1,2,\dots,m$  se cumple que  $i+d_j > n+1$  entonces  $X_{ij} = 0$ . Lo anterior significa que la inversión no debe ser realizada ya que no alcanza a madurar en el periodo final (periodo  $n+1$ ).

Si bien el modelo anterior constituye una representación del problema que se pretende resolver es necesario expresarlo de la forma "Maximizar  $f \cdot x$  sujeto a  $A \times x \leq b$ ". Por lo anterior, las variables  $S_i$  que representan los saldos no son variables independientes sino que su valor está determinado por la diferencia entre los ingresos (saldo inicial, maduraciones y rendimientos) y los egresos (inversiones y requerimientos) del periodo. Si se tiene presente que el saldo final de un periodo corresponde al saldo inicial del periodo siguiente, es posible reemplazar de forma recursiva cada uno de los saldos finales  $S_i$  teniendo en

cuenta que  $S_i = S_{i-1} + \sum_{j=1}^m M_{ij} - \sum_{j=1}^m X_{ij} - R_i$ . Así pues, basta con reemplazar los diferentes valores de  $i$  en la ecuación anterior, con  $i=1,2,\dots,n$ . Obteniendo de esta forma a  $S_1$  en términos de  $S_0$ , las variables de inversión y los requerimientos,  $S_2$  en términos de  $S_1$ , las variables de inversión y los requerimientos y por consiguiente en términos de  $S_0$ , las variables de inversión y los requerimientos. De forma recursiva es posible para todo  $i$  expresar  $S_i$  en términos de  $S_0$  y las variables de inversión. Así, mediante el reemplazo se tiene:

Con  $i=1$  en la ecuación mencionada se obtiene  $S_1$  en términos de  $S_0$ :

$$S_1 = S_0 + \sum_{j=1}^m M_{1j} - \sum_{j=1}^m X_{1j} - R_1$$

Mientras que con  $i = 2$  se obtiene  $S_2$  en términos de  $S_1$ :

$$S_2 = S_1 + \sum_{j=1}^m M_{2j} - \sum_{j=1}^m X_{2j} - R_2$$

Reemplazando el valor que se tenía de  $S_1$  se obtiene  $S_2$  en términos de  $S_0$ :

$$S_2 = \left( S_0 + \sum_{j=1}^m M_{1j} - \sum_{j=1}^m X_{1j} - R_1 \right) + \sum_{j=1}^m M_{2j} - \sum_{j=1}^m X_{2j} - R_2$$

De igual forma con  $i = 3$  se obtiene  $S_3$  en términos de  $S_2$ :

$$S_3 = S_2 + \sum_{j=1}^m M_{3j} - \sum_{j=1}^m X_{3j} - R_3$$

Reemplazando el valor que se tenía de  $S_2$  se obtiene  $S_3$  en términos de  $S_0$ :

$$S_3 = \left( S_0 + \sum_{j=1}^m M_{1j} - \sum_{j=1}^m X_{1j} - R_1 + \sum_{j=1}^m M_{2j} - \sum_{j=1}^m X_{2j} - R_2 \right) + \sum_{j=1}^m M_{3j} - \sum_{j=1}^m X_{3j} - R_3$$

De manera inductiva se puede obtener una ecuación para  $S_i$  en términos de  $S_0$  y las variables de inversión:

$$S_i = S_0 + \sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m M_{kj} - \sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m X_{kj} - \sum_{k=1}^i R_k$$

Con lo anterior, Si se consideran las restricciones de stock de seguridad en donde  $S_i \geq St_i$  para  $i = 1, 2, \dots, n$ . Dichas restricciones serán entonces de la forma:

$$S_0 + \sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m M_{kj} - \sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m X_{kj} - \sum_{k=1}^i R_k \geq St_i$$

Despejando las variables de los términos independientes se tiene:

$$\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m M_{kj} - \sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m X_{kj} \geq St_i + \sum_{k=1}^i R_k - S_0$$

De tal forma, el modelo de programación lineal quedará de la siguiente forma:

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (C_{ij} \cdot X_{ij})$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

- $\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m M_{kj} - \sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m X_{kj} \geq St_i + \sum_{k=1}^i R_k - S_0$  para  $i=1,2,\dots,n$ . Con lo cual se cumplen las restricciones de stock de seguridad y relación entre saldos finales e iniciales.
- $X_{ij} \geq 0$  con  $i=1,2,\dots,n$  y  $j=1,2,\dots,m$ . Con lo que se garantiza que las inversiones deben ser positivas.
- Por último si para cada una de las inversiones  $X_{ij}$  con  $i=1,2,\dots,n$  y  $j=1,2,\dots,m$  se cumple que  $i+d_j > n+1$  entonces  $X_{ij}=0$ . Lo anterior significa que la inversión no debe ser realizada ya que no alcanza a madurar en el periodo final (periodo  $n+1$ ).

Opcionalmente, una vez se encontrado los valores de  $X_{ij}$  que maximizan la rentabilidad es posible encontrar la tasa interna de retorno  $I$  del portafolio de renta fija haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$VPN(I) = \sum_{i=0}^{i=N} \frac{FC_i}{(1+I)^i} = 0$$

Donde  $FC_i$  corresponde al flujo de caja libre en el periodo  $i$ .

## 9. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE PORTAFOLIO DE RENTA FIJA ÓPTIMO EN MATLAB

Dado que el problema objeto de la investigación está relacionado estrechamente con el tema de la optimización, se decidió darle solución a través del uso de herramientas matemáticas especializadas en la materia. MATLAB es un software matemático de amplia utilización que permite solucionar eficientemente problemas matemáticos de diversos campos. Este software utiliza para la representación de la información un esquema matricial, motivo por el cual fue necesario modelar los datos de entrada tales como plazos y tasas de los títulos, requerimientos y stock de seguridad en forma de matrices, además de poder plasmar en este mismo modelo la relación entre todas las variables involucradas en el proceso de optimización del portafolio.

Para la construcción de la herramienta se usó el *toolbox* (caja de herramientas) de MATLAB *Excel Builder* el cual permite crear complementos para Excel que pueden ser distribuidos de manera independiente a partir de modelos desarrollados en MATLAB. De esta forma se aprovechan las potentes capacidades de análisis de datos y modelamiento con que cuenta este software.

La metodología utilizada para la implementación en MATLAB del modelo propuesto, consiste en tomar los datos proporcionados por el usuario en una hoja de cálculo de Excel y enviarlos luego como parámetros a un componente desarrollado y compilado en MATLAB el cual se encarga de realizar la optimización y retornar nuevamente a Excel la información de las inversiones que maximizan los rendimientos. Finalmente se presentan los resultados en un flujo de caja que se genera automáticamente dentro de la hoja de cálculo, haciendo uso de programación de macros en *Visual Basic for Applications*. El formato utilizado para la presentación del flujo de caja asegura la relación coherente entre las celdas, de forma tal que es posible realizar cambios en los datos y ver la actualización de la información. Es importante aclarar que en el complemento final no se hace uso de Solver en ningún paso de la optimización. Este ha sido referenciado a lo largo del trabajo sólo con el objetivo de corroborar la solución obtenida con el componente elaborado en MATLAB.

### 9.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA CODIFICADO EN MATLAB

En la Figura 11. Diagrama de flujo del programa desarrollado en MATLAB, se presenta el diagrama de flujo de la función creada en MATLAB, el cual describe gráficamente la lógica utilizada en la programación del componente construido.



## 9.2 DESARROLLO DEL PROGRAMA EN MATLAB

El código fuente de la función *port\_optim* programada en MATLAB se presenta en el ANEXO A. CÓDIGO FUENTE DE LA FUNCIÓN DE OPTIMIZACIÓN EN MATLAB. Dicho código debe guardarse con la extensión *.m* y el archivo que lo contiene debe nombrarse de la misma forma que la función definida.

Luego de haber programado la función anterior, que se encarga de optimizar el portafolio, se realiza la comprobación de su funcionamiento dentro del mismo ambiente de programación de MATLAB. Así para el ejemplo que se ha trabajado en los capítulos anteriores se hace uso del código de prueba descrito en el ANEXO A. CÓDIGO FUENTE DE LA FUNCIÓN DE OPTIMIZACIÓN EN MATLAB obteniendo el siguiente resultado:

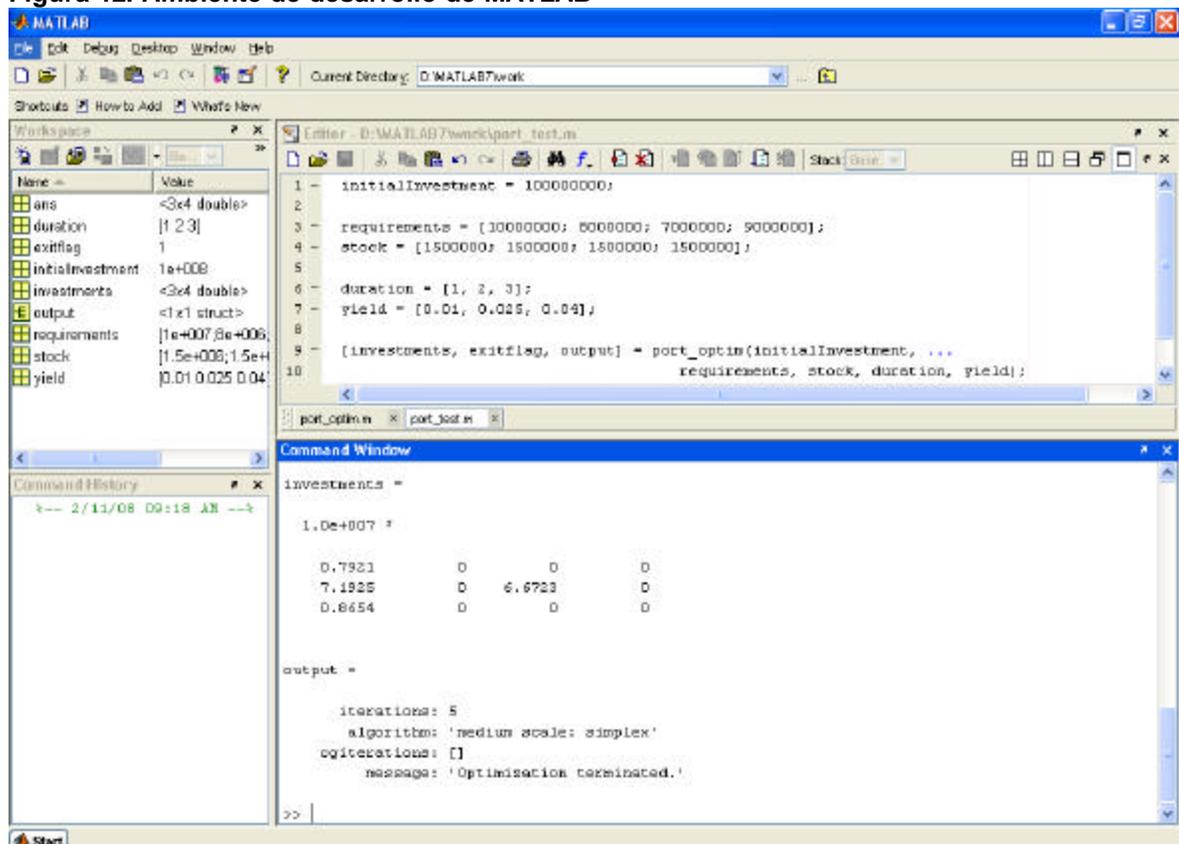
```
investments =  
  
1.0e+007 *  
  
    0.7921         0         0         0  
    7.1925         0    6.6723         0  
    0.8654         0         0         0  
  
output =  
  
    iterations: 5  
    algorithm: 'medium scale: simplex'  
    cgiterations: []  
    message: 'Optimization terminated.'
```

“Investments” es la matriz dinámica que contiene los valores de las inversiones y que conforma el resultado de la optimización realizada por MATLAB, según los datos proporcionados y el modelo matemático desarrollado encargado de representar toda la información del portafolio. El dato que se presenta al inicio del resultado igual a  $1.0e+007 *$  significa que los valores de la solución están expresados en notación científica y deben multiplicados por diez a la siete, de manera que se puedan leer en millones de pesos.

“output” es una estructura que almacena información adicional relacionada con el proceso ejecutado, como el número de iteraciones que en este caso fueron cinco, el tipo de algoritmo utilizado que para el presente caso es *'medium scale: simplex'*, el número de iteraciones de gradiente conjugado (si son utilizadas) que para este caso es vacío y por último un mensaje de “operación terminada”.

La Figura 12. Ambiente de desarrollo de MATLAB presenta un ejemplo de la interfaz que se utiliza para la programación. En el editor se realiza la codificación de las funciones y la ventana de comando muestra el resultado de la ejecución de dichos métodos. En esta figura se puede apreciar el código fuente usado para la prueba de escritorio de la función de optimización (llamada *port\_optim*) y también el resultado en la ventana de comando.

**Figura 12. Ambiente de desarrollo de MATLAB**



### 9.3 CREACIÓN DEL COMPONENTE EN MATLAB

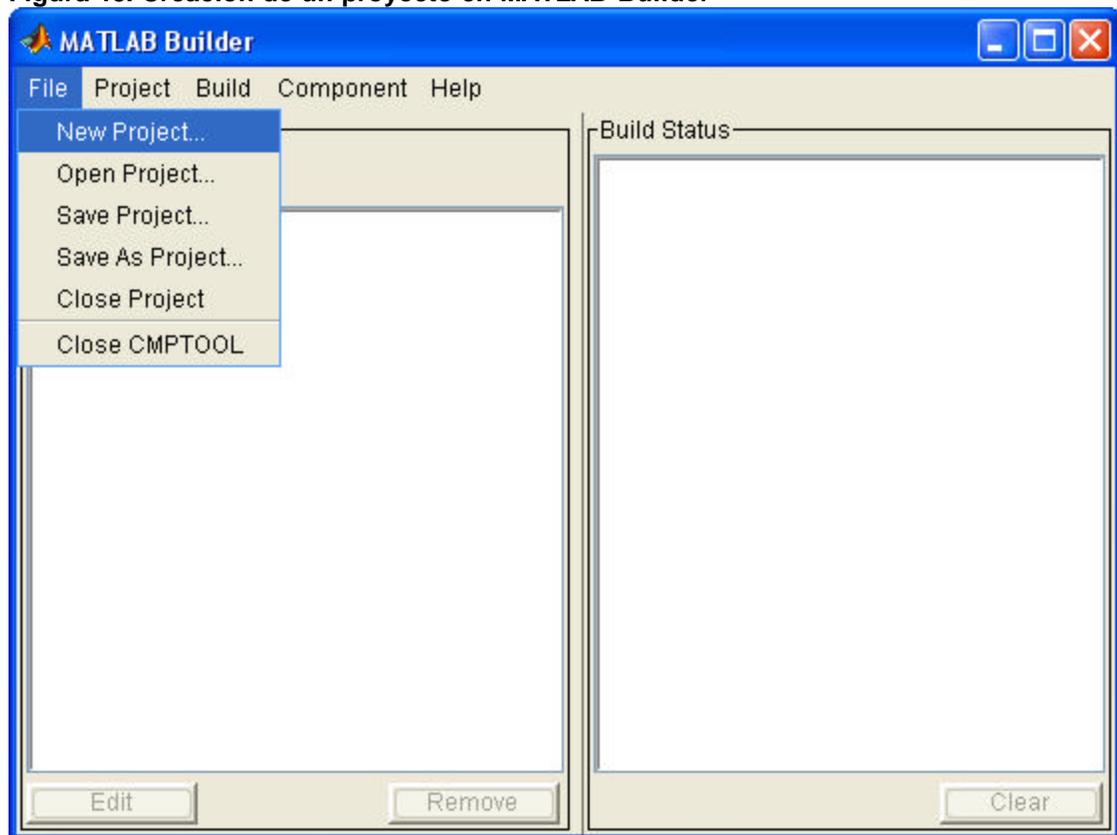
Luego de la codificación del programa optimizador y de la correspondiente prueba para verificar su correcto funcionamiento, se procede a la creación del componente que será invocado desde Microsoft Excel. Para llevar a cabo este proceso se deben seguir los siguientes pasos:

**Paso 1.** Guardar el programa optimizador en un archivo con extensión “.m”. En el proyecto actual se utilizó el nombre *port\_optim.m*

**Paso 2.** Ejecutar, en la ventana de comandos, el comando *mxltool* para construir el componente a partir del archivo almacenado. Al correr este comando se abre una ventana que permitirá la creación del componente. La ventana mencionada corresponde a la herramienta MATLAB Builder.

**Paso 3.** Crear un nuevo proyecto a través del menú, tal como lo ilustra la Figura 13. Creación de un proyecto en MATLAB Builder.

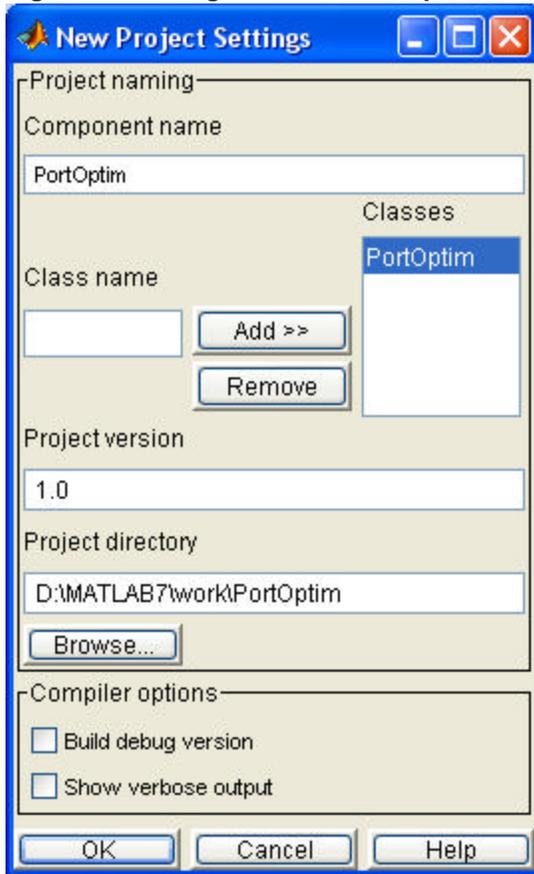
**Figura 13.** Creación de un proyecto en MATLAB Builder



**Paso 4.** Indicar los parámetros del proyecto. Es necesario asignar un nombre al nuevo proyecto, para el presente caso el nombre será *PortOptim*. Este proyecto está compuesto sólo por una clase que a su vez tendrá sólo un método, el método *port\_optim*, es por esto que el nombre dado a la clase será el mismo del proyecto. El directorio del proyecto es la ruta en que el compilador generará todos los archivos necesarios para la instalación exitosa del componente y que se utilizarán para el registro en el sistema operativo. La pantalla por medio de la cual se

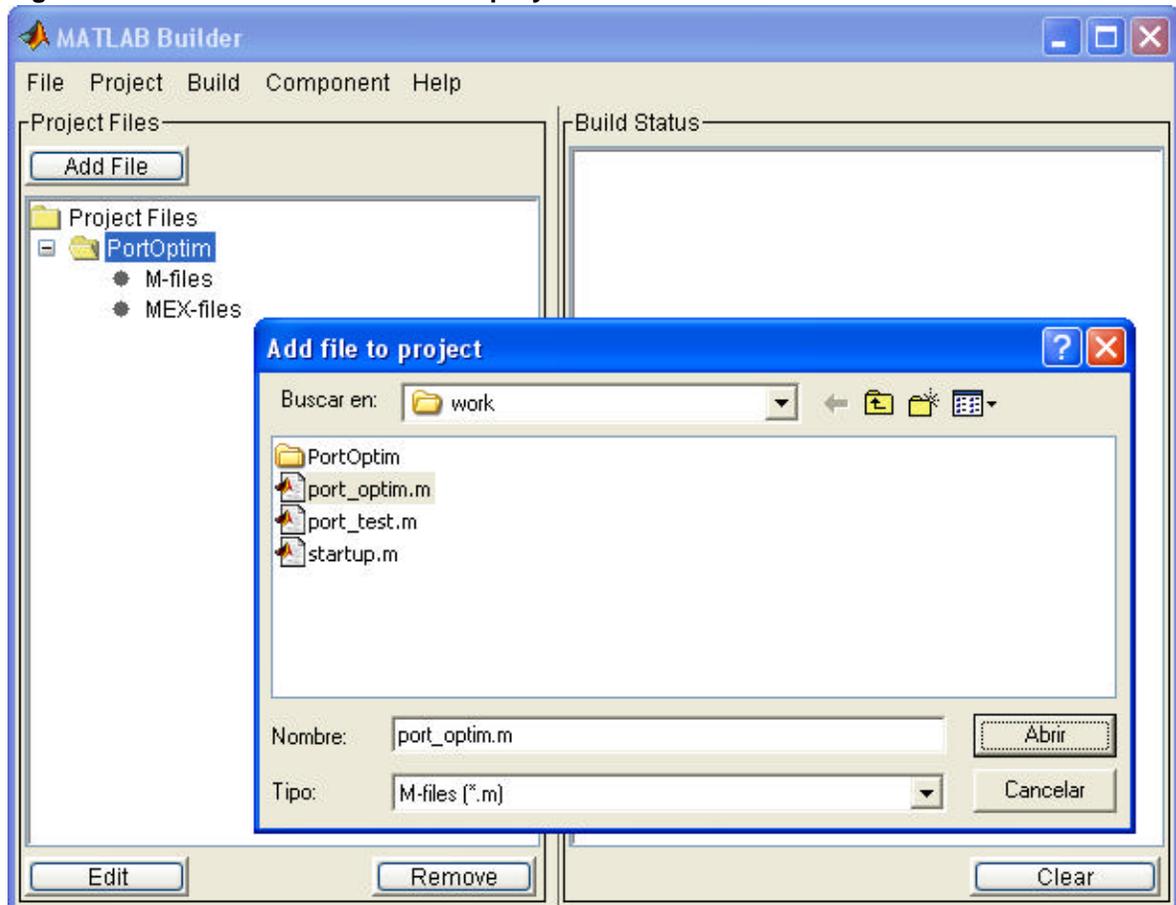
proporcionan estos datos se puede observar en la Figura 14. Configuración de las opciones de un proyecto.

**Figura 14. Configuración de las opciones de un proyecto**



**Paso 5.** Adicionar los archivos que conforman el proyecto. Como se explicó en el paso anterior, el proyecto sólo está compuesto por una clase, la cual cuenta con el método *port\_optim*, el cual está almacenado en el archivo *PortOptim.m*, Este archivo debe agregarse entonces al proyecto que se está construyendo, tal como lo muestra la Figura 15. Adición de los archivos del proyecto.

