

ARTÍCULO ORIGINAL

Teoría de juegos aplicada al proceso de adquisición de recursos informáticos

Game theory applied to the acquisition of computing resources

MSc. Ing. Eduardo López Hung^I
MSc. Lic. Lai Gen Joa Triay^{II}

^I Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. Profesor de Informática y Matemática Aplicada. Profesor Asistente. Investigador Agregado. Correo electrónico: elopezh@fts.scu.sld.cu

^{II} Universidad de Oriente. Profesora Adjunta de Investigación de Operaciones. Profesora Asistente. Correo electrónico: lai@santiago.infotur.tur.cu

RESUMEN

En administración, se pueden presentar dos tipos de problemas de toma de decisiones: los que se solucionan en condiciones de certeza, es decir, libre de riesgo al optar por una solución, y los que dependen de la probabilidad de ocurrencia de eventos para poder tomar una decisión. En este último caso, aparecen con gran regularidad problemas de toma de decisiones en condiciones de conflicto, conocidos como teoría de juegos; como por ejemplo la adquisición de recursos informáticos, en el que la decisión de invertir en un recurso y no en otro adquiere mayor relevancia, en función de sus altos precios, y su gran demanda en cualquier rama de la sociedad. En la Facultad de Tecnología de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba, se modeló el proceso de compras de estos recursos, a través de esta teoría, al no contar con opciones científicamente probadas hasta ese momento, que reportasen el mayor beneficio a la hora de adquirirlos cualquiera sea la plataforma informática. Por ello el objetivo de este trabajo es determinar desde el enfoque de la programación lineal, y específicamente la Teoría de Juegos, la estrategia óptima que bajo ciertas condiciones permitan conducir el proceso de adquisición de recursos informáticos. Como resultado se obtuvo una solución óptima, en la que se recomendaba invertir solamente en hardware para estaciones de trabajo, así como en hardware y componentes de red; lo que garantizaría la mejor forma de adaptación de los recursos invertidos, sin importar cuál sea la plataforma informática.

Palabras claves: recursos informáticos, teoría de juegos, programación lineal, teoría de la decisión, matemática aplicada.

ABSTRACT

In administration, two types of decision-making problems can be presented: those that are solved in conditions of certainty, that is, free of risk when opting for a solution, and those that depend on the probability of occurrence of events to be able to make a decision. In the last case, problems of decision-making in conditions of conflict, known as game theory, appear with great regularity; such as the

purchase of computing resources, in which the decision to invest in one resource and not in another acquires greater relevance, due to its high prices and its high demand in any branch of society. In the Faculty of Technology of the University of Medical Sciences of Santiago de Cuba, the process of purchasing these resources was modeled through this theory, as it did not count with scientifically proved options until that moment, which reported the greatest benefit when purchasing them whatever the computing platform. Therefore, the objective of this work was to determine from the linear programming approach, and specifically the Games Theory, the optimal strategy that, under certain conditions, allows conducting the process of acquisition of computing resources. As a result, an optimal solution was obtained, which recommended investing only in hardware for workstations, and in hardware and network components; which would guarantee the best form of adaptation of the resources invested, no matter what the computing platform.

Key words: computing resources, game theory, linear programming, decision theory, applied mathematics.

Introducción

Como dijo Voltaire: "*Casi toda la vida humana depende de las probabilidades*".¹ La toma de una decisión tiene que ver fundamentalmente con la combinación de información sobre probabilidades, con información sobre deseos e intereses. Abordar las decisiones como si fueran apuestas es la base de la teoría de la decisión. Ello significa que se debe compensar el valor de un cierto resultado contra su probabilidad.¹⁻²

Los problemas de toma de decisiones se pueden clasificar en dos categorías: modelos de decisión determinísticos, y modelos de decisión probabilísticos. En los modelos determinísticos, las buenas decisiones se basan en sus buenos resultados. Se consigue lo deseado de manera "determinística", es decir, libre de riesgo o lo que es lo mismo en condiciones de certeza. Estos problemas se reducen a problemas de programación lineal (en lo adelante PL), programación en enteros, redes lineales, entre otros.²

Por otra parte, existen diferentes tipos de modelos de decisión probabilísticos que ayudan a analizar distintos escenarios, dependiendo de la cantidad y el grado de conocimiento del que se disponga. Ellos responden a los siguientes problemas de toma de decisiones:

- Problemas de toma de decisiones en condiciones de incertidumbre, en el que no se tiene la probabilidad de ocurrencia de los eventos. En este caso, se dice que la incertidumbre es total.
- Problemas de toma de decisiones en condiciones de riesgo, en el que se conoce la probabilidad de ocurrencia de los eventos. En este caso, se dice que la incertidumbre es parcial.
- Problemas de toma de decisiones en condiciones de conflicto, en el que se presentan varios sujetos (por lo general dos) con objetivos comunes. En este caso se dice que hay competencia.³⁻⁴

En el caso del proceso de compras de recursos, y específicamente de recursos informáticos, se presentan situaciones en condiciones de conflicto, conocidas en la literatura como teoría de juegos, y que pueden ser modeladas y resueltas como un

problema de PL. Este tema adquiere gran relevancia debido a los altos precios que tienen estos tipos de recursos en el mercado, y los altos costos que acarrearían la pérdida, descomposición e inutilización de los mismos.

La Facultad de Tecnología de la Salud de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba cuenta con un presupuesto asignado para invertirlos en recursos informáticos, los que serán utilizados durante el quinquenio 2016 – 2020 en la sede central de esta Facultad; período en el que aún se desconoce si dichos recursos se explotarán bajo plataforma totalmente libre, plataforma de software propietario, o si coexistirán ambas plataformas informáticas. Los recursos informáticos que podrían ser adquiridos pueden ser: sistemas operativos, software para la docencia y la gestión de información, hardware para estaciones de trabajo, software para redes de computadoras, o hardware y componentes de red de computadora.

La Dirección de la Facultad se cuestiona de qué forma sería más conveniente invertir dicho presupuesto, teniendo la disyuntiva de bajo qué plataforma informática se explotarán dichos recursos informáticos durante dicho período. Por ello en este trabajo se muestra cómo en la Facultad de Tecnología de la Salud de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba, se modeló el proceso de compras de estos recursos a través de esta teoría; pudiendo determinar bajo ciertas condiciones, qué estrategias adoptar a la hora de decidir de qué forma invertir y en qué tipo de recursos.

De ahí que el objetivo de este trabajo es determinar desde un enfoque de la PL, y específicamente de toma de decisiones en condiciones de conflicto, la estrategia óptima que bajo ciertas condiciones permitan conducir el proceso de adquisición de recursos informáticos en dicha Facultad.

Material y métodos

En estudios realizados por investigadores del Departamento de Sistemas de Información en Salud de la Facultad y Universidad de referencia, durante el quinquenio 2008 – 2012, se pudo determinar las probabilidades de adaptación de cada recurso, en el marco de una institución de Educación Médica Superior. Estas fueron determinadas a partir de la asignación de probabilidades subjetivas, en función del juicio de los mismos; debido al largo tiempo de ocurrencia de adquisición de los recursos informáticos, así como del cambio entre una plataforma y otra. Durante este período y para su asignación, se tomaron en consideración diferentes parámetros, entre los que destacan:

- Plataformas disponibles y plataformas en explotación.
- Implantación, despliegue, y escalabilidad de software educativo, software de gestión de procesos formativos y administrativos, y software para la administración y gestión de redes de computadoras disponibles y en explotación.
- Grado de adquisición/reemplazo de componentes de hardware.
- Factibilidad económica y beneficios de la implantación de nuevas tecnologías.

Estas probabilidades se reflejan en la siguiente tabla 1:

Tabla 1: Probabilidades de adaptación de los recursos ante diferentes plataformas

	P. Software Libre	P. Software Propietario	Ambas Plataformas
Sistemas operativos	0.40	0.25	0.30
Software para la docencia y la gestión	0.40	0.75	0.80
Hardware para estaciones de trabajo	0.95	0.70	0.85
Software para redes de computadoras	0.35	0.55	0.75
Hardware y componentes de red	0.40	0.75	0.85

En dicha situación se muestra un problema de toma de decisiones en condiciones de conflicto o competencia. Por un lado está la Facultad de referencia, considerada el jugador 1, y por otro está la instancia que define qué plataforma y en qué momento deberá ser implantada. Tomando estos elementos en consideración, se considera que se realiza un juego contra la naturaleza, pues cualquiera que sea la estrategia adoptada por el jugador 1, no influirá sobre el jugador 2, que a los efectos del modelo es la naturaleza. Sin embargo aún cuando para el jugador 1 no le es posible influir sobre los estados que en breve se identificarán, y además no es necesario considerar la respuesta de la naturaleza; sí es importante conocer la influencia de esta sobre la decisión a adoptar por dicho jugador.

