

Teoría de la decisión multicriterio: un enfoque para la toma de decisiones

MBA Zoe Rodríguez Cotilla *

En el proceso de toma de decisiones resulta necesario la utilización del enfoque cuantitativo conjuntamente con el enfoque cualitativo. La teoría de la decisión multicriterio constituye un instrumento a tener en cuenta en este proceso porque permite considerar el conjunto de objetivos usualmente en conflicto buscando un compromiso o equilibrio entre ellos o la satisfacción de un conjunto de metas asociadas a dichos objetivos de decisiones.

Introducción

LA INVESTIGACIÓN de Operaciones (IO) surge, como toda ciencia, cuando converge el interés por resolver determinados problemas y el desarrollo de técnicas, instrumentos y métodos adecuados para lograr la solución de estos; sus raíces son tan antiguas como la misma ciencia y la función de organización empresarial.

En términos generales el inicio de la actividad llamada Investigación de Operaciones casi siempre se atribuye a los servicios militares prestados a principios de la Segunda Guerra Mundial cuando se formaron grupos de especialistas conocidos con el nombre inglés "Operations Research", para manejar los problemas tácticos y estratégicos que enfrentaban los organismos militares. Sin embargo, su evolución está ligada al conocido desarrollo de la organización industrial.

Dos hechos que ocurrieron en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial contribuyeron al desarrollo y al uso de la Investigación de Operaciones

* Profesora auxiliar del Departamento de Ciencias Empresariales de la Facultad de Economía y Jefe del Equipo de Centros de Gestión Habana-Ciudad de La Habana.

o de la Investigación Operativa, como también se le conoce. Por una parte se tiene como el progreso más significativo el descubrimiento que hizo George Dantzig en 1947 del Método Simplex, para resolver problemas de programación lineal y en 1957 Churchman, Ackoff y Arnoff publicaron el primer libro sobre Investigación de Operaciones.

La IO ha transitado por diferentes fases, John F. Magee ¹ considera que estas son:

- *Fase Primitiva* (1941-1960): las personas que trabajaban en este campo tendían a venir de otras disciplinas y se interesaban por resolver problemas operacionales prácticos, bien definidos y capaces de ser manejados por computadoras más pequeñas y menos avanzadas que estaban disponibles en esa etapa.
- *Fase Académica* (1961-1970): el número de universidades que ofrecen programas en Investigación de Operaciones creció en más de 500 %. En esta fase, personas con alguna experiencia en Investigación de Operaciones empezaron a encontrarse en los niveles corporativos más altos de la industria. La mayor velocidad y disponibilidad de las computadoras fueron una gran ayuda durante este tiempo. La investigación durante esta década tiende a ser académica, esto es, mayor interés en el desarrollo de la teoría que en las aplicaciones. Fue durante este tiempo que se volvieron evidentes las limitaciones de la investigación de operaciones y los problemas organizacionales al introducir nuevas ideas.
- *Fase de Maduración* (1971-1980): se produce el verdadero empuje hacia la práctica y las aplicaciones. Se logra una comprensión más realista, tanto por los gerentes como por los científicos de la administración, acerca de lo que la Investigación de Operaciones puede conseguir; se da menos atención a encontrar respuestas óptimas y más al desarrollo de procesos, y a evolucionar respuestas cada vez mejores que se adaptan a circunstancias cambiantes; una mejor integración al análisis de comportamiento, funcional y cuantitativo.

En la década del noventa se fortalece la utilización de las técnicas y métodos científicos para la toma de decisiones en las organizaciones y en particular el uso de la Investigación Operativa en el sector agrario donde resulta muy complejo combinar con éxito todas las variables que son necesarias considerar y las limitaciones de recursos existentes.

¹ Ver J.F.Magee: "Progress in the management sciences", en *TIME Interfaces*, Vol. 3.

La reforma en el sector agrario en nuestro país está llamada a lograr la eficiencia económico-social, dando cumplimiento a los objetivos de producción definidos por el Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) a través de sus Empresas, es por ello que en coordinación con las Facultades de Economía y de Contabilidad y Finanzas se realizan trabajos de investigación en el sector, siendo particularmente importante la creación de los Centros de Gestión y los servicios que a través de estos se brindan a las diferentes entidades agrarias.

