






Modelo de optimización multiobjetivo para la localización de planta de alimento animal como alternativa de diversificación azucarera

Multiobjective optimization model for the location of animal feed plant as an alternative for sugar diversification

Justo Dayron Martiatu Galván¹ , Hilda Oquendo Ferrer^{1*} , Javier Alfonso Asencio García² 

RESUMEN

Este trabajo se realizó en la provincia de Camagüey con el propósito de determinar en cuáles e los Centrales Azucareros se puede producir, además, alimento animal, teniendo en cuenta los costos de transportación de materia prima y el producto terminado. Para ello se empleó la técnica de optimización multiobjetivo denominada método de promedios ponderados. Esta técnica permite introducir el nivel de preferencia que el decisor le proporciona a cada función objetivo del modelo matemático mediante la asignación de ponderaciones. El modelo matemático propuesto se complementa con la programación entera para seleccionar el origen y destino de las materias primas y el producto final. El modelo de optimización utilizado permite seleccionar cuáles son los centrales azucareros que deben garantizar la materia prima y a cuáles plantas de alimento animal deben abastecer, además se identifican los destinos del producto final, atendiendo a la demanda del mismo. En comparación con un problema de optimización monobjetivo, el método propuesto es mejor que el método clásico, ofrece un análisis más completo y mejores decisiones.

Palabras clave: optimización multiobjetivo, programación entera, macrolocalización.

ABSTRACT

This work was carried out in the province of Camagüey in order to determine in which of the Sugar Factories, animal feed must be produced, taking into account the costs of transporting raw materials and finished products. For this, the modified multiobjective optimization technique was used, the method of weighted averages. This technique allows entering the level of preference that the decision maker provides to each objective function of the mathematical model by assigning weights. The proposed mathematical model is complemented by complete programming to select the origin and destination of the raw materials and the final product. The optimization model used allows selecting the sugar mills that must identify the raw material and the animal feed plants that must be supplied, as well as identifying which plants must supply the feed to the destination that demand it. Compared to a single-target optimization problem, the proposed method is more than classic method, provides a more complete analysis and better decisions.

Keywords: multi-objective optimization, integer programming, macro location.

¹Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba

²Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba

* Autor de correspondencia. E-mail: hilda.oquendo@reduc.edu.cu

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar posee grandes potencialidades para la producción de alimentos y materias primas importantes, a partir de las cuales se obtienen gran variedad de productos y subproductos donde muchos de ellos se derivan del propio proceso de fabricación de azúcar. Según Aguilar-Rivera *et al.* (2017), el procesamiento de coproductos y subproductos para obtener derivados de la agroindustria azucarera, proporcionan recursos que poseen un alto crecimiento y que contribuyen al aumento de la competitividad y desarrollo del sector azucarero. Existen numerosas investigaciones enfocadas a la diversificación azucarera, en las que se considera como base fundamental del ámbito tecno-económico. No obstante, los aportes obtenidos no reflejan métodos que establezcan una guía enfocada a la proyección y explotación adecuadas de este cultivo (Aguilar-Rivera *et al.*, 2017).

Una de las disímiles oportunidades de desarrollo que ofrece la caña de azúcar es la producción de alimento animal, producto que actualmente está aumentando su mercado en muchos países, y para el nuestro no sería factible la importación de piensos y cereales para alimentarlos; lo efectivo sería producirlos para apoyar a la economía del país. Según Borrás-Sandoval y Torres-Vidales (2016), el aumento del precio de los granos y cereales, la disminución de la disponibilidad de los mismos para alimento animal ha intensificado la competencia existente entre este y la alimentación humana. Esta situación ha despertado la necesidad de buscar nuevas alternativas que respondan a la producción de comestibles para animales y que posean buena calidad y bajos costos.

La producción cañera en concurso con las nuevas tecnologías y la adecuada intervención de la gestión ambiental encierran una importante estrategia para la economía cubana por ser una agroindustria auto sustentada, por lo tanto, la industria de la caña de azúcar puede y debe ayudar a enfrentar un futuro donde los principales desafíos son la erradicación del hambre, la producción de energía y la disminución del cambio climático (González-Ortiz *et al.*, 2015).

Actualmente la industria azucarera cubana, se encuentra transitando por un proceso de reestructuración, lo que significa que se deben hacer cambios para lograr sustentabilidad. Realizar cambios implica trazar estrategias que permitan alcanzar metas para lograr un propósito y constituye un proceso complejo, pues al mismo se vincula una gran variedad de criterios que se deben tener en cuenta para evaluar múltiples alternativas como posibles soluciones a un problema determinado. Por tal motivo se requiere implementar técnicas y herramientas que contribuyan al mejoramiento continuo y que faciliten la toma de decisiones en el sector azucarero.

