Recibido: septiembre 2021 / Aceptado: enero 2022

Anuario Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
e-ISSN:2218-3639

La modelación económico-matemática para el perfeccionamiento del proceso de planificación operativa de la producción de azúcar en un central azucarero

The economic - mathematical modeling for the perfection of the process of operational planning of the sugar production in a sugar central

Dr. C. Rubén Guillermo Pellicer-Durán, pellicer@uo.edu.cu, https://orcid.org/0000-0003-1494-3758

Universidad de Oriente, Cuba

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal utilizar la modelación económico-matemática como herramienta para el perfeccionamiento del proceso de planificación operativa de la producción de azúcar enfocada a la industria en la Unidad Empresarial de Base (UEB) central azucarero "Julio Antonio Mella". El mismo se enmarca dentro del proceso de redimensionamiento de la industria azucarera, específicamente en la tercera reducción de centrales azucareros en Cuba. Esta acción conduce a la obtención mayores valores de azúcar comercial teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos existentes, lo cual influye en el mejoramiento de los indicadores técnico-económicos en la entidad objeto de análisis.

Palabras clave: modelación económico – matemática; planificación operativa; producción de azúcar.

Abstract

The main objective of this research is to use economic-mathematical modeling as a tool for the improvement of the operational planning process of sugar production focused on the industry in the Base Business Unit (UEB) sugar mill "Julio Antonio Mella". It is framed within the process of resizing the sugar industry, specifically in the third reduction of sugar mills in Cuba. This action leads to obtaining higher values of commercial sugar taking into account the availability of existing resources, which influences the improvement of technical-economic indicators in the entity under analysis.

Keywords: economic - mathematical modeling; operational planning; sugar production.

Introducción

Las condiciones actuales del contexto cubano centran su atención fundamentalmente en el proceso de desarrollo del modelo económico socialista, donde la eficiencia, eficacia y efectividad ocupan roles protagónicos, que requieren de un vínculo entre la necesidad de lograr organizaciones económicas caracterizadas por su competitividad y flexibilidad que demandan la utilización de herramientas con rigor científico que permitan enfrentar estos retos y a la vez estén acorde con los constantes cambios y transformaciones que a tales efectos, estas; se encuentran sometidas tanto internacionalmente como en Cuba.

La caña de azúcar, aparte de propiciar azúcar en sus formas, contiene propiedades que la hace receptora y almacenadora de energía solar, la cual la convierte en una fuente generadora de energía eléctrica partir del procesamiento del bagazo como uno de los aproximadamente 92 tipos de derivados. Dicha capacidad está orientada por la superioridad en la biomasa de los cultivos por variedades. Otros de sus derivados es el etanol para la Industria del Ron y la sustitución parcial de algunos combustibles como la gasolina y diésel empleado en el proceso agroindustrial, así como las mieles para el consumo animal.

Pese al evidente atraso tecnológico que caracteriza al sistema productivo de los centrales azucareros cubanos, las bondades anteriormente enunciadas contribuyen a la solución de varios problemas que enfrenta tanto Cuba como el resto del mundo, como la producción de alimentos, el cuidado del medio ambiente y la carencia energética, lo cual justifica la necesidad de incorporar métodos científicos que permitan, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos materiales, humanos y financieros, encontrar la mejor solución que enfrente las insuficiencias productivas en un escenario de alternativas.

Es por ello que la Unidad Empresarial de Base (UEB) Central Azucarero Julio Antonio Mella se plantea revisar y perfeccionar el proceso industrial de fabricación de azúcar. Esto tiene lugar debido a la notable diferencia entre lo planificado y lo que realmente se obtiene en los periodos diarios, semanal, mensual y a nivel de zafra.

Por las razones anteriormente planteadas se establece como objetivo de la investigación la aplicación de la modelación económico-matemática para el perfeccionamiento de la planificación operativa del proceso industrial de producción de azúcar en la UEB central azucarero “Julio Antonio Mella”.

