

Sistema informático para planificación óptima de la explotación de la maquinaria agrícola en empresas azucareras

Optimal Planning of Agricultural Machinery Exploitation through a Computer Assisted System in Sugar Cane Manufacturing Enterprises

Dr. C. Raimundo Juan Lora Freyre

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Centro de Estudios de Investigaciones Azucareras, Universidad de Oriente

RESUMEN

Se ofrece un nuevo método para planificar óptimamente el uso de la maquinaria agrícola en empresas azucareras, utilizando la modelación económico-matemática multicriterio y técnicas computacionales. El estudio contempla las siguientes etapas: 1) definición de las metas; se buscaron valores óptimos del tiempo de trabajo, del consumo de combustible y del costo operacional; 2) confección de modelos de programación meta para la planificación; y 3) elaboración de un sistema informático para aplicar modelos de optimización. La investigación fue aplicada en dos empresas azucareras de la provincia Santiago de Cuba, donde se ahorró 16 % de combustibles, en tanto las disminuciones de los costos y del tiempo fueron de 12 y 4 % respectivamente.

Palabras clave: programación lineal, programación meta, agregado, sistema informático, fichas de costo

ABSTRACT

A new method to better plan the use of agricultural machinery in sugar manufacturing enterprises is presented. This method is based on multiobjective economic-mathematical models and computer techniques. To this end, a study comprising three stages was performed: First, the definition of goals, i.e., searching optimal values for working time, fuel consumption, and machinery operational costs; second, the elaboration of goal programming models to plan agricultural machinery exploitation, and third, the elaboration of a computer assisted system in order to apply optimization models. The study was carried out at two sugar cane manufacturing enterprises from Santiago de Cuba province. Results showed a 16 % saving in fuel consumption, and a 12 % and 4 % decrease in machinery operational costs and working time, respectively.

Key Words: linear programming, goal programming, aggregate, computer assisted system, cost cards

INTRODUCCIÓN

Desde hace más de cuatro siglos, en todos los momentos relevantes de la historia de Cuba, ha estado presente la agroindustria azucarera. El azúcar ha constituido el primer producto de exportación y principal recurso para el respaldo del financiamiento de la generalidad de las acciones co-

merciales del país, unido al hecho del importante impacto socio-económico que en todo momento ha tenido este sector.

En los últimos dos años han tenido lugar cambios significativos en el mercado azucarero mundial, los cuales se han reflejado de manera directa en el desarrollo de la agroindustria azucarera cubana.

Muchos de estos cambios están vinculados no sólo al hecho puntual de las fluctuaciones de los precios por aumento o disminución de la demanda, sino a elementos de una mayor trascendencia desde el punto de vista conceptual. Tal es el caso de las actuales tendencias al incremento del consumo de derivados de la producción azucarera, particularmente los sustitutos de fuentes renovables de energía.

En la sesión No. 109 del XIV Congreso Internacional del Comercio, celebrado en Helsinki en 2006, Rodríguez Duhal¹ (2004) aseguraba:

Esta sustitución tecnológica, aunada al uso del alcohol mismo como carburante, representa otra más de las derivaciones en el uso de la caña de la mayor importancia hacia el futuro, y a la fecha ya podemos ver el uso creciente para hacer alcohol, especialmente en Brasil, donde la cosecha de caña se utiliza ya mayoritariamente para la producción de alcohol, y el progresivo encarecimiento y escasez del petróleo, hacen competitivo y posible que pronto este mercado significará un importante segmento del mercado azucarero, tanto al interior de los países productores de caña, como en el mercado de exportación ...

Según Álvarez y Synde (2004) el mercado azucarero es significativamente cambiante; pero en medio de esas tendencias oscilantes se advierte la vigencia de estas producciones tropicales, sustentadas en los efectos favorables sobre el desarrollo de procesos económicos sostenibles, por los comprobados beneficios que aportan al medio ambiente y por la reserva natural de biomasa que constituyen.

El proceso de redimensionamiento del sector (Nova, 2004) que ya venía desarrollándose en Cuba, ha tenido que adaptarse a esta dinámica, a pesar de lo cual mantienen vigencia los lineamientos establecidos en los últimos congresos partidistas.