En este contexto es necesario implementar procedimientos basados en la toma de decisiones multicriterio que permitan evaluar eficazmente la producción de derivados. Pues el llevar a cabo esta tarea implica analizar la ubicación de las plantas de alimento animal, los costos de transportación asociados a la distribución de ese producto, la capacidad de producción de las plantas, la disponibilidad de materia prima, etc. En estas condiciones, tomar una decisión acertada significa evaluar un grupo de alternativas en función de varios criterios, lo que constituye un problema decisional que, para resolverlo es necesario utilizar herramientas de macro localización y establecer ordenes de preferencia de las alternativas evaluadas que pueden estar sujetas a criterios tanto cuantitativos como cualitativos.

El basamento teórico conceptual del tema, consolidado a partir de la denominada teoría de las decisiones, ha venido acompañado de un conjunto de investigaciones y aportes desde diversas áreas del conocimiento. Es así que, desde el surgimiento de la denominada teoría de la racionalidad limitada de la toma de decisiones y su modelo racional, comienzan a aparecer en la literatura especializada aportes teóricos y prácticos que han estado acompañados de un conjunto de modelos que reflejan componentes particulares de la toma de decisiones como proceso estratégico (Rodríguez-Cruz y Pinto, 2018).

El éxito de una organización está enmarcado en las decisiones que tome su personal, esto amerita procesar

gran volumen de información, que esté actualizada, sea veraz y este completa para que así, la gerencia tome las decisiones correctas en cuanto a su desempeño y ejecución. Para ello la organización debe emplear día a día nuevas estrategias con el propósito de crear ventajas competitivas

En este contexto, la tecnología es un recurso fundamental para toda organización, ya que forma parte de la cotidianidad del ser humano y de la sociedad, con ella el individuo es capaz de pensar, organizar y tomar decisiones a nivel personal y laboral, consciente de que existe un constante avance tecnológico que contribuye en la toma de decisiones, en cuanto a lo que es más conveniente tanto para nosotros como para la organización (Alvarado *et al.*, 2018). Debido a que en la práctica surgen situaciones de decisión que por lo general involucran problemas de toma de decisiones multicriterio, se han desarrollado herramientas que modelan y que se adaptan notablemente a este contexto.

El enfoque multicriterio permite determinar las preferencias del decisor entre un conjunto de opciones o alternativas. Mientras que el análisis de decisión multicriterio es tanto un enfoque como un conjunto de técnicas, cuya meta es proporcionar un orden global a un grupo de opciones, desde la opción más preferida hasta la opción menos preferida. Las opciones podrían diferir en cuanto al nivel de alcance de los objetivos, y ninguna opción es obviamente la mejor en el alcance de todos los objetivos (Ramírez & Guzman, 2017).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Características de la planta

Las plantas de alimento animal actuales son iguales en cuanto a tecnología y capacidad. Están ubicadas en los Centrales Azucareros Siboney, Batalla de las Guásimas y Céspedes con una capacidad nominal de 3 t/h. Su proceso tecnológico se basa en la mezcla de bagacillo y miel urea en las siguientes proporciones: bagacillo 66.9 % y miel urea al 33.1 % con respecto al producto final fresco.

Estudio de alternativas mediante optimización multiobjetivo

El estudio de macro localización de la planta de alimento animal se inició a partir del planteamiento del problema de costo mínimo de transporte de materias primas y productos terminados como dos funciones objetivo.

En la realización de este estudio se utilizaron las ventajas de los métodos de optimización y de computación y se siguieron los pasos siguientes:

Planteamiento del problema.

En este paso se planteó el problema y se definió su naturaleza, que en este caso es un problema de programación lineal multiobjetivo (método de promedios ponderados) mezclada con enteros, considerándose tanto la disponibilidad de materias primas como las necesidades del mercado, en este caso las necesidades de alimento animal recopilándose la información necesaria para su solución.

Formulación del problema.

El problema se formuló en la hoja de cálculo del EXCEL, programándose las variables continuas y enteras, las restricciones de capacidad de miel, de demanda de miel, de capacidad de las plantas de alimento animal, de distribución del producto terminado y las funciones objetivo.

La función objetivo es el costo de transportación, considerando la transportación de la materia prima y el producto terminado. Se asignaron pesos a cada una de las partes del problema de optimización, en correspondencia con lo que se deseara ponderar: el transporte de las materias primas o el producto terminado.

Solución del problema.

Para la solución del mismo se utilizó la Macro Solver del EXCEL, obteniéndose la distribución óptima de mieles hacia la planta de alimento animal seleccionada y la distribución del producto terminado en esta hacia los destinos ganaderos, que hacen mínimo el costo de transportación. En la figura 1 se desarrollan cada uno de los pasos.

