

Programación Meta para el perfeccionamiento de la planificación de la estructura de tiro en centrales azucareros

Goal Programming for the Improving of the Planning of the Harvest's Structure in Sugar Stations

Lic. Elio David Zaldívar-Linares, elio.zaldivar@eco.uo.edu.cu;
Dr.C. Raimundo J. Lora-Freyre, lora@eco.uo.edu.cu

*Centro de Estudio de Investigaciones Económicas Aplicadas (CEIA),
Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba*

Resumen

Algunos centrales azucareros cubanos se ven obligados a moler caña de entidades alejadas de sus jurisdicciones naturales para elevar el aprovechamiento de la norma potencial de molienda y cumplir el plan de azúcar. Esto provoca que a la industria llegue un considerable volumen de materia prima de baja calidad. La única manera de contrarrestar este fenómeno es elevar los indicadores globales de calidad del conjunto de entidades subordinadas al central. El objetivo de este trabajo es perfeccionar la planificación del tiro de la caña teniendo en cuenta esta cuestión. Con esa finalidad se construyó un modelo de Programación Meta para determinar la mejor estructura de tiro por entidades que fue aplicado en la Unidad Empresarial de Base (UEB) central azucarero "Paquito Rosales", de la provincia Santiago de Cuba. Dicho modelo posibilitó en fase de planificación un mejoramiento de los indicadores económicos e industriales cercano al 5 %.

Palabras clave: Programación Meta, optimización, caña de azúcar, modelación económico – matemática, indicadores económicos e industriales.

Abstract

Some Cuban sugar factory are forced every year to grind cane entities away from their natural jurisdiction for take advantage of the standard potential use of milling and fulfill the plan of sugar's production. This causes the industry get a significant volume of low-quality raw materials. The only way to counter this is to raise the overall quality indicators in set of subordinate entities of the sugar factory. The objective of this paper is to improve the planning of sugarcane harvest considering this issue. To that end a goal programming model was constructed to determine the best harvest's structure by entities. This model was applied in the Managerial Unit of Base (MUB) sugar station "Paquito Rosales" from province Santiago de Cuba and made possible in the planning stages an improvement in economic and industrial indicators close to 5%.

Keywords: Goal programming, harvest's structure, optimization, sugar cane, economic and industrial meters.

Introducción

Cuba es un país con favorables condiciones para el cultivo de la caña de azúcar. En sus plantaciones es posible lograr altos rendimientos agrícolas. Desde el punto de vista industrial la experiencia cubana es notable, debido a que se ha creado una base técnico – material con condiciones para lograr altos niveles productivos. A pesar de ello, por razones diversas, los indicadores de eficiencia, tanto en la esfera agrícola como en la industrial han estado muy distantes de los valores deseados.

La cadena productiva del azúcar se inicia, en su aspecto agrícola, con la preparación de las tierras, continúa con la siembra de las semillas y el cultivo de las plantas, y concluye con la cosecha. Es en esta última etapa en la que se centra la atención del presente trabajo, pues resulta un eslabón decisivo en los resultados que se puedan obtener en la etapa industrial.

Este es un tema de actualidad, como se puede apreciar en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución (2011), donde se advierte que: “...la agroindustria azucarera tendrá como objetivo primario incrementar de forma sostenida la producción de caña. En su desarrollo deberá perfeccionar la relación entre el central azucarero y sus productores cañeros...” (PCC, 2011, 193).

Un momento importante es la organización de la cosecha de la caña de azúcar. Asociada a esta problemática está la estructura de tiro de la caña¹, la cual constituye un problema a resolver, pues esto permite obtener mayores volúmenes de azúcar con la misma cantidad de materia prima.

La organización de la estructura de tiro es de vital importancia por varias razones, entre las que destaca la necesidad de lograr a nivel de central el cumplimiento de un grupo de indicadores de calidad que se le miden a la materia prima, de los cuales depende el correcto funcionamiento de la industria en lo relacionado a recepción, continuidad de la molienda y la sincronización de todos los elementos que tienen que ver con el transporte de la materia prima cortada, la cual no debe demorar más de doce horas desde el momento del corte hasta su llegada a la fábrica.

¹ Se entiende por tiro el proceso de corte y traslado de la caña de azúcar desde el campo hasta los centros de recepción y por estructura de tiro aquella que resulta de determinar la cuantía con la que debe contribuir cada entidad al total teniendo en cuenta las especificaciones relacionadas con dicha cuota

En este sentido, la Unidad Empresarial de Base (UEB) central azucarero “Paquito Rosales” presenta un panorama donde la materia prima caña, procedente de sus entidades subordinadas² solo representa el 46 %³ de su norma potencial de molida. Esta situación obliga a moler un volumen considerable procedente de otras entidades lo que ocasiona que la gramínea deba transportarse una distancia mayor que la habitual. A esto se le suma el tiempo que permaneció cortada en el campo la caña de una entidad externa mientras se le gestionaba un destino alternativo, aumentando la demora en su llegada a la industria. Es por esto que la materia prima que llega a la fábrica presenta un considerable nivel de deterioro en los parámetros que exhibe con respecto a normas cuyo cumplimiento debe asegurar la calidad de la misma. Esto se constata, fundamentalmente, por el comportamiento desfavorable de indicadores como el alto porcentaje de materia extraña (8,25) y el alto porcentaje de caña atrasada (30,91) en los últimos 4 años. Un ejemplo de esto es el gráfico 1 que se muestra a continuación.