El presente trabajo aborda los principales aspectos teóricos de la Investigación Operativa, en particular de la teoría de la decisión multicriterio, y muestra la utilización de esta como instrumento para la toma de decisiones en la Empresa de Cultivos Varios de Nueva Paz, lugar donde radica el Centro de Gestión del Municipio.

Marco conceptual

La fase de análisis del proceso de toma de decisiones puede asumir dos formas básicas: cualitativa y cuantitativa. El análisis cualitativo se basa fundamentalmente en el aspecto intuitivo que el decisor tiene del problema, a partir de su experiencia en la resolución de problemas similares o de la simplicidad del problema que se enfrenta. Por el contrario, si el problema es complejo o el decisor no tiene suficiente experiencia con problemas similares, entonces resulta útil la realización de un análisis cuantitativo para tomar la decisión final.

En general los gerentes tienen aptitudes, que aumentan con la experiencia, para el análisis cualitativo, pero sin lugar a dudas, si comprenden la importante contribución del análisis cuantitativo pueden incrementar su efectividad en la toma de decisiones. Esto es, si conoce los procedimientos de la toma de decisiones cuantitativas está en mejor posición para comparar y evaluar las fuentes de recomendaciones, tanto cualitativas como cuantitativas, y combinar las dos para tomar la mejor decisión posible, maximizando así la efectividad en la toma de decisiones.

Anderson, Sweeny y Williams ² relacionan algunas de las razones por lo que es posible utilizar un enfoque cuantitativo en el proceso de toma de decisiones. Estas son:

- El problema es complejo y no se puede llegar a una buena solución sin la ayuda del análisis cuantitativo.
- El problema es muy importante y se desea un análisis completo antes de intentar tomar la decisión.

² Ver David R. Anderson, Dennis J. Sweeney y Thomas A. Williams: *Introducción a los Modelos Cuantitativos para administración*.

- El problema es nuevo y no se tiene experiencia en la cual basarse.
- El problema es repetitivo y se ahorra tiempo y esfuerzo apoyándose en procedimientos cuantitativos para tomar decisiones rutinarias.

Es necesario tener en cuenta, además, que generalmente en la estructura de una decisión están presentes cursos de acción alternativos entre los que se debe hacer la elección, determinar las consecuencias de cada una de estas elecciones y establecer los objetivos. Si este número de alternativas es abrumador o las consecuencias no son lo suficientemente claras, o no se conocen plenamente los objetivos, resulta conveniente que se utilicen técnicas apropiadas, lo que permitirá al gerente que tome decisiones sobre bases firmes sin disminuir la altura de sus funciones, pues la responsabilidad de la gestión siempre será suya.

La Investigación de Operaciones proporciona a los gerentes bases cuantitativas para la toma de decisiones, elevando su habilidad para hacer planes a largo plazo y para resolver los problemas diarios de la organización, logrando conjugar elección, consecuencias y objetivos, a través del establecimiento estructural de un modelo.

El proceso comienza por la observación cuidadosa del problema y su formulación, construyendo un modelo científico que intenta abstraer la esencia de la situación real. Su contribución proviene precisamente de lograr la estructuración de una situación de la vida real como un modelo matemático, con abstracción de los elementos esenciales para que se alcance una solución que concuerde con los objetivos del decisor. Estos modelos permiten combinar muchos factores a la vez para experimentar, buscando soluciones a problemas complejos que pueden no ser resueltos por otros enfoques quizás más convencionales. Por otra parte, admite la realización de análisis de sensibilidad ante variaciones de los datos de entrada, permitiendo observar lo que sucede al resultado sin entorpecer la operación que se modela y pueden determinarse los factores más importantes sobre un período de condiciones variables, por lo que, sin lugar a dudas, constituye una herramienta efectiva para tratar situaciones dinámicas.

La mayor semejanza entre el modelo y la realidad, obviamente, indicará una mayor fiabilidad de las conclusiones y viceversa.

La metodología científica de la IO puede resumirse en ³:

- **Análisis y definición del problema:** se define el problema por su tipo y su forma de solución, para determinar aquellos resultados que son pertinentes.
- **Desarrollo del modelo:** construcción de un modelo que represente matemáticamente la situación que se analiza.

³ Ver Richard I. Levin, Charles A. Kirkpatrick: *Enfoques cuantitativos a la administración*.