Como posibles centrales suministradores de materia prima (X_j), en este caso miel final, se consideraron Siboney, Batalla de las Guásimas, Argentina, Brasil y Céspedes.

Se consideraron para la realización de las transforma-

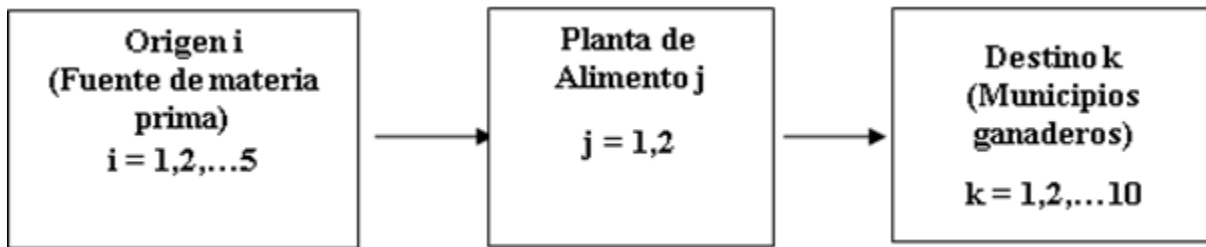


Figura 1. Planteamiento del problema de optimización.

ciones, la planta ubicada en Siboney y Batalla de las Guásimas por estar en el centro de las empresas ganaderas de la provincia.

Como destino para el producto terminado las empresas ganaderas por municipios.

Como restricciones se consideraron:

De capacidad de miel

$$X_{11}Z_1 + X_{12}Z_2 \leq K_1$$

$$X_{21}Z_1 + X_{22}Z_2 \leq K_2$$

.

$$X_{51}Z_1 + X_{52}Z_2 \leq K_5$$

Donde:

X_{ij} : Cantidad de miel desde la fuente de materia prima i (central azucarero) hasta la planta de alimento animal j .

Y_{jk} : Cantidad de alimento desde la planta j hasta el municipio de destino k .

Z_j : Planta de alimento animal j

K_i es la capacidad de producción de miel de cada uno de los posibles suministradores.

.

Como índice de rendimiento de miel en caña se consideró 3.4%, que es el promedio provincial, se le restó la miel comprometida con otros organismos y un 5% de margen de seguridad.

De demanda de miel

$$(X_{11} + X_{21} + \dots + X_{51})Z_1 = L_1$$

$$(X_{12} + X_{22} + \dots + X_{52})Z_2 = L_2$$

Donde:

L_j es la demanda de miel de la planta de alimento de acuerdo a su capacidad.

En este caso se consideró como índice de consumo de miel 0.635 t/t de producto final, 300 días de trabajo al año.

De producción del alimento animal

$$(Y_{11} + Y_{12} + \dots + Y_{115})Z_1 \leq M_1$$

$$(Y_{21} + Y_{22} + \dots + Y_{215})Z_2 \leq M_2$$

Donde:

M_j es la capacidad de alimento de la planta j

De distribución del producto terminado

$$Y_{11}Z_1 + Y_{21}Z_2 \leq N_1$$

$$Y_{12}Z_1 + Y_{22}Z_2 \leq N_2$$

.

$$Y_{110}Z_1 + Y_{210}Z_2 \leq N_{10}$$

Donde:

N_k : Es la demanda de la empresa ganadera destino.

Como restricciones de números enteros se consideraron

Para la alternativa de producir en una de las plantas Siboney o Batalla de las Guásimas.

$$Y_1 + Y_2 = 1$$

Para la alternativa de producir en las dos plantas Siboney y Batalla de las Guásimas.

$$Y_1 + Y_2 = 2$$

Función multiobjetivo del modelo matemático

$$C_{\text{mínimo}} = \sum_i^j (C_{ij} \times X_{ij})Z_j \lambda + \sum_j^k (C_{jk} \times Y_{jk})Z_j (1 - \lambda)$$

Donde:

C_{ij} : Costo de transportación de la miel desde cualquiera de los cinco suministradores hasta cualquiera de las dos posibles ubicaciones de la planta de alimento animal.

C_{jk} : Costo de transportación del alimento animal de cualquiera de las dos posibles ubicaciones de la planta hasta los municipios donde están ubicadas las empresas ganaderas.

Z_j : Planta de alimento animal en el lugar j

λ : Peso o factor de ponderación

Los datos de los costos de transportación de miel y producto terminado se obtuvieron a partir de Resolución 660/2015 y la Resolución 659/2015 de Finanzas y Precios

Para obtener los resultados mediante el modelo de optimización propuesto se proponen las siguientes consideraciones.