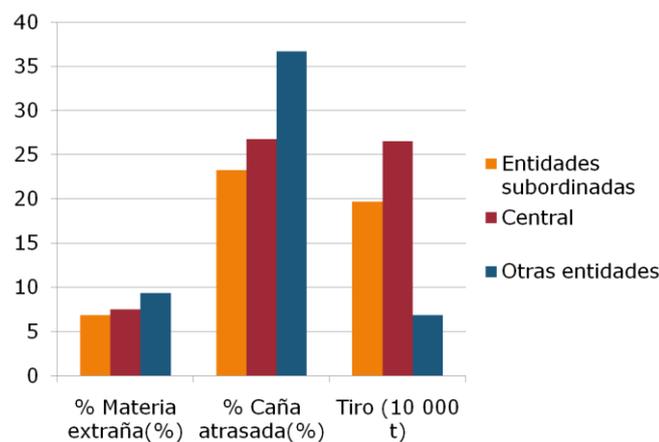


Gráfico 1: Comparación de indicadores a nivel de central y de entidades subordinadas a la UEB central azucarero “Paquito Rosales” en la zafra 2013-2014

Fuente: Información suministrada por la UEB central azucarero “Paquito Rosales”

El gráfico 1 es evidencia de cómo, en el caso específico del central objeto de estudio, la utilización de caña de otras entidades tiene varios efectos negativos y ninguno positivo en la calidad de la caña que llega a la industria. La particularidad que termina de redondear dicha situación es el hecho de que las entidades ajenas presentan mayor nivel de mecanización. Luego la complejidad del panorama se determina por las siguientes directrices:

² Se entiende por entidades subordinadas, aquellas que tributan el total de su producción cañera al central objeto de estudio

³ Información suministrada por la UEB central azucarero “Paquito Rosales”

1. Una mayor distancia de traslado implica mayor porcentaje de caña atrasada.
2. Un mayor nivel de mecanización implica mayor porcentaje de materia extraña.
3. Es similar el nivel de deterioro de la cosecha mecanizada ajena al de la manual propia, pues la primera cosecha, aunque llega en menos tiempo, no llega con la frescura necesaria, lo cual es grave si se tiene en cuenta que la caña cortada mecánicamente se deteriora a mayor velocidad.

Se puede concluir que a pesar de haber sido implementadas y validadas herramientas para la determinación de la estrategia del corte y su control, la organización del tiro de la caña no logra trasladar a la industria una materia prima con la calidad que se demanda. Esto se debe a que la planificación del tiro se realiza de forma manual y no permite analizar todas las variantes necesarias haciendo imposible atenuar la situación antes descrita, partiendo de un adecuado ordenamiento de la estructura de tiro de las entidades subordinadas, y mucho menos dotar de un enfoque integral a esta primera etapa del ciclo administrativo, teniendo como resultados, además, indicadores bajos de eficiencia.

Tomando en cuenta todas estas cuestiones, los autores de este trabajo se dieron a la tarea de construir y validar un modelo económico – matemático enfocado en perfeccionar la planificación a corto plazo del tiro por entidades vinculadas a una UEB central azucarero teniendo en cuenta el cumplimiento de las normas y parámetros establecidos por el central para la determinación de la efectividad del proceso de tiro de la materia prima que entra a la industria y ajustados a las necesidades particulares de dicha industria.

Marco referencial

La determinación de una estructura de tiro óptima por entidades fue abordada en el CEIA por primera vez durante el análisis de la zafra 2013-2014 (Zaldívar y Lora, 2014) para cuantificar el impacto económico que se pudiera derivar del uso de la modelación económico – matemática en la planificación de la estructura de tiro por entidades para mejorar los indicadores productivos, económicos, financieros y de calidad asociados a la materia prima a nivel de central. Esta investigación logró delinear una visión integral para la planificación de los factores inherentes al aseguramiento cañero para la UEB central azucarero “Paquito Rosales”.