Fundamentacion teórica

Planificación Empresarial

Los antecedentes de la planificación se remontan a los siglos XVII, XVIII y XIX. A finales de 1920, fue aprobado en la antigua Unión de República Socialista Soviética (URSS) el plan *GOELRO*, el cual preveía construir los fundamentos de la economía socialista. En febrero de 1921, por iniciativa de Lenin, fue creada la Comisión Estatal de Planificación (*Gosplan*) (Achishkin, *et al*., 1981).

Para Suárez-Espinar, M. J. (2018). Dentro del mundo empresarial la gestión presume una herramienta esencial para el desarrollo económico, ya no sólo de las propias empresas que implementan sus sistemas de gestión, igualmente para su sector de actividad o el país. El origen de la gestión empresarial no se puede asegurar con exactitud, pero muchos estudiosos de la historia aseveran que la gestión y administración de los recursos en una organización como una disciplina moderna, tiene sus comienzos a finales del siglo XIX e inicios del XX.

Por tal motivo, las ciencias económicas estudian a la planificación desde el vínculo de los elementos internos de las empresas con su entorno. Esta interrelación es un factor determinante para su conceptualización, así como la definición de sus métodos.

En este sentido, se pronuncian Beltrán, Parrales & Ledesma (2019), en el que conciben la gestión empresarial ha sido el escenario que se encarga de identificar y determinar en las empresas las diferentes estrategias que persiguen su crecimiento, haciéndolas capaces de asumir los retos de la competitividad actual.

De acuerdo con la anterior definición, la planificación es considerada dentro de la gestión empresarial como el primer instrumento administrativo visto como un proceso, y cuyos elementos comunes permiten concluir que la planificación empresarial es la función administrativa que determina anticipadamente cuáles son los objetivos que deben alcanzarse, se trata de un modelo teórico para la acción futura.

Algunos autores tales como Stoner, Freeman y Gilbert (1997), plantean que la planificación operativa es un plan que suministra los detalles para alcanzar los planes estratégicos. Es considerada una subdivisión de los planes tácticos en cada departamento en planes operacionales para cada tarea. Se refiere a las actividades que se realizan de manera cotidiana, para mantener el ritmo de la operación del área correspondiente. Tiene su enfoque en el presente, es donde se desarrollan las actividades que conforman el

cumplimiento de metas que, en su conjunto, permiten lograr los objetivos propuestos. Se diferencia de la planeación táctica en que esta última se refiere a la puesta en marcha y los planes operativos indican la manera en que se pretende llevar a cabo la operación a partir de la previa definición de los recursos con los que se llevará a cabo el plan de acción para conseguir metas específicas.

Para Zaldivar, Hernández, Chávez, Carmona & Figueredo (2020) la Planificación Operativa posibilita una mayor coincidencia entre lo que aspira la dirección y lo que debe proponerse cada miembro de la organización, garantizando que todo el personal se encuentre identificado con las tareas a desempeñar, las metas a alcanzar y las prioridades establecidas.

En este contexto, puede afirmarse que la tarea de este tipo de planificación es garantizar la prosecución sistemática de un programa de objetivos económicos y sociales alcanzables principalmente a corto plazo, teniendo en cuenta según sea el caso el uso de herramientas matemáticas que posibilitan la definición de planes de acuerdo con los recursos disponibles, los factores actuantes y las metas a alcanzar.

Modelación Económico-Matemática

Entre finales de la década de 1930 hasta 1940, surgió la programación matemática como una ciencia capaz de resolver problemas de planificación directamente vinculada a las demandas de la Segunda Guerra Mundial y para enfrentar las exigencias de las grandes compañías. De esta ciencia se derivaron nuevas disciplinas que han evolucionado acorde a los cambios y necesidades relacionadas con la planificación empresarial. Por la importancia que revierte la aplicación de los modelos matemáticos en el sector empresarial, así como los resultados favorables que dan respuesta a diversos problemas enfocados principalmente a los planes productivos.