**Figura 15. Adición de los archivos del proyecto**



**Paso 6.** Compilar el componente. Una vez se han adicionado los archivos necesarios a la clase, se procede con la compilación del componente como paso final para su utilización desde Microsoft Excel. Para realizar esta tarea es necesario tener instalado un compilador que MATLAB pueda utilizar para llevar a cabo el proceso de creación del componente, sin embargo, en la presente investigación se encontró que la instalación del software MATLAB no incluye un elemento que cumpla estas características, obteniendo durante la compilación el siguiente error:

```
D:/MATLAB7/BIN/WIN32/MEX.PL: Error: The chosen compiler does not support
building COM objects.
Please see the MATLAB Add-in for Excel documentation for the latest list of
supported compilers.
```

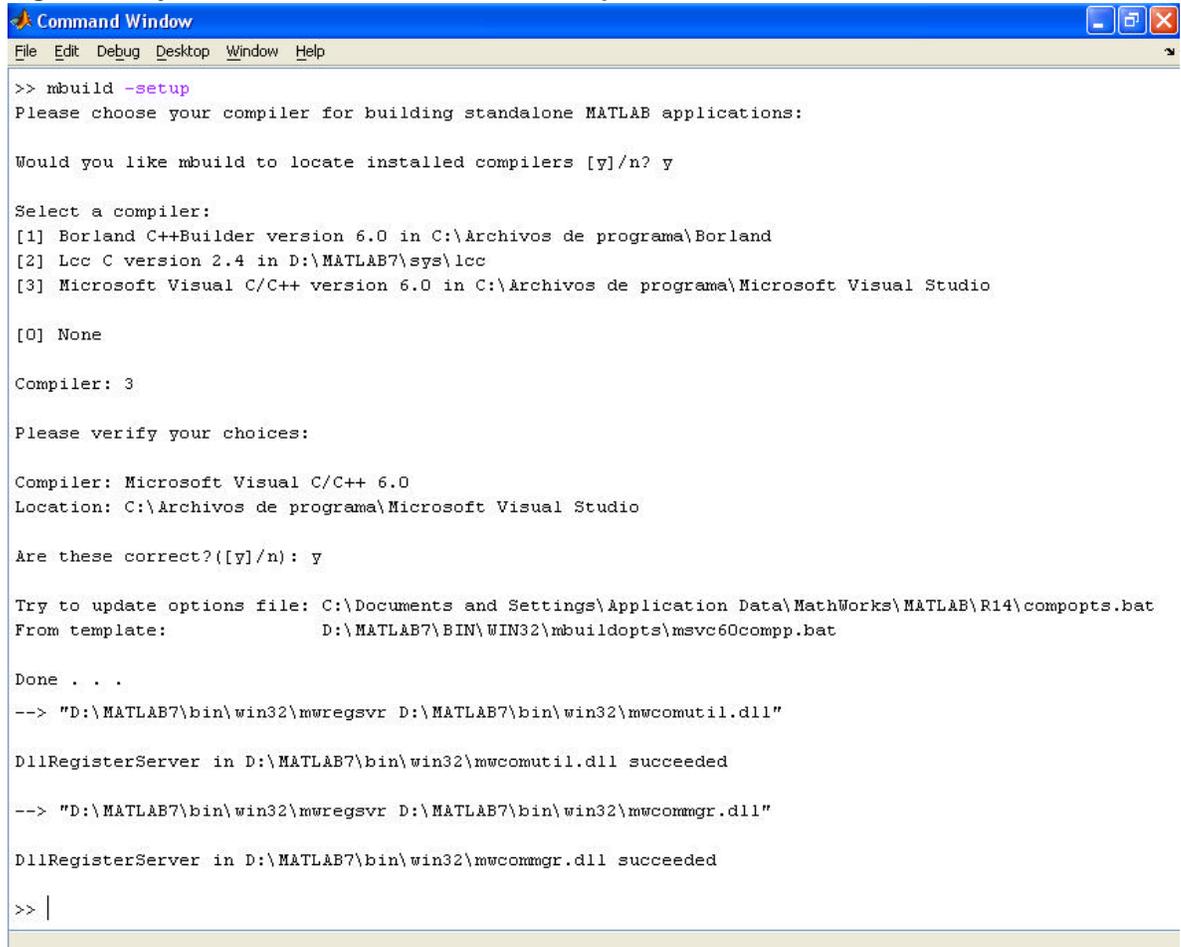
```
??? Error using ==> mbuild
```

Unable to complete successfully

Frente a este inconveniente fue necesario iniciar un proceso de búsqueda de un compilador que soportara la creación de componentes como el que se necesitaba obtener, encontrándose que el compilador Microsoft Visual C/C++ versión 6.0 trabajó correctamente y permitió la culminación sin errores del proceso de creación del componente para la utilización desde Microsoft Excel.

Para configurar el software MATLAB Builder de manera que utilice el nuevo compilador instalado es necesario ejecutar la instrucción *mbuild -setup* en la ventana de comando. Esta instrucción pregunta al usuario si desea que se realice una búsqueda automática de los compiladores disponibles a lo que se recomienda responder que si, luego, al mostrar el listado, se debe seleccionar el compilador Microsoft Visual C/C++ 6.0, pues es el que funcionó correctamente, luego de hacer las pruebas pertinentes. Finalmente el programa solicita una comprobación de la selección hecha y termina la configuración del nuevo compilador en el entorno de desarrollo de MATLAB. La ejecución de la instrucción *mbuild -setup* se ilustra en la Figura 16. Ejecución del comando *mbuild -setup*

**Figura 16. Ejecución del comando mbuild -setup**



```
>> mbuild -setup
Please choose your compiler for building standalone MATLAB applications:

Would you like mbuild to locate installed compilers [y]/n? y

Select a compiler:
[1] Borland C++Builder version 6.0 in C:\Archivos de programa\Borland
[2] Lcc C version 2.4 in D:\MATLAB7\sys\lcc
[3] Microsoft Visual C/C++ version 6.0 in C:\Archivos de programa\Microsoft Visual Studio

[0] None

Compiler: 3

Please verify your choices:

Compiler: Microsoft Visual C/C++ 6.0
Location: C:\Archivos de programa\Microsoft Visual Studio

Are these correct?([y]/n): y

Try to update options file: C:\Documents and Settings\Application Data\MathWorks\MATLAB\R14\compopts.bat
From template:           D:\MATLAB7\BIN\WIN32\mbuildopts\msvc60comp.bat

Done . . .
--> "D:\MATLAB7\bin\win32\mwregsvr D:\MATLAB7\bin\win32\mwcomutil.dll"

DllRegisterServer in D:\MATLAB7\bin\win32\mwcomutil.dll succeeded

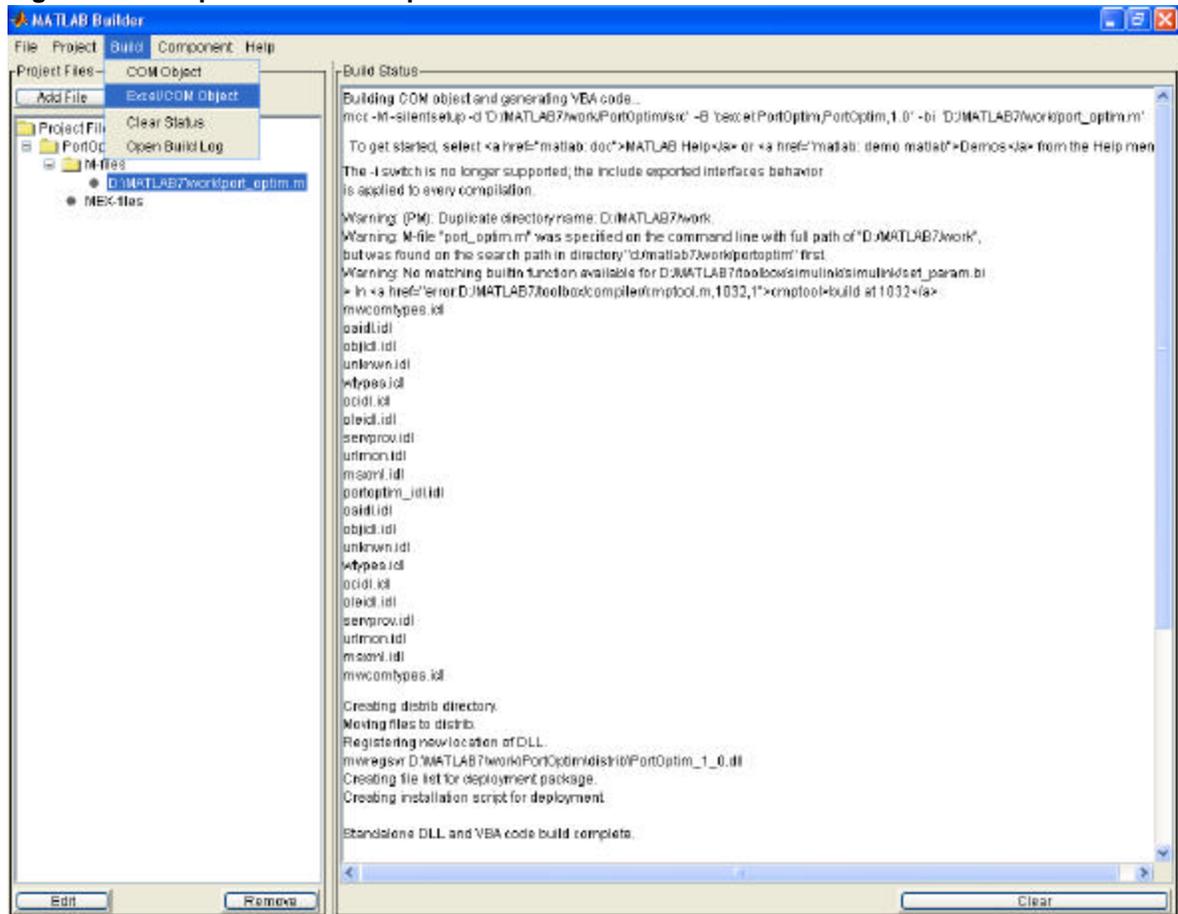
--> "D:\MATLAB7\bin\win32\mwregsvr D:\MATLAB7\bin\win32\mwcommgr.dll"

DllRegisterServer in D:\MATLAB7\bin\win32\mwcommgr.dll succeeded

>> |
```

Luego de encontrar e instalar el compilador adecuado se continúa con el proceso de compilación a través de la opción del menú Build → Excel/COM Object. Un ejemplo de las salidas producidas durante esta ejecución se pueden ver en la Figura 17. Compilación del componente. Al finalizar este paso queda terminado el componente y está listo para ser incluido en Microsoft Excel.

Figura 17. Compilación del componente



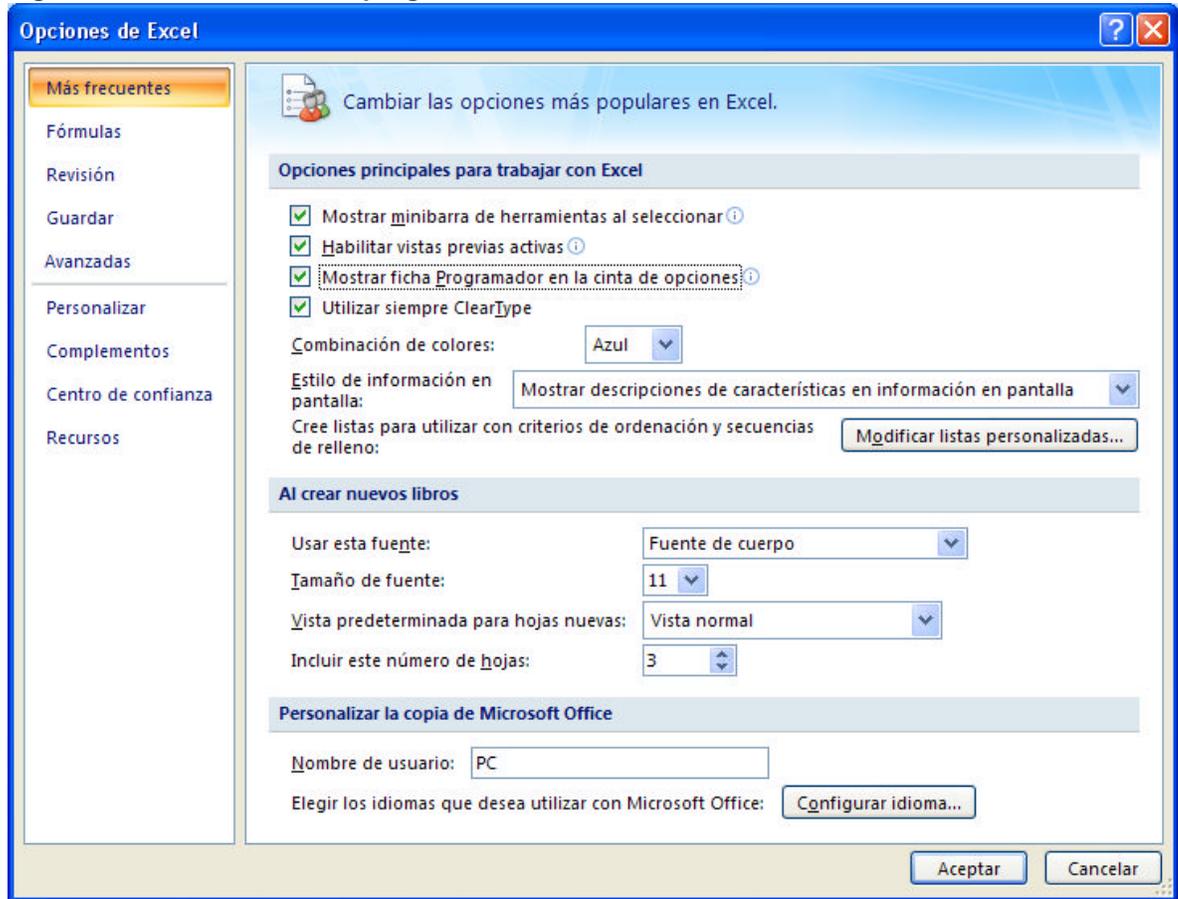
## 9.4 INTEGRACIÓN DEL COMPONENTE CREADO EN MATLAB CON VISUAL BASIC

Después de haber creado el componente en MATLAB, se procede con la implementación del código necesario para integrarlo con Visual Basic y estar así habilitado para ser utilizado en Microsoft Excel. Los siguientes pasos son descritos con base en la versión 2007 de Microsoft Excel.

**Paso 1.** Abrir Microsoft Excel y guardar el libro como *PortOptim.xls*

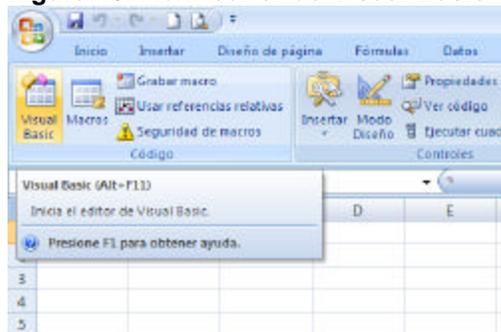
**Paso 2.** En la ficha de “Opciones de Excel” seleccionar la opción “mostrar Ficha Programador en la cinta de opciones”. (Ver Figura 18. Habilitar ficha de programador).

Figura 18. Habilitar ficha de programador



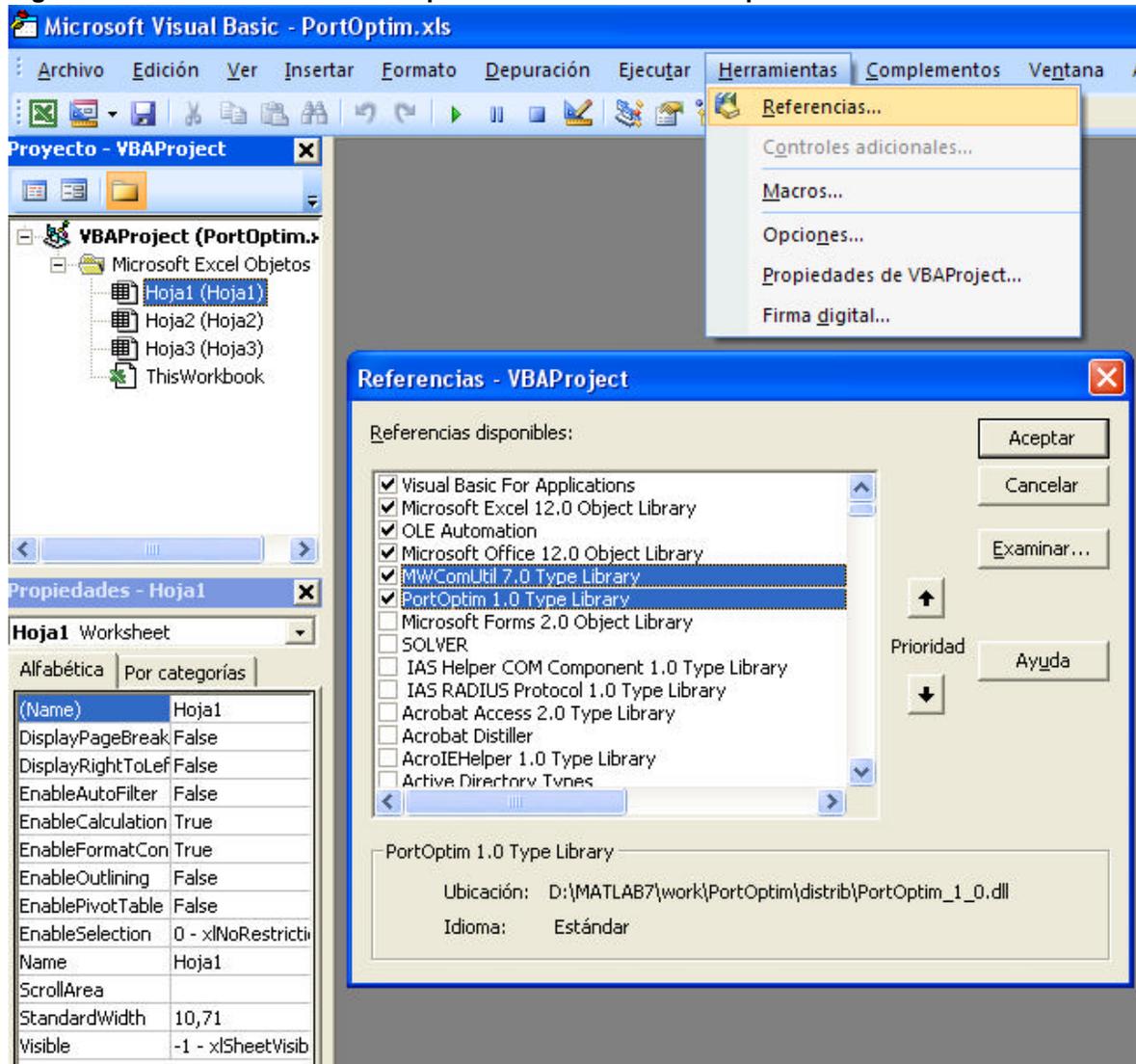
**Paso 3.** Iniciar editor de Visual Basic, por medio de la opción correspondiente en la ficha del programador, según se muestra en la Figura 19. Abrir editor de Visual Basic.

Figura 19. Abrir editor de Visual Basic



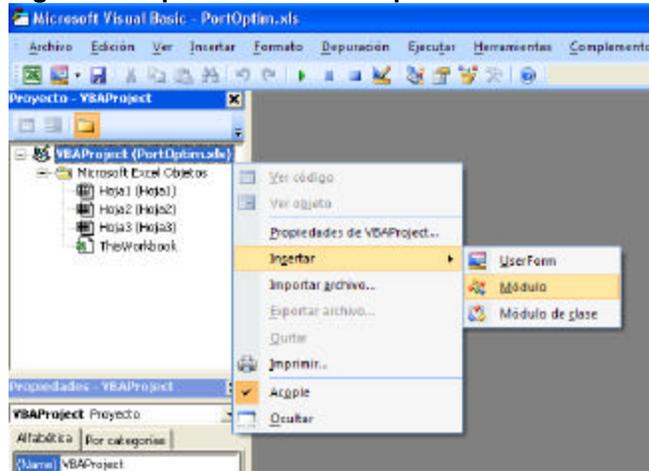
**Paso 4.** En el menú de “Herramientas” del editor de Visual Basic ejecutar la opción “Referencias” y seleccionar los ítems *MWComUtil 7.0 Type Library* y *PortOptim 1.0 Type Library*.

**Figura 20.** Referencias necesarias para la utilización del componente



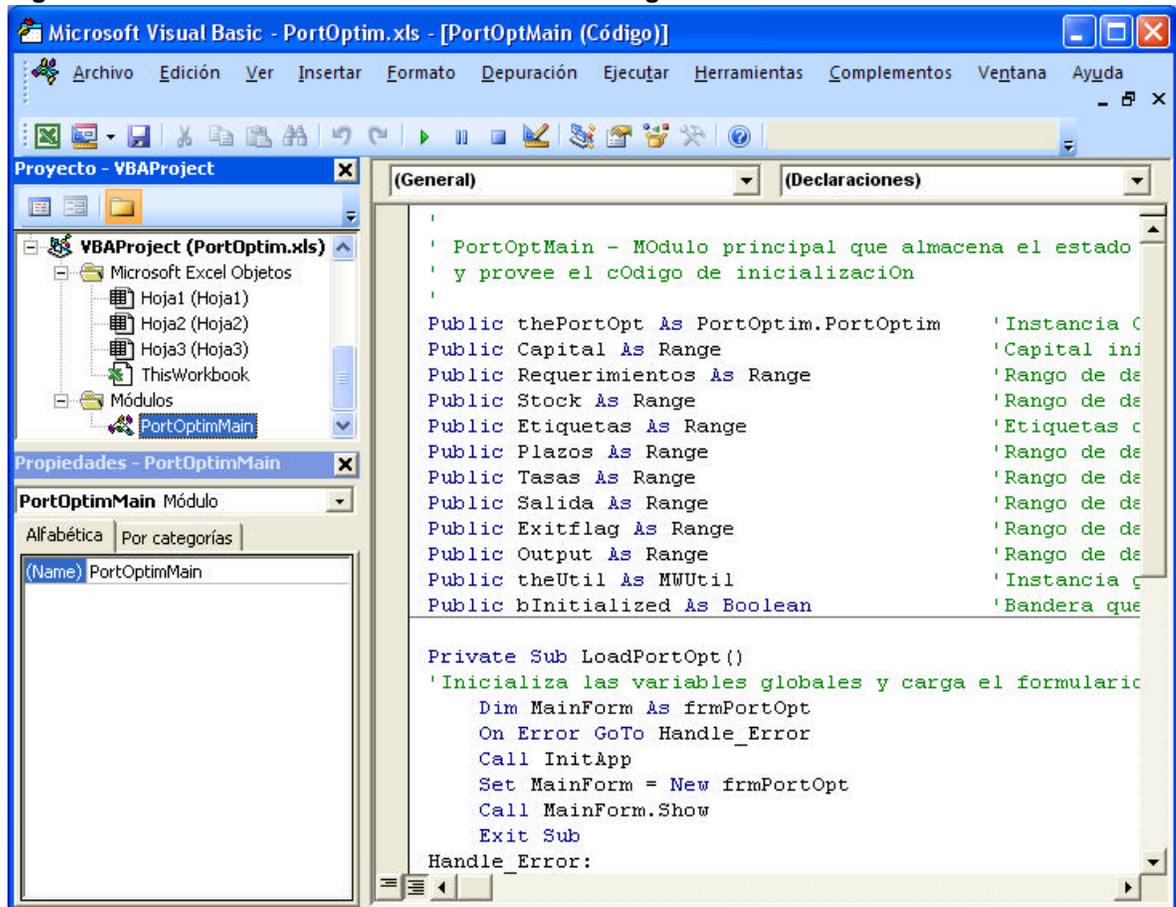
**Paso 5.** Hacer clic derecho sobre el ítem VBAProject (PortOptim.xls) y seleccionar Insertar → Módulo (Figura 21. Opciones del menú para insertar un módulo)

**Figura 21. Opciones del menú para insertar un módulo**



**Paso 6.** Nombrar el módulo insertado como *PortOptimMain*. El complemento que se desea crear requiere cierto código fuente de inicialización y la declaración de las variables globales que representarán el estado de la aplicación entre la ejecución de las funciones. El módulo *PortOptimMain* se encarga de manejar estas tareas. En la Figura 22. Nombre del módulo e inserción del código fuente, se observa la propiedad con la que se asigna el nombre al módulo y el lugar donde se crea el código fuente.