No obstante, el alcance de dicha investigación se vio reducido por algunos obstáculos que comprometieron la factibilidad de la implementación de las soluciones encontradas. Uno de los inconvenientes más importantes fue el insuficiente nivel de actualidad de los procesos de gestión computacional de la base informativa previa al comienzo de la zafra que impidió la vinculación más conveniente para el investigador del Sistema Integral de Cosecha y Estimado (SICE) que almacenaba la ficha de los campos, con el Sistema de Optimización de Estrategia de Corte (OPESCOR) que determinaba a partir de la información del SICE, la estrategia de corte que debían seguir las entidades vinculadas al central. Esto produjo tres situaciones fundamentales:

1. Inefectiva ponderación del rango de potencial cañero de las entidades ya que esta tuvo que hacerse mediante normas técnicas que no tenían en cuenta la disponibilidad de caña.
2. Alto nivel de desequilibrio entre entidades pues no se pudo introducir un valor central por entidad que regulara los límites sobre los que debía moverse el volumen de tiro de cada una de ellas.
3. Imposibilidad de hacer una proyección a futuro en lugar de un análisis *a posteriori* pues las normas técnicas solo tenían utilidad vinculándose a valores previamente alcanzados en la zafra objeto de análisis.

El reemplazo del OPESCOR por el Sistema Informático de Estrategia de Corte (SISCOR) (Álvarez y Rodríguez, 2013) para la determinación de la estrategia de corte de la zafra 2014-2015 eliminó las dificultades anteriores, lo que ha reconfigurado la investigación anterior que además ha visto transformar el carácter de su visión de reactivo a proactivo.

En las circunstancias actuales, la validez de la fluctuación con respecto al plan del rendimiento agrícola global por entidad⁴ (Rodríguez y Sandó, 2014) como sustento de la existencia de un rango probable de valores para el volumen de tiro de cada unidad productiva está fundamentada en varios argumentos. Entre ellos se pueden citar:

- La superficie total a cortar por entidad es determinada por el SISCOR lo que conlleva a que cada límite dependa de un solo factor probabilístico (el rendimiento), a diferencia del modelo usado en la zafra 2013-2014 donde ambas

⁴ Es el resultado de dividir el volumen de caña cosechado en la entidad entre la superficie total ocupada por los campos cosechados

normas tenían un fuerte componente de arbitrariedad y solo podían hacerse conjeturas sobre la cantidad de días aprovechados por cada entidad.

- El nivel de entidad es, conjunto al nivel de central azucarero, donde menos nivel de distorsiones ocurre entre plan y real en cuanto a rendimiento agrícola lo cual redundaría en que cotas mínimas y máximas concebidas conforme a dicho comportamiento reducirían la incertidumbre sobre la posibilidad de lograr en la práctica algún volumen extremo acorde a la concepción y demanda del modelo económico matemático.
- La posibilidad de contar en octubre 30 con un estimado de cierta precisión permite dotar de gran verosimilitud a las soluciones obtenidas pues incrementaría la efectividad de un mecanismo que busque aproximar para cada entidad el volumen de tiro que se le debe asignar según el modelo a su estimado cañero.

Métodos utilizados

Fundamentos metodológicos

Se aplica el método científico en sus dos enfoques principales: la reproducibilidad y la refutabilidad. El primero es la capacidad de repetir el experimento en diferentes unidades y con diferentes personas; el segundo se basa en que toda propuesta científica tiene que ser susceptible de ser refutada por el decisor, lo que implica que en el caso de que los resultados sean distintos a los previstos, se negaría la hipótesis puesta a prueba.

En el procesamiento de la base informativa se efectúa un análisis de las condiciones objetivas y subjetivas basadas en la Teoría de las Restricciones. Se utilizaron técnicas de trabajo grupal, entrevistas, participación en las juntas directivas y en las asambleas de los asociados, así como en las plenarias económicas. Se emplearon los métodos de la Modelación Económico –Matemática, en particular, modelos de Programación Lineal y Programación Meta para la toma de la mejor decisión desde el punto de vista de la calidad y la eficiencia económica.

Caracterización de la UEB central azucarero “Paquito Rosales”. Valoración del comportamiento de los principales indicadores físicos fabriles durante el período 2011-2014

La UEB central azucarero “Paquito Rosales” está situada en el poblado Dos Caminos en el municipio San Luis de la provincia Santiago de Cuba. El central se subordina a la

Empresa Provincial Azucarera Santiago de Cuba. Las principales producciones son azúcar crudo, miel final, cachaza, bagazo, servicios prestados y energía eléctrica.

El comportamiento de la producción de azúcar en los últimos cuatro años (2011-2014) ha sido inestable, debido a numerosos factores como la calidad de la materia prima (caña), así como factores operacionales y de control del proceso⁵.

La principal causa de la cantidad de azúcar dejada de producir por problemas industriales es el bajo aprovechamiento del Rendimiento Potencial Cañero (RPC) lo cual se evidencia en la tabla 1, donde se muestra el comportamiento de los principales indicadores físicos de calidad de la materia prima en el período 2011-2014. Entre las razones del comportamiento desfavorable de este indicador conviene resaltar el alto porcentaje de materia extraña (8,25) y de caña atrasada (30,91).