- **Selección de datos de entrada:** recopilación de los datos que se requieren por el modelo.
- **Obtención de una solución:** resolución del modelo obteniéndose una respuesta al problema planteado bajo las condiciones que se consideran en el modelo.
- **Limitando el modelo y la solución:** especificar las condiciones bajo las cuales se puede considerar la solución obtenida, por lo que se fijan los límites dentro de los cuales son válidos los resultados obtenidos al solucionar el modelo planteado, definiendo las condiciones bajo las cuales no trabajará este.
- **Utilización del modelo:** “vender” los hallazgos a la gerencia.

José Luis Sierra Plana escribió que: "...la Investigación Operativa puede definirse de una manera breve (con todos los inconvenientes de una definición simplista) como la toma científica de decisiones. Su aplicación es útil, por tanto, a todos los dirigentes de actividades humanas, tanto particulares como públicas."⁴

En general la Investigación Operativa es la ciencia que proporciona las técnicas que permiten juzgar, ponderar y valorar cada uno de los datos de entrada de forma racional, para poder alcanzar mejores soluciones, en ocasiones soluciones óptimas a los problemas empresariales.

Por todo lo anterior la Investigación Operativa debe considerarse como un instrumento preciso y eficaz que viene en las organizaciones a complementar las técnicas clásicas de estudio y de organización.

Existen múltiples ejemplos de aplicación a la solución de los diversos problemas que enfrenta una organización. Por ejemplo: la programación dinámica se ha aplicado en la planeación de los gastos de comercialización y estrategia de ventas. La teoría de colas se ha aplicado en problemas referentes al congestionamiento del tráfico, al servicio de máquinas sujetas a roturas, a la determinación de la mano de obra necesaria, a la programación del tráfico aéreo, al diseño de presas, a la programación de la producción y a la administración de hospitales. De igual forma la teoría de inventarios y la simulación han tenido aplicaciones con buenos resultados.

En la práctica la programación lineal ha resultado ser uno de los enfoques cuantitativos con más éxito para la toma de decisiones en la administración, existiendo numerosas aplicaciones en diversas industrias. Los problemas específicos incluyen programación de la producción, planeación financiera, presupuestos de capital, transporte, ubicación de plantas, asignación de personal,

⁴ José Luis Sierra Plana: *Métodos de Investigación Operativa en la práctica de las empresas*, p. 48.

mezcla de materiales, distribución y transporte, y las carteras de inversión. Es considerada como una herramienta flexible para la resolución de problemas con aplicaciones en muchas disciplinas, y ha sido desarrollada por los economistas y matemáticos con el fin de determinar el empleo de recursos limitados de forma óptima.

La utilización de la programación lineal para resolver determinados problemas de decisión garantiza una estructura sólida desde el punto de vista teórico, buscando el conjunto de soluciones que satisfacen las restricciones (soluciones posibles o factibles) que se ordenan teniendo en cuenta el criterio que representa la preferencia del centro decisor (función objetivo) y que, por medio de técnicas matemáticas, determina la solución óptima como la solución factible para la cual la función objetivo alcanza su valor óptimo. Sin embargo, en los procesos reales de toma de decisiones, generalmente, los centros decisores pretenden que las soluciones factibles se ordenen teniendo en cuenta diferentes criterios que reflejen sus preferencias. Esto es, una empresa desea establecer sus decisiones óptimas no solo sobre la base de un criterio, por ejemplo el beneficio, sino teniendo en cuenta otros criterios como costo, volumen de ventas, riesgo. El director de una empresa agraria puede estar interesado en la rotación de cultivos que no solo maximice el ingreso, sino que además minimice el riesgo, obtenga la producción máxima de alimentos, etcétera.

En general los agentes económicos no optimizan sus decisiones basados en un solo objetivo, sino que por el contrario, este proceso de toma de decisiones está influenciado por una gama de objetivos usualmente en conflicto.

En la década de los años setenta se produce en gran parte de los países desarrollados, un indiscutible progreso en el campo de la teoría de la decisión, con el surgimiento del llamado *paradigma decisional multicriterio* que tiene en cuenta el conjunto de objetivos usualmente en conflicto, pretendiendo buscar un equilibrio o compromiso entre ellos o la satisfacción en la medida de lo posible, de un conjunto de metas asociadas a dichos objetivos.