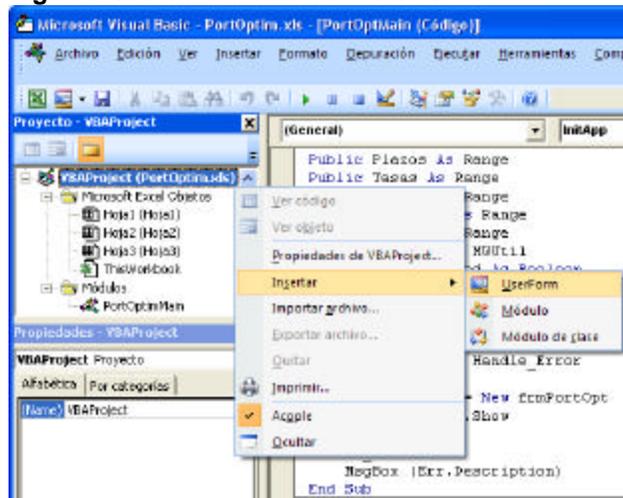
Figura 22. Nombre del módulo e inserción del código fuente



El código fuente utilizado en el módulo *PortOptimMain* se presenta en el ANEXO B CÓDIGO FUENTE DEL COMPLEMENTO EN VISUAL BASIC. Este código tiene como responsabilidad, además las funciones ya descritas, introducir las funciones encargadas de inicializar el complemento así como de cargar las dependencias de librerías que este tenga.

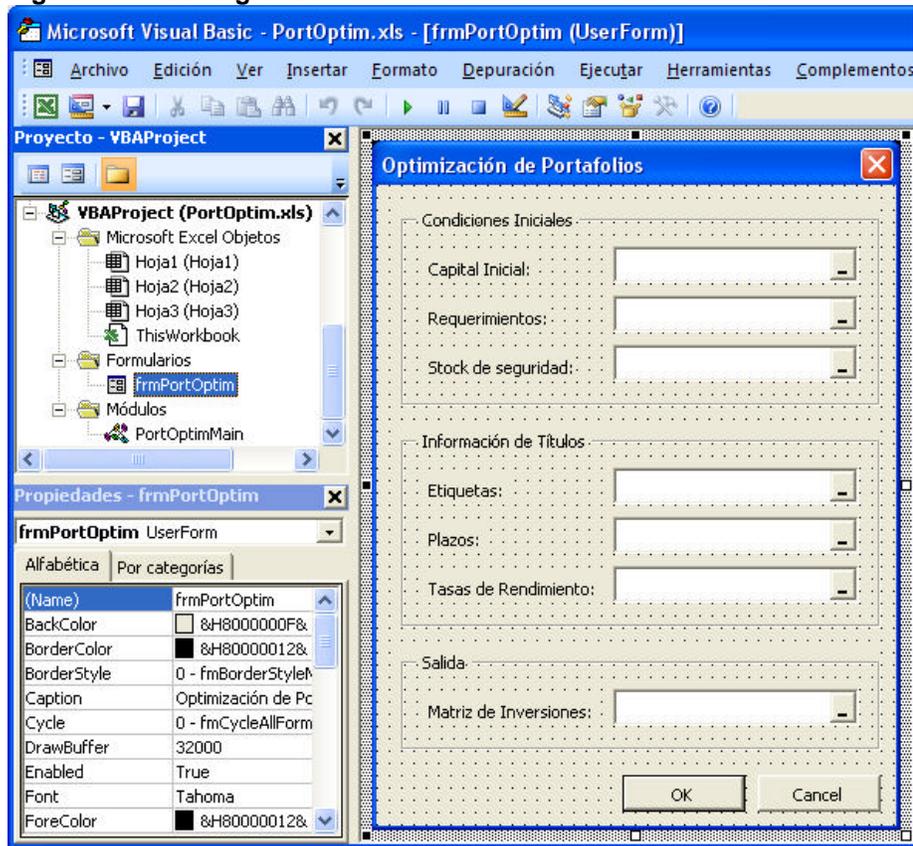
**Paso 7.** Insertar el formulario. Para el ingreso de la información por parte del usuario del programa, es necesario crear una interfaz gráfica que contenga todos los campos relacionados con el portafolio que se desea optimizar y que permita la interacción del usuario con las opciones del complemento. En la Figura 23. Inserción del formulario se observa la opción del menú que se utiliza para insertar un nuevo formulario.

**Figura 23. Inserción del formulario**



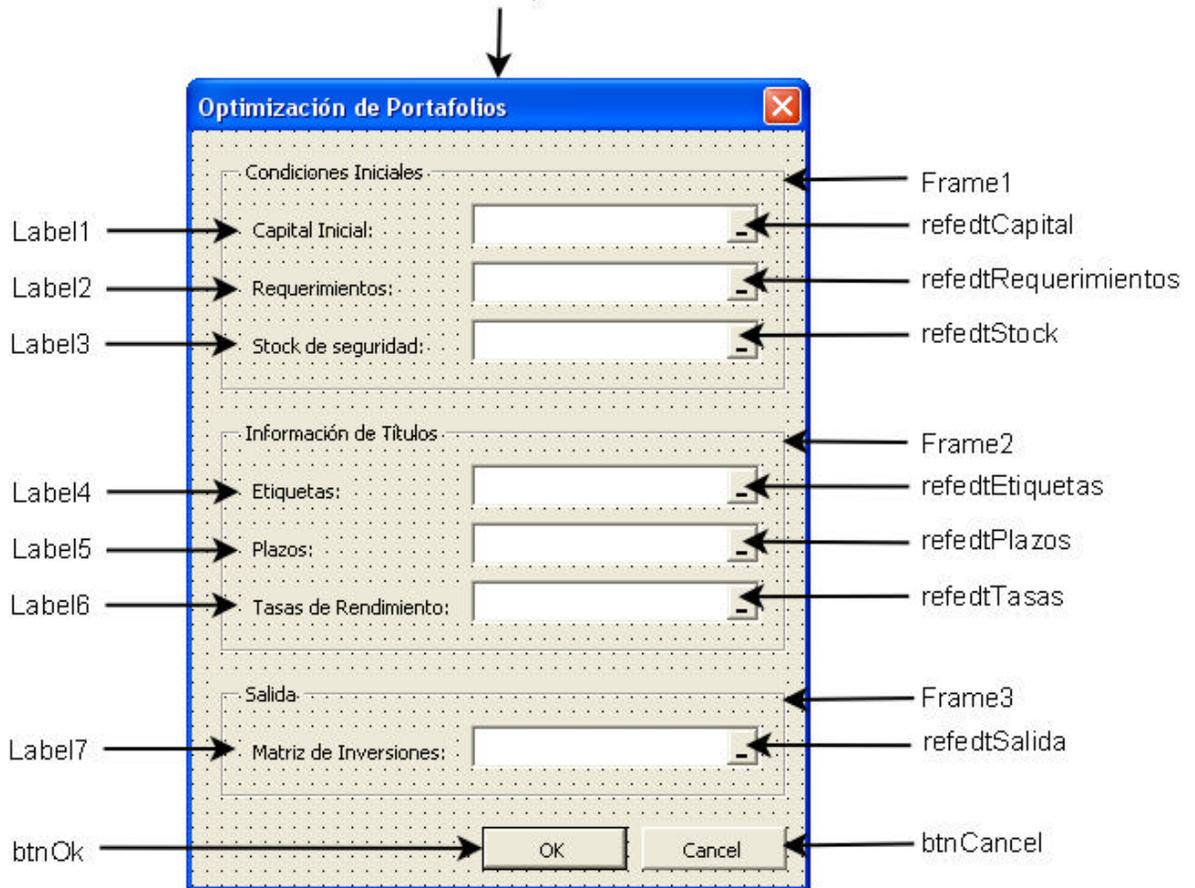
Se identifican los objetos necesarios para la entrada de los datos y se ubican en el formulario insertado para conformar la interfaz gráfica de usuario, dando como resultado una interfaz similar a la de la Figura 24. Diseño gráfico.

Figura 24. Diseño gráfico



El tipo de objeto (caja de texto, botón, etiqueta), el nombre de cada uno y la ubicación dentro del formulario se describe detalladamente en la Figura 25. Descripción de objetos de la interfaz gráfica. Igualmente, en la Tabla 8. Descripción de objetos de la interfaz gráfica, se explica con detalle las propiedades y el propósito de todos los objetos utilizados en la construcción de la interfaz gráfica.

**Figura 25. Descripción de objetos de la interfaz gráfica**  
frmPortOptim



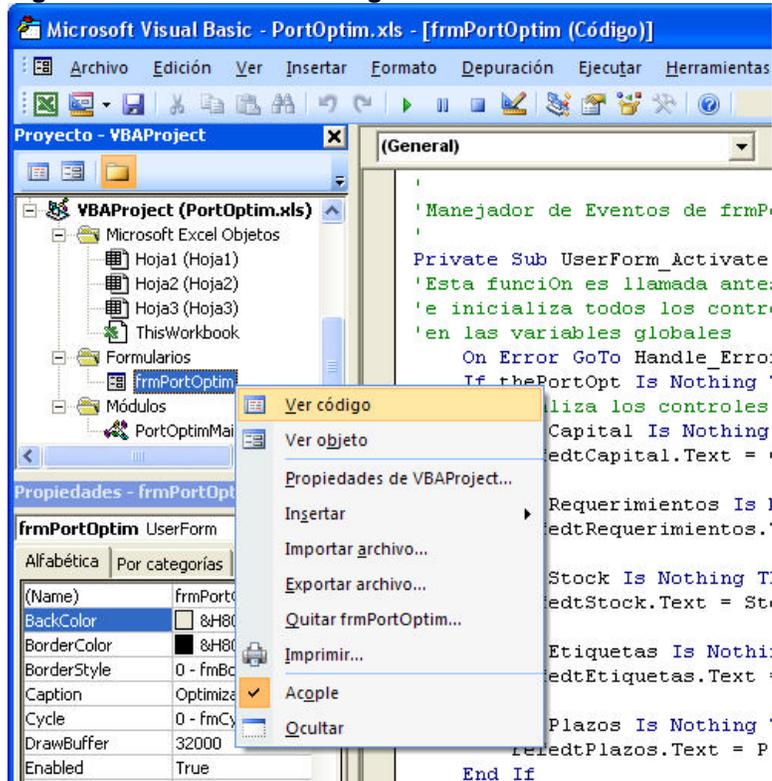
**Tabla 8. Descripción de objetos de la interfaz gráfica**

Tipo de control	Nombre	Propiedades	Propósito
Form	frmPortOptim	Caption = Optimización de Portafolios	Es el formulario de la aplicación
Frame	Frame1	Caption = Condiciones iniciales	Agrupar todos los controles de configuración inicial
Label	Label1	Caption = Capital inicial:	Etiqueta la caja de texto para la entrada de capital inicial
RefEdit	refedtCapital		Selecciona el rango de los datos de entrada de capital inicial
Label	Label2	Caption = Requerimientos:	Etiqueta la caja de texto para la entrada de requerimientos de capital
RefEdit	refedtRequerimientos		Selecciona el rango de los

			datos de entrada de los requerimientos de capital
Label	Label3	Caption = Stock de seguridad:	Etiqueta la caja de texto para la entrada de stock de seguridad
RefEdit	refedtStock		Selecciona el rango de los datos de entrada del stock de seguridad
Frame	Frame2	Caption = Información de Titulos	Agrupar todos los controles de información sobre los títulos
Label	Label4	Caption = Etiquetas:	Etiqueta la caja de texto para la entrada de etiquetas de los títulos
RefEdit	refedtEtiquetas		Selecciona el rango de los datos de entrada de las etiquetas de los títulos
Label	Label5	Caption = Plazos:	Etiqueta la caja de texto para la entrada de plazos de los títulos
RefEdit	refedtPlazos		Selecciona el rango de los datos de entrada de los plazos de los títulos
Label	Label6	Caption = Tasas de Rendimiento:	Etiqueta la caja de texto para la entrada de tasas de rendimientos de los títulos
RefEdit	refedtTasas		Selecciona el rango de los datos de entrada de las tasas de los títulos
Frame	Frame3	Caption = Salida	Agrupar todos los controles de salida del portafolio
Label	Label7	Caption = Matriz de Inversiones:	Etiqueta la caja de texto para la salida de la matriz de inversiones
RefEdit	refedtSalida		Selecciona el rango de los datos de salida de la matriz de inversiones
CommandButton	btnOK	Caption = OK Default = True	Ejecuta la función y cierra la ventana
CommandButton	btnCancel	Caption = Cancel Cancel = True	Cierra la ventana sin ejecutar la función

**Paso 8.** Después del diseño de a interfaz gráfica se continúa con su codificación. Para este propósito se hace clic sobre el formulario y se selecciona la opción “Ver código”, lo cual abre una editor tal como lo muestra la Figura 26. Inserción del código fuente del formulario.

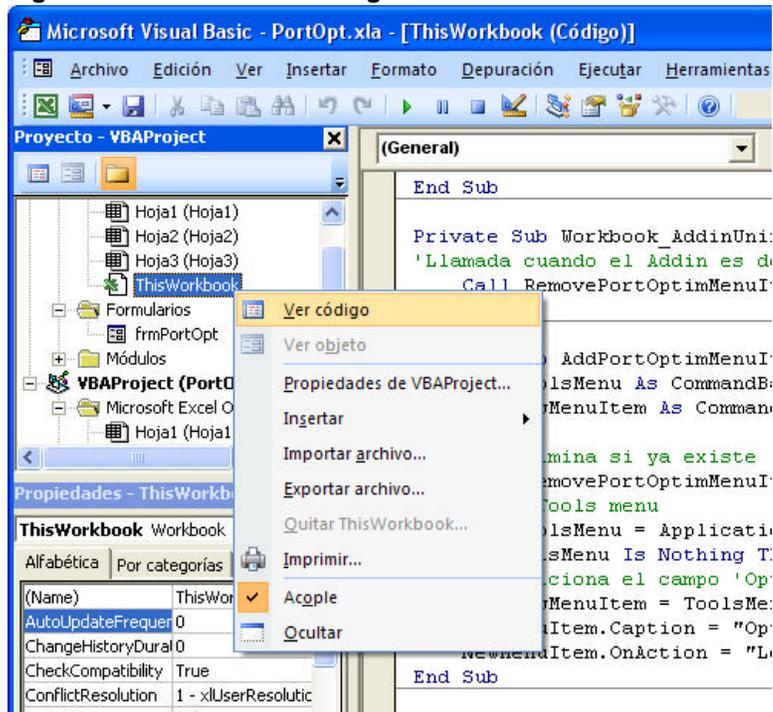
Figura 26. Inserción del código fuente del formulario



En este editor se realiza la codificación del programa que toma las entradas del usuario, invoca el componente creado en MATLAB y presenta el portafolio optimizado en la celda de salida indicada. En el ANEXO B CÓDIGO FUENTE DEL COMPLEMENTO EN VISUAL BASIC se incluye el código fuente creado en este formulario y se explica cada instrucción programada.

**Paso 9.** El siguiente paso en el proceso de integración del componente creado en MATLAB con Microsoft Excel consiste en agregar la opción al menú de complementos de tal forma que se pueda invocar desde la barra de herramientas de Excel. Para lograrlo se debe adicionar el código fuente que actúe como administrador de eventos para las acciones de instalación y desinstalación del complemento. La opción que se agregue al menú ejecuta la función *LoadPortOptim* del módulo *PortOptimMain*, cuyo código es descrito en pasos anteriores. El código necesario debe agregarse en el editor del *Workbook*, el cual se abre haciendo clic derecho sobre el elemento *thisWorkbook* y seleccionando "Ver Código". La Figura 27. Inserción del código fuente del libro, ilustra esta operación.

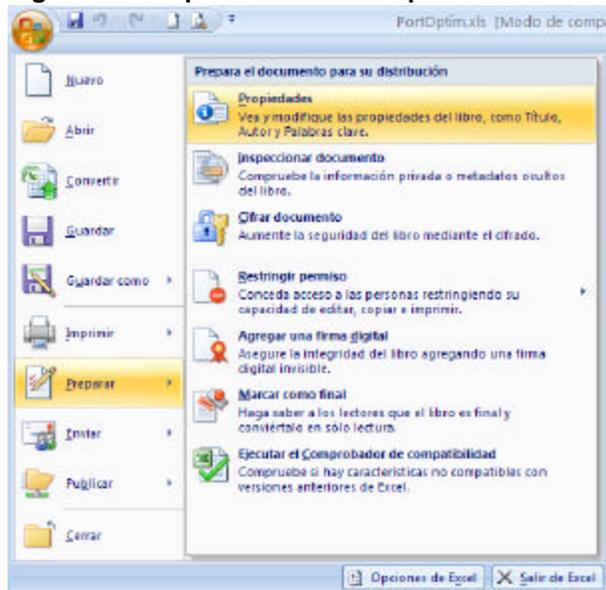
Figura 27. Inserción del código fuente del libro



De manera similar, el código fuente se puede encontrar en el ANEXO B CÓDIGO FUENTE DEL COMPLEMENTO EN VISUAL BASIC.

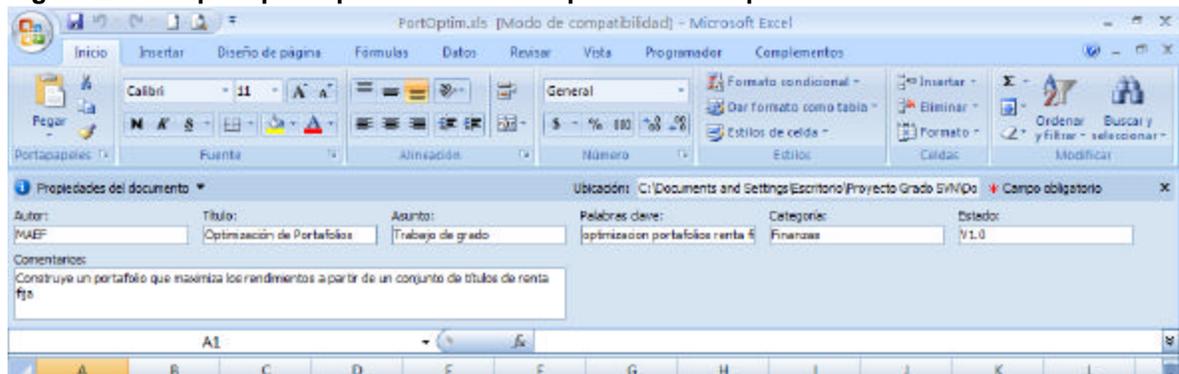
**Paso 10.** Configuración de las propiedades del complemento. Una vez terminado el proceso de programación, es aconsejable adicionar algunos parámetros que almacenen la descripción del complemento. Esto se lleva cabo a través de la ficha "Propiedades" del menú "Preparar", como se muestra en la Figura 28. Propiedades del complemento.

Figura 28. Propiedades del complemento



Al seleccionar esta opción se presenta un conjunto de campos que deben ser especificados para proporcionar información acerca de la herramienta desarrollada y de su propósito. Un ejemplo de ello se ilustra en la Figura 29. Campos que especifican la descripción del complemento.