Son varias las investigaciones en las cuales es utilizada la modelación económico-matemática en la industria azucarera; es el caso de Merino, Acebes, Mazaeda y de Prada (2009) en el cual ofrece una gran versatilidad en la utilización de la librería en aplicaciones como el diseño de controladores, los simuladores de entrenamiento o la utilización de los modelos como fuente de datos en herramientas de optimización en línea de procesos. También es el caso de Alberto (2012) haciendo énfasis en el estudio del tiempo de residencia para clarificadores de la industria azucarera con alimentación periférica y central, a partir de un modelo matemático.

De ahí que Hillier y Lieberman (2017) en su novena edición del libro Investigación de Operaciones, específicamente sobre la Programación Lineal Paramétrica (PLP) aborda un estudio sistemático de los cambios en la solución óptima cuando cambia el valor de varios parámetros simultáneamente dentro de un intervalo.

Por otro lado, Zaldumbide & Rodríguez (2017), aplica una propuesta basada en las técnicas de optimización con el objetivo de incrementar la eficiencia en la Planta de Cárnicos de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador, con lo cual se logró elevar las utilidades de la empresa hasta un 7 %.

Es el caso de Pellicer, Rodríguez & Castellanos (2018), el cual propone un procedimiento para perfeccionar la planificación operativa del proceso industrial de producción de azúcar, con lo cual se logra minimizar las brechas existentes entre los valores planificados con los reales obtenidos, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos existentes, donde se define a la Modelación Económico-Matemática como herramienta que posibilita optimizar la producción azucarera a nivel de planificación operativa, lo cual demuestra una mejor descripción y comprensión acerca del comportamiento de los indicadores técnico-económicos.

Por último, Díaz (2022). Desarrolló una metodología para la articulación de cadenas productivas como alternativa de mejora del proceso de compra hotelera en la cual se calculan las cantidades de suministradores de productos agrícolas con el objetivo de determinar e valor máximo de las utilidades.

A partir de considerar la aplicación de la Modelación Económico-Matemática, de conjunto con las características del problema de la industria azucarera en Cuba dirigido al balance de materiales, se seleccionó la PLP del conjunto de técnicas posible a utilizar debido a que admite el cambio de los coeficientes económicos (presentes en la función objetivo), coeficientes tecnológicos (valores unitarios asociados al uso de los recursos en el conjunto de restricciones) y términos independientes (disponibilidades de recursos y valores mínimos admitidos de acuerdo con las características físicas del flujo productivo en la casa de calderas).

Dicho modelo de PLP es aplicado desde el escenario diario hasta la zafra; de igual, forma el conjunto de restricciones asume indicadores técnicos que participan en el balance de materiales, tales como: brix y pureza de la materia prima por subproceso; rendimiento industrial promedio en la zafra. El indicador económico de mayor relevancia es el costo diario y total, en pesos de azúcar comercial. Por último, los indicadores físicos analizados

son: desviación típica del azúcar capacidad de los tachos, de los molinos, de la centrífuga y de envase de azúcar; límite mínimo y máximo de cristales en la masa cocida por templas; límite mínimo y máximo de la relación semilla azúcar plan diario de azúcar. Estos indicadores pueden ser determinados utilizando técnicas estadísticas, criterios de expertos, entre otros.

Producción azucarera en Empresa Azucarera (EA) Santiago de Cuba

Desde el inicio del presente siglo hasta la actualidad, la producción de azúcar en Cuba mantiene índices considerablemente inferiores a los planificados. No obstante, el Grupo Empresarial AZCUBA cuenta con una empresa encargada de desarrollar sistemas de planificación y control a UEB centrales azucareros del país, llamado DATAZUCAR; sin embargo, la fase industrial no ha sido tratada teniendo en cuenta un análisis con enfoque al balance de materiales.