Identificación del problema

Las alternativas planteadas en la situación anterior son las siguientes:

- Sistemas operativos (A1).
- Software para la docencia y la gestión de información (A2).
- Hardware para estaciones de trabajo (A3).
- Software para redes de computadoras (A4).
- Hardware y componentes de red (A5).

Los estados que pueden presentarse son los siguientes:

- Explotación de recursos informáticos bajo plataforma de software libre (E1).
- Explotación de recursos informáticos bajo plataforma de software propietario (E2).
- Explotación de recursos informáticos en ambas plataformas (E3).

La matriz de decisión se muestra en la tabla 2:

Tabla 2: Matriz de decisión

	E₁	E₂	E₃	
A₁	0.40	0.25	0.30	X ₁
A₂	0.40	0.75	0.80	X ₂
A₃	0.95	0.70	0.85	X ₃
A₄	0.35	0.55	0.75	X ₄
A₅	0.40	0.75	0.85	X ₅

Modelo matemático asociado al problema

Como se dijo anteriormente sólo interesa el modelo asociado al jugador 1 (en este caso la Facultad de Tecnología de la Salud de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba), siendo dicho modelo, un modelo de PL, ya que cumple con los cinco supuestos de la PL, que son: recursos limitados, existencia de una función objetivo explícita, sistema de restricciones como ecuaciones/inecuaciones lineales, recursos homogéneos, y las variables de decisión son divisibles y no negativas.⁵ Dicho modelo se ilustra a continuación en el cuadro 1:

$$0.40x_1 + 0.40x_2 + 0.95x_3 + 0.35x_4 + 0.40x_5 \geq V$$

$$0.25x_1 + 0.75x_2 + 0.70x_3 + 0.55x_4 + 0.75x_5 \geq V$$

$$0.30x_1 + 0.80x_2 + 0.85x_3 + 0.75x_4 + 0.85x_5 \geq V$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 1$$

$$x_i \geq 0 \quad (i=1,\dots,5)$$

$$\text{Max } V$$

Así se construyó un modelo de PL, en el que, para la Facultad existe una estrategia óptima (x₁^{*}, x₂^{*}, x₃^{*}, x₄^{*}, x₅^{*}), para la cual la ganancia media es igual o superior al valor de juego (V), y al sumar los valores de las variables de decisión (cantidades no negativas), se obtendría la unidad.²⁻⁶

Solución del problema modelado

- Para la solución del problema anteriormente modelado, se utilizó la herramienta *Solver*, complemento de Microsoft Excel que es ampliamente utilizado para la resolución de problemas de PL, en donde a partir de una función lineal a optimizar (encontrar el máximo o mínimo), y cuyas variables están sujetas a unas restricciones expresadas como inequaciones lineales; el fin es obtener valores óptimos.^{2, 5}
- Solver encuentra una solución óptima, y además genera tres informes de forma automática. Estos informes son:
 - Informe de respuesta.** Muestra una lista con la celda objetivo y las celdas cambiantes con sus valores originales y sus valores finales, las restricciones y la información acerca de las mismas.
 - Informe de sensibilidad.** Facilita información acerca de la sensibilidad de la solución a que se realicen pequeños cambios en la fórmula definida.
 - Informe de límites.** Muestra una lista con la celda objetivo y las celdas cambiantes con sus valores correspondientes, los límites inferior y superior, así como los valores de la celda objetivo. Ambos límites definen el rango en el cual puede estar el valor de la celda cambiante mientras el resto de las celdas cambiantes se mantienen fijas, y se continúa satisfaciendo las restricciones.
- Luego los datos fueron insertados en una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2007, luego de haber habilitado dicho complemento. Se reflejaron en este caso el nombre de las variables, sus valores (celdas cambiantes) en los que se reflejan sus valores iniciales, los coeficientes tecnológicos y los términos independientes del sistema de restricciones lineales, así como la función objetivo, que en este caso sería maximizar el valor de juego. Los parámetros para la búsqueda de una solución óptima del problema fueron: adoptar un modelo lineal, asumir no negativos, y realizar una estimación lineal (figura 1).