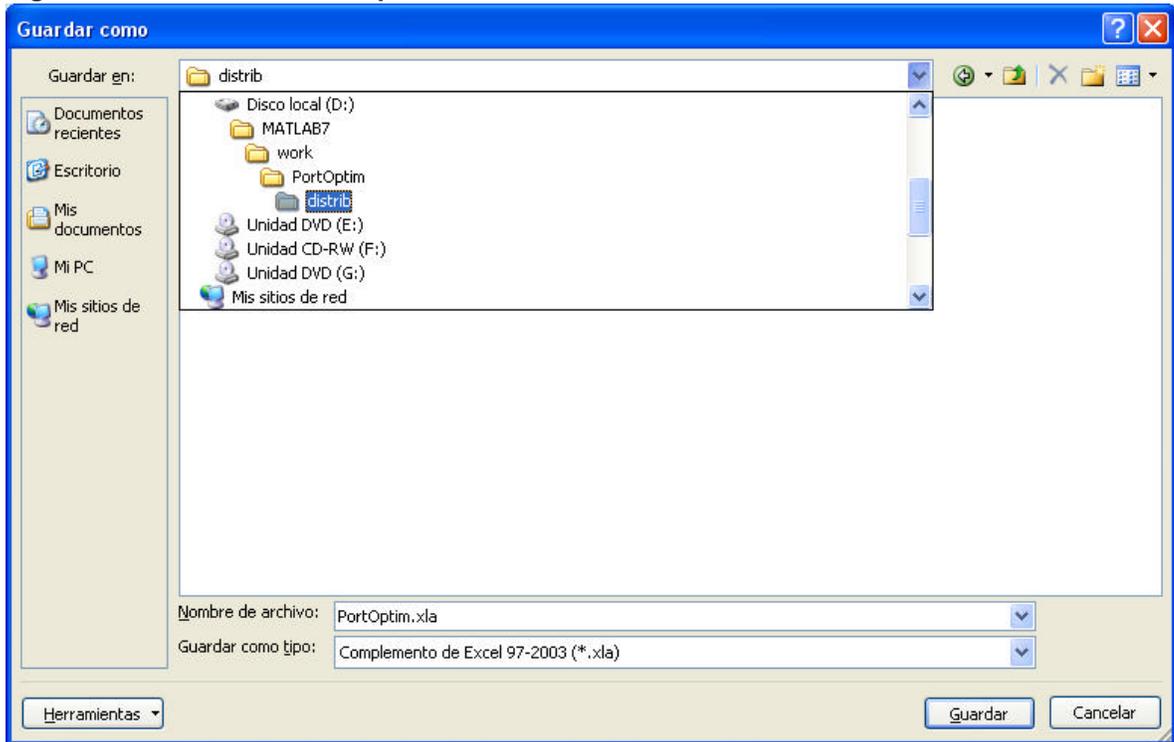
Figura 29. Campos que especifican la descripción del complemento



**Paso 11.** El siguiente paso es guardar el complemento en el directorio *distrib* de la carpeta del proyecto que se creó en MATLAB al realizar la compilación del componente, esta ruta se presentó en la Figura 14. Configuración de las opciones de un proyecto cuando se describió el proceso de compilación. En el cuadro de diálogo de grabación, se debe seleccionar como tipo de archivo “Complemento de Excel (\*.xla)”. Igualmente se debe proporcionar el nombre del complemento, para

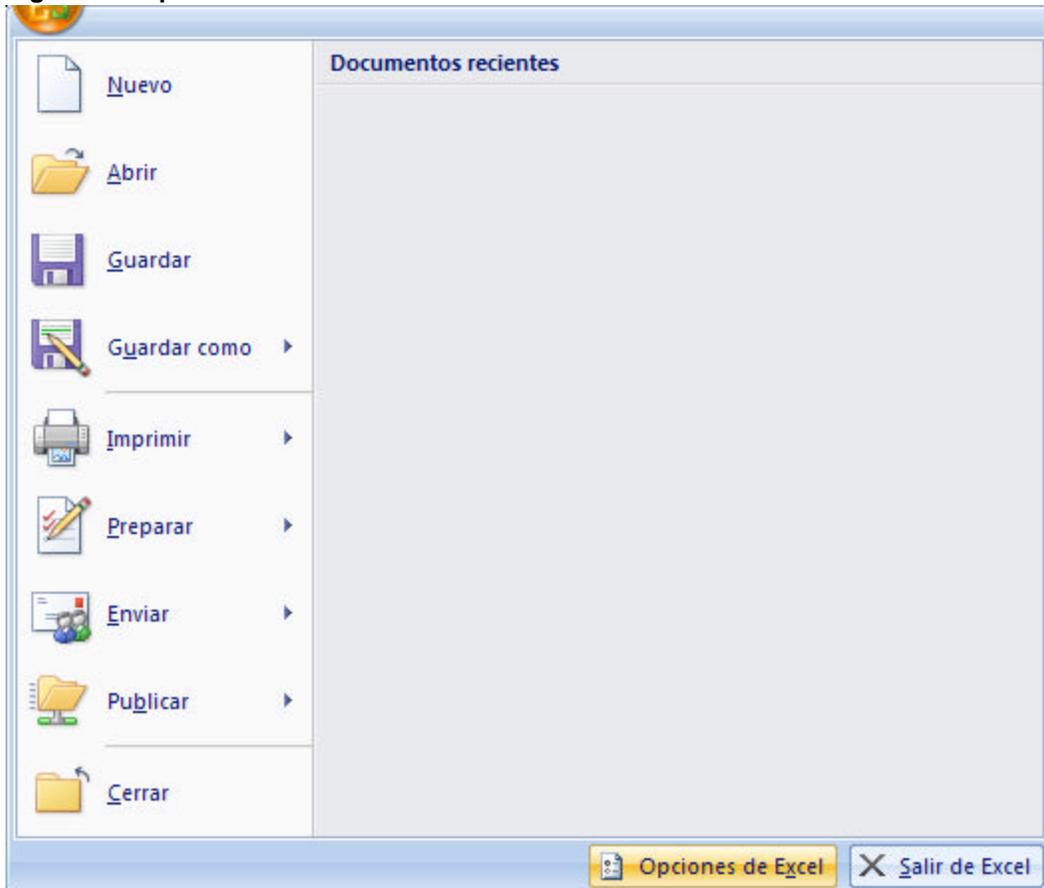
el presente proyecto se utilizó el nombre *PortOptim.xla*. Este proceso puede observarse en la Figura 30. Grabación del complemento

**Figura 30. Grabación del complemento**



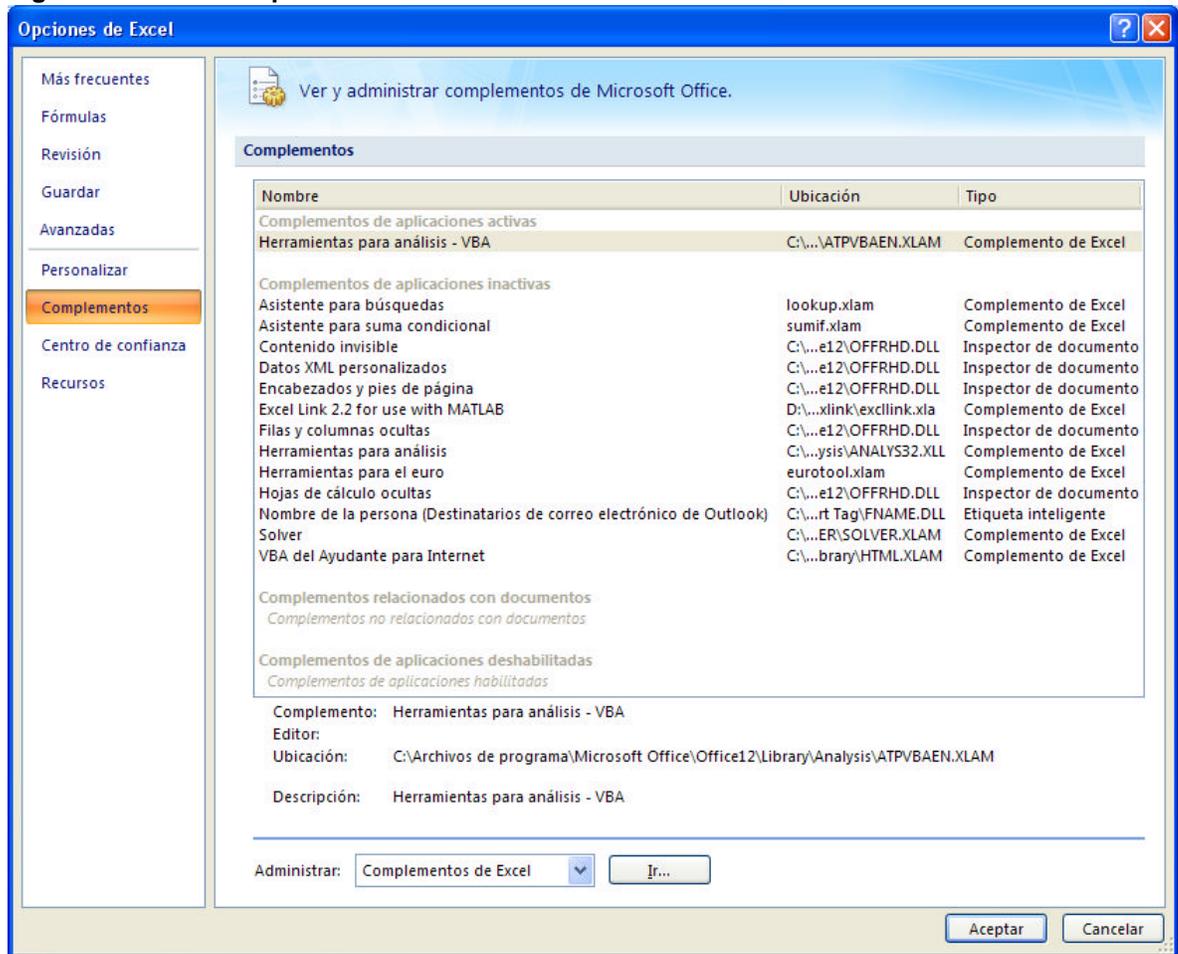
**Paso 12.** Visualización del complemento. Una vez almacenado el complemento, se debe cerrar Microsoft Excel e iniciar una nueva sesión, con el fin de ejecutarlo desde un archivo nuevo. Para ubicar el complemento en la barra de herramientas, se debe ingresar a la ficha de opciones de Excel, como se muestra en la Figura 31. Opciones de Excel.

Figura 31. Opciones de Excel



Luego se ingresa a la sección de complementos y se hace clic sobre el botón “Ir...” ubicado en la parte inferior de la ventana. (Figura 32. Ficha complementos).

Figura 32. Ficha complementos

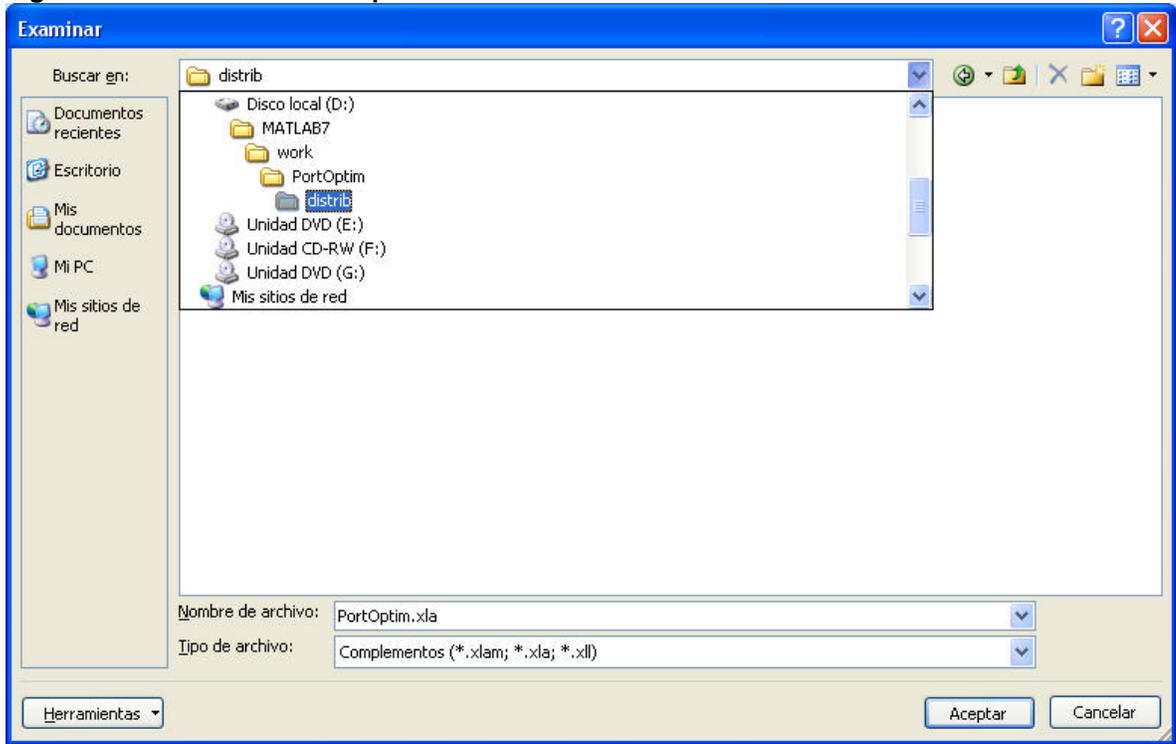


En el cuadro de diálogo que se despliega y que lista los complementos disponibles para su utilización se encuentra un botón “Examinar” (Figura 33. Cuadro de diálogo de complementos), por medio del cual se debe buscar el archivo *PortOptim.xla* que se grabó con anterioridad (Figura 34. Selección del complemento).

Figura 33. Cuadro de diálogo de complementos



Figura 34. Selección del complemento



Una vez ubicado y seleccionado el archivo *PortOptim.xla*, el complemento es adicionado a la lista de complementos del cuadro de diálogo y está preparado para ser utilizado dentro de Microsoft Excel, tal como se observa en la Figura 35. Adición a la lista de complementos.

Figura 35. Adición a la lista de complementos



La Figura 36. Ejemplo de uso del complemento de optimización de portafolios, ilustra claramente un caso de utilización del complemento, con la información de entrada necesaria y el resultado arrojado correspondiente al portafolio optimizado.

Figura 36. Ejemplo de uso del complemento de optimización de portafolios

The screenshot displays the 'Optimización de Portafolios' (Portfolio Optimization) dialog box in Microsoft Excel. The background spreadsheet is organized as follows:

- Row 2:** Saldo inicial
- Row 3:** \$ 100.000.000
- Row 5:** Headers: Período, Requerimientos, Stock Seguridad, Alternativas de inversión
- Row 6:** Data: 1, \$ 10.000.000, \$ 1.500.000, Título, Tasa, Plazo
- Row 7:** Data: 2, \$ 8.000.000, \$ 1.500.000, Título 1, 1,0%, 1
- Row 8:** Data: 3, \$ 7.000.000, \$ 1.500.000, Título 2, 2,5%, 2
- Row 9:** Data: 4, \$ 9.000.000, \$ 1.500.000, Título 3, 4,0%, 3
- Row 11:** Header: Flujo de Caja
- Row 12:** Headers: Mes 1, Mes 2, Mes 3, Mes 4, Final
- Row 13:** Saldo inicial: \$ 100.000.000, \$ 1.500.000, \$ 1.500.000, \$ 1.500.000, \$ 1.500.000
- Row 14:** INGRESOS
- Row 15:** Maduración: \$ -, \$ 7.920.792, \$ 71.925.362, \$ 8.653.846, \$ 66.723.496
- Row 16:** Rendimientos: \$ -, \$ 79.208, \$ 1.798.134, \$ 346.154, \$ 1.668.087
- Row 17:** EGRESOS
- Row 18:** Título 1: \$ 7.920.792, \$ -, \$ -, \$ -
- Row 19:** Título 2: \$ 71.925.362, \$ -, \$ 66.723.496, \$ -
- Row 20:** Título 3: \$ 8.653.846, \$ -, \$ -, \$ -
- Row 21:** Requerimientos: \$ 10.000.000, \$ 8.000.000, \$ 7.000.000, \$ 5.000.000
- Row 22:** Saldo Final: \$ 1.500.000, \$ 1.500.000, \$ 1.500.000, \$ 1.500.000, \$ 69.891.583
- Row 23:** Tot Rend: \$ 3.891.583

The 'Optimización de Portafolios' dialog box contains the following settings:

- Condiciones Iniciales:**
  - Capital Inicial: \$B\$3
  - Requerimientos: \$C\$6:\$C\$9
  - Stock de seguridad: \$D\$6:\$D\$9
- Información de Títulos:**
  - Etiquetas: \$E\$7:\$E\$9
  - Plazos: \$G\$7:\$G\$9
  - Tasas de Rendimiento: \$F\$7:\$F\$9
- Salida:**
  - Métrica de Inversiones: \$H\$11

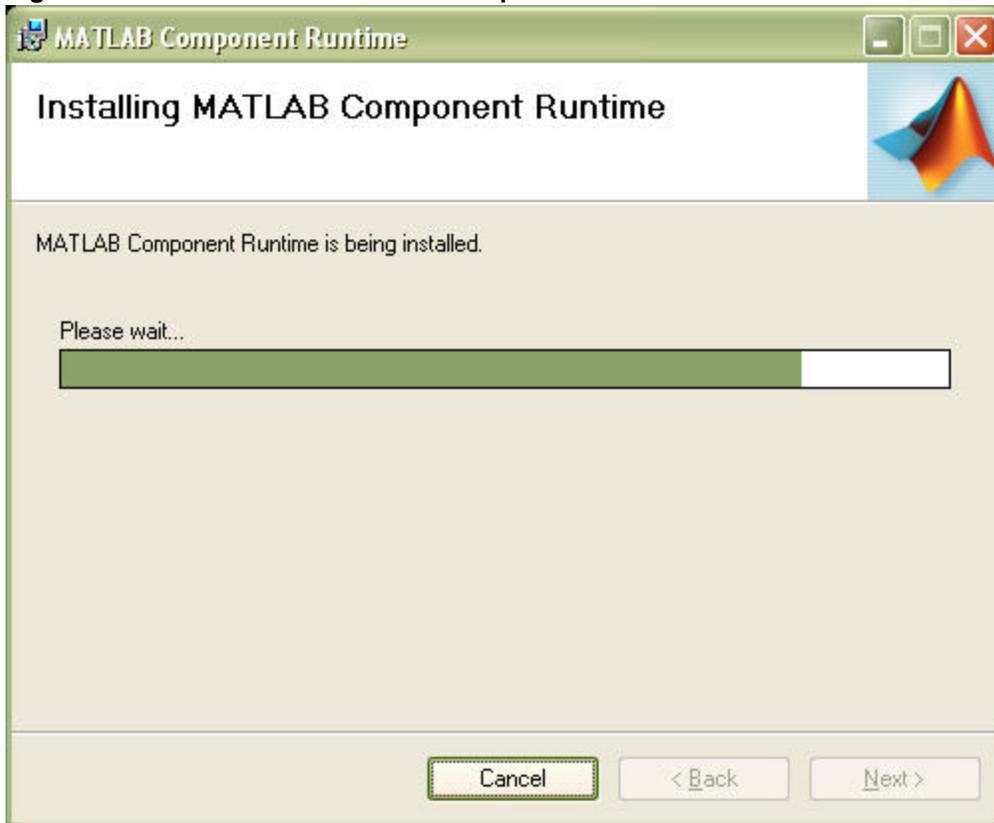
## 10. INSTALACIÓN DEL COMPLEMENTO

Esta sección del proyecto tiene por objetivo describir la instalación del complemento desarrollado, a través de una serie de pasos de fácil seguimiento. La carpeta distribuida con los archivos de la instalación contiene todos los recursos necesarios para llevar a cabo este proceso.

**Paso 1.** Copiar la carpeta *PortOptim* en en la raíz del disco duro C:\. Dicho directorio contiene dos carpetas, la primera llamada *distrib* en la que se encuentra el instalador *PortOptim.exe* y la segunda llamada *MCRInstaller* que contiene el archivo *MCRInstaller.exe* correspondiente al instalador del “MATLAB Component Runtime” y un archivo llamado *blas.spec.patch.txt* cuyo propósito se explicará más adelante. Además de estas carpetas se incluye también el complemento final para Excel *PortOptim.xla*.

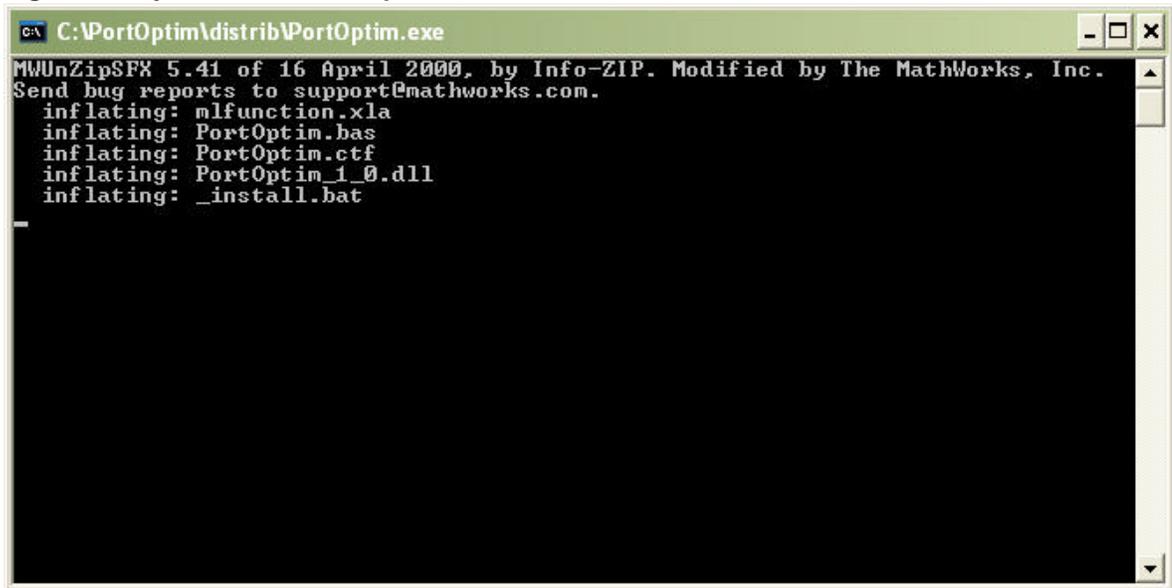
**Paso 2** Ejecutar el archivo *MCRInstaller.exe*, haciendo doble clic sobre él. Se deben seguir las instrucciones indicadas por el instalador (Figura 37. Instalación de MATLAB Component Runtime). El *MCRInstaller.exe* es el instalador del MATLAB Component Runtime, el cual es un software necesario para el correcto funcionamiento del complemento desarrollado, pues como se ha expuesto a lo largo del proyecto, uno de los objetivos perseguidos era el de dejar una referencia para aquellos investigadores interesados en realizar desarrollos integrados entre MATLAB y Microsoft Excel, y para lograrlo se debe instalar esta máquina virtual que se encarga de dar soporte a las referencias hechas a MATLAB desde Excel y sin el cual no es posible distribuir el complemento.

Figura 37. Instalación de MATLAB Component Runtime



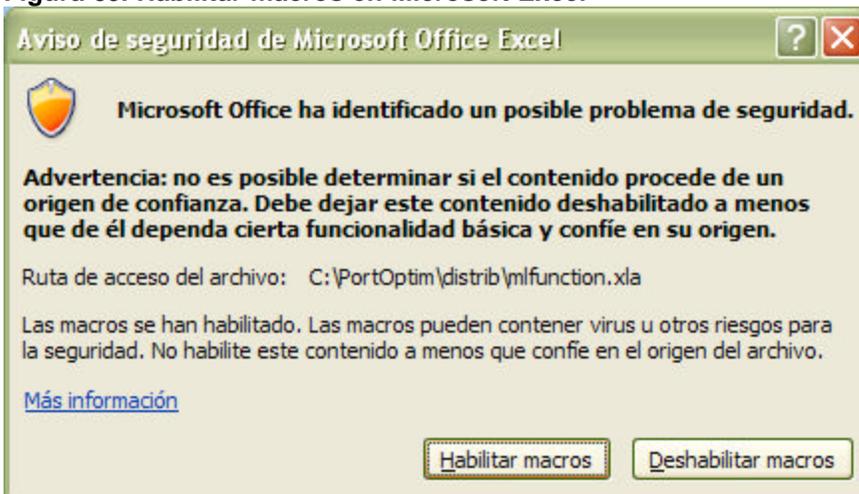
**Paso 3.** Ingresar al directorio *distrib* y ejecutar el archivo *PortOptim.exe* haciendo doble clic sobre él. Este instalador extrae algunos recursos necesarios para la instalación, como se muestra en la Figura 38. Ejecución de *PortOptim.exe*

Figura 38. Ejecución de PortOptim.exe



Luego de la extracción, el instalador abre automáticamente Microsoft Excel para advertir sobre la ejecución de una macro (Figura 39. Habilitar macros en Microsoft Excel). Se le indica que se habiliten macros y posteriormente se cierra el Excel.