La exhaustiva revisión de documentos de la EA Santiago de Cuba, en los cuáles se constataron estudios de diagnóstico estratégico, reportes de incidencias y evaluaciones realizadas en zafras anteriores, permitieron confirmar la carencia de un proceso secuencial de la planificación operativa de la producción de azúcar en el central de referencia, que responda a sus necesidades y expectativas. Las principales deficiencias detectadas son:

1- Problemas en la elaboración de los planes operativos (diarios) teniendo en cuenta las entradas de materiales a la industria.
2- En la planificación operativa, fundamentalmente en la estación de tachos, prevalecen los procedimientos empíricos para la selección de balances de materiales óptimos. Lo cual afecta el comportamiento de los principales indicadores industriales.
3- Carecen de la aplicación de las TICS que permita una correcta confección del plan.
4- Desconocimiento por parte de los productores de las verdaderas potencialidades con las que cuentan.
5- Cifras que emite el organismo superior que no se acompañan con los recursos correspondientes para su realización.

Métodos

Planteamiento del modelo económico-matemático y su solución

La elección del modelo económico-matemático a utilizar se justifica mediante los siguientes elementos:

- Se parte que en todo el proceso existe linealidad, lo cual significa que otros tipos de procesos no tienen lugar.
- Los procesos de balances de materiales están en dependencia de los cambios de brix y pureza de la meladura, por tanto la aplicación de la programación lineal implicaría realizar un modelo para cada cambio de combinaciones de brix y pureza de la meladura.
- Los modelos de programación por metas podían ser utilizados teniendo en cuenta que la fábrica cuenta con metas de RPC y metas de producción de azúcar, planteándose el mismo problema considerado en el punto anterior.
- Una elección favorable seria la utilización de la programación lineal paramétrica, ya que los limites inferiores y superiores del parámetro a utilizar conllevaría a un gran número de combinaciones de brix y pureza con el mismo balance de materiales.

Con esta justificación tiene lugar el siguiente planteamiento del modelo de programación lineal paramétrico, el cual significa que la variación de algún valor, implica matemáticamente un ajuste del resto de los parámetros, es por ello que se considera una extensión del análisis de sensibilidad, el cual se limita a determinar el efecto de la función objetivo al cambiar el valor de uno de sus parámetros.

Definiciones de los índices, parámetros y las variables:

Índices:

i→ destino de la meladura i= 1,…, 3

j→ templas j = 1,…, 3

k→ miel k= 1,…, 3

q→ semillaq= 1 y 2

p→ azúcar p= 1,…, 3

Parámetros:

$C_p´$→ Combinación de brix y pureza (%) de azúcar comercial

$C_p´´$→ Desviación típica para la media de azúcar de tipo p

λ → Parámetro a determinar, toma valor dentro del conjunto de los números reales

M→ Capacidad de los molinos en t de caña de azúcar

N→ Capacidad de los clarificadores en t de jugo mezclado

O→ Capacidad de los evaporadores en t de jugo clarificado

D_i→ Capacidad del tacho i en toneladas t de Masa Cocida (MC)