X1	X2	X3	X4	X5
0	0	0	0	0

0,40	0,40	0,95	0,35	0,40
0,25	0,75	0,70	0,55	0,75
0,30	0,80	0,85	0,75	0,85
1	1	1	1	1

Bi	V
0	>= 0
0	>= 0
0	>= 0
0	= 1

Función Objetivo (V)
0

Figura 1: Inserción de los datos en la hoja de cálculo Excel

En la próxima sección se muestran los resultados obtenidos con dicha herramienta, así como su interpretación.

Resultados y Discusión

La solución encontrada por el Solver fue la siguiente:

X1	X2	X3	X4	X5
0	0	0,5833	0	0,4167

	Bi	V
0,40	0,40	0,95
0,25	0,75	0,70
0,30	0,80	0,85
1	1	1

Función Objetivo (V)
0,720833333

Figura 2: Solución encontrada por el Solver

A continuación se muestran los tres informes generados por el Solver al resolver el problema.

Informe de Respuesta

Microsoft Excel 10.0 Informe de respuestas
 Hoja de cálculo: [recursos_informáticos.xls]Informe de respuestas 1
 Informe creado: 15/07/2016 10:22:49 AM

Celda objetivo (Máximo)			
Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$B\$14	Función Objetivo (V)	0	0,720833333

Celdas cambiantes			
Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$B\$4	X1	0	0
\$C\$4	X2	0	0
\$D\$4	X3	0	0,583333333
\$E\$4	X4	0	0
\$F\$4	X5	0	0,416666667

Restricciones						
Celda	Nombre	Valor de la celda	fórmula	Estado	Divergencia	
\$H\$7	Bi	0,72	\$H\$7>=\$J\$7	Obligatorio	0,00	
\$H\$8	Bi	0,72	\$H\$8>=\$J\$8	Obligatorio	0,00	
\$H\$9	Bi	0,85	\$H\$9>=\$J\$9	Opcional	0,13	
\$H\$10	Bi	1	\$H\$10=\$J\$10	Opcional	0	

Figura 3: Informe de respuestas generado por el Solver

Informe de Sensibilidad

Microsoft Excel 10.0 Informe de sensibilidad
 Hoja de cálculo: [recursos_informáticos.xls]Informe de sensibilidad 1
 Informe creado: 15/07/2016 10:22:49 AM

Celdas cambiantes						
Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido	Coficiente objetivo	Aumento permisible	Aumento permisible
\$B\$4	X1	0	-0.458333333	0.4	0.458333333	1E+30
\$C\$4	X2	0	0	0.4	0	1E+30
\$D\$4	X3	0.583333333	0	0.95	1E+30	0.55
\$E\$4	X4	0	-0.1875	0.35	0.1875	1E+30
\$F\$4	X5	0.416666667	0	0.4	0.55	0

Restricciones						
Celda	Nombre	Valor Igual	Sombra precio	Restricción lado derecho	Aumento permisible	Aumento permisible
\$H\$7	Bi	0.72	0.00	0	0	1E+30
\$H\$8	Bi	0.72	-0.92	0	0.35	0.140909091
\$H\$9	Bi	0.85	0.00	0	0.129166667	1E+30
\$H\$10	Bi	1	0.720833333	1	1E+30	1

Figura 4: Informe de sensibilidad generado por el Solver

Informe de Límites

Microsoft Excel 10.0 Informe de limites
 Hoja de cálculo: [recursos_informáticos.xls]Informe de limites 1
 Informe creado: 15/07/2016 10:22:49 AM

Celda	Celda objetivo Nombre	Igual
\$B\$14	Función Objetivo (V)	0.720833333

Celda	Celdas cambiantes Nombre	Igual	Limite inferior	Celda objetivo	Limite superior	Celda objetivo
\$B\$4	X1	0	1.11022E-16	0.720833333	1.11022E-16	0.720833333
\$C\$4	X2	0	1.11022E-16	0.720833333	1.11022E-16	0.720833333
\$D\$4	X3	0.583333333	0.583333333	0.720833333	0.583333333	0.720833333
\$E\$4	X4	0	1.11022E-16	0.720833333	1.11022E-16	0.720833333
\$F\$4	X5	0.416666667	0.416666667	0.720833333	0.416666667	0.720833333

