TRATAMIENTO Y RESOLUCIÓN DE UN PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL CON RECURSOS ALEATORIOS

MARIELA ESTEFANIA NARES - GLORIA TROVATO
Facultad de ciencias económicas
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires - ARGENTINA
nares@econ.unicen.edu.ar- trovato@econ.unicen.edu.ar

Fecha Recepción: Julio 2012 - Fecha Aceptación: Agosto 2012

RESUMEN

El presente trabajo da tratamiento y propone un método de resolución a un problema de programación lineal en el que las disponibilidades de recursos son desconocidas, aunque se conoce o se puede determinar la distribución de probabilidad esperada de los mismos. La resolución se realiza a través del uso de la programación lineal y la generación de simulaciones de variables discretas, ambas herramientas de la Investigación Operativa-IO-, relacionadas a través de la programación computacional.

El resultado alcanzado es la obtención de un algoritmo de resolución de este problema de características particulares. Finalmente, se plantean ciertas cuestiones en las que el investigador de IO puede seguir trabajando.

PALABRAS CLAVE: Programación Lineal. Simulación. Programación**.**

ABSTRACT

This work treats and proposes a method to solve a linear programming problem in which resources availability is unknown, although it is known or can be determined the probability distribution expected of them. The resolution is performed through the use of linear programming and the generation of simulations of discrete variables, both tools of Operations Research -OR- related through computer programming.

The result achieved is the development of an algorithm to solve this problem, which has particular characteristics. Finally, certain issues arise in which the OR academic can keep on working.

KEYWORDS: Linear Programming. Simulation. Programming**.**

1. INTRODUCCIÓN

La resolución de problemas cotidianos generalmente implica, para el investigador en operaciones, la implementación de herramientas ampliamente probadas y aceptadas. Más allá de ello, la incertidumbre respecto a una amplia gama de parámetros es una de las mayores dificultades que presenta la aplicación de distintos instrumentos de la Investigación Operativa-IO-.

Una de las herramientas ampliamente utilizadas en el campo de la IO para la resolución de problemas, es la programación matemática, definida por Vicens Salort y otros (1997) como "…el nombre que se da a una familia de herramientas diseñadas para ayudar a resolver problemas de gestión, en los cuales el decisor debe asignar recursos escasos (o limitados) a diversas actividades en vista a optimizar un objetivo medible."Dentro de la programación matemática, la Programación Lineal es una de las más difundida y utilizada, logrando su resolución a través de variados métodos, siendo uno de ellos el Método Símplex. Una de las características esenciales de los modelos a resolver a partir del uso de esta herramienta es la existencia de una cantidad limitada de recursos que se encuentran disponibles para ser utilizados. Esto se presenta en una amplia variedad de situaciones de la realidad a modelizar. Pero al analizar más en profundo, el investigador en operaciones se encuentra con que una de las presunciones que subyacen en estos modelos de programación matemática es la certeza de que la totalidad de los datos del modelo son conocidos. Ello implica que se tiene certidumbre de los beneficios o costos resultantes de cada una de las variables reales del modelo y de la disponibilidad de la totalidad de los recursos que se involucran en el análisis.

Esta última presunción nos aleja de la realidad en situaciones particulares que se plantean en la vida real. Modelizar, analizar y resolver problemas complejos es tarea del investigador en operaciones pero ello va más allá de la certidumbre que presenta la realidad.

En este trabajo se propone dar tratamiento al análisis de una situación problemática donde no existe certidumbre alguna respecto a la disponibilidad de recursos.

2. OBJETIVO DE TRABAJO

El objetivo del presente trabajo es determinar un procedimiento o establecer un algoritmo que permita hallar una solución óptima al plantear un problema de programación lineal, donde las disponibilidades de recursos no son conocidas, aunque se conoce o se puede determinar la distribución de probabilidad esperada de los mismos.

3. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

Desde los inicios de la IO, concebida por Ackoff y Sasieni (1968) como "la aplicación del método científico mediante equipos interprofesionales a los problemas de gobierno de sistemas organizados para proporcionar soluciones que sirvan lo mejor posible a la organización considerada como un todo", es que se propone dar tratamiento a los problemas cotidianos que se presentan en las organizaciones. La aplicación de la IO, implica el conocimiento de los componentes esenciales de esta metodología, los cuales son mencionados por Maroto Álvarez y otros (2002) siendo el "énfasis en el método científico, los equipos interdisciplinares, la ayuda a la toma de decisiones, obtención de la mejor solución y el enfoque global".

Es dable destacar que la ayuda a la toma de decisiones se realiza a través de la generación de información o conocimiento. El valor que se le otorga suele ser mayor a medida que la incertidumbre rodea más al ámbito de aplicación. De esta forma se contribuye a la generación de conocimiento en un ámbito específico, para el cual Alavi y Leider (1999) identificaron seis puntos de vista para la definición del conocimiento, los cuales se explicitan seguidamente.

1. En relación con datos e información: "Datos son hechos, números sin procesar. Información son datos procesados o interpretados. Conocimiento es la información personalizada".
2. Como estado de la mente: "El conocimiento es el estado de conocer y comprender".
3. Como objeto: "Los conocimientos son objetos que se pueden almacenar y manipular".
4. Como proceso: "El conocimiento es un proceso de aplicación de la experiencia".
5. En cuanto al acceso a la información: "El conocimiento es una condición de acceso a la información".
6. Como capacidad o competencia: "El conocimiento es el potencial que influye en la acción".

A partir de las perspectivas antes mencionadas, es dable encausar una definición de conocimiento. La más atrayente es la brindada por Peluffo y Catalán Contreras (2002) quienes hacen referencia al mismo como "la capacidad para relacionar de forma altamente estructurada, datos, información y conocimiento de un determinado objeto que permiten actuar efectivamente sobre éste en base a un determinado valor y contexto". Se puede decir que a través de la aplicación metodológica de la IO se logra la generación de conocimiento, input para lograr un ciclo de mejora que redunde en beneficios para la organización como un todo.

Plantear un modelo de resolución de problemas que brinde información o genere conocimiento para tomar decisiones en el marco de la planificación, es un tema complejo de abarcar. Con un modelo específico, generado a través de herramientas de la IO, es que se da tratamiento a la resolución de un problema de programación lineal, en el cual las cantidades disponibles de recursos son aleatorias.

En este tema se ha trabajado a través de la implementación del concepto de números difusos, los cuales son definidos como "sea X un conjunto clásico de objetos, llamado el Universo, cuyos elementos genéricos se denominan x. La pertenencia a un subconjunto clásico A de X es a menudo vista como una función característica, μA de X a {0, 1} tal que

$$\begin{cases} \mu_A(x) \quad 1 \text{ sí y solamente sí } x \in A, \\ 0 \text{ sí y solamente sí } x \notin A \end{cases}$$

Si el conjunto de la valoración {0, 1} se le permite ser intervalo real [0, 1], A se llama conjunto difuso" (Dubois y Prade, 1980).

La aplicación de números difusos fue demostrada por Campos y Verdegay (1988), quienes proponen un enfoque de resolución de un problema de programación lineal basado en distintas versiones para la comparación de números difusos. Con ello da importancia a la imprecisión de definición vaga de los coeficientes del conjunto de restricciones.

Una de las herramientas computacionales más extendidas entre los investigadores, es el programa Microsoft Excel del paquete de office de Microsoft Windows. Éste es considerado por Pérez González (2006) como una alternativa válida para el análisis estadístico de los datos, es decir que es de gran utilidad para generar estadística descriptiva de variables. Por consiguiente, el trabajo con el modelo de programación lineal se realiza a través de una hoja de cálculo de Microsoft Excel[2].

El complemento utilizado para resolver este problema es Solver, una herramienta disponible en cualquier equipo que ha sido ampliamente utilizada. Lekubarri y Eguzkitza (2003) trabajan con el mismo y analizan la estabilidad de la solución hallada. Para ello hacen hincapié en el análisis de sensibilidad: "se estudia qué sensibles son la solución óptima y el correspondiente valor de la función objetivo a cambios en los datos del problema."