Tabla 1: Indicadores físicos de calidad de la materia prima en el período 2011-2014, en la UEB central azucarero “Paquito Rosales”

Indicadores	2011	2012	2013	2014	Período
Materia Extraña (%)	7,41	8,24	9,84	7,51	8,25
Caña Atrasada (%)	42,57	31,13	23,18	26,76	30,91
RPC (%)	11,18	11,52	10,97	10,45	11,03
Caña Quemada (%)	19,23	21,44	22,02	29,95	22,99

Fuente: Información suministrada por la UEB central azucarero “Paquito Rosales”

Otra peculiaridad a resaltar es que de las afectaciones económico – financieras producidas a la zafra por tiempo perdido, una buena parte de la cuantía monetaria de la afectación total tiene su causa en el tiempo que se pierde por falta de caña. En esta situación influye el hecho de que el monto del tiro de la caña de las entidades subordinadas solo alcanza el 46 % de la norma de molida potencial. Las acciones para cubrir el déficit de caña con volúmenes provenientes de otras entidades han contribuido a obtener un costo de producción más elevado.

A partir de aquí se plantea la situación problemática: altos costos de la producción de azúcar por elevados gastos de insumos y materias primas, motivados, fundamentalmente, por la baja calidad de la materia prima. Este problema corrobora lo

⁵ Pedro Pérez Felipe en su artículo “Ligera recuperación de la producción de azúcar”, publicado en el periódico Sierra Maestra el 25 de febrero de 2012 señala: “En general la producción de azúcar en Santiago se ve afectada fundamentalmente porque no se cumple la norma potencial diaria de molida. A pesar de que todos los centrales incrementan la molida en febrero respecto a enero, los valores materializados no se corresponden con lo planificado, con incidencia de interrupciones operativas industriales y problemas agrícolas”.

planteado anteriormente en relación con la necesidad de elevar desde la fase de planificación la calidad de la caña globalmente para el conjunto de las entidades subordinadas.

Formulación general del problema para el planteamiento matemático

Dado un central azucarero donde se quiere gestionar la planificación de la cosecha cañera en función de obtener la mejor estructura de tiro, se cuenta con n entidades cañeras y con m tipos de cosechas, se conocen a nivel de entidad y/o central los valores de los indicadores principales que se obtuvieron en la zafra precedente y otras anteriores y/o normarán la actual contienda en cuanto a: tiro operacional y potencial, tiempo para el tiro de la caña mecanizada y manual, caña atrasada y materia extraña, así como el presupuesto de gastos que dispone cada entidad para la zafra actual, la cantidad máxima de entidades que contará con aseguramiento para su mecanización y el listado de los campos que serán cortados en cada entidad junto a una ficha de cada uno de ellos que se obtiene de la vinculación entre SICE y SISCOR y abarca variedad y cepa sembradas, extensión, edad, número de cortes y si se puede cosechar de manera mecanizada o no.

Con estos elementos el problema sería construir un modelo matemático de Programación Meta sin prioridades, cuya solución brinde a la UEB central azucarero la mejor estructura de tiro por entidades capaz de proyectar el mejoramiento, con respecto a la planificación tradicional, de los parámetros de calidad de la materia prima y la eficiencia económica.

Planteamiento matemático general

A partir de la formulación anterior el planteamiento matemático general sería el siguiente:

Índices

i - Tipo de cosecha; $i = 1, 2$ (manual=1, mecanizada =2)

j - Entidades cañeras; $j = 1, 2, 3, \dots, n$

Variables

Y_j - variable binaria que toma valor 0 si no se debe efectuar el tiro mecanizado en la entidad j y 1 en caso contrario.

X_{ij} - cantidad total de toneladas métricas de caña de cosecha del tipo i que se deben tirar por la entidad j durante toda la zafra.

Parámetros

T – Duración de la zafra en días. Se determina dos meses antes del comienzo de la zafra a partir del análisis de los estimados del SICE de Octubre 30

NP – Norma de tiro potencial diaria medida en toneladas métricas. Se obtiene de los parámetros del central

NTP – Norma de tiro potencial para la zafra medida en toneladas métricas. No considera la disponibilidad de materia prima y solo se enfoca en la de medios técnicos pues se calcula según la fórmula:

$$NTP = T * NP$$

RPC_j – Promedio del rendimiento potencial de la caña en la entidad j en %.

RG_j – Promedio de rendimiento guía de la caña en la entidad j en %.

MER_j – Promedio en % de materia extraña de la entidad j . Se obtiene del valor de la zafra anterior.

MEP – Norma de materia extraña de las entidades, en %. Se obtiene de los parámetros del central

F_{ij} – Promedio de frescura de la caña cosechada de forma i en la entidad j , en horas. Se obtiene del valor de la zafra anterior

N – Norma del promedio de frescura de la cosecha manual y mecanizada, en horas.