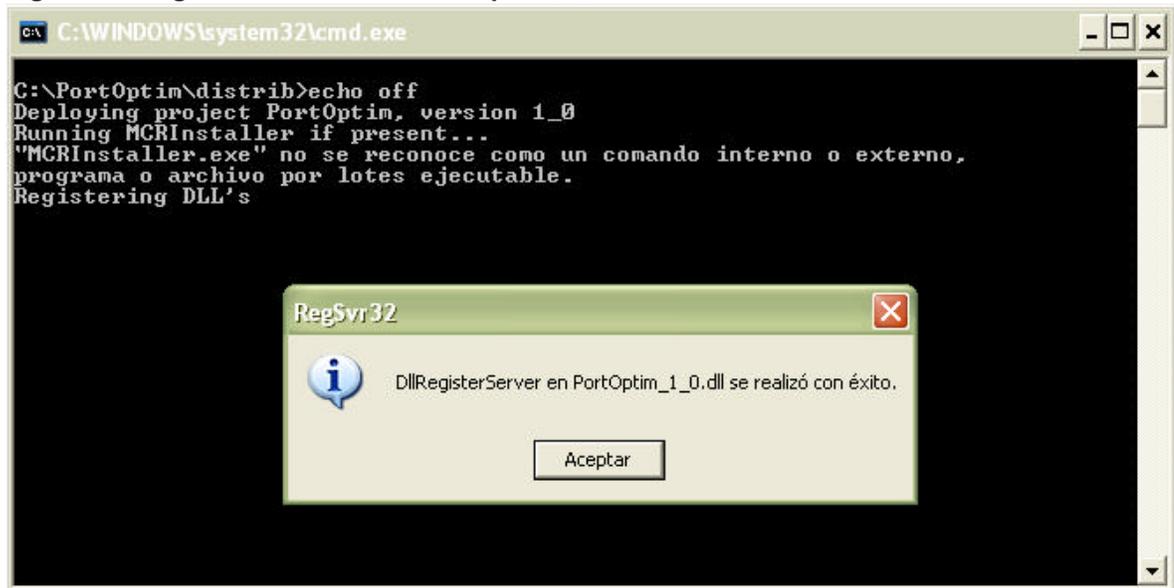
Figura 39. Habilitar macros en Microsoft Excel



**Paso 4.** Al terminar la ejecución del instalador *PortOptim.exe* se crea una serie de archivos dentro del directorio *distrib* en el que se está trabajando, uno de ellos es el archivo *\_install.bat* el cual se encarga de registrar la librería dinámica *PortOptim\_1\_0.dll*. Para realizar esta operación basta con hacer doble clic sobre el

archivo *\_install.bat*. Al terminar el proceso se presenta un mensaje como el mostrado en la Figura 40. Registro de la librería *PortOptim\_1\_0.dll*

Figura 40. Registro de la librería *PortOptim\_1\_0.dll*



**Paso 5.** El siguiente paso es abrir Microsoft Excel, ir a la ficha “Opciones de Excel”, ingresar al menú “Complementos” y hacer clic sobre el botón “Ir...” lo cual mostrará la lista de complementos disponibles. En este cuadro de dialogo se hace clic sobre el botón “Examinar” para agregar el complemento *PortOptim.xla* ubicado en la ruta *C:\PortOptim\PortOptim.xla*. Luego de seleccionar el complemento y observar que se ha agregado en el listado, se verifica que esté chequeado y se presiona el botón “Aceptar” quedando el complemento instalado exitosamente. Una ilustración de este proceso se puede observar desde la Figura 31. Opciones de Excel hasta la Figura 35. Adición a la lista de complementos.

**Nota.** Durante el proceso de investigación y después de diversas pruebas se encontraron problemas al tratar de utilizar el complemento en computadores con cierto tipo de procesadores AMD, el problema consiste en que al ejecutar el complemento se cierra la ventana inesperadamente. MathWorks, el fabricante de MATLAB ha documentado este error y la solución al mismo<sup>9</sup>. Así, el archivo *blas.spec.patch.txt* que se incluye dentro del directorio de la instalación contiene las instrucciones necesarias para solucionar este inconveniente.

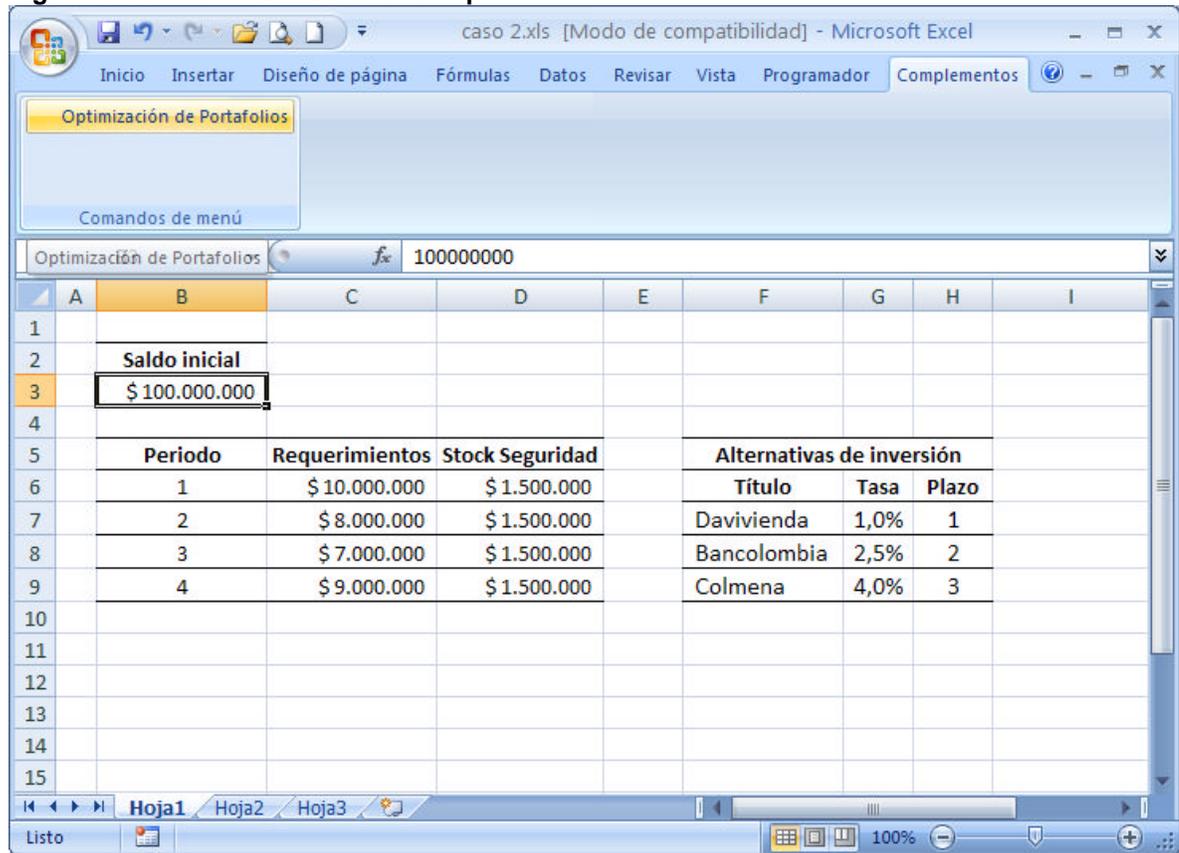
<sup>9</sup> MathWorks. Technical Solutions; [en línea], 2008. [citado en 10 de noviembre 2008]. Disponible en internet: <<http://www.mathworks.com/support/solutions/data/1-RO6ME.html?solution=1-RO6ME>>

## 11. USO DEL COMPLEMENTO

Partiendo del supuesto que el complemento se ha instalado satisfactoriamente y está disponible para utilizarse, se realizará una descripción detallada de su uso para la optimización de portafolios de instrumentos financieros de renta fija.

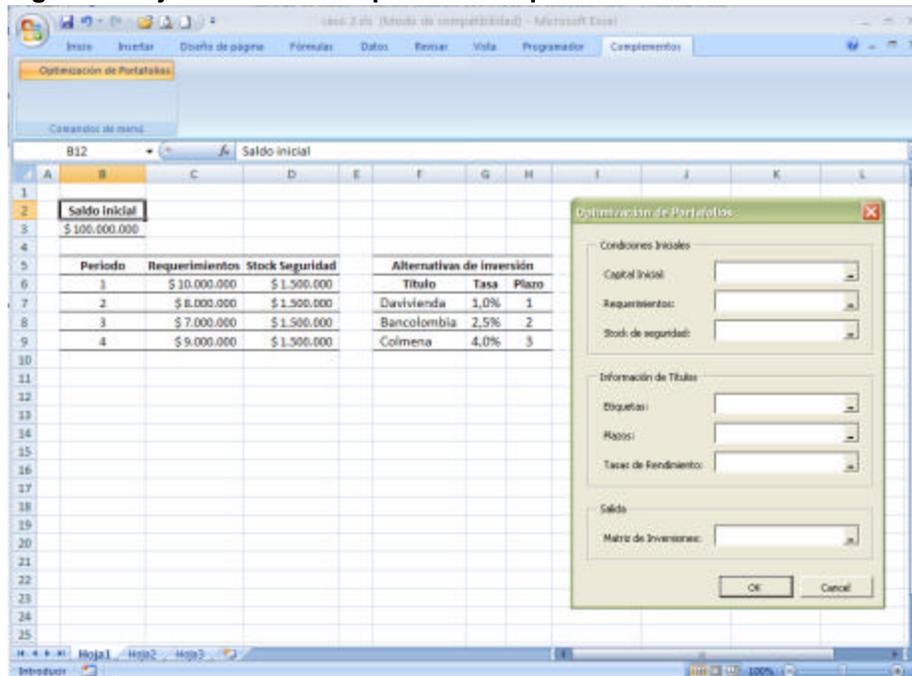
**Paso 1.** Antes de ejecutar el complemento es necesario definir los datos de entrada del proceso. La información de entrada consiste en los valores de capital inicial disponible para la inversión, el valor de los requerimientos y el stock de seguridad para cada periodo, y la información relacionada con los títulos financieros que el inversionista desea analizar. La información que se requiere de los títulos son las tasas de interés nominales de cada uno y los plazos de vencimiento, un ejemplo se ilustra en la Figura 41. Datos de entrada del complemento. Vale la pena recordar que el complemento está desarrollado para trabajar con un número variable de periodos y de títulos, dependiendo este número sólo de las necesidades del inversionista.

**Figura 41. Datos de entrada del complemento**



**Paso 2.** El siguiente paso consiste en ir a la ficha “Complementos” de Excel y dar clic sobre el botón “Optimización de Portafolios”. Esta acción abrirá la interfaz para ingresar los datos de entrada al complemento, tal como se aprecia en la Figura 42. Ejecución del complemento "Optimización de Portafolios".

**Figura 42. Ejecución del complemento "Optimización de Portafolios"**



**Paso 3.** Una vez ejecutado el complemento se especifican los rangos que contienen la información del portafolio seleccionando las celdas correspondientes a cada uno de los campos que la solicita la interfaz. Este proceso se puede observar desde la Figura 43. Selección de la celda del capital inicial hasta la Figura 48. Selección del rango correspondiente a los plazos de vencimiento de los títulos. La información correspondiente a las etiquetas de los títulos financieros es opcional y si no se especifica el programa se ejecuta normalmente sin generar problemas.

Figura 43. Selección de la celda de I capital inicial

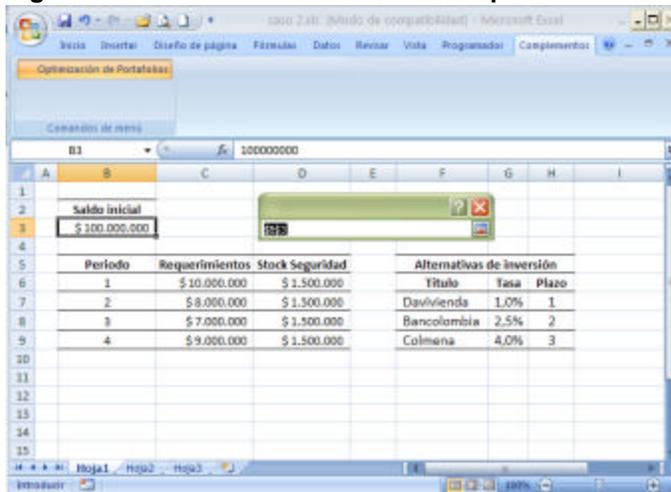


Figura 44. Selección del rango correspondiente a los requerimientos

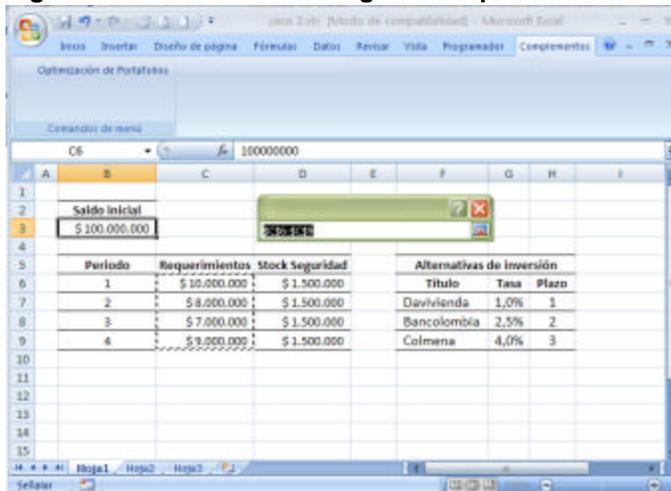


Figura 45. Selección del rango correspondiente al stock de seguridad

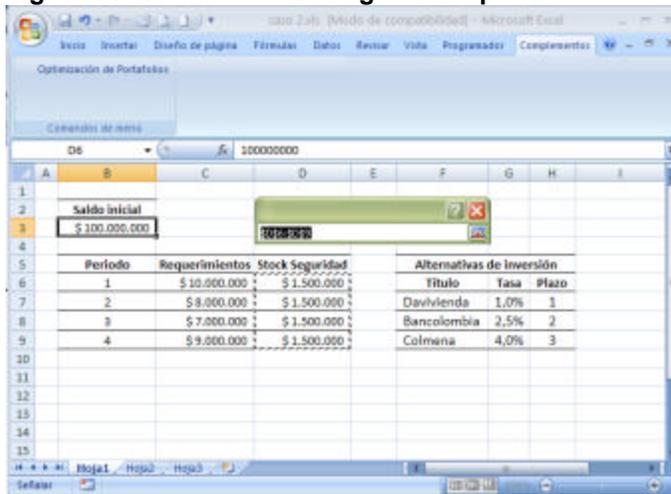
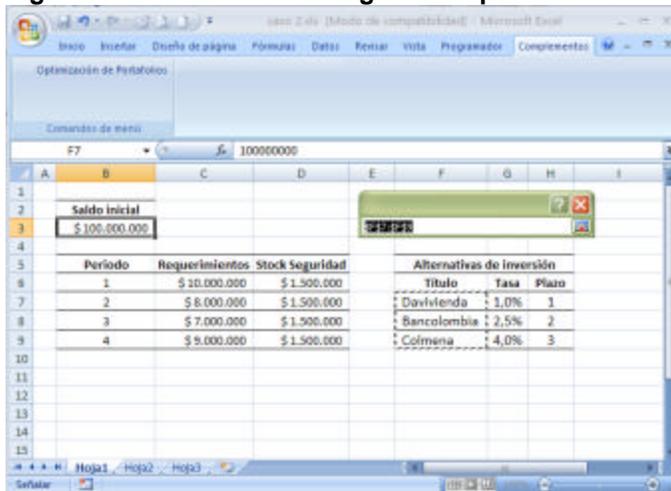
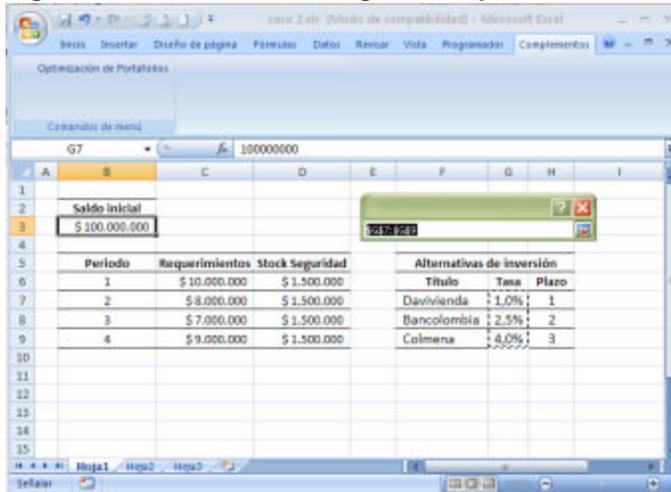


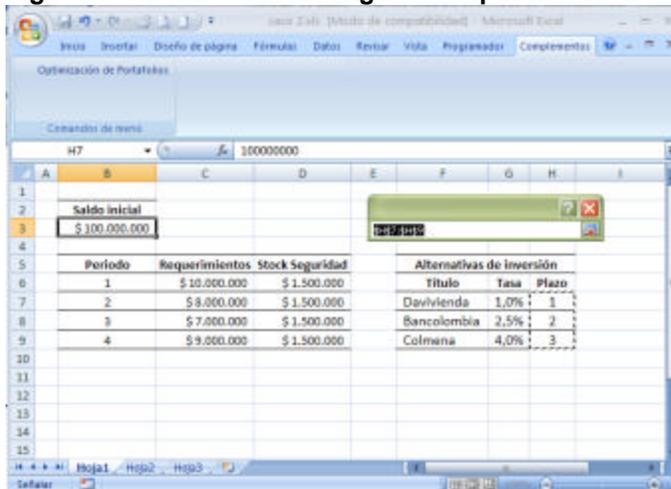
Figura 46. Selección del rango correspondiente a las etiquetas de los títulos financieros



**Figura 47. Selección del rango correspondiente a las tasas de los títulos**

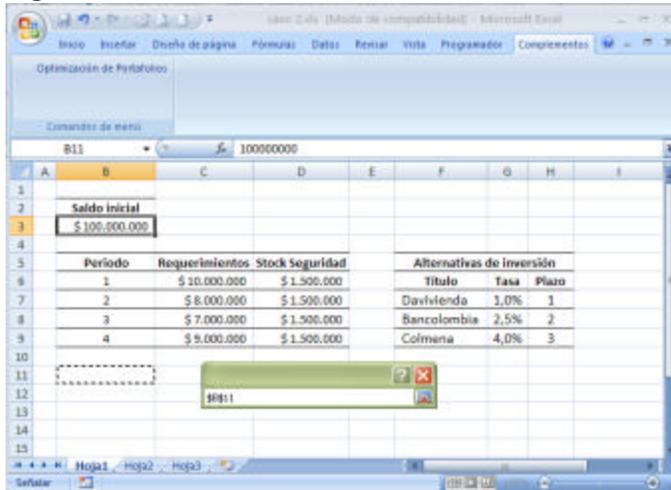


**Figura 48. Selección del rango correspondiente a los plazos de vencimiento de los títulos**



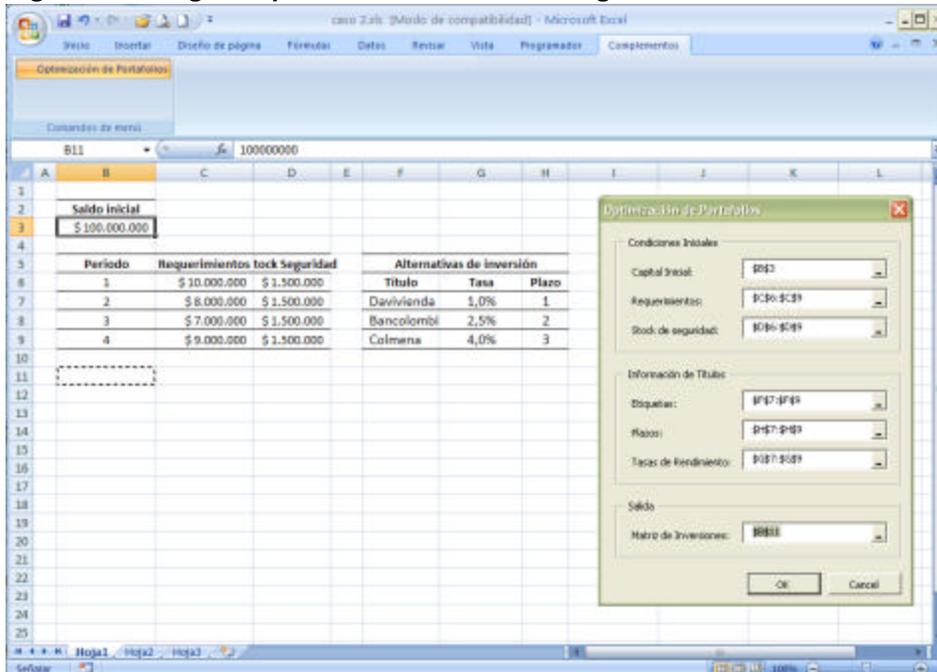
**Paso 4.** De la misma manera en que se especifican los rangos de las celdas correspondientes a las entradas del proceso, se debe indicar al complemento donde debe imprimir la salida generada, es decir, el flujo de caja del portafolio optimizado. Esta celda puede ser cualquier celda vacía de la hoja donde se desee obtener el resultado. Un ejemplo puede observarse en la Figura 49. Selección de la celda de salida

Figura 49. Selección de la celda de salida



**Paso 5.** Luego de haber indicado los rangos solicitados, se procede a la ejecución del proceso de optimización presionando el botón “OK” (Figura 50. Rangos especificados en la interfaz gráfica de usuario)

Figura 50. Rangos especificados en la interfaz gráfica de usuario



El resultado de la optimización del portafolio según los datos ingresados se presenta en la Figura 51. Resultado de la optimización

Figura 51. Resultado de la optimización

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Periodo	Requerimientos	tock	Seguridad	Alternativas de inversión		
				Título	Tasa	Plazo
1	\$ 10.000.000		\$ 1.500.000			
2	\$ 8.000.000		\$ 1.500.000	Davivienda	1,0%	1
3	\$ 7.000.000		\$ 1.500.000	Bancolombi	2,5%	2
4	\$ 9.000.000		\$ 1.500.000	Colmena	4,0%	3

Flujo de Caja						
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Final	
Saldo Inicial	\$ 100.000.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	
<b>INGRESOS</b>						
Maduracion		\$ 7.920.792	\$ 71.925.362	\$ 8.653.846	\$ 66.723.496	
Rendimientos		\$ 79.208	\$ 1.798.134	\$ 346.154	\$ 1.668.087	
<b>EGRESOS</b>						
Davivienda	\$ 7.920.792	\$ -	\$ -	\$ -		
Bancolombia	\$ 71.925.362	\$ -	\$ 66.723.496	\$ -		
Colmena	\$ 8.653.846	\$ -	\$ -	\$ -		
Requerimientos	\$ 10.000.000	\$ 8.000.000	\$ 7.000.000	\$ 9.000.000		
<b>Saldo Final</b>	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 69.891.583	
				<b>Tot Rend</b>	\$ 3.891.583	

## 12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las inversiones en instrumentos financieros de renta fija constituyen un importante renglón dentro del mercado de capitales, representando un amplio porcentaje de las transacciones que se realizan en él.
- La programación lineal y los algoritmos utilizados en la investigación de operaciones representan una poderosa herramienta para el análisis de problemas de optimización, y deberían tener mayor aplicación dentro de la enseñanza de los temas financieros.
- Es posible plantear un modelo matemático que represente el comportamiento del flujo de caja de un portafolio de renta fija expresado en términos de las inversiones hechas en periodos pasados y relacionando los saldos finales e iniciales sin necesidad de especificar variables para el saldo de cada periodo.
- Es posible la integración de la hoja de cálculo Microsoft Excel con herramientas especializadas en temas matemáticos que manejen eficientemente problemas complejos que tal vez no sean tan fáciles de abordar directamente desde la hoja de cálculo, permitiendo de esta manera potencializar las funciones de ambos programas y aprovechar sus ventajas para crear aplicaciones versátiles y de fácil uso.
- El modelo matemático desarrollado en el presente trabajo tiene la capacidad de considerar tasas diferentes para cada título en cada uno de los periodos, lo que deja abierta la posibilidad de hacer mejoras en el algoritmo que tengan en cuenta proyecciones de las tasas de interés de los títulos.
- Durante el proceso de comparación de resultados entre Solver y el complemento final se encontró un límite para el número de celdas cambiantes permitidas por Solver con un total de 200 celdas, mientras que al someter el complemento desarrollado a grandes cantidades de información como lo es un portafolio compuesto por sesenta periodos y seis títulos, para un total de 360 inversiones, no se presentó ningún inconveniente al tratar de optimizar. Se puede concluir que el complemento PortOptim es más robusto y tiene mayor capacidad de procesamiento que Solver en lo que respecta a gran cantidad de información.