La programación conjunta de la resolución del modelo de programación lineal con simulaciones de las cantidades de recursos es posible llevarla a cabo a través de VBA (Visual Basic para Aplicaciones).

[2]© 2010 Microsoft Corporation.

Esta herramienta es descripta por Mora y Espinoza (2005) como “una herramienta de programación que nos permite usar código Visual Basic adaptado para interactuar con las múltiples facetas de Excel y personalizar las aplicaciones que hagamos en esta hoja electrónica”. Trabajan con los conceptos de macros, como funciones y subrutinas, elementos aplicados a lo largo de la generación y programación del modelo. Las estructuras a partir de las cuales se generó el seudocódigo del algoritmo implementado son: secuencial (se sigue una secuencia de pasos en un orden determinado), condicional (se selecciona una acción o proceso a ejecutar en función de las condiciones que se establecen) y repetitivo (se repite una acción o proceso sucesivamente hasta que se cumpla una condición que permita terminar).

Asimismo, la programación lineal se conjuga con la aleatoriedad de las cantidades de los recursos a disponer. Esto se trabaja a través de simulaciones. Las mismas son concebidas como “el establecimiento de un modelo matemático-lógico de un sistema y la manipulación experimental del modelo en una computadora digital” (Biles y Swain, 1980).

4. MODELIZACIÓN GENERAL

La modelización general del problema se realiza a través de un modelo de programación lineal en el cual las variables reales se representan con valores enteros. La particularidad del modelo radica en la incertidumbre existente respecto del parámetro bi, es decir, de las disponibilidades de recursos.

La formulación del modelo de Programación Lineal, en términos generales, queda definida como:

$$\text{Max/Min} \quad Z = f(x) = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j = b_i, \qquad i = 1, 2, \dots p-1$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \geq b_i, \qquad i = p, \dots, q-1$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leq b_i, \qquad i = q, \dots, m$$

$$x_j \geq o \text{ y enteros}$$

Donde p, q y m son enteros positivos tales que:

$$1 \leq p \leq q \leq m$$

La primera ecuación representa el funcional económico, el cual deberá maximizarse o minimizarse de acuerdo al objetivo de la situación que se plantee. Seguidamente, se presentan los distintos tipos de restricciones a las que puede estar sujeta la maximización o minimización de ese funcional, así como la restricción de no negatividad de las variables.

Los valores bi expresados a la derecha de las restricciones son los que se obtendrán a partir de simulaciones, por ser considerados como variables aleatorias que podrían tomar una determinada distribución de probabilidad discreta.

Seguidamente, se detalla el armado del modelo en un entorno computacional, lugar donde se resuelve el modelo a través de Solver y a partir de la generación de simulaciones de variables aleatorias de características ya explicitadas.

4.1 Modelo computacional: programación lineal

En una primera instancia se trasladó el modelo de programación lineal a una hoja de cálculo en Microsoft Excel y, seguidamente, se resolvió a través de la aplicación deSolver. Este complemento fue desarrollado para optimización de problemas restringidos e implementa el algoritmo Símplex. Fue creado a través de código de programación de Visual Basic y funciona como una simple macro.

Las ventajas que ofrece este tipo de resolución radican en la gran cantidad de variables y restricciones que puede tener el modelo con el que se trabaja, la simplicidad y velocidad de su funcionamiento y la amplia gama de información que ofrece con posterioridad a la resolución.

4.2 Modelo computacional: generación de simulaciones

La generación y simulación de las variables aleatorias consideradas en el modelo de programación lineal fueron realizadas a partir de las macros para Micosoft Excel desarrolladas por el Prof. Paul Jensen (2004). Dichas macros permiten trabajar tanto con distribuciones discretas como continuas, ofreciendo una gama total de diecinueve distribuciones. Asimismo, admite que el propio usuario pueda generar una distribución personalizada.

Seguidamente se muestra la generación de una variable aleatoria en hoja de cálculo de Excel.

En la FIGURA 1 se observa el proceso de generación de la primera variable del modelo: se selecciona la distribución de probabilidad (normal) y se ingresan sus parámetros asociados: media y desvío estándar.