En la teoría de la decisión multicriterio se consideran los siguientes conceptos:

- **Atributos:** son los valores del centro decisor que se corresponden con la realidad y son medidos con independencia de sus deseos. Se expresan como una función matemática $f(\mathbf{x})$ de las variables de decisión.
- **Objetivos:** son las direcciones de mejora de los atributos. Hay solo dos direcciones máximo ("más del atributo mejor"; proceso de maximización) y mínimo ("menos del atributo mejor"; proceso de minimización). Luego los objetivos implican la maximización o minimización de las funciones que corresponden a los atributos, esto es, **Max $f(\mathbf{x})$** o **Min $f(\mathbf{x})$** .
- **Nivel de aspiración:** es el nivel aceptable de logro para un atributo.

- **Metas:** se generan al combinar un atributo con el nivel de aspiración correspondiente. Las metas se representan como desigualdades y su expresión matemática será $f(x) \geq, \leq \text{ó} = t$, donde el parámetro t representa el nivel de aspiración. A pesar de que se representan igual que las restricciones tradicionales, existe diferencia entre ambos conceptos en dependencia del significado que se le da al término de la derecha de la correspondiente desigualdad. Cuando se trata de una restricción tradicional el término de la derecha debe alcanzarse para lograr una solución factible; cuando se trata de una meta el término de la derecha es un nivel de aspiración deseado por el centro decisor que puede o no alcanzarse, por lo que se permiten "ciertas violaciones" que se miden a través de las variables de desviación n (**negativa**) y p (**positiva**); esto es $f(x) + n - p = t$.
- **Criterios:** son los atributos, objetivos o metas que se consideran relevantes en el problema decisional.

En la teoría de la decisión multicriterio juega un papel fundamental el concepto de *optimalidad paretiana* concepto que introdujo en 1896 el economista italiano Vilfredo Pareto, este concepto en la teoría de la decisión multicriterio se define como:

Un conjunto de soluciones es eficiente (o Pareto óptimas) cuando está formado por soluciones factibles, esto es, que cumplen las restricciones, tales que no existe otra solución factible que proporciona una mejora en un atributo, sin producir un empeoramiento en al menos otro de los atributos.⁵

El concepto de optimalidad paretiana se extendió al concepto de eficiencia productiva por el Premio *Nobel* en Economía 1975, TC Koopmans. La eficiencia productiva se logra en la frontera de producción posible y es: ...el estado en el cual la actividad productiva ha sido tan organizada que, dentro de limitaciones dadas de recursos y tecnología no hay otra manera de producir más de alguna mercancía deseada sin reducir la producción de alguna otra mercancía también deseada.

Todos los enfoques multicriterio pretenden obtener soluciones que sean eficientes en el sentido paretiano definido.

El concepto de optimalidad paretiana conduce al concepto de *tasa de intercambio* (o *trade off*) entre dos criterios. El *trade off* indica en cuánto varía un criterio para lograr un incremento unitario en otro criterio. Esto es, si $f_j(x)$ y $f_k(x)$

⁵ Carlos Romero: *Teoría de la decisión multicriterio, conceptos, técnicas y aplicaciones*, p. 26.

son las expresiones matemáticas de dos atributos y x_1 y x_2 son dos soluciones eficientes, la tasa de intercambio o *trade-off* T_{jk} entre los criterios j-ésimo y k-ésimo es igual a:

$$T_{jk} = \frac{f_j(x_1) - f_j(x_2)}{f_k(x_1) - f_k(x_2)}$$

Las tasas de intercambio constituyen un buen índice para medir el costo de oportunidad de un criterio en términos de los otros que se están considerando.

Cuando el centro decisor toma sus decisiones en un contexto de objetivos múltiples, el enfoque multicriterio a considerar es la *programación multiobjetivo* (también llamada *optimización vectorial*). Este enfoque pretende establecer el conjunto de soluciones eficientes o Pareto óptimas, considerando que la optimización simultánea de todos estos objetivos es generalmente imposible si se tiene en cuenta que usualmente están en conflicto. El conjunto de soluciones posibles se particionan en dos subconjuntos disjuntos, el subconjunto de soluciones factibles no eficientes y el subconjunto de soluciones factibles y eficientes.

La estructura general de un programa multiobjetivo es:

$$\text{Eff } f(x) = [f_1(x), \dots, f_i(x), \dots, f_q(x)]$$

sujeto a: $X \in F$

donde:

Eff indica la búsqueda de soluciones eficientes o Pareto óptimas.