## BIBLIOGRAFÍA

ADAMIDOU, Evdokia et al. The optimal portfolio system. Cambridge: Zenios. 1993. p. 136

BODIE, Zvi; KANE, Alex y MARCUS, Alan J. Principios de Inversiones. 5 ed. España: McGraw-Hill, 2004. p. 3, p. 434

Bolsa de valores de Colombia; Boletín informativo; [en línea], 2008. [citado en 14 de agosto 2008]. Disponible en internet:  
<<http://www.bvc.com.co/bvcweb/mostrarpagina.jsp>>

BREALEY A. Richard y MYERS C. Stewart. Principios de finanzas corporativas. 4 ed. España: McGraw-Hill Interamericana. Capitulo 7

CRUZ, Eduardo Arturo; RESTREPO, Jorge Hernán y MEDINA, Pedro Daniel. Selección de portafolios de acciones a partir de la línea de mercado de capitales con activos financieros de Colombia. En: Scientia et Technica. Año 13, No. 35 (ago 2007); p. 299-300

LEAL PÉREZ, Hildebrando. Títulos valores. 3 ed. Bogotá, Colombia: Ediciones Fundación Jurídica Colombiana, 1992.

MathWorks. Technical Solutions; [en línea], 2008. [citado en 10 de noviembre 2008]. Disponible en internet:  
<<http://www.mathworks.com/support/solutions/data/1-RO6ME.html?solution=1-RO6ME>>

Microsoft. Excel Homepage - Microsoft Office Online; [en línea], 2008. [citado en 10 de noviembre 2008]. Disponible en internet:  
<<http://office.microsoft.com/es-es/excel/default.aspx>>

MOYER, Charles; MCGUIGAN, James y KRETLOW, William. Administración financiera contemporánea. 7 ed. México D.F., México: Thompson. p. 226

ORTIZ GÓMEZ, Alberto. Gerencia financiera un enfoque estratégico. McGraw-Hill

Perfil Gerencial Consultores; El mercado público de valores; [en línea], 2005. [citado en 16 de agosto 2008]. Disponible en internet:  
<[http://www.geocities.com/perfilgerencial/COMO\\_SER\\_UN\\_INVERSIONISTA.html](http://www.geocities.com/perfilgerencial/COMO_SER_UN_INVERSIONISTA.html)>

ZENIOS, Stavros. Financial Optimization. Cambridge University Press, 1996. p. 3, p. 136

## ANEXOS

### ANEXO A. CÓDIGO FUENTE DE LA FUNCIÓN DE OPTIMIZACIÓN EN MATLAB

#### FUNCIÓN DE OPTIMIZACIÓN *port\_optim*

La función `port_optim` es la encargada de realizar el proceso de optimización de un conjunto de títulos en renta fija. A continuación se presenta el código fuente el cual tiene documentada cada una de sus líneas de forma tal que se pueda comprender que se realiza en cada uno de los pasos. `port_optim` recibe cinco parámetros (el capital inicial, un arreglo con los requerimientos de cada periodo, el stock de seguridad para cada periodo, y finalmente dos arreglos que contienen la duración y tasas de interés de los títulos) y como resultado final retorna el conjunto de inversiones para cada título en cada periodo, la bandera de salida del algoritmo de optimización y una cadena de caracteres profundiza acerca de la salida obtenida en el algoritmo.

```
function [investments, exitflag, output] = port_optim(initialInvestment, ...
    requirements, stock, duration, yield)

%Se normalizan los datos ingresados para estandarizarlos en vectores
%columna. Esto permite que no se produzca un error cuando alguna de las
%entradas corresponde a un vector fila
requirements = requirements(:);
stock = stock(:);
duration = duration(:);
yield = yield(:);

%Se crea una variable de tipo estructura que encapsula la información
%de los portafolios (duración y tasas)
portfolio.duration = duration';
portfolio.yield = yield';

%Se identifica el número n de periodos y el número m de títulos
n = length(requirements);
m = length(portfolio.yield);

%Se crean los coeficientes de la función objetivo compuesto por las
%tasas de cada portafolio en cada uno de los periodos. Es necesario que
%sea un vector columna
f = [];
for i = 1:n
    f = [f; portfolio.yield'];
end

%Se crea la matriz de restricciones, en donde se tendrá la información
%referente a las n*m inversiones en cada uno de los n periodos así como
%las maduraciones y rendimientos de las mismas. En primera instancia
%esta matriz es cargada con ceros
A = zeros(n, n*m);

%Se inicializan la matriz Aeq y el vector beq los cuales contendrán las
%restricciones de igualdad. En primera instancia se inicializan vacíos
%y a medida que se encuentren títulos que no alcancen a madurar se
```

```

%igualan a cero
Aeq = [];
beq = [];

%En el siguiente ciclo se asignan los valores de la matriz de
%restricciones A. De esta forma, para cada periodo desde 1 hasta n se
%identifica para cada uno de los portafolios de 1 hasta m si se realiza
%la inversión y cuando madurará haciendo uso de la duración
%proporcionada, de igual forma en el momento en que madura el título se
%tiene en cuenta el rendimiento obtenido.
%En esta parte se identifica si el título en el momento en que se va a
%invertir alcanza a madurar. De lo contrario no se invierte y mucho
%menos se considera su maduración y rendimiento.
%Similarmente no se tienen en cuenta las maduraciones en el periodo
%final ya que en dicho periodo no hay requerimientos (restricciones) de
%efectivo
for i = 1:n
    for j = 1:m
        %Mediante esta condición se indica cuando un título madura. Si
        %el periodo i en el que se va a invertir en el título j es
        %menor o igual al número de periodos n, el título se madura
        %haciendo uso de la duración proporcionada y agregando la tasa
        %de interés. Ya que el periodo n+1 es el periodo final y en
        %este no existen requerimientos de efectivo no es necesario
        %considerar las maduraciones en dicho periodo
        if (i + portfolio.duration(j) <= n)
            A(i + portfolio.duration(j), (i-1)*m + j) = ...
                1 + portfolio.yield(j);
        end
        if (i + portfolio.duration(j) > n+1)
            %Se agrega una nueva condición en donde se especifica que
            %la inversión en el periodo i del portafolio j debe ser
            %igual a cero (Es decir, no se debe invertir)
            newAeq = zeros(1, n*m);
            newAeq(1, (i-1)*m + j) = 1;
            Aeq = [Aeq; newAeq];
            beq = [beq; 0];
            %Si el tiempo de maduración del título j en el periodo i no
            %sobrepasa el periodo final se realiza la inversión
        else
            A(i, (i-1)*m + j) = -1;
        end
    end
end

%De acuerdo al modelo se construye el vector b el cual es conformado
%por los requerimientos de cada periodo. Más adelante se incluirán el
%stock de seguridad y el saldo inicial
b = requirements;

%El siguiente ciclo tiene como objeto relacionar el saldo final de cada
%periodo con el saldo inicial del periodo inmediatamente siguiente
for i = 2:n
    A(i, :) = A(i, :) + A(i-1, :);
    b(i) = b(i) + b(i-1);
end

%Se incluyen al vector b el stock de seguridad y el saldo inicial
b = b + stock - initialInvestment;

%Se crea el vector de límites mínimos. Con lo siguiente se especifica
%que las inversiones deben ser mayores o iguales a cero
lb = zeros(length(f),1);

%Se crea un conjunto de opciones mediante 'optimset' para especificar

```

```

%que el método que se usará para resolver el problema es SIMPLEX y que
%la función 'linprog' no despliegue ninguna información
options = optimset('LargeScale', 'off', 'Simplex', 'on', 'Display', ...
                  'off');

%Haciendo uso de la función de MATLAB 'linprog' se obtiene
%el portafolio de inversiones óptimo
[investments, fval, exitflag, output, lambda] = linprog(-f, -A, -b, ...
              Aeq, beq, lb, [], [], options);

%Las inversiones son retornadas en forma matricial para ser trabajadas
%más fácilmente desde excel
investments = reshape(investments, m, n);

```

## PRUEBA DE LA FUNCIÓN DE OPTIMIZACIÓN

Después de crear la función anterior se realiza una prueba mediante un llamado a la función *port\_optim*. De esta forma, después de crear un conjunto de variables que representen un escenario válido se invoca la función *port\_optim* con los parámetros correctos.

```

%Se crea la variable que contiene el capital inicial
initialInvestment = 100000000;

%Se crea la variable que tiene el vector de requerimientos para cada
%periodo
requirements = [10000000; 8000000; 7000000; 9000000];
%Se crea la variable que tiene el vector de stock de seguridad para cada
%periodo
stock = [1500000; 1500000; 1500000; 1500000];

%Se crean las variables que contienen la información sobre los títulos. De
%esta manera se tiene para cada título su duración y su tasa
duration = [1, 2, 3];
yield = [0.01, 0.025, 0.04];

%Finalmente se ejecuta la función de optimización de portafolios 'port_optim'
%la cual retorna la matriz de inversiones en cada periodo, la bandera de
%salida de la función de optimización 'exitflag' y una salida 'output' que
%contiene una cadena con la descripción de la salida final
[investments, exitflag, output] = port_optim(initialInvestment, ...
              requirements, stock, duration, yield);

```

## ANEXO B CÓDIGO FUENTE DEL COMPLEMENTO EN VISUAL BASIC

### MÓDULO PRINCIPAL *PortOptimMain*

A continuación se presenta el código fuente utilizado en el módulo *PortOptimMain*. Código que tiene como objeto inicializar variables globales, carga de dependencias y librerías del complemento e inicialización del mismo.

```
' PortOptimMain - Módulo principal que almacena el estado global de los controles
' y provee el código de inicialización
'
Public thePortOpt As PortOptim.PortOptim      'Instancia Global al objeto PortOptim
Public Capital As Range                      'Capital inicial disponible para invertir
Public Requerimientos As Range              'Rango de datos de requerimientos
Public Stock As Range                       'Rango de datos de Stock de seguridad
Public Etiquetas As Range                   'Etiquetas de los Labels
Public Plazos As Range                      'Rango de plazos de vencimiento de los títulos
Public Tasas As Range                      'Rango de tasas de intereses de los títulos
Public Salida As Range                      'Rango de datos de salida
Public Exitflag As Range                    'Rango de datos de salida
Public Output As Range                      'Rango de datos de salida
Public theUtil As MWUtil                    'Instancia global del objeto MWUtil
Public bInitialized As Boolean               'Bandera que indica si el Modulo está
inicializado

Private Sub LoadPortOptim()
'Inicializa las variables globales y carga el formulario de Optimización de portafolios
    Dim MainForm As frmPortOptim
    On Error GoTo Handle_Error
    Call InitApp
    Set MainForm = New frmPortOptim
    Call MainForm.Show
    Exit Sub
Handle_Error:
    MsgBox (Err.Description)
End Sub

Private Sub InitApp()
'Inicializa clases y librerías. Ejecuta una instancia
'para una sesión dada de Excel
    If bInitialized Then Exit Sub
    On Error GoTo Handle_Error
    If theUtil Is Nothing Then
        Set theUtil = New MWUtil
        Call theUtil.MWInitApplication(Application)
    End If
    If thePortOpt Is Nothing Then
        Set thePortOpt = New PortOptim.PortOptim
    End If
    bInitialized = True
    Exit Sub
Handle_Error:
    MsgBox (Err.Description)
End Sub
```

## FORMULARIO frmPortOptim

El código del siguiente formulario permite definir cada una de las funciones que se ejecutaran en los eventos que se presneten en la ejecución del complemento. Es en este código en donde se invoca la función de optimización creada en MATLAB.

```
'
'Manejador de Eventos de frmPortOptim
'

Private Sub UserForm_Activate()
'Esta funciOn es llamada antes de visualizarse el formulario
'e inicializa todos los controles con los valores almacenados
'en las variables globales. De esta manera, al ejecutar nuevamente
'el complemento se conserven las direcciones de las celdas
'indicadas desde la primera vez que se utilizO el complemento
'en la sesiOn actual
    On Error GoTo Handle_Error
    If thePortOpt Is Nothing Then Exit Sub
    If Not Capital Is Nothing Then
        refedtCapital.Text = Capital.Address
    End If
    If Not Requerimientos Is Nothing Then
        refedtRequerimientos.Text = Requerimientos.Address
    End If
    If Not Stock Is Nothing Then
        refedtStock.Text = Stock.Address
    End If
    If Not Etiquetas Is Nothing Then
        refedtEtiquetas.Text = Etiquetas.Address
    End If
    If Not Plazos Is Nothing Then
        refedtPlazos.Text = Plazos.Address
    End If
    If Not Tasas Is Nothing Then
        refedtTasas.Text = Tasas.Address
    End If
    If Not Salida Is Nothing Then
        refedtSalida.Text = Salida.Address
    End If
    Exit Sub
Handle_Error:
    MsgBox (Err.Description)
End Sub

Private Sub btnCancel_Click()
'Manejador del evento clic del botOn cancelar. Sale del formulario sin
'calcular el portafolio ni actualizar las variables.
    Unload Me
End Sub

Private Sub btnOK_Click()
'Manejador del evento clic del botOn OK. Actualiza el estado de todas las variables de los
'controles y hace el llamado a la funciOn que imprime el flujo de caja del portafolio.
'En este paso se se asignan los rangos de las celdas indicadas por el usuario a las
'variables globales utilizadas para la ejecuciOn, la cuales contienen las entradas y
'salidas. En caso de que el rango sea una entrada invAlida, se presenta un mensaje de error.

    Dim auxRange As Range
    If thePortOpt Is Nothing Then GoTo Exit_Form
    On Error Resume Next

    'AsignaciOn de variable de Capital Inicial. Se valida que sea un número positivo,
```

```

'mayor que cero, de lo contrario se presenta un mensaje de error
Set auxRange = Range(refedtCapital.Text)
If Err <> 0 Or CDBl(auxRange.Value) <= 0 Then
    MsgBox (Err.Description)
    MsgBox ("El capital inicial debe ser mayor que cero")
    Exit Sub
End If
Set Capital = auxRange

'AsignaciOn de variable de Requerimientos
Set auxRange = Range(refedtRequerimientos.Text)
If Err <> 0 Then
    MsgBox ("Rango invalido para Requerimientos")
    Exit Sub
End If
Set Requerimientos = auxRange

'AsignaciOn de variable de Stock
Set auxRange = Range(refedtStock.Text)
If Err <> 0 Then
    MsgBox ("Rango invalido para Stock")
    Exit Sub
End If
Set Stock = auxRange

'AsignaciOn de etiquetas. Las etiquetas son un dato opcional, si no se especifican, se
'limpia la variable para evitar errores de referencias pasadas
Set auxRange = Range(refedtEtiquetas.Text)
If Err <> 0 Then
    Set Etiquetas = Nothing
    Err = 0
Else
    Set Etiquetas = auxRange
End If

'AsignaciOn de variable de Plazos
Set auxRange = Range(refedtPlazos.Text)
If Err <> 0 Then
    MsgBox ("Rango invalido para Plazos")
    Exit Sub
End If
Set Plazos = auxRange

'AsignaciOn de variable de Tasas
Set auxRange = Range(refedtTasas.Text)
If Err <> 0 Then
    MsgBox ("Rango invalido para Tasas")
    Exit Sub
End If
Set Tasas = auxRange

'AsignaciOn de variable de salidas del proceso
Set auxRange = Range(refedtSalida.Text)
If Err = 0 Then
    Set Salida = auxRange
End If

'ValidaciOn de que el nUmero de requerimientos especificados sea igual
'al nUmero de datos de stock de seguridad
If Requerimientos.Count <> Stock.Count Then
    MsgBox ("El nUmero de Requerimientos y Stock no coinciden")
    Exit Sub
End If

'ValidaiOn de que el nUmero de plazos especificados sea igual al nUmero

```

```

'de tasas
If Plazos.Count <> Tasas.Count Then
    MsgBox ("El número de Plazos y Tasas no coinciden")
    Exit Sub
End If

'ValidaiOn de que el nÚmero de etiquetas (si son especificadas) sea igual
'al nÚmero de plazos
If Not Etiquetas Is Nothing Then
    If Plazos.Count <> Etiquetas.Count Then
        MsgBox ("El número de Etiquetas no corresponde al número de títulos")
        Exit Sub
    End If
End If

'llamado a la función que imprime el portafolio en la celda de salida indicada
Call Imprimir

GoTo Exit_Form
Handle_Error:
    MsgBox (Err.Description)
Exit_Form:
    Unload Me
End Sub

Private Sub Imprimir()
'La funciOn imprimir se encarga de presentar en pantalla el flujo de caja del
'portafolio optimizado luego de haber hecho el llamado al componente creado
'en MATLAB

'Declaración de las variables necesarias para referenciar los rangos de
'cada parte del flujo de caja
Dim celdaInicio As Range
Dim etiquetasPeriodos As Range
Dim etiquetasItems As Range
Dim Inversiones As Range
Dim Maduraciones As Range
Dim Rendimientos As Range
Dim Requerimiento As Range
Dim SaldoFinal As Range
Dim SaldoInicial As Range
Dim TotalRendimientos As Range

Dim vectorTitulos() As String
Dim nperiodos, mtitulos, i, j As Integer
Dim primeraFila, primeraColumna As Long
Dim filaInversiones As Long
Dim filaMaduraciones As Long
Dim filaRendimientos As Long
Dim filaRequerimientos As Long
Dim filaSaldoFinal As Long
Dim filaSaldoInicial As Long
Dim filaInicioIngresos As Long
Dim filaFinIngresos As Long
Dim filaInicioEgresos As Long
Dim filaFinEgresos As Long
Dim filaEtiquetaIngresos As Long
Dim filaEtiquetaEgresos As Long
Dim Formato As String

On Error Resume Next

'cAlculo de nÚmero de perÍodos y nÚmero de tÍtulos a partir de la
'informaciOn de requerimeintos y plazos
nperiodos = Range(refedtRequerimientos.Text).Count

```

```

mtitulos = Range(refedtPlazos.Text).Count

'creaciOn de las etiquetas de las partes del flujo de caja
ReDim vectorTitulos(7 + mtitulos)
vectorTitulos(0) = "Saldo Inicial"
vectorTitulos(1) = "INGRESOS"
vectorTitulos(2) = "Maduracion"
vectorTitulos(3) = "Rendimientos"
vectorTitulos(4) = "EGRESOS"

'Dado que las etiquetas son un dato opcional, si no se especifican
'se crean automAticamente segUn el nUmero de tItulos calculado
If Not Etiquetas Is Nothing Then
    For i = 1 To mtitulos
        vectorTitulos(i + 4) = Etiquetas.Cells(i).Value
    Next i
Else
    For i = 1 To mtitulos
        vectorTitulos(i + 4) = "titulo " & i
    Next i
End If
vectorTitulos(i + 4) = "Requerimientos"
vectorTitulos(i + 5) = "Saldo Final"

'Se identifica la celda inicial para la impresiOn del flujo de caja
'y se asigna el tItulo de Flujo de Caja
Set celdaInicio = Range(refedtSalida.Text)
celdaInicio.Value = "Flujo de Caja"
primeraFila = celdaInicio.Row
primeraColumna = celdaInicio.Column

'Se identifica la posicion de todas las partes del flujo de caja
'para facilitar su manipulaciOn en la codificaciOn y formateo
filaMaduraciones = primeraFila + 4
filaRendimientos = filaMaduraciones + 1
filaInversiones = filaRendimientos + 2
filaRequerimientos = filaInversiones + mtitulos
filaSaldoFinal = filaRequerimientos + 1
filaSaldoInicial = primeraFila + 2
filaInicioIngresos = primeraFila + 2
filaFinIngresos = filaInicioIngresos + 3
filaInicioEgresos = filaInversiones
filaFinEgresos = filaInicioEgresos + mtitulos 'falta impuestos
filaEtiquetaIngresos = filaSaldoInicial + 1
filaEtiquetaEgresos = filaInicioEgresos - 1

'CombinaciOn de las celdas del titulo
Range(Cells(primeraFila, primeraColumna), Cells(primeraFila, primeraColumna + nperiodos
+ 1)).Merge

'CreaciOn de un rango que contiene las etiquetas de los periodos
Set etiquetasPeriodos = Range(Cells(primeraFila + 1, primeraColumna + 1),
Cells(primeraFila + 1, primeraColumna + nperiodos + 1))
For i = 1 To nperiodos
    etiquetasPeriodos.Cells(i).Value = "Mes " & i
Next i
etiquetasPeriodos.Cells(i).Value = "Final"

'CreaciOn de un rango que contiene las etiquetas de los items
Set etiquetasItems = Range(Cells(primeraFila + 2, primeraColumna), Cells(primeraFila +
UBound(vectorTitulos) + 1, primeraColumna))
For i = 0 To UBound(vectorTitulos)
    etiquetasItems.Cells(i + 1).Value = vectorTitulos(i)
Next i