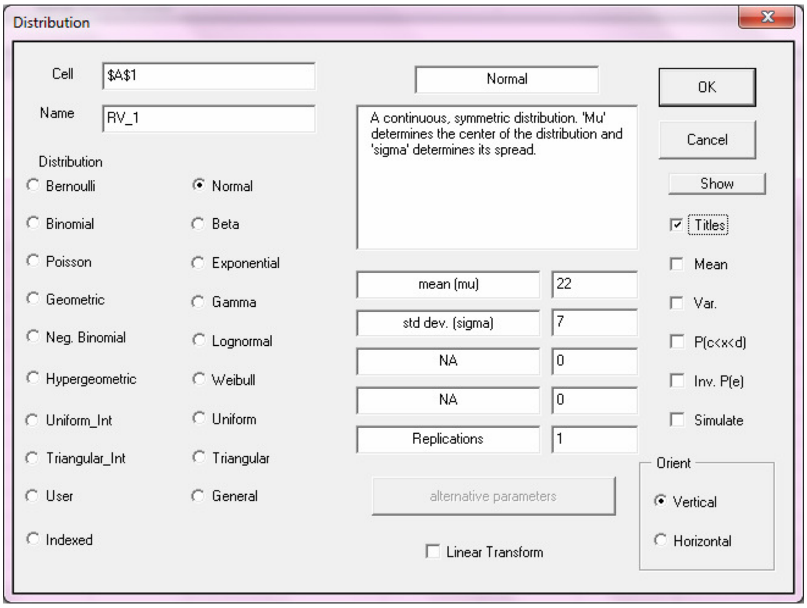

FIGURA1 – Generación de variable

La variable generada (RV_1) es creada en la hoja de cálculo como se muestra en la FIGURA 2. A partir de ello es factible modificar los parámetros asociados a cada distribución, cómo y cuándo se considere necesario.

	A	B
1	Random Variable	RV_1
2	Distribution	Normal
3	mean (mu)	22
4	std dev. (sigma)	7

FIGURA 2 – Variable RV_1

Con posterioridad a la generación de cualquier variable del modelo, se puede simular su comportamiento. Ello se realiza a través de una tabla, contigua a las variables, que enumera a la totalidad de las variables reales del modelo de programación lineal y, junto a cada una de ellas, se ejecuta el comando RV_SIM().

A partir de ello se genera un valor que es reemplazado cada vez que se actualiza la hoja de cálculo o la casilla correspondiente, obteniéndose, así, distintos valores simulados para cada variable.

Considerando lo anterior, el modelo de programación lineal dispuesto en una hoja de cálculo tomará como datos de entrada (bi) los valores simulados para cada variable, generados a través de las macros de Microsoft Excel.

5. ARMADO Y FUNCIONAMIENTO DEL MODELO GENERAL

En este apartado se muestra y analiza la disposición, en Microsoft Excel, del modelo generado para resolver la situación planteada. La finalidad de ello es demostrar que el modelo es factible de ser analizado a partir de la aplicación de las herramientas descriptas.

La disposición de los datos se realizó en tres hojas de cálculo de un libro de Excel, tituladas Simulación, PL y Resultados. La interrelación de los datos entre las hojas se realizó a través de programación en Visual Basic para aplicaciones.

5.1. Simulaciones

La finalidad de trabajar con simulaciones en esta instancia de la modelización, radica en otorgarle valor al vector recursos del modelo de programación lineal. Para ello es necesario conocer previamente la distribución de probabilidad asociada a cada recurso. Esto es posible determinarlo a partir del análisis estadístico de datos históricos sobre su disponibilidad.

Tanto las variables generadas como sus valores simulados están dispuestos en la primera hoja de cálculo de Excel (Simulación), a la izquierda y derecha en la FIGURA 3, respectivamente.

	A	B	C	D	E	F
1	Random Variable	x_1			Valor Simulado	
2	Distribution	Normal			x_1	2414
3	mean (mu)	2300			x_2	17407
4	std dev. (sigma)	120				
5						
6	Random Variable	x_2				
7	Distribution	Exponential				
8	rate (lambda)	0.0001				

FIGURA 3 – Variables y simulaciones en Excel

Los valores simulados se ven modificados tantas veces como se considere necesario y según se lo especifica en la casilla “Nº de simulaciones”, en la hoja “Resultados”.