$f_i(x)$ = expresión matemática del atributo i-ésimo.

X = vector de variables de decisión.

F = conjunto de restricciones usualmente reales que definen el conjunto de soluciones posibles.

Un primer paso en la aplicación de la programación multiobjetivo a un problema concreto consiste en la obtención de la llamada *matriz de pagos* (*pay-off matrix*), lo que permite cuantificar el nivel de conflicto existente entre los objetivos que se consideran. Esta matriz es cuadrada de dimensión igual al número de objetivos. Para su obtención se optimiza cada objetivo separadamente

calculándose seguidamente los valores alcanzados por los demás objetivos en cada solución óptima. En la diagonal principal está la solución en la que todos los objetivos alcanzan su valor óptimo y constituyen el “*punto ideal*”. El peor elemento de cada columna de la matriz de pagos se denomina “*punto anti-ideal*”, que no satisface la condición de optimalidad paretiana y aunque es una solución poco atractiva para el centro decisor, es conveniente conocerlo.

La diferencia entre el valor anti-ideal y el valor ideal define un intervalo (*valor anti-ideal; valor ideal*) o (*valor ideal; valor anti-ideal*) para cada atributo, muy útil para poder aplicar el *método de las restricciones* (uno de los objetivos se optimiza mientras que los demás objetivos se incorporan al conjunto de restricciones como restricciones paramétricas). La expresión matemática en este caso para un problema decisional con q objetivos es:

$$\text{MAX } f_k(x)$$

sujeto a:

$$X \in F$$

$$f_j(x) \geq L_j, \quad j = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, q$$

donde F representa el conjunto de soluciones posibles.

Por medio de variaciones paramétricas de los términos independientes L_j se genera el conjunto eficiente. Si entre los objetivos situados como restricciones alguno de ellos debe minimizarse en vez de maximizarse, el sentido de la restricción paramétrica cambia.

En el punto ideal cada objetivo alcanza su valor óptimo por lo que el centro decisor deberá elegir aquel punto eficiente o zona del conjunto eficiente que se encuentre más próxima al conjunto ideal. Para medir la mayor o menor proximidad de un punto eficiente con respecto al punto ideal se introduce en el análisis una función de distancia.

En el *método de las ponderaciones* a cada objetivo se le asocia un peso no negativo y se optimiza la agregación de todos los objetivos generando así para cada conjunto de pesos un punto extremo eficiente.

La representación matemática cuando se aplica este método para q objetivos es:

$$\text{Max } W_1 f_1(x) + W_2 f_2(x) + \dots + W_q f_q(x)$$

sujeto a:

$$X \in F$$

$$W \geq 0$$

Para cada vector de pesos W se obtiene un punto extremo eficiente. Variando paramétricamente los pesos, se genera de forma aproximada el conjunto eficiente.

En el punto ideal cada objetivo alcanza su valor óptimo por lo que el centro decisor deberá elegir aquel punto eficiente o zona del conjunto eficiente que se encuentre más próxima al conjunto ideal. Para medir la mayor o menor proximidad de un punto eficiente con respecto al punto ideal, se introduce en el análisis una función de distancia.

La *programación compromiso* es un enfoque multicriterio desarrollado por Yu ⁶ y Zeleny ⁷ que permite ir reduciendo el tamaño del conjunto eficiente, determinando los conjuntos compromisos que son los subconjuntos del conjunto eficiente que están más próximos al punto ideal, y que deben resultar más atractivos para el centro decisor, representando las políticas equilibradas entre los objetivos en conflicto, pero sin subordinar un objetivo a otro.

La programación multiobjetivo y la programación compromiso constituyen un instrumento potente para el análisis de los problemas decisionales multicriterio, pero cuando las restricciones son altamente complejas y con muchos atributos resulta prácticamente imposible lograr una buena aproximación del conjunto eficiente, o el número de puntos extremos eficientes es tan elevado que no es posible aprovecharlos desde el punto de vista práctico.

Luego, en estos casos para ganar operatividad se utiliza *programación por metas (goal programming)*.

Su surgimiento está relacionado con la publicación, en 1955 de un artículo en *Managament Science* de Charnes, Cooper & Ferguson y desde la década del setenta se aplica para la toma de decisiones en diferentes áreas, constituyendo en la actualidad uno de los métodos de mayor popularidad dentro de la investigación operativa.