L_i→ Capacidad del cristalizador i en toneladas t

C_p→ Capacidad de la centrífuga para azúcar p en t

LA_j→ Límite máximo de cristales en MC en la templa j en t

LI_j→ Límite mínimo de cristales en MC en la templa j en t

MA_j→ Límite máximo de la relación semilla-azúcar en MC en la templa j en t

MI_j→ Límite mínimo de la relación semilla-azúcar en MC en la templa j en t

B_1→ Brix de la meladura

B_2→ Brix de MC de 1era

B_3→ Brix de MC de 2da

B_4→ Brix de miel de 1era

B_5→ Brix de miel de 2da

B_6→ Brix de semilla

B_7→ Brix de MC de 3era

B_8→ Brix de la miel final

B_9→ Brix de azúcar de 3era

P_1→ Pureza de la meladura

P_2→ Pureza de MC de 1era

P_3→ Pureza de MC de 2da

P_4→ Pureza de miel de 1era

P_5→ Pureza de miel de 2da

P_6→ Pureza de semilla

P_7→ Pureza de MC de 3era

P_8→ Pureza de la miel final

P_9→ Pureza de azúcar de 3era

P_{10}→ Pureza de azúcar comercial

S→ Plan diario de azúcar en t

A_p→ Coeficiente de conversión de azúcar de tipo p contenido en la caña

B_p→ Coeficiente de conversión de azúcar de tipo p contenido en jugo mezclado

Fp→ Coeficiente de conversión de azúcar de tipo p contenido en jugo clarificado.

Los siguientes parámetros fueron calculados específicamente para el área de la casa de calderas mediante la ficha de costo del azúcar crudo B 96:

MAp→Costo diario de materia prima y materiales, en pesos, de azúcar de tipo (1 y 2)

MAT →Costo Total diario de materia prima y materiales, en pesos, de azúcar comercial

SA_p→Costo diario de salario, en pesos, de azúcar de tipo (1 y 2)

SAT →Costo Total diario de salario, en pesos, de azúcar comercial

GD_p→Costo diario de otros gastos directos, en pesos, de azúcar de tipo (1 y 2)

GDT →Costo Total diario de otros gastos directos, en pesos, de azúcar comercial

GP_p→Costo diario de gastos asociados a la producción, en pesos, de azúcar de tipo p (1 y 2)

GPT →Costo Total diario de gastos asociados a la producción, en pesos, de azúcar

comercial

Variables:

X_i→ Toneladas de meladura a suministrar al tacho i

Y_j→ Toneladas de MC en la templa j

Z_k→ Toneladas de miel de tipo k

U_q→ Toneladas de semilla de tipo q

W_p→ Toneladas de azúcar de tipo p

Restricciones:

1. Balance de sacarosa en el sistema:

$$\sum_{i=1}^{3} B_i P_i X_i - P_{12} \sum_{p=1}^{2} W_p - B_{11} P_{11} W_3 - B_{10} P_{10} Z_3 = 0$$

Restricciones de balance para cada tipo de templa:

2. En la templa A:

$$B_1 P_1 X_1 + B_8 P_8 U_1 - B_4 P_4 Y_1 = 0$$

3. En la templa B:

$$B_2 P_2 X_2 + B_8 P_8 U_2 + B_6 P_6 Z_1 - B_5 P_5 Y_2 = 0$$

4. Por último, en la templa C:

$$B_3 P_3 X_3 + B_6 P_6 Z_1 + B_7 P_7 Z_2 - B_9 P_9 Y_3 = 0$$

5. Restricciones de requerimientos tecnológicos de t de azúcar de tipo p y toneladas de MC en la templa j:

$$LI_j Y_j \leq W_p \leq LA_j Y_j$$

$p = 1,\ldots, 3 \qquad j = 1,\ldots, 3 \qquad j = p$

6. Restricciones de requerimientos tecnológicos de proporción de t de azúcar de tipo p y toneladas semilla de tipo q:

$$MI_j U_q \leq W_p \leq MA_j U_q$$

$j = 1 \text{ y } 2 \qquad p = 1 \text{ y } 2 \qquad q = 1 \text{ y } 2 \qquad j = p = q$

También se incluyen restricciones de capacidad para molinos, clarificadores, evaporadores, tachos, cristalizadores y centrífuga.

7. La de los molinos es:

$$\sum_{p=1}^{3} A_p W_p \leq M$$

8. La de capacidad en el clarificador es:

$$\sum_{p=1}^{3} B_p W_p \leq N$$

9. La de capacidad en los evaporadores es:

$$\sum_{p=1}^{3} F_p W_p \leq O$$

10. La restricción de capacidad en los tachos es:

$$Y_j \leq D_j$$

$j = 1,\ldots, 3$

11. La restricción de capacidad en los cristalizadores es:

$$Y_j \leq L_j \qquad j = 1,\ldots, 3$$

12. Restricción de capacidad en la centrífuga:

$$W_p \leq C_p \qquad p = 1,\ldots, 3$$

13. De igual forma, se tiene la restricción para el plan diario de azúcar, donde:

$$\sum_{p=1}^{2} W_p \geq S$$

Por último, las restricciones de Gastos.