En la FIGURA 3, los valores de la columna F son los ingresados en el campo “Disponibilidad” de las variables reales del modelo de programación lineal, en la hoja de cálculo “PL”.

5.2. Programación Lineal

El modelo de programación lineal se explicita en la segunda hoja de la plantilla (PL). En el FIGURA 4 se aprecia un extracto del modelo “PL”: los elementos que conforman el funcional económico, el cual es resultado de la suma producto de la cantidad de unidades a disponer de cada uno de insumos (en negrita) por el costo/ganancia de cada uno de los casos.

2																							
3	Insumos	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22
4	Cantidad a entregar x_1	**12**	**158**	**30**	**632**	**63**	**125**	**35**	**102**	**84**	**254**	**36**	**128**	**46**	**22**	**84**	**23**	**140**	**104**	**23**	**41**	**13**	**259**
5	Cantidad a entregar x_2	**53**	**236**	**96**	**547**	**21**	**125**	**96**	**1258**	**369**	**1236**	**45**	**125**	**321**	**89**	**75**	**123**	**254**	**259**	**53**	**23**	**125**	**123**
6	Benef/Costo x_1	9	10	3	5	7	2	1	9	4	10	9	2	3	10	8	5	1	6	7	6	1	3
7	Benef/Costo x_2	9	5	6	1	2	3	7	8	10	9	10	5	6	8	3	1	10	9	4	6	1	3
8																							
9		Funcional económico						**51669**															

FIGURA 4 – Variables reales y funcional económico de la programación lineal

A continuación, se muestra un extracto, del planteo en Excel, de las restricciones del modelo (FIGURA 5).

11	Restricciones	Entrega de recursos																						Cantidad		Disponibilidad	Holgura
12	Recursos	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	Usada			
13	x_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2414	<=	2414	0
14	x_2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5652	<=	17407	11755
15	Condición C1 x_1	1																						12	<=	12	0
16	Condición C1 x_2	1																						53	<=	53	0
17	Condición C2 x_1		1																					158	<=	158	0
18	Condición C2 x_2		1																					236	<=	236	0
19	Condición C3 x_1			1																				30	<=	48	18
20	Condición C3 x_2			1																				96	<=	96	0
21	Condición C4 x_1				1																			632	<=	1258	626
22	Condición C4 x_2				1																			547	<=	547	0
23	Condición C5 x_1					1																		63	<=	63	0
24	Condición C5 x_2					1																		21	<=	21	0
25	Condición C6 x_1						1																	125	<=	456	331
26	Condición C6 x_2						1																	125	<=	125	0
27	Condición C7 x_1							1																35	<=	85	50
28	Condición C7 x_2							1																96	<=	96	0

FIGURA 5 – Restricciones del modelo de programación lineal

Una vez cargadas las restricciones del modelo es posible ver y analizar las holguras que presenta cada una, pudiéndose también considerar las mismas a través del análisis de sensibilidad proporcionado por Solver.

5.3. Programación

A partir de la programación de macros en Visual Basic para aplicaciones, se logra concatenar en un ciclo, la totalidad de los procesos independientes generados hasta el momento, que deben suscitarse para obtener resultados óptimos ante cada valor simulado. La programación consta de las siguientes etapas:

a) Simular el valor de cada una de las variables involucradas en el modelo, en la hoja SIMULACIÓN
b) Insertar el valor simulado en el campo correspondiente (como disponibilidad de un recurso), en la hoja PL
c) Correr el complemento *Solver* para hallar la solución óptima del modelo
d) Copiar los resultados óptimos obtenidos y las holguras, en la hoja RESULTADOS
e) Repetir el proceso completo (desde el punto a) al d)) tantas veces como se indique en el casillero “Nº Simulaciones”, de la hoja RESULTADOS.