```

```

'CreaciOn de un rango con las celdas en las que se escribirAn los valores de las
'inversiones
Set Inversiones = Range(Cells(filaInversiones, primeraColumna + 1),
Cells(filaInversiones, primeraColumna + 1))

'Calculo del portafolio Optimo a travEs del componente creado en MATLAB
'Los parAmetros entregados a esta funciOn son el nUmero de salidas que
'son devueltas, las variables locales
'en las que se almacenan dichas salidas, y las entradas correspondientes al
'capital inicial, requerimientos,
'stock de seguridad, plazos y tasas
Call thePortOpt.port_optim(3, Inversiones, Exitflag, Output, Capital, Requerimientos,
Stock, Plazos, Tasas)

'CreaciOn de los rangos correspondientes a los valores de las maduraciones y
'rendimientos, y generaciOn de las fOrmulas que relacionan los cAlculos con las
'variables de los periodos
'anteriores teniendo en cuenta los plazos de vencimiento
Set Maduraciones = Range(Cells(filaMaduraciones, primeraColumna + 1),
Cells(filaMaduraciones, primeraColumna + nperiodos + 2))
Set Rendimientos = Range(Cells(filaRendimientos, primeraColumna + 1),
Cells(filaRendimientos, primeraColumna + nperiodos + 2))
For i = 2 To nperiodos + 1
    Maduraciones.Cells(i).Formula = "=0"
    Rendimientos.Cells(i).Formula = "=0"
Next i
For i = 1 To nperiodos
    For j = 1 To mtitulos
        If i + Plazos(j).Value <= nperiodos + 1 Then
            Maduraciones.Cells(i + Plazos(j).Value).Formula = Maduraciones.Cells(i +
Plazos(j).Value).Formula & "+" & Inversiones.Cells(j, i).Address
            Rendimientos.Cells(i + Plazos(j).Value).Formula = Rendimientos.Cells(i +
Plazos(j).Value).Formula & "+" & Inversiones.Cells(j, i).Address & "*" &
Tasas.Cells(j).Address
        End If
    Next j
Next i

'CreaciOn de un rango que contiene los requerimientos de cada periodo
Set Requerimiento = Range(Cells(filaRequerimientos, primeraColumna + 1),
Cells(filaRequerimientos, primeraColumna + nperiodos))
For i = 1 To Requerimientos.Count
    Requerimiento.Cells(i).Formula = "=" & Requerimientos.Cells(i).Address
Next i

'CreaciOn de un rango que contiene las celdas del saldo final, y
'programaciOn de la fOrmula que calcula el valor del
'saldo final como el total de entradas menos el total de salidas
Set SaldoFinal = Range(Cells(filaSaldoFinal, primeraColumna + 1), Cells(filaSaldoFinal,
primeraColumna + nperiodos + 1))
For i = 1 To nperiodos + 1
    SaldoFinal.Cells(i).Formula = "=SUM(" & Cells(filaInicioIngresos, primeraColumna +
i).Address & ":" & Cells(filaFinIngresos, primeraColumna + i).Address & ")-SUM(" &
Cells(filaInicioEgresos, primeraColumna + i).Address & ":" & Cells(filaFinEgresos,
primeraColumna + i).Address & ")"
Next i

'CreaciOn de un rango que contiene las celdas del saldo inicial y programaciOn
'de la fOrmula que relaciona el valor
'del saldo inicial como el saldo final del periodo anterior.
Set SaldoInicial = Range(Cells(filaSaldoInicial, primeraColumna + 1),
Cells(filaSaldoInicial, primeraColumna + nperiodos + 1))
SaldoInicial.Cells(1).Formula = "=" & refedtCapital.Text
For i = 2 To nperiodos + 1
    SaldoInicial.Cells(i).Formula = "=" & SaldoFinal.Cells(i - 1).Address

```

Next i

```
'CreaciOn de un rango que contiene la celda correspondiente al total de
'rendimiento y programaciOn
'de la fórmula realiza dicha sumatoria
Set TotalRendimientos = Range(Cells(filaSaldoFinal + 1, primeraColumna + nperiodos + 1),
Cells(filaSaldoFinal + 1, primeraColumna + nperiodos + 1))
TotalRendimientos.Formula = "=SUM(" & Cells(filaRendimientos, primeraColumna +
1).Address & ":" & Cells(filaRendimientos, primeraColumna + nperiodos + 1).Address & ")"
Range(Cells(filaSaldoFinal + 1, primeraColumna + nperiodos), Cells(filaSaldoFinal + 1,
primeraColumna + nperiodos)).Value = "Tot Rend"

'CreaciOn del patrOn para el formato de las celdas que contienen valores
'numEricos dentro del flujo de caja
'de manera que se presente la informaciOn sin decimales y con formato tipo moneda
Formato = "_($ * #,##0_);[Red]_($ * (#,##0);_($ * " & Chr(34) & "-" & Chr(34) &
"??_);_(@_)"
'AsignaciOn de formato a la parte exterior del flujo de caja, relacionada con bordes y
temas estEticos
Range(Cells(primeraFila, primeraColumna), Cells(filaSaldoFinal + 1, primeraColumna +
nperiodos + 1)).AutoFormat
'AsignaciOn de formato a los datos numEricos segUn el patron creado anteriormente
Range(Cells(primeraFila, primeraColumna), Cells(filaSaldoFinal + 1, primeraColumna +
nperiodos + 1)).NumberFormat = Formato
'Formateo de fuente negrilla en las etiquetas de ingresos y egresos
Range(Cells(filaEtiquetaIngresos, primeraColumna), Cells(filaEtiquetaIngresos,
primeraColumna)).Font.Bold = True
Range(Cells(filaEtiquetaEgresos, primeraColumna), Cells(filaEtiquetaEgresos,
primeraColumna)).Font.Bold = True
'Formateo de los bordes de las celdas de las etiquetas de ingresos y egresos
Range(Cells(filaEtiquetaIngresos, primeraColumna), Cells(filaEtiquetaIngresos,
primeraColumna)).Borders(xlEdgeBottom).Color = RGB(0, 0, 0)
Range(Cells(filaEtiquetaEgresos, primeraColumna), Cells(filaEtiquetaEgresos,
primeraColumna)).Borders(xlEdgeBottom).Color = RGB(0, 0, 0)
'Formateo de fuente negrilla en las celdas de saldo final
Range(Cells(filaSaldoFinal + 1, primeraColumna + nperiodos), Cells(filaSaldoFinal + 1,
primeraColumna + nperiodos)).Font.Bold = True

GoTo Exit_Form
Handle_Error:
MsgBox (Err.Description)
Exit_Form:
Unload Me
End Sub
```

## MODULO thisWorkbook

A continuación se presenta el código fuente utilizado en el módulo *thisWorkbook*. Código que tiene como objeto cargar el complemento en el menú principal.

```
Private Sub Workbook_AddinInstall()
'FunciOn llamada cuando el complemento es instalado
Call AddPortOptimMenuItem
End Sub

Private Sub Workbook_AddinUninstall()
'FunciOn llamada cuando el complemento es desinstalado
Call RemovePortOptimMenuItem
End Sub

Private Sub AddPortOptimMenuItem()
'FunciOn que agrega la opciOn para la ejecuciOn del complemento al menU
```

```

Dim ToolsMenu As CommandBarPopup
Dim NewMenuItem As CommandBarButton

'EliminaciOn de la opciOn del menU si ya existe
Call RemovePortOptimMenuItem

'BUúsqueda de la ficha del menU herramientas
Set ToolsMenu = Application.CommandBars(1).FindControl(ID:=30007)
If ToolsMenu Is Nothing Then Exit Sub
'AdiciOn de la opciOn 'Optimizaci3n de Portafolios' al menU
Set NewMenuItem = ToolsMenu.Controls.Add(Type:=msoControlButton)
NewMenuItem.Caption = "Optimizaci3n de Portafolios..."
NewMenuItem.OnAction = "LoadPortOptim"
End Sub

Private Sub RemovePortOptimMenuItem()
'FunciOn que elimina la opciOn del menU
Dim CmdBar As CommandBar
Dim Ctrl As CommandBarControl
On Error Resume Next

'Busqueda de la ficha del menU herramientas y eliminaciOn del campo
'Optimizaci3n de Portafolios'
Set CmdBar = Application.CommandBars(1)
Set Ctrl = CmdBar.FindControl(ID:=30007)
Call Ctrl.Controls("Optimizaci3n de Portafolios...").Delete
End Sub

```

## ANEXO C. MATLAB OPTIMIZATION TOOLBOX

### Optimization Toolbox™

`linprog` - Solve linear programming problems

#### Equation

Finds the minimum of a problem specified by

$$\min_x f^T x \text{ such that } \begin{cases} A \cdot x \leq b, \\ A_{eq} \cdot x = b_{eq}, \\ lb \leq x \leq ub. \end{cases}$$

$f$ ,  $x$ ,  $b$ ,  $b_{eq}$ ,  $lb$ , and  $ub$  are vectors, and  $A$  and  $A_{eq}$  are matrices.

#### Syntax

```
x = linprog(f,A,b)
x = linprog(f,A,b,Aeq,beq)
x = linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
x = linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub,x0)
x = linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub,x0,options)
x = linprog(problem)
[x,fval] = linprog(...)
[x,fval,exitflag] = linprog(...)
[x,fval,exitflag,output] = linprog(...)
[x,fval,exitflag,output,lambda] = linprog(...)
```

#### Description

`linprog` solves linear programming problems.

`x = linprog(f,A,b)` solves  $\min f^T x$  such that  $A \cdot x = b$ .

`x = linprog(f,A,b,Aeq,beq)` solves the problem above while additionally satisfying the equality constraints  $A_{eq} \cdot x = b_{eq}$ . Set `A = []` and `b = []` if no inequalities exist.

`x = linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub)` defines a set of lower and upper bounds on the design variables,  $x$ , so that the solution is always in the range  $lb \leq x \leq ub$ . Set `Aeq = []` and `beq = []` if no equalities exist.

`x = linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub,x0)` sets the starting point to `x0`. This option is only available with the medium-scale algorithm (the `LargeScale` option is set to 'off' using `optimset`). The default large-scale algorithm and the simplex algorithm ignore any starting point.

`x = linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub,x0,options)` minimizes with the optimization options specified in the structure `options`. Use `optimset` to set these options.

`x = linprog(problem)` finds the minimum for `problem`, where `problem` is a structure described in [Input Arguments](#). Create the structure `problem` by exporting a problem from Optimization Tool, as described in [Exporting to the MATLAB Workspace](#).

`[x,fval] = linprog(...)` returns the value of the objective function `fun` at the solution `x`: `fval = f'*x`.

`[x,fval,exitflag] = linprog(...)` returns a value `exitflag` that describes the exit condition.

`[x,fval,exitflag,output] = linprog(...)` returns a structure `output` that contains information about the optimization.

`[x,fval,exitflag,output,lambda] = linprog(...)` returns a structure `lambda` whose fields contain the Lagrange multipliers at the solution `x`.

**Note** If the specified input bounds for a problem are inconsistent, the output `x` is `x0` and the output `fval` is `[]`.

## Input Arguments

[Function Arguments](#) contains general descriptions of arguments passed into `linprog`. [Options](#) provides the function-specific details for the `options` values.

<code>problem.f</code>	Linear objective function vector <code>f</code>
<code>Aineq</code>	Matrix for linear inequality constraints
<code>bineq</code>	Vector for linear inequality constraints
<code>Aeq</code>	Matrix for linear equality constraints
<code>beq</code>	Vector for linear equality constraints

**Lb**            Vector of lower bounds  
**Ub**            Vector of upper bounds  
**x0**            Initial point for  $x$ , active set algorithm only  
**solver**       'linprog'  
**options**      Options structure created with [optimset](#)

## Output Arguments

[Function Arguments](#) contains general descriptions of arguments returned by `linprog`. This section provides function-specific details for `exitflag`, `lambda`, and `output`:

**exitflag** Integer identifying the reason the algorithm terminated. The following lists the values of `exitflag` and the corresponding reasons the algorithm terminated.

1	Function converged to a solution $x$ .
0	Number of iterations exceeded <code>options.MaxIter</code> .
-2	No feasible point was found.
-3	Problem is unbounded.
-4	NaN value was encountered during execution of the algorithm.
-5	Both primal and dual problems are infeasible.
-7	Search direction became too small. No further progress could be made.

**lambda** Structure containing the Lagrange multipliers at the solution  $x$  (separated by constraint type). The fields of the structure are:

<code>lower</code>	Lower bounds <code>lb</code>
<code>upper</code>	Upper bounds <code>ub</code>
<code>ineqlin</code>	Linear inequalities
<code>eqlin</code>	Linear equalities

**output** Structure containing information about the optimization. The fields of the structure are:

<code>iterations</code>	Number of iterations
<code>algorithm</code>	Optimization algorithm used
<code>cgiterations</code>	0 (large-scale algorithm only, included for backward compatibility)
<code>message</code>	Exit message

## Options

Optimization options used by `linprog`. Some options apply to all algorithms, and others are only relevant when using the large-scale algorithm. You can use [`optimset`](#) to set or change the values of these fields in the options structure, `options`. See [Optimization Options](#) for detailed information.

### *Medium-Scale and Large-Scale Algorithms*

These options are used by both the medium-scale and large-scale algorithms:

`Diagnostics` Print diagnostic information about the function to be minimized.

`Display` Level of display. 'off' displays no output; 'iter' displays output at each iteration; 'final' (default) displays just the final output. At this time, the 'iter' level only works with the large-scale and simplex algorithms.

`MaxIter` Maximum number of iterations allowed.

### *Medium-Scale Algorithm Only*

These options are used by the medium-scale algorithm:

`Simplex` If 'on', `linprog` uses the simplex algorithm. The simplex algorithm uses a built-in starting point, ignoring the starting point `x0` if supplied. The default is 'off'. See [Medium-Scale `linprog` Simplex Algorithm](#) for more information and an example.

### *Large-Scale Algorithm Only*

These options are used only by the large-scale algorithm:

`TolFun` Termination tolerance on the function value.

## Examples

Find  $x$  that minimizes

$$f(x) = -5x_1 - 4x_2 - 6x_3,$$

subject to

$$\begin{aligned} x_1 - x_2 + x_3 &= 20 \\ 3x_1 + 2x_2 + 4x_3 &= 42 \\ 3x_1 + 2x_2 &= 30 \\ 0 &= x_1, 0 = x_2, 0 = x_3. \end{aligned}$$

First, enter the coefficients

```
f = [-5; -4; -6]
A = [1 -1 1
     3  2 4
     3  2 0];
b = [20; 42; 30];
lb = zeros(3,1);
```

Next, call a linear programming routine.

```
[x,fval,exitflag,output,lambda] = linprog(f,A,b,[],[],lb);
```

Entering `x`, `lambda.ineqlin`, and `lambda.lower` gets

```
x =
    0.0000
   15.0000
    3.0000
lambda.ineqlin =
    0
    1.5000
    0.5000
lambda.lower =
    1.0000
    0
    0
```

Nonzero elements of the vectors in the fields of `lambda` indicate active constraints at the solution. In this case, the second and third inequality constraints (in `lambda.ineqlin`) and the first lower bound constraint (in `lambda.lower`) are active constraints (i.e., the solution is on their constraint boundaries).

## Algorithm

### *Large-Scale Optimization*

The large-scale method is based on LIPSOL (Linear Interior Point Solver, [3]), which is a variant of Mehrotra's predictor-corrector algorithm ([2]), a primal-dual interior-point method. A number of preprocessing steps occur before the algorithm begins to iterate. See [Large Scale Linear Programming](#).

## Medium-Scale Optimization

`linprog` uses a projection method as used in the [quadprog](#) algorithm. `linprog` is an active set method and is thus a variation of the well-known *simplex* method for linear programming [1]. The algorithm finds an initial feasible solution by first solving another linear programming problem.

Alternatively, you can use the simplex algorithm, described in [Medium-Scale linprog Simplex Algorithm](#), by entering

```
options = optimset('LargeScale', 'off', 'Simplex', 'on')
```

and passing `options` as an input argument to `linprog`. The simplex algorithm returns a vertex optimal solution.

**Note** You cannot supply an initial point `x0` for `linprog` with either the large-scale method or the medium-scale method using the simplex algorithm. In either case, if you pass in `x0` as an input argument, `linprog` ignores `x0` and computes its own initial point for the algorithm.

## Diagnostics

### Large-Scale Optimization

The first stage of the algorithm might involve some preprocessing of the constraints (see [Large Scale Linear Programming](#)). Several possible conditions might occur that cause `linprog` to exit with an infeasibility message. In each case, the `exitflag` argument returned by `linprog` is set to a negative value to indicate failure.

If a row of all zeros is detected in `Aeq` but the corresponding element of `beq` is not zero, the exit message is

```
Exiting due to infeasibility: An all-zero row in the
constraint matrix does not have a zero in corresponding
right-hand-side entry.
```

If one of the elements of `x` is found not to be bounded below, the exit message is

```
Exiting due to infeasibility: Objective f'*x is
unbounded below.
```

If one of the rows of `Aeq` has only one nonzero element, the associated value in `x` is called a *singleton* variable. In this case, the value of that component of `x` can be computed from `Aeq` and `beq`. If the value computed violates another constraint, the exit message is

Exiting due to infeasibility: Singleton variables in equality constraints are not feasible.

If the singleton variable can be solved for but the solution violates the upper or lower bounds, the exit message is

Exiting due to infeasibility: Singleton variables in the equality constraints are not within bounds.

**Note** The preprocessing steps are cumulative. For example, even if your constraint matrix does not have a row of all zeros to begin with, other preprocessing steps may cause such a row to occur.

Once the preprocessing has finished, the iterative part of the algorithm begins until the stopping criteria are met. (See [Large Scale Linear Programming](#) for more information about residuals, the primal problem, the dual problem, and the related stopping criteria.) If the residuals are growing instead of getting smaller, or the residuals are neither growing nor shrinking, one of the two following termination messages is displayed, respectively,

One or more of the residuals, duality gap, or total relative error has grown 100000 times greater than its minimum value so far:

or

One or more of the residuals, duality gap, or total relative error has stalled:

After one of these messages is displayed, it is followed by one of the following six messages indicating that the dual, the primal, or both appear to be infeasible. The messages differ according to how the infeasibility or unboundedness was measured.

The dual appears to be infeasible (and the primal unbounded). (The primal residual  $< \text{TolFun.}$ )

The primal appears to be infeasible (and the dual unbounded). (The dual residual  $< \text{TolFun.}$ )

The dual appears to be infeasible (and the primal unbounded) since the dual residual  $> \sqrt{\text{TolFun}}$ . (The primal residual  $< 10 * \text{TolFun.}$ )

The primal appears to be infeasible (and the dual unbounded) since the primal residual  $> \sqrt{\text{TolFun}}$ . (The dual residual  $< 10 * \text{TolFun.}$ )

The dual appears to be infeasible and the primal unbounded since the primal objective  $< -1e+10$  and the dual objective  $< 1e+6$ .

The primal appears to be infeasible and the dual unbounded since the dual objective  $> 1e+10$  and the primal objective  $> -1e+6$ .

Both the primal and the dual appear to be infeasible.

Note that, for example, the primal (objective) can be unbounded and the primal residual, which is a measure of primal constraint satisfaction, can be small.

### **Medium-Scale Optimization**

`linprog` gives a warning when the problem is infeasible.

```
Warning: The constraints are overly stringent;  
there is no feasible solution.
```

In this case, `linprog` produces a result that minimizes the worst case constraint violation.

When the equality constraints are inconsistent, `linprog` gives

```
Warning: The equality constraints are overly  
stringent; there is no feasible solution.
```

Unbounded solutions result in the warning

```
Warning: The solution is unbounded and at infinity;  
the constraints are not restrictive enough.
```

In this case, `linprog` returns a value of  $x$  that satisfies the constraints.

## **Limitations**

### **Medium-Scale Optimization**

At this time, the only levels of display, using the `Display` option in `options`, are `'off'` and `'final'`; iterative output using `'iter'` is not available.

### **Large-Scale Optimization**

Large-Scale Problem Coverage and Requirements

For Large Problems
--------------------

A and Aeq should be sparse.
-----------------------------

## **References**

[1] Dantzig, G.B., A. Orden, and P. Wolfe, "Generalized Simplex Method for Minimizing a Linear Form Under Linear Inequality Constraints," *Pacific Journal Math.*, Vol. 5, pp. 183–195.

[2] Mehrotra, S., "On the Implementation of a Primal-Dual Interior Point Method," *SIAM Journal on Optimization*, Vol. 2, pp. 575–601, 1992.

[3] Zhang, Y., "Solving Large-Scale Linear Programs by Interior-Point Methods Under the MATLAB Environment," *Technical Report TR96-01*, Department of Mathematics and Statistics, University of Maryland, Baltimore County, Baltimore, MD, July 1995.

## See Also

[quadprog](#), [optimtool](#)

For more details about the `linprog` algorithms, see [Linear Programming](#). For more examples of linear programming, see [Linear Programming Examples](#).

## ANEXO D. MATLAB AMD PROCESSOR ISSUE TECHNICAL SOLUTION

**Date Last Modified:** 12 Aug 2008  
**Solution ID:** 1-RO6ME  
**Product:** [MATLAB](#)  
**Reported in Release:** R14  
**Platform:** Windows  
**Operating System:** Windows Any

### Subject:

Why does MATLAB R14 fail to launch on my AMD64 machine running Windows?

### *Problem Description:*

When MATLAB R14 is launched, the splash screen comes up for a second, but MATLAB does not start.

When I try to launch MATLAB, I get the following error in the Command Window:

```
-----  
Segmentation violation detected at Fri Oct 15 11:12:01 2004  
-----
```

### Configuration:

```
MATLAB Version: 7.0.0.19920 (R14)  
Operating System: Microsoft Windows XP  
Window System: Version 5.1 (Build 2600: Service Pack 2)  
Processor ID: x86 Family 15 Model 12 Stepping 0, AuthenticAMD  
Virtual Machine: Java 1.4.2 with Sun Microsystems Inc. Java HotSpot(TM)  
Client VM(mixed mode)  
Default Charset: ibm-5348_P100-1997
```

### Register State:

```
EAX = 00000000 EBX = 00000000  
ECX = 7c80999b EDX = 02110001  
ESI = 01274b60 EDI = 014310d0  
EBP = 00cda6d8 ESP = 00cda648  
EIP = 00000000 FLG = 00010206
```

### Stack Trace:

```
[0]  
numerics.dll:??$mfGenMatrixMult@N@@YAXPAUmxArray_tag@@00W4MM_Transpose@@1  
N@Z(0x01431790,  
0x014310d0, 0x01431810, 0) + 532 bytes
```

```

[1] numerics.dll:void __cdecl mfGenMatrixMult(struct mxArray_tag
*,struct mxArray_tag *,struct mxArray_tag *,enum MM_Transpose,enum
MM_Transpose)(0x01431790, 0x014310d0, 0x01431810, 0) + 120 bytes
[2] numerics.dll:void __cdecl mfTimesTransposeFcn2DFloatPt(int,struct
mxArray_tag * * const,int,struct mxArray_tag * * const)(0, 0x00cda88c, 6,
0x00cda7fc) + 913 bytes
[3] m_dispatcher.dll:public: virtual void __thiscall Mfh_builtin<struct
mxArray_tag>::dispatch_mf(int,struct mxArray_tag * *,int,struct
mxArray_tag
* *) (1, 0x00cda88c, 3, 0x00cda7fc) + 55 bytes
[4] m_dispatcher.dll:public: virtual void __thiscall
Mfh_MATLAB_fn::dispatch_fh(int,struct mxArray_tag * *,int,struct
mxArray_tag * *) (1, 0x00cda88c, 3, 0x00cda7fc) + 200 bytes

```

***Solution:***

The AMD64 processor family is not supported on Windows for any version of MATLAB prior to Release 14 Service Pack 3 (R14SP3). For a list of MATLAB System Requirements, visit:

[http://www.mathworks.com/support/sysreq/current\\_release/](http://www.mathworks.com/support/sysreq/current_release/)

In order to work around this issue, you will need to create a "BLAS\_VERSION" environment variable and set it to the following:

```
$MATLABROOT\bin\win32\atlas_Athlon.dll
```

where \$MATLABROOT is the directory you have installed MATLAB.

If you have set the BLAS\_VERSION and still receive an error, add the following two lines to the end of your "blas.spec" file:

```
AuthenticAMD Family 15 Model 12 atlas_Athlon.dll # Athlon 64 (Newcastle)
AuthenticAMD Family 15 Model * atlas_Athlon.dll # AMD64
```

The "blas.spec" file can be found in the directory \$MATLABROOT\bin\win32.

## ANEXO E. INTRODUCCIÓN A EXCEL SOLVER

### Definición de la herramienta Solver de Excel

Solver se utiliza cuando se quiere encontrar los valores de determinadas celdas de una hoja de cálculo que optimicen (aumenten o disminuyan) un determinado objetivo.