En la formulación de un modelo de programación por metas, luego de establecidos los atributos, se fija el nivel de aspiración y se introducen las variables de desviación positiva y negativa para relacionar los atributos con sus niveles de aspiración correspondientes, tal y como se hizo referencia anteriormente.

Cuando la meta deriva de un atributo del tipo *más del atributo mejor (objetivo a maximizar)* la variable de desviación negativa cuantifica la falta de logro, por lo que no es deseada, siendo conveniente que esta alcance su valor más pequeño. Por el contrario, cuando la meta deriva de un atributo del tipo *menos del atributo*

⁶ Ver P.L. Yu: "A lass of solutions for group decision problems", en *Management Science*, pp. 936-946.

⁷ Ver Zeleny, M.: "*Compromise Programming*", en *Multiple Criteria Decision Making*, pp. 262-301 y Zeleny M.: "A Concept of Compromise Solutions and the Method of the Displaced Ideal", en *Computers and Operations Research*, p. 479.

mejor (objetivo a minimizar) la variable de desviación positiva cuantifica el exceso de logro, por lo que es no deseada, siendo conveniente que esta alcance su valor más pequeño. Si se desea alcanzar exactamente el nivel de aspiración las variables de desviación positiva y negativa son variables no deseadas.

Luego, el planteamiento de la función objetivo consistirá en la minimización de la suma de las variables de desviación no deseadas. Si estas variables están medidas en unidades diferentes no teniendo significado su suma, se minimiza una suma de desviaciones porcentuales considerando que el centro decisor no le dé la misma importancia al logro de todas las metas, incluyéndose en la función objetivo los coeficientes w_i que ponderan la importancia relativa que se le asigna a la realización de cada meta; esto se conoce como *programación por meta ponderadas (weighting goal programming)*.

Si el centro decisor asocia *prioridades excluyentes (pre-emptive priorities)* a las diferentes metas; el logro de las metas situadas en una determinada prioridad es inconmensurablemente preferido al logro de cualquier otra que tenga una prioridad menor, esto se conoce como *programación por metas lexicográficas*. La función objetivo tradicional se sustituye por la minimización lexicográfica de las variables de desviación no deseadas y se *denomina función de logro (achievement function)*.

$$\text{Lex min } a = [h_1 (n,p), h_2 (n,p), \dots, h_k (n,p)] \quad \text{ó} \quad \text{Lex min } a = [a_1, a_2, \dots, a_k]$$

$$\text{donde } a_k = h(n, p)$$

La minimización de ese vector implica la minimización ordenada de sus componentes. También es posible realizar un análisis de sensibilidad para poder estudiar la influencia que tiene determinado orden de prioridades en la solución óptima.

Para la solución de programas lexicográficos se utiliza el método gráfico de la programación lineal con una adaptación,⁸ el que lógicamente puede aplicarse cuando son dos las variables de decisión. Existe además el método secuencial⁹ que consiste en resolver una secuencia de programas lineales. El primer programa lineal de la secuencia minimiza la primera componente del vector de logro sujeto a las restricciones correspondientes a esa prioridad. El segundo programa lineal minimiza la segunda componente de la función de logro sujeta a las restricciones correspondientes a la primera y segunda prioridades. Así se continúa hasta resolver el último programa lineal.

⁸ Ver S. M. Lee: *Goal programming for decision analysis, cap. 4, pp. 31-42.*

⁹ Ver J. P. Daver Y R. J. Kruger: "An interactive approach to goal Programming", en *Operational Research Quarterly*, pp. 671-681.

Existen enfoques alternativos como la programación por metas MINIMAX que busca la minimización de la máxima desviación de entre todas las desviaciones posibles.

Su estructura matemática es:

$$\begin{aligned} & \text{Min } d \\ & \text{sujeto a:} \\ & \quad \alpha_i n_i + \beta_i \leq d \\ & \quad f_i(x) + n_i - p_i = t_i \\ & \quad X \in F \end{aligned}$$

donde d es la máxima desviación; α_i y β_i son coeficientes normalizadores y a la vez indicadores de las preferencias relativas.