La secuencia de programación descripta se lleva a delante a través de la programación de funciones, rutinas y subrutinas en código de Visual Basic. Estas dieron origen a un algoritmo de resolución, conformado por estructuras secuenciales, condicionales y repetitivas.

En la FIGURA 6 se transcribe el seudocódigo generado.

```
Sub Simular()
 Dim n As Integer, dato As String
Sheets("Resultados").Select
Range("B1").Select
 n = ActiveCell.Value
 For i = 1 To n
    Macro7
    Macro9
    j = (4 * i) - 1
dato = "A" & j
    CopiarRdos (dato)
 Next i
     MsgBox "Proceso Finalizado Satisfactoriamente"

End Sub
Sub Macro7()
' Macro7 Macro
Sheets("Simulación").Select
Range("F2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RV_SIM(x1)"
Range("F3").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RV_SIM(x2)"
Range("F4").Select
End Sub

Sub Macro9()
' Macro9 Macro
Sheets("PL").Select
    SolverOk SetCell:="$H$9", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:="$B$4:$W$5", _
        Engine:=2, EngineDesc:="Simplex LP"
    SolverOk SetCell:="$H$9", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:="$B$4:$W$5", _
        Engine:=2, EngineDesc:="Simplex LP"
    SolverSolve UserFinish:=True
End Sub

Sub CopiarRdos(sParam1 As String)
```

```
' Macro3 Macro
Sheets("PL").Select
Range("4:5,9:9").Select
Range("A9").Activate
    Selection.Copy
Sheets("Resultados").Select
Range(sParam1).Select
    ActiveSheet.Paste
    Application.CutCopyMode = False
Range("A6").Select
Sheets("PL").Select
Range("A4").Select
End Sub
```

FIGURA 6 – Programación en VBA

Así, a partir de la interrelación de la programación lineal y las simulaciones, a través de la programación computacional, se consigue dar resolución al problema planteado inicialmente.

6. APLICABILIDAD

El desarrollo de un modelo como el presente es de alta aplicabilidad a problemas o situaciones de la vida cotidiana y de la realidad compleja que transitan distintas organizaciones. Así, brinda la posibilidad de ser implementado, con la finalidad de obtener resultados que aporten información útil para la toma de decisiones estratégicas u operativas.

Las autoras concluyen que la implementación del presente algoritmo en casos reales es factible y será la próxima etapa de trabajo a desarrollar.

7. DISCUSIÓN

A partir del desarrollo explicitado y su posible aplicación, quedan aspectos o cuestiones en las que se puede trabajar en pos de la mejorar del algoritmo generado. Seguidamente se hace referencia a los mismos, dejando las puertas abiertas para futuros trabajos de desarrollo e implementación de aplicativos.

7.1. Análisis de unidades físicas

1.

Un estudio más profundo de los resultados de las simulaciones realizadas, conlleva el análisis de las unidades sobrantes.

Esta información es provista por el informe de sensibilidad de Solver. A partir de ella se puede analizar los incrementos/decrementos permisibles para cada una de las de las disponibilidades de recursos.

Ante esta situación se puede plantear la incógnita: ¿cuánto se podría economizar si se reduce alguno de los parámetros de la distribución de probabilidad de los recursos con sobrante?

Trabajar sobre este punto conllevaría la mejora de las cantidades a disponer, contribuyendo a la detección de sobrantes constantes de ciertos insumos.

7.2. Análisis del factor económico

Como ya se mencionó en el inciso anterior, el modelo planteado puede brindar la posibilidad de analizar las cantidades de sobrantes que pueden registrar de cada recurso. Ante esta situación se podría plantear estudiar la cuantía de capital que se puede destinar a la compra de otros recursos. Estos últimos podrían ser los que con mayor frecuencia se ven agotados o saturados.

Analizar y trabajar sobre esta situación implica no sólo disponer de los recursos necesarios sino también de lograr disminuir la cantidad de faltantes, realizando una mejor administración del recurso económico.