14. Restricción de materias primas y materiales:

$$\sum_{p=1}^{2} MA_p W_p \leq MAT$$

15. Restricción de salario:

$$\sum_{p=1}^{2} SA_p W_p \leq SAT$$

16. Restricción de otros gastos directos:

$$\sum_{p=1}^{2} GD_p W_p \leq GDT$$

17. Restricción de gastos asociados a la producción:

$$\sum_{p=1}^{2} GP_p W_p \leq GPT$$

Restricciones de no negatividad:

$$X_i \geq 0 \qquad i = 1,\ldots, 3$$

$Y_j \geq 0$ $\quad$ $j = 1,\ldots, 3$

$Z_k \geq 0$ $\quad$ $k = 1,\ldots, 3$

$U_q \geq 0$ $\quad$ $q = 1$ y 2

$W_p \geq 0$ $\quad$ $p = 1,\ldots, 3$

Función objetivo:

La función objetivo maximiza la cantidad de azúcar comercial a obtener, suministrando la mayor cantidad de meladura a los tachos, mediante la función:

$$\mathbf{Max}\ Z_{(\lambda)} = \sum_{i=1}^{2} \left(C_i^{'} + C_i^{''}\lambda\right) X_i$$

Sobre la función objetivo:

La función objetivo indica maximizar la cantidad de azúcar en el periodo que se determine. Esta cantidad depende del parámetro λ para un límite inferior y superior. Es decir, para este límite la cantidad de azúcar máxima variará según el intervalo de λ.

Resultados

Con el objetivo de operacionalizar el modelo de Programación Lineal Paramétrico, fue necesario aplicar el Sistema Informático desarrollado por Pellicer, Aguilera, Roja & Fajardo (2019). La etapa de prueba y corrección de la solución comprendió diferentes fechas, del 1 de diciembre 2020 al 30 de junio 2021, de acuerdo con la dirección de la industria, teniendo en cuenta la estabilidad de molida en ese periodo. El reporte de salida para el día 15 de mayo del 2021 para un intervalo de $0 \leq \lambda \leq 0{,}29549$ se presenta siguiente tabla:

Tabla 1 Reporte resumido de la solución del 10 de enero del 2020 (zafra 2020-2021) de la UEB Central Azucarero "Julio Antonio Mella"

Variables esenciales	Conversión de las variables en el planteamiento	Valor de la solución (t)
X1	Toneladas de meladura a suministrar al tacho 1	231,45
X2	Toneladas de meladura a suministrar al tacho 2	204,42
X3	Toneladas de meladura a suministrar al tacho 3	142,3
W1	**Toneladas de azúcar de tipo 1**	**90,14**

W2	**Toneladas de azúcar de tipo 2**	**56,07**
W3	Toneladas de azúcar de tipo 3	59,85
U1	Toneladas de semilla de tipo 1	105,30
U2	Toneladas de semilla de tipo 2	106,27
Y1	Toneladas de MC en la templa 1	202,37
Y2	Toneladas de MC en la templa 2	215,21
Y3	Toneladas de MC en la templa 3	121,88
Z1	Toneladas de miel de tipo 1	0
Z2	Toneladas de miel de tipo 2	0
Z3	Toneladas de miel de tipo 3	342,10

Los valores de la tabla 1 muestran los resultados de las variables que maneja el referido modelo económico-matemático. Las variables W1 y W2 muestran las respectivas cantidades de azúcar comercial, teniendo en cuenta las combinaciones de brix y pureza acorde para ese día y la utilización de los recursos disponibles, lo cual significa que a nivel de planificación se obtienen 146,21 t de azúcar.