CAR_j – Promedio de caña atrasada (más de 12 horas) de la entidad j , en %.

CAN – Norma de caña atrasada (más de 12 horas) del central, en %.

GC_{ij} – Promedio de gastos de una tonelada de cosecha del tipo i en la entidad j por concepto de corte, alza y tiro en la zafra que se proyecta, en CUP por toneladas (CUP/t). Se obtiene del valor de la ficha de costo de la zafra anterior.

PGC – Presupuesto de gastos total para corte, alza y tiro en CUP. Se obtiene del Departamento de Contabilidad y Finanzas de la UEB atención a productores.

PGC_j – Presupuesto de gastos total para corte, alza y tiro en CUP en la entidad j . Se obtiene del Departamento de Contabilidad y Finanzas de la UEB atención a productores.

VTE_j – Volumen de tiro esperado de la entidad j . Se calcula sumando los volúmenes de tiro pronosticados en Octubre 30 y almacenados en el SICE para cada campo de la entidad j que se va a cosechar.

$LMin_j$ – Límite mínimo de tiro en la entidad j , en toneladas métricas. Se calcula de la siguiente manera:

$$LMin_j = RMin_j * S_j$$

donde

$RMin_j$ es el rendimiento agrícola global mínimo estimado para la zafra en la entidad j . Se obtiene del criterio de expertos.

S_j es la superficie total que será cosechada durante la zafra en la entidad j . Se obtiene de la estrategia de corte suministrada por el SISCOR.

$LMax_j$ - Límite máximo de tiro en la entidad j , en toneladas métricas. Se calcula de la siguiente manera:

$$LMax_j = RMax_j * S_j$$

donde

$RMax_j$ es el rendimiento agrícola global máximo estimado para la zafra en la entidad j . Se obtiene del criterio de expertos.

$CMax_j$ – Máximo de toneladas métricas que pueden ser cosechadas mecánicamente en la entidad j . Se obtiene de sumar los volúmenes esperados de tiro de los campos de la entidad j que serán cosechados mecánicamente.

$CMin_j$ – Mínimo de toneladas métricas que pueden ser cosechadas mecánicamente en la entidad j . Es el volumen esperado de tiro del campo de la entidad j que menor pronóstico tiene en este aspecto.

M – Cantidad máxima de entidades para la que se dispone de aseguramiento para su mecanización

$W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7$ - Pesos de las metas en la Función Objetivo. Se obtiene del criterio de expertos.

Conjuntos de restricciones

- 1) Cumplimiento del plan de cosecha cañera

$$\sum_{i,j} X_{ij} + D_1^- - D_1^+ = NTP$$

- 2) Cumplimiento de la norma de RPC

$$(RPC_j - RG_j) \sum_i X_{ij} + D_{2j}^- - D_{2j}^+ = 0; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

- 3) Observancia del límite máximo de materia extraña

$$\sum_{i,j} (MER_j - MEP) X_{ij} + D_3^- - D_3^+ = 0$$

- 4) Observancia del límite máximo del tiempo de espera de la caña cortada

$$\sum_{i,j} (F_{ij} - N) X_{ij} + D_4^- - D_4^+ = 0$$

- 5) Observancia del límite máximo de caña atrasada

$$\sum_j (CAR_j - CAN) \sum_i X_{ij} + D_5^- - D_5^+ = 0$$

- 6) Minimización de las desviaciones por entidad con respecto a lo estimado

$$\sum_i X_{ij} + D_{6j}^- - D_{6j}^+ = VTE_j; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

- 7) Minimización del costo global de corte, alza y tiro de una tonelada métrica de caña

$$\sum_{i,j} GC_{ij}X_{ij} + D_7^- - D_7^+ = PGC$$

- 8) Observancia de los volúmenes máximo y mínimo de cosecha por entidad

$$LMin_j \leq \sum_i X_{ij} \leq LMax_j; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

- 9) Observancia del presupuesto de gastos por entidad

$$\sum_i GC_{ij}X_{ij} \leq PGC_j; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

- 10) Observancia de los volúmenes máximo y mínimo de cosecha mecanizada por entidad

$$CMin_j Y_j \leq X_{2j} \leq CMax_j Y_j; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

- 11) Observancia de la cantidad máxima de entidades para la que se dispone de aseguramiento para su mecanización

$$\sum_j Y_j \leq M$$

- 12) Restricciones de no negatividad

$$X_{ij}, Y_j, D_1^-, D_1^+, D_{2j}^-, D_{2j}^+, D_3^-, D_3^+, D_4^-, D_4^+, D_5^-, D_5^+, D_{6j}^-, D_{6j}^+, D_7^-, D_7^+ \geq 0; \quad \forall i, j$$

Teniendo en cuenta la formulación y los propósitos de las restricciones la **Función Objetivo** adoptó la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & W_1 D_1^- + W_2 \sum_j D_{2j}^- + W_3 D_3^+ + W_4 D_4^+ + W_5 D_5^+ \\ & + W_6 \sum_j (D_{6j}^- + D_{6j}^+) - W_7 D_7^+ \end{aligned}$$

Una vez confeccionado el modelo solo resta definir las variables de desviación que se le han incorporado:

D_1^- y D_1^+ - sublogro y sobrelogro de la restricción 1.