Un modelo de optimización consta de tres partes: la celda objetivo, las celdas cambiantes y las restricciones.

- La celda objetivo representa el objetivo como, por ejemplo, aumentar las ganancias mensuales.
- Las celdas cambiantes son las celdas de la hoja de cálculo que se pueden cambiar o ajustar para optimizar la celda objetivo como, por ejemplo, la cantidad de cada producto fabricada durante un mes.
- Las restricciones son delimitaciones que se aplican a las celdas cambiantes como, por ejemplo, no usar más recursos que los disponibles y no producir más cantidad de un producto que la que pueda venderse.

### Caso de uso. Determinación de la mezcla de productos que aumenta la rentabilidad.

Las empresas necesitan a menudo determinar el programa de producción periódico que proporciona la cantidad de fabricación de cada producto. En su forma más simple, el problema de la mezcla de productos implica cómo determinar la cantidad de cada producto que debe fabricarse durante un periodo para aumentar las ganancias. La mezcla de productos debe satisfacer normalmente las siguientes restricciones:

- En la mezcla de productos no se pueden utilizar más recursos que los disponibles.
- Hay una demanda limitada para cada producto. No se puede producir más cantidad de un producto durante un periodo que la demandada porque el excedente de producción se desecha (como en el caso de los fármacos perecederos).

Se resolverá ahora el siguiente ejemplo del problema de mezcla de productos en el que una empresa farmacéutica puede producir seis productos en su planta y la producción de cada producto requiere mano de obra y materia prima.

- La fila 4 de la Figura 1 contiene las horas de mano de obra necesarias para producir una libra (454 gramos) de cada producto, y la fila 5 indica las libras de materia prima necesarias para producir una libra de cada producto. Por ejemplo, para producir una libra del producto 1 se requieren seis horas de mano de obra y 3,2 libras (1.453 gramos) de materia prima.
- Para cada fármaco, el precio por libra se indica en la fila 6, el coste unitario por libra se indica en la fila 7 y las ganancias por libra se indican en la fila 9. Por ejemplo, el producto 2 se vende a 11 dólares la libra, el coste unitario es de 5,7 dólares por libra y las ganancias son 5,3 dólares por libra.
- La demanda de este mes de cada fármaco se indica en la fila 8. Por ejemplo, la demanda del producto 3 es de 1.041 libras (472,6 kilos).

	A	B	C	D	E	F	G	H	K
1									
2			Kilos fabricados	150	160	170	180	190	
3		Disponible	Producto	1	2	3	4	5	
4			Mano de obra	6	5	4	3	2,5	
5			Materia prima	3,2	2,6	1,5	0,8	0,7	
6			Precio por unidad	\$ 12,50	\$ 11,00	\$ 9,00	\$ 7,00	\$ 6,00	
7			Coste variable	\$ 6,50	\$ 5,70	\$ 3,60	\$ 2,80	\$ 2,20	
8			Demanda	960	928	1041	977	1084	
9			Ganancias por unidad cont.	\$ 6,00	\$ 5,30	\$ 5,40	\$ 4,20	\$ 3,80	
10									
11									
12			Ganancias	\$ 4.504,00					
13						Disponible			
14			Mano de obra utilizada	3695	<=	4500			
15			Materia prima utilizada	1488	<=	1600			
16									
17									

Figura 1: El ejemplo de mezcla de productos.

Para este mes hay 4.500 horas de mano de obra y 1.600 libras (726,4 kilos) de materia prima disponibles. ¿Cómo puede esta empresa aumentar sus ganancias mensuales?

Este problema podría ser resuelto creando una hoja de cálculo y realizando en ella un seguimiento de las ganancias y el uso de recursos asociados a cada mezcla de productos. A continuación, se realizaría pruebas de ensayo y error para variar la mezcla de productos con el fin de optimizar las ganancias sin utilizar más mano de obra o materia prima que la disponible, y sin producir más cantidad de un determinado fármaco que la demandada. En este proceso sólo se utiliza Solver en la etapa de ensayo y error. Básicamente, Solver es un motor de optimización que realiza eficazmente la búsqueda por ensayo y error.

Un elemento clave para solucionar el problema de la mezcla de productos es calcular eficazmente el uso de recursos y las ganancias asociadas a cada mezcla de productos. Una herramienta importante que podemos utilizar para realizar este cálculo es la función *SUMAPRODUCTO*. La función *SUMAPRODUCTO* multiplica los valores correspondientes en los rangos de celdas y devuelve la suma de esos valores. Todos los rangos de celdas utilizados en una evaluación de *SUMAPRODUCTO* deben tener las mismas dimensiones, lo que implica que se puede utilizar *SUMAPRODUCTO* con dos filas o dos columnas, pero no con una columna y una fila.

Para ejemplificar el uso de la función *SUMAPRODUCTO* en el ejemplo de mezcla de productos, se calculará el uso de recursos en el caso presentado. Para ello, se realizará el siguiente cálculo:

```
(Mano de obra utilizada por libra del fármaco 1) *
(Libras del fármaco 1 producidas) +
(Mano de obra utilizada por libra del fármaco 2) *
(Libras del fármaco 2 producidas) +
...
(Mano de obra utilizada por libra del fármaco 6) *
(Libras del fármaco 6 producidas)
```

Una forma sencilla de calcular el uso de mano de obra y materia prima consiste en copiar de D14 a D15 la fórmula:

```
SUMAPRODUCTO($D$2:$I$2,D4:I4)
```

Esta fórmula calcula  $D2*D4+E2*E4+F2*F4+G2*G4+H2*H4+I2*I4$  (que corresponde al uso de mano de obra).

Obsérvese el uso del signo \$ con el rango D2:I2, de forma que al copiar la fórmula se pueda seguir obteniendo la mezcla de productos de la fila 2. La fórmula de la celda D15 calcula el uso de materia prima.

De forma similar, es posible obtener las ganancias calculando:

```
(Ganancias del fármaco 1 por libra) *
(Libras del fármaco 1 producidas) +
(Ganancias del fármaco 2 por libra) *
(Libras del fármaco 2 producidas) +
...
(Ganancias del fármaco 6 por libra) *
(Libras del fármaco 6 producidas).
```

Las ganancias se calculan fácilmente en la celda D12 con la fórmula:

SUMAPRODUCTO (D9:I9, \$D\$2:\$I\$2)

Ahora es posible identificar las tres partes del modelo Solver de mezcla de productos:

<b>Celda objetivo</b>	<b>Celdas cambiantes</b>	<b>Restricciones</b>
Aumentar las ganancias (calculadas en la celda D12).	El número de libras producidas de cada producto (indicado en el rango de celdas D2:I2).	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ No utilizar más mano de obra y materia prima que la disponible. Es decir, los valores de las celdas D14:D15 (los recursos utilizados) deben ser menores o iguales que los valores de las celdas F14:F15 (los recursos disponibles).</li><li>▪ No producir más cantidad de un fármaco que la demandada. Es decir, los valores de las celdas D2:I2 (las libras producidas de cada fármaco) deben ser menores o iguales que la demanda de cada fármaco (indicada en las celdas D8:I8).</li><li>▪ No producir una cantidad negativa de ningún fármaco.</li></ul>

### ¿Cómo especificar este modelo en Solver?

Ahora se describirá cómo especificar la celda objetivo, las celdas cambiantes y las restricciones en Solver. Después de esto, bastará con hacer clic en el botón **Resolver** y Solver encontrará una mezcla de productos que suponga un aumento de las ganancias.

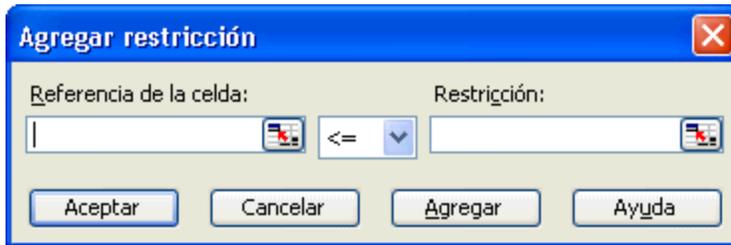
1. Para empezar, se selecciona **Solver** en el menú **Herramientas**. Aparecerá el cuadro de diálogo **Parámetros de Solver**.



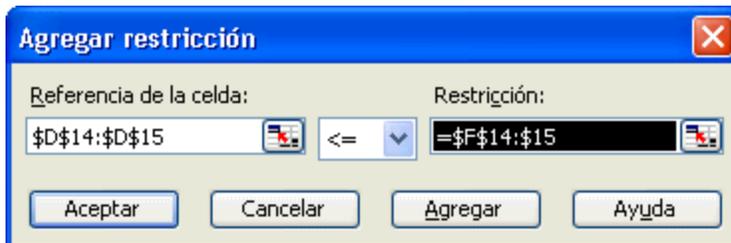
2. Para especificar la celda objetivo, se hace clic en el cuadro **Definir celda objetivo** y, a continuación, se selecciona la celda de ganancias (la celda D12). Para especificar las celdas cambiantes, se hace clic en el cuadro **Cambiando las celdas** y, después, se elige el rango D2:I2, que contiene las libras producidas de cada fármaco. El cuadro de diálogo debe ser similar al que se muestra en la figura siguiente.



3. Ahora se procede a agregar restricciones al modelo. Se hace clic en el botón **Agregar**. Aparecerá el cuadro de diálogo **Agregar restricción**.

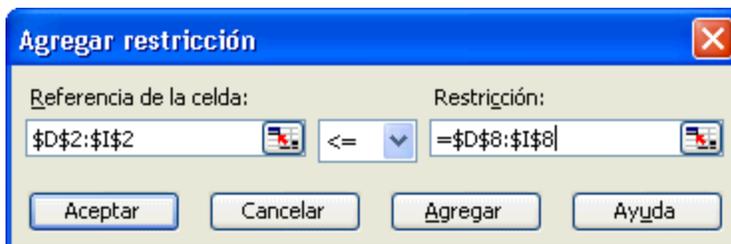


- Para agregar las restricciones de uso de recursos, se hace clic en el cuadro **Referencia de celda** y, después, se selecciona el rango D14:D15. Se elige <= de la lista en el centro del cuadro de diálogo. Luego se hace clic en el cuadro **Restricción** y, a continuación, se selecciona el rango de celdas F14:F15.



En este paso se ha asegurado que cuando Solver pruebe distintos valores para las celdas cambiantes, sólo considerará las combinaciones que satisfagan D14 <= F14 (la mano de obra utilizada es menor o igual que la mano de obra disponible) y D15 <= F15 (la materia prima utilizada es menor o igual que la materia prima disponible).

- A continuación se hace clic en **Agregar** en el cuadro de diálogo **Agregar restricción** para especificar las restricciones de demanda. Se ingresa la información al cuadro de diálogo **Agregar restricción** tal como se muestra en la siguiente figura.

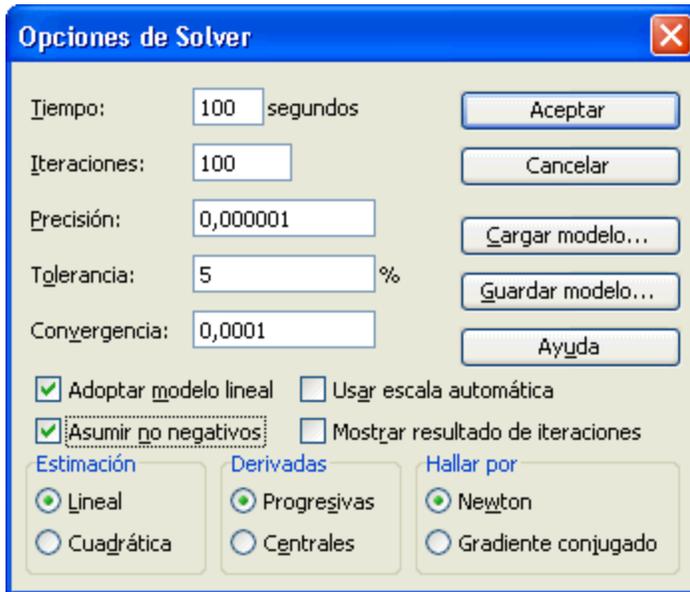


Al agregar estas restricciones se asegura que cuando Solver pruebe distintas combinaciones para los valores de las celdas cambiantes, sólo considerará las combinaciones que satisfagan las siguientes condiciones:

- $D2 \leq D8$  (la cantidad del fármaco 1 es menor o igual que la demanda del fármaco 1)
  - $E2 \leq E8$  (la cantidad del fármaco 2 es menor o igual que la demanda del fármaco 2)
  - $F2 \leq F8$  (la cantidad del fármaco 3 es menor o igual que la demanda del fármaco 3)
  - $G2 \leq G8$  (la cantidad del fármaco 4 es menor o igual que la demanda del fármaco 4)
  - $H2 \leq H8$  (la cantidad del fármaco 5 es menor o igual que la demanda del fármaco 5)
  - $I2 \leq I8$  (la cantidad del fármaco 6 es menor o igual que la demanda del fármaco 6)
6. Se hace clic en **Aceptar** en el cuadro de diálogo **Agregar restricción**. El cuadro de diálogo **Parámetros de Solver** debe ser similar al que se muestra en la figura siguiente.



7. Se especifica la restricción de que ninguna de las celdas cambiantes sea negativa en el cuadro de diálogo **Opciones de Solver**, que se abre haciendo clic en el botón **Opciones** del cuadro de diálogo **Parámetros de Solver**.



Es importante seleccionar las opciones **Adoptar modelo lineal** y **Adoptar no-negativo** y, a continuación, haga clic en **Aceptar**.

Al seleccionar la opción **Adoptar no-negativo** se asegura que Solver sólo considerará las combinaciones de celdas cambiantes en las que cada celda cambiante adopte un valor no negativo.

Se ha seleccionado **Adoptar modelo lineal** porque el problema de mezcla de productos es un tipo especial de problema de Solver denominado **modelo lineal**. Básicamente, un modelo de Solver es lineal si se cumplen las siguientes condiciones:

- La celda objetivo se calcula sumando términos de la forma *(celda cambiante)\*(constante)*.
- Cada restricción satisface los requisitos del modelo lineal. Esto significa que cada restricción se evalúa sumando términos de la forma *(celda cambiante)\*(constante)* y comparando estas sumas con una constante.

La celda objetivo (ganancias) del caso presentado se calcula del modo siguiente:

```
(Ganancias del fármaco 1 por libra)*
(Libras del fármaco 1 producidas) +
(Ganancias del fármaco 2 por libra)*
(Libras del fármaco 2 producidas) +
...
```

(Ganancias del fármaco 6 por libra) \*  
(Libras del fármaco 6 producidas)

Este cálculo sigue un modelo en el que el valor de la celda objetivo se obtiene sumando términos de la forma *(celda cambiante)\*(constante)*.

La restricción de mano de obra se evalúa comparando la mano de obra disponible con el valor obtenido de:

(Mano de obra utilizada por libra del fármaco 1) \*  
(Libras del fármaco 1 producidas) +  
(Mano de obra utilizada por libra del fármaco 2) \*  
(Libras del fármaco 2 producidas) +  
...  
(Mano de obra utilizada por libra del fármaco 6) \*  
(Libras del fármaco 6 producidas)

Por tanto, la restricción de mano de obra se evalúa sumando términos de la forma *(celda cambiante)\*(constante)* y comparando estas sumas con una constante.

Tanto la restricción de mano de obra como la restricción de materia prima satisfacen los requisitos del modelo lineal.

Las restricciones de demanda adoptan la forma

(Fármaco 1 producido) <= (Demanda de fármaco 1)  
(Fármaco 2 producido) <= (Demanda de fármaco 2)  
...  
(Fármaco 6 producido) <= (Demanda de fármaco 6)

Cada restricción de demanda satisface también los requisitos del modelo lineal, porque cada una de ellas se evalúa sumando términos de la forma *(celda cambiante)\*(constante)* y comparando estas sumas con una constante.

Si un modelo de Solver es lineal y se selecciona **Adoptar modelo lineal**, Solver utiliza un algoritmo muy eficaz (el método más simple) para encontrar la solución óptima del modelo. Si el modelo de Solver es lineal y no se selecciona **Adoptar modelo lineal**, Solver utiliza un algoritmo muy poco eficaz (el método GRG2) y puede resultar difícil encontrar la solución óptima del modelo.

8. Después de hacer clic en **Aceptar** en el cuadro **Opciones de Solver**, se regresa al cuadro de diálogo **Solver** principal. Cuando se hace clic en **Resolver**, Solver calculará una solución óptima (si existe) para el modelo de mezcla de productos.

Una solución óptima al modelo de mezcla de productos sería un conjunto de valores de celdas cambiantes (libras producidas de cada fármaco) que aumentara las ganancias entre el conjunto de todas las soluciones viables. Por otra parte, una **solución viable** es un conjunto de valores de celdas cambiantes que satisfacen todas las restricciones. Los valores de las celdas cambiantes mostrados en la Figura 2 son una solución viable, ya que ninguno de los niveles de producción es negativo, ninguno de ellos excede la demanda y el uso de recursos no es mayor que los recursos disponibles.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2			Kilos fabricados	150	160	170	180	190
3	Disponible	Producto		1	2	3	4	5
4		Mano de obra		6	5	4	3	2,5
5		Materia prima		3,2	2,6	1,5	0,8	0,7
6		Precio por unidad		\$ 12,50	\$ 11,00	\$ 9,00	\$ 7,00	\$ 6,00
7		Coste variable		\$ 6,50	\$ 5,70	\$ 3,60	\$ 2,80	\$ 2,20
8		Demanda		960	928	1041	977	1084
9		Ganancias por unidad cont.		\$ 6,00	\$ 5,30	\$ 5,40	\$ 4,20	\$ 3,80
10								
11								
12		Ganancias		\$ 4.504,00				
13						Disponible		
14		Mano de obra utilizada		3895 <=		4500		
15		Materia prima utilizada		1488 <=		1600		

Figura 2: Una solución viable al problema de mezcla de productos satisface las restricciones.

Los valores de las celdas cambiantes mostrados en la Figura 3 representan una **solución inviable** por los siguientes motivos:

- Se produce más cantidad del fármaco 5 que la demandada.
- Se utiliza más mano de obra que la disponible.
- Se utiliza más materia prima que la disponible.

	B	C	D	E	F	G	H	
1								
2		Kilos fabricados		300	0	0	0	1085
3	Disponible	Producto		1	2	3	4	5
4		Mano de obra		6	5	4	3	2,5
5		Materia prima		3,2	2,6	1,5	0,8	0,7
6		Precio por unidad		\$ 12,50	\$ 11,00	\$ 9,00	\$ 7,00	\$ 6,00
7		Coste variable		\$ 6,50	\$ 5,70	\$ 3,60	\$ 2,80	\$ 2,20
8		Demanda		960	928	1041	977	1084
9		Ganancias por unidad cont.		\$ 6,00	\$ 5,30	\$ 5,40	\$ 4,20	\$ 3,80
10								
11								
12		Ganancias		\$ 7.723,00				
13						Disponible		
14		Mano de obra utilizada		6012,5 <=		4500		
15		Materia prima utilizada		2019,5 <=		1600		

Figura 3: Una solución inviable al problema de mezcla de productos no satisface las restricciones que hemos definido.

Después de hacer clic en **Resolver**, Solver encuentra rápidamente la solución óptima, mostrada en la Figura 4. Se debe seleccionar **Conservar la solución de Solver** para conservar los valores de la solución óptima en la hoja de cálculo.

	B	C	D	E	F	G	H	I
1								
2		Kilos fabricados	0	0	0	596,667	1084	
3	Disponible	Producto	1	2	3	4	5	
4		Mano de obra	6	5	4	3	2,5	
5		Materia prima	3,2	2,6	1,5	0,8	0,7	
6		Precio por unidad	\$ 12,50	\$ 11,00	\$ 9,00	\$ 7,00	\$ 6,00	\$
7		Coste variable	\$ 6,50	\$ 5,70	\$ 3,60	\$ 2,80	\$ 2,20	\$
8		Demanda	960	928	1041	977	1084	
9		Ganancias por unidad cont.	\$ 6,00	\$ 5,30	\$ 5,40	\$ 4,20	\$ 3,80	\$
10								
11								
12		Ganancias	\$ 6.625,20					
13					Disponible			
14		Mano de obra utilizada	4500	<=	4500			
15		Materia prima utilizada	1236,1333	<=	1600			
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								

Figura 4: La solución óptima al problema de mezcla de productos.

La empresa farmacéutica puede aumentar sus ganancias mensuales a un nivel de 6.625,20 dólares produciendo 596,67 libras (270,8 kilos) del fármaco 4, 1.084 libras (492,1 kilos) del fármaco 5 y ninguno de los demás fármacos.

### Ejemplo de un modelo Solver que no tiene solución?

Supóngase que se debe satisfacerse la demanda de cada producto. En ese caso, se tendría que cambiar las restricciones de demanda de D2:I2 <= D8:I8 a D2:I2 >= D8:I8. Para cambiar esta restricción:

1. Se abre Solver.
2. Se hace clic en la restricción **D2:I2 <= D8:I8** y luego en **Cambiar**. Aparecerá el cuadro de diálogo **Cambiar restricción**.



3. En el cuadro del centro, se elige  $\geq$  y, a continuación, se hace clic en **Aceptar**. Con esto se asegura que Solver sólo considerará los valores de las celdas cambiantes que satisfacen todas las demandas.

Al hacer clic en **Resolver**, aparecerá el mensaje **Solver no ha podido encontrar una solución factible**. Este mensaje significa que con los recursos limitados no es posible satisfacer la demanda de todos los productos.

No se ha cometido ningún error en el modelo. Solver indica simplemente que si se desea satisfacer la demanda de cada producto, se debe agregar más mano de obra, más materia prima o ambas cosas.

Se describirá ahora qué sucede si se permite una demanda ilimitada para cada producto y se permite también que se produzcan cantidades negativas de cada fármaco.

Para encontrar la solución óptima para esta situación:

1. Se abre Solver.
2. Se hace clic en el botón **Opciones** y, a continuación, se desactiva la casilla de verificación **Adoptar no-negativo**.
3. En el cuadro de diálogo **Parámetros de Solver**, se hace clic en la restricción de demanda **D2:I2  $\leq$  D8:I8** y luego en **Eliminar** para quitar la restricción.

Al hacer clic en **Resolver**, Solver muestra el mensaje **Los valores de la celda objetivo no convergen**. Este mensaje significa que si debe aumentarse el valor de la celda objetivo (como en el ejemplo), hay soluciones viables con valores en la celda objetivo arbitrariamente grandes. (Si debe reducirse el valor de la celda objetivo, este mensaje significa que hay soluciones viables con valores en la celda objetivo arbitrariamente pequeños.)

En el presente caso, al permitir la producción negativa de un fármaco, lo que de hecho se está "creando" son recursos que se pueden utilizar para producir cantidades arbitrariamente grandes de otros fármacos. Dada la demanda ilimitada, esto permite obtener ganancias ilimitadas. En una situación real, no es posible ganar una cantidad infinita de dinero. En resumen, si aparece el mensaje **Los valores de la celda objetivo no convergen**, el modelo contiene un error.