El intervalo de λ permite conocer cuál es la posibilidad máxima de azúcar del central, la estación de tachos representa el cuello de botella que impide un aumento en los niveles de producción ya que la holgura en los tachos 1 y 2 es igual a cero. La tabla 2 muestra el cuello de botella en el proceso tecnológico:

Tabla 2. Holguras en el proceso tecnológico por orden cuantitativo

Subprocesos	UM	Holguras
Capacidad en el tacho 1	t	0
Capacidad en el tacho 2	t	0
Plan diario de azúcar	t	43,6
Capacidad en el tacho 3	t	11,18
Capacidad de la centrífuga 3	t	57
Capacidad para molinos	t	86,12
Capacidad de la centrífuga 2	t	38,45
Capacidad de la centrífuga 1	t	29,85
Capacidad en el cristalizador	t	178,5
Capacidad en el clarificador	t	48,75
Capacidad en el evaporador	t	82,17
Restricción de costo	$	41452,81

En cuanto al indicador económico representado por la restricción de costo, el mismo presenta una variable de holgura de $ 41452,81, lo cual significa que los costos pueden disminuir aproximadamente en el valor de esa variable. La variable de holgura asociada al tercer tacho es de 11,18 t de MC, lo cual representa alrededor de 6 t de azúcar que el central deja de percibir por las limitadas capacidad (t) es de los tachos 1 y 2.

El comportamiento de los niveles planificados, así como el análisis de los valores reales con respecto a los que el modelo brinda, teniendo en cuenta las mismas combinaciones

de brix y pureza de la meladura por tipos y la misma utilización de los recursos disponibles en la entidad objeto de análisis para los 10 días de zafra se presenta en la siguiente tabla 3:

Tabla 3 Análisis de la aplicación del modelo en 10 días de la zafra 2020-2021

Zafra 2019-2020	Brix (%)	Pureza (%)	Plan (t)	Real (t)	Diferencia Real-Plan (t)	Modelo (t)	Diferencia Modelo-Real (t)
1/12/2019	60	80	50,71	64,48	**13,77**	66,14	**2,66**
8/12/2019	58	81	70,2	84,03	**13,83**	87,52	**3,49**
10/01/2020	63	82	140,2	134,54	**(5,66)**	136,07	**1,53**
18/01/2020	**62**	**80**	**165,6**	**142,63**	**(22,97)**	**146,21**	**3,58**
02/02/2020	59	83	154,9	161,2	**6,3**	163,08	**1,88**
26/02/2020	61	84	177,3	164,09	**(13,21)**	166,98	**2,89**
19/03/2020	61	83	159,2	145,21	**(13,99)**	146,41	**1,2**
28/04/2020	60	81	150,8	159,4	**8,6**	162,95	**3,55**
06/05/2020	58	80	160,4	152,7	**(7,7)**	156,8	**4,1**
15/05/2020	59	83	147,3	172,46	**25,12**	174,59	**2,13**

El análisis de la tabla 3 muestra las brechas entre los valores planificados por la entidad y los reales obtenidos. Como se puede apreciar las diferencias se expresan en alrededor de un 17 % tanto por defecto como por exceso, lo que representa una diferencia bajo las mismas condiciones de cumplimiento del plan de 23 t aproximadamente.

Por otro lado, los valores que propone el nuevo procedimiento garantizan un acercamiento favorable a los valores que realmente se obtuvieron en los días seleccionados, así como la obtención de un promedio de 1,75 t de azúcar comercial por encima del real obtenido.

La aplicación de la Programación Lineal Paramétrica permite demostrar una alternativa para mejorar la planificación en la UEB central azucarero objeto de estudio, ya que los resultados que propone el modelo en 10 días de zafra, muestran una notable disminución de las brechas entre lo real obtenido y con respecto a la propuesta del modelo. Lo anterior

implica un mejoramiento a nivel de planificación en los indicadores técnico-económicos, lo que redunda en el aumento de la eficiencia del central.