D_{2j}^- y D_{2j}^+ - sublogros y sobrelogros de la restricción 2 por entidades j.

D_3^- y D_3^+ - sublogro y sobrelogro de la restricción 3.

D_4^- y D_4^+ - sublogro y sobrelogro de la restricción 4.

D_5^- y D_5^+ - sublogro y sobrelogro de la restricción 5.

D_{6j}^- y D_{6j}^+ - sublogro y sobrelogro de la restricción 6 por entidades j.

D_7^- y D_7^+ - sublogro y sobrelogro de la restricción 7.

Estimación del RPC, Rendimiento Guía y la diferencia de ambos

La estimación de estos tres valores, indicativos del potencial azucarero de las entidades cañeras, reviste una gran importancia. Fundamentalmente, el RPC resume, como ningún otro indicador, la calidad de la materia prima que llega a la industria. Sin embargo, la multiplicidad de factores que influyen en este hace compleja su predicción. Esta es la razón por la cual se decidió no colocarle una norma a nivel de central pues, entre otros factores, la composición de la materia prima ejerce una significativa influencia en su comportamiento. Este fenómeno no ocurre en los indicadores del modelo definidos en el acápite anterior, que solo se encuentran determinados por una adecuada dirección y gestión, por parte de las entidades, de los recursos humanos, materiales y financieros puestos en función de la cosecha cañera. Esta ha sido la razón por la cual se decidió atribuirle a estos últimos parámetros un comportamiento igual de una zafra a la otra.

Se han efectuado diversos análisis para determinar los factores que permiten proyectar los indicadores de calidad que aquí se estudian. Entre estos trabajos resaltan los que se apoyan en el uso de técnicas estadísticas. Un ejemplo de dichos trabajos es el artículo "Modelación matemática del comportamiento del RPC para mejorar la calidad

tecnológica de la caña en el basculador” realizado por Gilda Jiménez López, del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar publicado en el No. 2 del 2008 de la revista Cuba & Caña (Jiménez, 2008). En dicho artículo, después de usar la técnica de Análisis Multivariado, se arribó a una función de respuesta basada en la regresión lineal múltiple donde están representadas, junto a factores externos como el porcentaje de caña atrasada y de materia extraña, las características de composición de la materia prima útil más determinantes en el RPC dentro del entorno de la provincia Pinar del Río. Este análisis sería aplicable al rendimiento guía, con la salvedad de ignorar los factores externos, y aconsejable para la estimación de la diferencia de ambos teniendo en cuenta la imposibilidad de establecer el grado de incertidumbre en que se incurre al predecir una variable por fórmulas determinísticas que dependan de valores estimados.

Debido a la disponibilidad de toda la información primaria computarizada que fue usada para obtener el conjunto de las variables significativas en el software de zafra Zf-38, de uso nacional hasta el presente, es factible repetir el procedimiento de estimación en el entorno de cualquier central del país y, particularmente, en el territorio santiaguero. El análisis de regresión, además, puede ser enriquecido a través de la aplicación de tests de validación a la regresión, fácilmente viables en el CEIA debido a la existencia del Sistema Informático para el Cálculo de Estimados de la Producción y los Servicios (SICEP).

Resultados y discusión

Estimación de los potenciales azucareros

Fueron corridos varios modelos de regresión mediante el SICEP obteniéndose las mejores funciones de respuesta a partir del modelo lineal para las tres variables dependientes declaradas con anterioridad. Inicialmente, se consideraron todos los factores que conformaban la composición varietal y de cepas (dadas en %) y la influencia externa representados por los indicadores vistos en el gráfico 1. No se incluyó en el análisis al porcentaje de caña quemada debido a que el comportamiento de esta variable es impredecible a nivel de entidad. Se eliminaron todas las variables independientes cuyos coeficientes no eran significativamente distintos de cero con un nivel de error del 5 %. Cada fila del conjunto de muestras usado corresponde a los valores almacenados para todas las variables involucradas en el análisis en una decena

determinada. De las decenas reflejadas 11 pertenecen al 2011 y al 2013 mientras 12 son del 2012 y el 2014. A continuación se ofrecen los parámetros de las funciones de respuesta obtenidas:

Tabla 2: Parámetros de las Funciones de Respuesta

Variable	REG	RPC	DIF
B0	12,47514	11,01165	1,525375
CAR	0	-0,009658	0,009756
MER	0	-0,098715	0,077643
C8751	-0,04984	0,008802	-0,056452
C8612	-0,015768	0,0119	-0,026058
B7274	0,04117	0	0,041765
C90530	0,036249	0	0,037235
SP701284	0	0,019255	-0,0178

Fuente: Vinculación SICEP-Zf-38

Utilización del modelo en la UEB central azucarero “Paquito Rosales”

Este modelo fue validado con el sistema LINDO sobre Windows, a fin de comparar los indicadores obtenidos por la planeación corriente empírica con los que arrojó la planificación basada en el modelo propuesto arrojando los resultados que se observan en la tabla 3

Tabla 3: Resultados de la validación del modelo en la UEB central azucarero “Paquito Rosales”. Zafra 2014-2015

Entidad	Estructura actual (t)			Estructura propuesta (t)		
	Manual	Mec.	Total	Manual	Mec.	Total
UBPC “San Benito”	12767,07		12767,07	13719,65		13719,65
UBPC “Mejorana”	20875,64	4835,78	25711,42	16350,79	4835,78	21186,57
UBPC “Leonor”	20663,27	3382,60	24045,87	22411,84	3382,60	25794,44
UBPC “Hechavarría”	11531,88	10080,01	21611,89	11531,88	10080,01	21611,89
UBPC “Universidad”	20839,78		20839,78	21788,91		21788,91
UBPC “Sabanilla”	23811,11		23811,11	25587,70		25587,70
UBPC “Algodonal”	11000,72		11000,72	10461,15		10461,15
UBPC “Las Mercedes”	5419,00		5419,00	4465,33		4465,33
CPA “Sabino Pupo”	19484,09		19484,09	20937,83		20937,83
CPA “Armando Ortiz”	4028,38		4028,38	4328,95		4328,95
CPA “26 de Julio”	15002,77		15002,77	15539,62		15539,62
CPA “30 de Noviembre”	10660,77		10660,77	11136,05		11136,05
CPA “Lino Álvarez”	11060,18		11060,18	11885,40		11885,40
Total			205443,04			208443,50

Fuente: Elaboración propia del autor

A modo de ejemplo se ofrece una muestra de los indicadores fundamentales en la tabla 4:

Tabla 4: Comportamiento planificado de algunos indicadores. Zafra 2014-2015

Indicadores de tiro	Planificación	
	Actual	Propuesta
Volumen total(t)	205 443,04	208 443,5
Volumen de azúcar proyectado (t)	22 105,67	22 491,05
Costo de corte, alza y tiro por tonelada métrica (CUP/t)	34,39	34,26
RPC (%)	10,76	10,79
Materia extraña (%)	6,62	6,59
Frescura (horas)	26,91	26,23
Caña atrasada (%)	24,35	23,18

Fuente: Elaboración propia del autor

Como se aprecia en la tabla 3, todos los indicadores mejoran. El mayor avance lo experimenta la caña atrasada, con una mejora del 5 %.

Se evidencia aquí que todos los indicadores que se analizaron en la tabla 1, tienen aquí mejor comportamiento que en el año 2014 de dicha tabla. Ello corrobora la conveniencia de efectuar el tiro desde las entidades subordinadas al central objeto de estudio.

A continuación se ofrece en la tabla 5 el porcentaje que representa el plan propuesto con respecto al plan que se obtiene por el SICE. Como se puede apreciar de la tabla es perfectamente factible alcanzar la estructura propuesta ya que no exigiría un sobreesfuerzo considerable. Adicionalmente, la columna en el extremo derecho podría servir de emulador integral de calidad de la materia prima, eficiencia económica y para la toma de decisiones durante la planificación operativa para la asignación de recursos materiales y financieros.

Tabla 5: Factibilidad de la estructura y emuladores de integralidad en la zafra 2014-2015

Entidades	Planificación (%)	
	Actual	Propuesta
UBPC "San Benito"	100,00	107,46
UBPC "Mejorana"	100,00	82,40
UBPC "Leonor"	100,00	107,27
UBPC "Hechavarría"	100,00	100,00
UBPC "Universidad"	100,00	104,55
UBPC "Sabanilla"	100,00	107,46
UBPC "Algodonal"	100,00	95,10
UBPC "Las Mercedes"	100,00	82,40
CPA "Sabino Pupo"	100,00	107,46
CPA "Armando Ortiz"	100,00	107,46
CPA "26 de Julio"	100,00	103,58
CPA "30 de Noviembre"	100,00	104,46
CPA "Lino Álvarez"	100,00	107,46
Total	100,00	101,46

Fuente: Elaboración propia del autor

Más allá de que la toma de decisiones durante la planificación operativa esté dirigida a la materialización de la estructura propuesta por el modelo, no debe soslayarse la faceta predictiva del mismo. Lo anterior viene dado por el hecho de que la asignación implícita de rendimientos a las entidades incorpora de manera indirecta, al comportamiento histórico de las estructuras de variedades y cepas existentes, la situación más reciente de los niveles de competencia de las entidades en la actividad de cosecha, los cuales también tienen incidencia en las actividades de siembra y cultivo.