7.3. Análisis de robustez del modelo

Es dable considerar cuán robusto estadísticamente es el modelo generado. Según Fernández Barberis y Escribano Ródenas (2003) "un proceso es robusto respecto de las desviaciones de los supuestos del modelo, cuando el proceso continúa trabajando bien, aun cuando, en mayor o menor extensión, los supuestos no se mantienen". Realizar este análisis y tomar conocimiento de este punto es de vital importancia para garantizar resultados consistentes a lo largo del tiempo.

Las situaciones mencionadas se plantean como propuestas de futuros trabajos de investigación e implementación por parte del grupo de investigadores.

8. CONCLUSIONES

Con lo expuesto, queda desarrollado el algoritmo de resolución de un problema de programación lineal donde las disponibilidades de los recursos no son conocidos y sólo se conoce o puede estimarse su distribución de probabilidad.

Esto se realiza a través de la interrelación de conocidas herramientas de la IO, como son la programación lineal y la generación de simulaciones. Otro elemento de gran valor es la programación que se realiza en entorno de VBA para conformar el algoritmo de resolución antes descripto.

Esta herramienta busca allanar el camino del investigador en operaciones a la hora de resolver situaciones puntuales que se presentan en su contexto de trabajo. Su desarrollo implicó trabajo conjunto desde el campo de la IO así como también de las ciencias de la computación, lo cual brinda un abordaje integral del tema tratado.

El desarrollo y posterior aplicación de la herramienta generada brinda la posibilidad de mejorar el proceso de toma de decisiones, haciéndolo más eficiente y eficaz. Asimismo, ofrece la posibilidad de mejorar su aplicabilidad en distintos aspectos yde ser adaptable amúltiples contextos, enfatizando siempre la búsqueda de soluciones óptimas.

REFERENCIAS

- ACKOFF, R. L. y SASIENI, M.W. (1968).“Fundamentals of OperationResearch”. New York, Wiley.

- ALAVI y LEIDER. (1999). “Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and ResearchIssues” workingpapers, INSEAD R&D 99/34/TM,.

- BILES, W. E. y SWAIN, J. J. (1980). “Optimization and industrial experimentation”. Wiley-Interscience Publication.

- CAMPOS, L y VERDEGARAY, J. L. (1989). “Modelos auxiliares para problemas de programación lineal con coeficientes imprecisos en las restricciones”. Trabajos de Investigación Operativa. Volumen 4. Número 1. Pp 21 a 38.

- DUBOIS, D. y PRADE, H. (1980). “Fussy sets and systems: Theory and aplications”. Mathematics in Science and Engineering. Volume 144. ISBN 0-12-222750-6.

- FERNÁNDEZ BARBERIS, G. M. y ESCRIBANO RÓDENAS, M. del C. (2003). “El análisis de la robustez y la ayuda a la decisión multicriterio discreta”. XVII ASEPELT. Anales de Economía Aplicada. http://www.asepelt.org/ficheros/File/Anales/2003%20-%20Almeria/asepeltPDF/18.PDF

- JENSEN, P. (2004) “Operations Research Models and Methods”. Internet. http://www.me.utexas.edu/jensen/ORMM/index.html

- LEKUBARRI, I. y EGUZKITZA, J. M. (2003) “Programación lineal con Excel: estabilidad de la solución”. Revista Sigma Nº 23.

- MAROTO ALVAREZ, C; ALCARAZ SORIA, J.y RUIZ GARCIA, R. (2002). “Investigación Operativa: métodos y técnicas de optimización”. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

- MORA, W. y ESPINOZA, J. L. (2005). “Programación Visual Basic (VBA) para Excel y Análisis Numérico”. Escuela de Matemática. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

- PELUFFO A. M. B. y CATALÁN CONTRERAS, E. (2002). “Introducción a la gestión del conocimiento y su aplicación al sector público”. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social – ILPES, CEPASL, Santiago de Chile.

- PEREZ GONZÁLEZ, L. O.(2006). “Microsoft Excel: una herramienta para la investigación”. Revista electrónica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos.ISSN: 1727-897X.

- VICENS SALORT, E.; ÓRTIZ BAS, A. y GUARCH BERTOLÍN, J. J. (1997). “Métodos Cuantitativos. Volumen I”. Colección Libro Docente. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. ISBN: 84-7721-543-8.