Otro enfoque alternativo es la *programación multimetas (multigoal programming)*¹⁰ que constituye un híbrido entre la programación por metas y la programación multiobjetivo, buscando la minimización de las variables no deseadas en el sentido de programación multiobjetivo, combinando el deseo de los centros decisores de satisfacer varias metas por medio de la programación por metas y el concepto de eficiencia paretiana por medio de la programación multiobjetivo.

Aplicación

En el municipio de Nueva Paz, provincia Habana, funciona un Centro de Gestión que presta servicios, fundamentalmente en la contabilidad, a las entidades agrarias del territorio. Es objetivo de estos centros incrementar los servicios que prestan, por lo que se consideró oportuno crear una base de datos que permitiera la posibilidad de realizar otros estudios para el perfeccionamiento de la gestión.

En una fase experimental se aplicó la programación multicriterio en la Empresa de Cultivos Varios de Nueva Paz, considerándose como parámetros el total de superficie disponible, la disponibilidad de fertilizante, los planes de producción establecidos por el organismo superior para seis cultivos (plátano, frutabomba, yuca, boniato, arroz, maíz) y los rendimientos por caballería.

Se formuló el problema decisional multiobjetivo considerándose tres funciones a optimizar: maximización de la superficie a cultivar, maximización de ingresos y minimización de costos, obteniéndose la matriz de pago, luego de dar solución a la secuencia de modelos que se genera, utilizando el programa de computación Hyper Lindo, determinándose como punto ideal (34,799; 1540; 247,295) y como antideal (11,121; 521,364; 633,84).

¹⁰ Ver M. Zeleny: "Compromise programming", en *Multiple Criteria Decision Making*, pp. 298-300.

Matriz de pago

	Superficie	Ingreso	costo
Max. superficie	34,779	1 092	547,162
Max ingreso	34,267	1 540	633,84
Min. costo	11,121	521,364	247,295

En el análisis de este se tiene que:

- Cuando se alcanza el ingreso óptimo se obtiene el valor peor para los costos.
- El valor óptimo de utilización de superficie está muy por debajo de la disponibilidad (250 caballerías) quedando ociosas 175,371 caballerías.
- El mínimo valor de los costos se obtiene para el nivel más bajo de utilización de la superficie.
- Comparando las soluciones obtenidas a los modelos 1 y 2 (primera y segunda filas de la matriz de pago) donde se obtienen valores similares en la utilización de la superficie, se tiene que por cada peso de ingreso el costo se incrementa en 0,19 centavos (*trade-off*). Esto es,

$$T_{ci} = \frac{633,84 - 547,162}{1540 - 1092} = 0,1934$$

- Intervalos de variaciones paramétricas:
 - Superficie (11,121; 34,779)
 - Ingreso (521,364; 1542)
 - Costo (247,295; 633,84)

Posteriormente se plantea el modelo de programación por metas utilizándose los valores obtenidos en el punto ideal como los niveles de aspiración para la superficie a cultivar, el ingreso y el costo respectivamente, buscándose la minimización de la suma de las variables de desviación no deseadas, a saber:

- Desviación positiva y desviación negativa de la superficie (n_2 y p_2).
- Desviación positiva del costo (p_1).
- Desviación negativa del ingreso (n_3).

Con respecto a la solución (programa Hyper Lindo) los valores de las variables de desviación son:

- $n_2 = 0,512$
- $p_2 = 0$
- $p_1 = 304,497$
- $n_3 = 0,000128$

De esta manera se obtiene como resultado final:

- Superficie a cultivar 34,267 caballerías.
- Nivel de costo 551,79 pesos.
- Nivel de ingreso 1 539,99 pesos.
- Superficie por cultivo (en caballerías):
 - plátano 27
 - frutabomba 0,667
 - yuca 1
 - boniato 1
 - arroz 2,60
 - maíz 2,00
- Producción en quintales:

	Solución Modelo	Plan
• plátano	148 500	30 000
• frutabomba	3 001,5	3 000
• yuca	3 000	3 000
• boniato	3 000	3 000
• arroz	2 600	1 000
• maíz	2 000	1 000

A partir de los resultados que se obtienen pueden realizarse estos y otros análisis de utilidad, dando elementos en el orden cuantitativo a los directivos de la entidad para la toma de decisiones.