En la tabla 6 se muestra el análisis de las desviaciones por entidad. La primera columna representa la cantidad de azúcar que se dejaría de producir por el deterioro que sufre la caña desde que es cortada hasta que llega al central. La última columna representa cuál es la variación que sufre el plan de cada entidad con respecto al plan que se obtiene del SICE.

Tabla 6: Desviaciones propuestas por entidades en la UEB central azucarero “Paquito Rosales”. Zafra 2014-2015

Entidad	Sublogro RPC (t de azúcar)	Aproximación al tiro esperado (t de caña)		
		Sublogro	Sobregro	Balance
UBPC “San Benito”	525,46		952,58	952,58
UBPC “Mejorana”	983,69	4524,85		-4524,85
UBPC “Leonor”	1225,24		1748,57	1748,57
UBPC “Hechavarría”	460,55			0,00
UBPC “Universidad”	396,56		949,13	949,13
UBPC “Sabanilla”	824,69		1776,60	1776,60
UBPC “Algodonal”	145,72	539,57		-539,57
UBPC “Las Mercedes”	201,88	953,67		-953,67
CPA “Sabino Pupo”	425,25		1453,75	1453,75
CPA “Armando Ortiz”	221,34		300,57	300,57
CPA “26 de Julio”	85,78		536,85	536,85
CPA “30 de Noviembre”	162,14		475,28	475,28
CPA “Lino Álvarez”	338,14		825,22	825,22
Total	5996,44			3000,46

Fuente: Elaboración propia del autor

Igualmente, las desviaciones globales del conjunto de entidades subordinadas ofrecen información sobre el comportamiento de la observancia del conjunto de normas técnicas para el grupo de unidades cañeras analizadas. Conviene reiterar que en el caso de la norma de tiro potencial (primera columna), esta no tiene en cuenta la disponibilidad de materia prima. El resto de los volúmenes tiene un comportamiento favorable acorde con los requerimientos del central pues ya que se originan en restricciones de cota máxima el comportamiento que se le procura es que representen sublogro como ocurre en la tabla 7.

Tabla 7: Desviaciones globales en las entidades subordinadas de la UEB central azucarero “Paquito Rosales”. Zafra 2014-2015

Indicador	Producción (t de caña)	Presupuesto (CUP)	Caña atrasada (t de caña)	Materia extraña (t)
Sublogro	116891,50	1169398,75	46635,67	3888,84

Fuente: Elaboración propia del autor

Conclusiones

1. *La metodología de Investigación de Operaciones se adapta solventemente para representar la problemática del tiro de la caña en las UEB centrales azucareros.*
2. *Los modelos de programación meta sin prioridades permiten enfrentar las alternativas presentes en el proceso estudiado propiciando a nivel de planificación una estructura del tiro que mejora los indicadores económicos y de calidad fundamentales a nivel de central, así como el sistema de evaluación y análisis de la integralidad en las unidades cañeras.*
3. *Los rendimientos agrícolas por entidades obtenidos de la estructura propuesta incorporan en su proceso de determinación factores inherentes a la calidad de la gestión en cada entidad que se analiza lo que los hace más confiables que los que se derivan de la planificación tradicional.*
4. *La expectativa de mejora de los indicadores es de hasta un 5 % en comparación con los que resultan de la planificación tradicional.*

Referencias bibliográficas

1. Zaldívar Linares, Elio David; Lora Freyre, Raimundo Juan. (2014). "Programación Meta para la optimización de la estructura de tiro en la Unidad Empresarial de Base central azucarero "Paquito Rosales" de la provincia Santiago de Cuba". *Anuario de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Vol. VI*, p. 185-198.
2. VI Congreso del Partido Comunista de Cuba. (2011). *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución*. Cuba: PCC.
3. Jiménez López, Gilda. (2008) "Modelación matemática del comportamiento del RPC para mejorar la calidad tecnológica de la caña en Basculador". *Cuba & Caña, Vol. II*, p. 41-47.
4. Pérez Felipe, Pedro. (25 de febrero de 2012). "Ligera recuperación de la producción de azúcar". Periódico *Sierra Maestra*, p. 8.
5. Rodríguez Betancourt, Ramón; Sandó Pérez, Sixto. (2012). "Pronóstico de los rendimientos agrícolas de la caña utilizando funciones de respuesta". *ATAC, Vol. I*, p 21-25.
6. Álvarez Navarro, Alejandro; Rodríguez Betancourt, Ramón. (2013). "Sistema informático para perfeccionar la cosecha cañera en empresas azucareras cubanas". *Anuario de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Vol. V*, p. 180-193.