1. Las plantas de alimento animal deben trabajar durante tres turnos.
2. Construir dos plantas de alimento animal en Siboney, debido a que constituye una región que posee un alto potencial ganadero.
3. Distribuir a cada cooperativa agropecuarias 1000 toneladas de alimento animal con el propósito de que todas las cooperativas puedan adquirir el alimento.
4. Se le asigna un peso de ponderación de 0,4 a los costos de producción y un 0,6 a los costos de distribución para lograr un desempeño óptimo en la entrega de materias primas y producto terminado.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar los resultados se determinó que las centrales que deben abastecer a las plantas de alimento animal son Batalla de las Guásimas, Siboney y Argentina con una cantidad de 35190, 93854 y 9435,5 toneladas de miel respectivamente (Tabla S1). Además, desde la planta de Batalla de las Guásimas se debe abastecer con 1000 toneladas de alimento animal a cada una de las cooperativas ubicadas en Vertientes, Florida, Céspedes y Esmeralda. Desde la planta Siboney se debe

abastecer con 1000 toneladas de alimento a cada una de las cooperativas agropecuarias ubicadas en Jimaguayú, Najasa, Guáimaro, Sibanicú, Minas y Camagüey una vez que se optimizó el modelo matemático, se determina que existe miel suficiente para abastecer las plantas de alimento animal, cumpliéndose las restricciones (Tabla S2). Sólo se aprovecha al máximo la capacidad de producción de miel de los dos centrales, en el caso del tercer central faltarían 8149,505 toneladas para aprovechar al máximo su capacidad de producción, y en el caso de los últimos dos centrales no se utiliza esa miel (Tabla S3). A partir de los datos reflejados en la Tabla S4 se determina que no se aprovechó al máximo la capacidad de producción de las plantas. En la Tabla S5 se puede observar que no se logra cumplir con la demanda de alimento animal que necesita cada cooperativa agropecuaria y se fija distribuir 1000 toneladas a cada una de ellas. Al analizar los datos reflejados en la Tabla S6 se determina que se deben utilizar dos plantas para producir el alimento animal. En la Tabla S7 se muestran los costos por concepto de producción y distribución de materias primas y producto terminado a partir de los cuales se obtiene un costo total mínimo de \$11003715,28, siendo este valor inferior en \$919368,80 menos al que se puede obtener con un modelo de optimización monobjetivo.

IV. CONCLUSIONES

Los métodos de optimización multiobjetivo constituyen una excelente opción en la solución de problemas con un alto nivel de complejidad que se caracteriza por escoger de un grupo de alternativas la mejor, teniendo en cuenta la variedad de criterios que se deben analizar para elegir la más idónea.

El modelo matemático que se presenta en este trabajo favorece la toma de decisiones con el propósito de contribuir al desarrollo de la diversificación azucarera, teniendo en cuenta los objetivos y estrategias de la empresa.

El método multiobjetivo propuesto permite modelar con mayor certeza la producción de alimento animal logrando la reducción de los costos asociados, y

teniendo en cuenta las diferentes alternativas de producción de materias primas, de producción del producto final y de distribución de las mismas.

V. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron en la conceptualización, metodología, investigación, redacción del manuscrito inicial, revisión bibliográfica, y en la revisión y aprobación del manuscrito final.

VI. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar-Rivera, N., T. J. Debernardi-Vázquez, y H. D. Herrera-Paz. 2017. “Subproductos, coproductos y derivados de la agroindustria azucarera”. *AGROProductividad* 10 (11): 13-21.
- Alvarado, R. , K. Acosta, y Y. V. Buonaffina. 2018. “Necesidad de los sistemas de información gerencial para la toma de decisiones en las organizaciones”. *InterSedes* 19 (39): 17-31.
- Borrás-Sandoval, L. M. y G. Torres-Vidales. 2016. “Producción de alimentos para animales a través de fermentación en estado sólido-FES”. *Orinoquia* 20 (2): 47-54.
- González Ortiz, Y., J. Esteban Miño, y E. González Suárez. 2015. “Consideraciones de la gestión empresarial en la industria azucarera de Aguada de Pasajeros”. *Centro Azúcar* 42 (1): 61-71.
- Ramírez, C. A. Y. y Y. A. Guzman. 2017. “Estudio comparativo de técnicas de toma de decisiones multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energías renovables a utilizar en la producción de electricidad”. *Scientia et Technica* 22 (3): 273-280.
- Rodríguez-Cruz, Y. y M. Pinto. 2018. “Modelo de uso de información para la toma de decisiones estratégicas en organizaciones de información”. *Transinformação* 30 (1): 51-64.