Figura 5: Informe de límites generado por el Solver

Interpretación de los resultados

Al observar el valor de la función objetivo, así como el valor de las celdas cambiantes, resulta fácil comprender la estrategia óptima encontrada, en la que se sugiere:

- No invertir en sistemas operativos, ya que esta alternativa estuvo representada en el modelo por la celda cambiante: X_1 , y cuyo valor resultó ser cero.
- No invertir en software para la docencia y la gestión de la información, ya que esta alternativa estuvo representada en el modelo por la celda cambiante: X_2 , y cuyo valor resultó ser cero.
- No invertir en software para redes de computadoras, ya que esta alternativa estuvo representada en el modelo por la celda cambiante: X_4 , y cuyo valor resultó ser cero.
- Invertir el 58.33% del presupuesto en hardware para estaciones de trabajo, ya que esta alternativa estuvo representada en el modelo por la celda cambiante: X_3 , y cuyo valor resultó ser 0.583333333.
- Invertir el 41.67 % del presupuesto en hardware y componentes de red, ya que esta alternativa estuvo representada en el modelo por la celda cambiante: X_5 , y cuyo valor resultó ser 0.416666667.

Esto garantizaría por lo menos un 72.08 % (valor de juego) de adaptación de los recursos invertidos, cualquiera que sea la plataforma informática establecida en la Facultad, para el período sujeto de análisis (quinquenio 2016 – 2020).

Este análisis tuvo gran importancia, pues los autores no encontraron referencias de la aplicación de dichas herramientas matemáticas en el tema de las decisiones financieras ni para la Facultad, ni para una entidad cubana especializada en educación en salud. Dicho análisis permitió la utilización de instrumentos de la programación matemática en uno de los problemas de toma de decisiones no tan sistemático, pero sí complejo, lleno de incertidumbre como lo es la distribución eficiente del presupuesto de la Facultad destinado a la inversión, en este caso recursos informáticos. Asimismo permitió evaluar distintas soluciones factibles y tomar la mejor decisión.

Conclusiones

La toma de decisiones se presenta muchas veces en los procesos administrativos, especialmente en condiciones de incertidumbre, en condiciones de riesgo y en condiciones de conflicto. En esta última la toma de decisiones resulta mucho más compleja, en el sentido que la decisión adoptada no depende únicamente del tomador de decisiones, sino además de la influencia de su oponente.

Muchas son las aplicaciones de la Teoría de Juegos, entre las que destaca los juegos contra la naturaleza, ejemplificado en este trabajo a través de un problema práctico, en el que se decide invertir un presupuesto en recursos informáticos en la Facultad de Tecnología de la Salud de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba para ser explotados durante el quinquenio 2016 – 2020, y para lo cual, independientemente de la plataforma informática establecida, se puedan adaptar y reutilizar al máximo.

Dicho problema fue modelado como un problema de PL, y resuelto con el apoyo del Solver, una herramienta para la solución de este tipo de problemas de optimización, incorporada en el Microsoft Excel.

Se pudo hallar una solución óptima, en el que se recomendaba invertir solamente en hardware para estaciones de trabajo, y en hardware y componentes de red, lo que garantizaría por lo menos un 72.08% de adaptación de los recursos invertidos, cualquiera que sea la plataforma informática establecida en la Facultad.

Referencias bibliográficas

1. Gallagher CA, Watson HJ. *Métodos Cuantitativos para la Toma de Decisiones en Administración*. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2008.
2. Escalona P. *Teoría de la Decisión. Material básico de Teoría de la Decisión de la Maestría en Matemática Aplicada e Informática para la Administración*. Holguín: Universidad de Holguín; 2008.
3. Hillier FS, Lieberman GJ. *Introducción a la Investigación de Operaciones*. 9na ed. México D.F.: McGraw-Hill; 2010.
4. Hillier FS, Lieberman GJ. *Fundamentos de Investigación de Operaciones*. 9na ed. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana; 2014.
5. Chase RB, Jacobs FR, Aquilano RJ. *Administración de Operaciones*. 12ma ed. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana; 2009.
6. Winston WL. *Investigación de Operaciones. Aplicaciones y Algoritmos*. 4ta ed. Stamford: Editorial Thomson Internacional; 2004.

Recibido: 5 de julio de 2017.

Aprobado: 10 de agosto de 2017.