Consideraciones generales

En el proceso de toma de decisiones resulta ventajoso la utilización del enfoque cuantitativo, en particular de la teoría de la decisión multicriterio. En los aspectos teóricos fundamentales a los que se hace referencia en el presente trabajo se destaca la utilidad de este enfoque, dado que da la posibilidad de valorar diferentes criterios que reflejan las preferencias del centro decisor buscando un equilibrio entre ellos o la satisfacción de metas relacionadas con los objetivos.

La aplicación realizada es solo una primera aproximación que a manera de ejemplo se ha querido mostrar para resaltar las posibilidades del enfoque multicriterio y su utilidad en la actividad agraria que, sin lugar a dudas, debe ser enriquecida a partir de considerar otras restricciones que realmente existen y definir más objetivos a alcanzar.

Por otra parte, cada enfoque multicriterio no es absolutamente independiente. De hecho existen fuertes conexiones y relaciones entre los diferentes enfoques multicriterio, que aunque no es objetivo del presente trabajo entrar a profundizar en este aspecto, es necesario señalarlo.

Esta referencia motiva a que en la práctica a la hora de su aplicación en la toma de decisiones no pueda señalarse que un enfoque es mejor que otro. Lo cierto es que en la elección del método multicriterio más adecuado ante los problemas decisionales reales con criterios múltiples influyen considerablemente las características situacionales del problema decisional en concreto.

Algunos autores apuntan que *la elección del “mejor método multicriterio” es un problema multicriterio en sí mismo.*

Bibliografía

- Amador, Francisco; Romero, Carlos y Sumpsi, José: "On farmers' objectives: A multi-criteria approach" en *European Journal of Operational Research*.
- Amador, Francisco; Romero, Carlos y Barco, Antonio: "Multiple objectives in agricultural planning: a compromise programming application", en *American Journal of Agricultural Economics*. Vol.69, No.1, 1987.
- Amador, Francisco; Cabanes, Manuel y Romero, José J.: "La Investigación Operativa en la agricultura", en *Investigación Operacional*. Vol.8, No. 2, 1988.
- _____ : "Un sistema de objetivos de corto plazo para la Empresa Agraria", en *Investigación Agraria*. Vol.3, (1), 1988.
- Anderson; David R.; Sweeney, Dennist J. y Williams, Thomas A.: *Introducción a los Modelos Cuantitativos para administración*. Grupo Editorial Iberoamérica, SA de CV, 1993.
- Daver, J. P. y Krueger R. J.: "An attractive approach to goal programing", en *Operational Research Quaterly*. Vol. 28, 1977.
- Leal, Antonio; Sánchez, Mercedes; Roldán, José y Vázquez, Adolfo: *Decisiones empresariales con criterios múltiples*. Editorial Pirámide S.A.,1995.
- Lee, S. M.: *Goal programing for decision analysis*. Auerbach publishers, Philadelphia, 1972.
- Levin, Richard I.; Kirkpatrick, Charles A.: *Enfoques cuantitativos a la administración*. Compañía Editorial Continental SA. 1983.
- Magee, J. F.: "Progress in the management Sciences", en *Time Interface*. Vol. 3, febrero, 1973.
- Rehman, Tahir y Romero, Carlos: "Multiple-criteria decision-making techniques and their role in livestock ration formulation", en *Agricultural Systems*. 1984.
- Rehman, Tahir y Romero, Carlos: *Multiple criteria analysis for agricultural decision*. Elsevier, Amsterdam, 1989.
- Romero, Carlos: *Handbook of critical issues in Goal Programming*. Pergamon Press, 1993.
- Romero, Carlos: *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Alianza Editorial, S.A., 1993.
- Sierra Plana, J. L.: *Métodos de Investigación Operativa en la práctica de las empresas*. Ediciones DEUSTO, 1980.

- Yu, R. L.: "A lass solutions for group decision problems", en *Management Science*. Vol. 19, 1973.
- Zekri, S.; Romero, Carlos: "A methodology to asses the current situation in irrigate agriculture: an application to the Village of Tauste (Spain)", en *Oxford Agrarian Studies*. Vol.20, No. 2, 1992.
- Zeleny, M.: *Multi-criteria decision making*. McGraw Hill, 1982.
- Zeleny, M.: "Compromise Programming", en *Multiple criteria decision making*. Zeleny M. Editors, 1973.
- Zeleny, M.: "A Concept of compromise solutions and the method of the displaced ideal", en *Computers and Operations Research*. Vol. 1, 1974.