Conclusiones

1. ***Del análisis de los diferentes conceptos se asume a la planificación empresarial como primera función de la gestión, que se orienta al logro de los principales objetivos de la organización, al uso racional de los recursos.***
2. ***Se definen las principales deficiencias en el escenario industrial, lo cual se identificó como elemento principal la insuficiente elaboración de los planes operativos (diarios) teniendo en cuenta las entradas de materiales a la industria.***
3. ***El modelo propuesto tiene como eje central la aplicación de la Programación Lineal Paramétrica para el perfeccionamiento de la planificación operativa del proceso industrial de producción de azúcar en la UEB central azucarero "Julio Antonio Mella".***
4. ***El uso de la modelación económico-matemática permite desde el punto de vista de la planificación, incrementar la producción entre un 2 y un 7 % tanto en el análisis por días de zafra, así como el uso racional de los recursos disponibles, lo cual influye en el mejoramiento de los indicadores técnico-económicos en la entidad objeto de análisis.***

Referencias bibliográficas

1. Achishkin, A. *et al*. (1981). *Planificación de la Economía Nacional*. Moscú, URSS: Editorial Progreso.
2. Alberto L. (2012). Modelo matemático para evaluar el clarificador modificado a guardián, y montaje de un BTR en el central América Libre. Tomado el sitio web: https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/12.-F%C3%81BRICA-1.pdf
3. Beltrán Mora, M. N., Parrales Carvajal, V. M., & Ledesma Álvarez, G. D. (2019). El Buyer Persona como factor clave entre las tendencias en Gestión Empresarial. *RECIMUNDO*, *3*(3 ESP), 659-681. https://doi.org/10.26820/recimundo/3.(3.Esp).noviembre.2019.659-681Frederieck S. Hillier y Gerald J. Lieberman (2017). Investigación de Operaciones, Novena Edición.
4. Díaz Pozo, J., (2022). *Metodología para la articulación de cadenas productivas como alternativa de mejora del proceso de compra hotelera*. [Tesis doctoral, Universidad de Oriente].
5. Merino A., Acebes L. F., Mazaeda R., de Prada C. (2009). Modelado y Simulación del Proceso de Producción del Azúcar. España. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial.
6. Pellicer-Durán, R. G., Aguilera-Sierra, R., Roja-Castro, J. R., & Fajardo-Martínez, A. (2019). Sistema informático para la planificación operativa del proceso de producción de azúcar en el escenario industrial. Computer system for the operative planning of the sugar production process on stage. *Anuario Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, *10*, 110-126.
7. Pellicer-Durán, R. G., Rodríguez-Betancourt, R., & Castellanos-Pallerols, G. (2018). Planificación operativa del proceso industrial de producción de azúcar. Operational planning of the industrial process of sugar production. *Anuario Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, 78-87.

8. Stoner, J.A.F.; Freeman, R.E. Gilbert, D.R. Jr. (1997). *Administration*. (6th. ed.). Prentice Hall.
9. Suárez-Espinar, M. J. (2018). Gestión Empresarial: una paradigma del siglo XXI. Revista Científica FIPCAEC (Fomento de la investigación y publicación en Ciencias Administrativas, Económicas y Contables). ISSN: 2588-090X. Polo de Capacitación, Investigación y Publicación (POCAIP), 3(8), 44-64.
10. Zaldumbide Olalla, W., & Rodríguez Betancourt, R. (2017). Optimización del plan operativo de producción en plantas de cárnicos. *Retos de la Dirección*, *11*(1), 94-112.
11. Zaldivar, L. P., Hernández, J. D. M., Chávez, L. G., Carmona, D. C., & Figueredo, L. S. (2020). Sistema informático para apoyar el proceso de planificación por objetivos en las entidades cubanas. Serie científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, 13(6), 59-68.