En la Resolución sobre el Desarrollo Económico del V Congreso del Partido Comunista de Cuba se plantea que la agroindustria azucarera deberá recuperar su papel estratégico en la economía, constituyéndose en fuente de ingresos externos netos crecientes y reanimadora del desarrollo de otras ramas y esferas de la economía (Partido Comunista de Cuba, 1997).

Podrían citarse otras referencias, tanto de directivos del sector azucarero, o del gobierno cubano, en las que se validaría la actualidad de la

¹ Luis Rodríguez Duhal, coordinador del Comité Lomas de Chapultepec, México, D. F.

investigación parcialmente reseñada en el presente artículo, pero no se abundará al respecto por considerarse que la importancia e incidencia de la producción azucarera trasciende el plano económico y se inserta en la historia y en la cultura del país. Por ello, introducir resultados investigativos en la agroindustria azucarera cubana, siempre será un tema de actualidad.

El objetivo de esta investigación se centró en la elaboración de un nuevo método para la optimización de la estrategia de explotación y control de la maquinaria agrícola en las entidades de base, para minimizar los costos generales, el consumo de combustible y el tiempo de operaciones, teniendo en cuenta las limitaciones en los recursos disponibles.

Para el cumplimiento de este proyecto se diseñó un grupo de objetivos específicos los cuales se relacionan a continuación:

1. Elaborar modelos de programación lineal meta que permitan optimizar los gastos de tiempo, el consumo de combustible y los niveles de costo de la actividad productiva relacionada con la maquinaria agrícola cañera, brindando la opción a la entidad de asignar preferencias (pesos) a esas metas u objetivos.
2. Diseñar y utilizar sistemas informáticos que brinden solución a los modelos antes referidos y que permitan a los encargados de la programación, introducir los datos requeridos y obtener las tablas de salida con la satisfacción óptima del cumplimiento de las metas planteadas para el uso de la maquinaria.
3. Crear las bases organizativas e informativas que contribuyan a una evaluación perspectiva a mediano y a largo plazo del parque de equipos e implementos necesarios en cada instancia.

DESARROLLO

Papel de la maquinaria agrícola en la producción de azúcar

El proceso de producción del azúcar de caña tiene como etapa primaria el desarrollo de labores agrícolas conducentes al establecimiento de las plantaciones que serán tratadas industrialmente. Las referidas labores se pueden diferenciar por fases, cada una de las cuales contempla un significativo número de tareas. Dichas fases son: preparación de la tierra, siembra, cultivo y cosecha, en ese orden.

La gama de acciones que contempla cada una de ellas es amplia; pueden desarrollarse a través de operaciones manuales o con el apoyo de animales de trabajo; por métodos totalmente mecanizados o combinando estos con acciones manuales.

El cumplimiento de las fases descritas, atendiendo a las opciones posibles de trabajo, conduce a una larga relación de variantes o combina-

ciones del uso del equipamiento disponible, así como de los implementos agrícolas típicos de cada labor.

De este vínculo equipo-implemento (denominado agregación), pueden haber más de 200 combinaciones, en dependencia de las posibilidades agrotécnicas, disponibilidad de la tecnología, planes productivos, condiciones del terreno, heterogeneidad del parque, etc.

En las circunstancias en que se desarrollan las labores agrícolas cañeras, se presenta nítidamente la confrontación entre el propósito de cumplir programas productivos y la dependencia de recursos diversos, entre los que se cuentan: tiempo, combustible, equipos, implementos, disponibilidades presupuestarias, entre otros, lo cual genera alternativas para la aplicación de las técnicas de optimización.

Este artículo refleja el resultado de un conjunto de investigaciones realizadas en el entorno del empleo de la maquinaria agrícola para el desarrollo de las referidas labores agrícolas.

La particularidades de la agricultura cubana —muy especialmente de su mecanización— requieren que se las enfrente de manera diferente a como se hace o se pudo haber hecho en otras latitudes o épocas.

Se trata de atender un universo caracterizado, a grandes rasgos, por lo siguiente:

1. Las unidades organizativas responsabilizadas con las labores agrícolas cañeras se estructuran fundamentalmente como unidades básicas de producción cooperativa (UBPC), cooperativas de producción agropecuaria, cooperativas de créditos y servicios y granjas estatales.
2. La planificación del uso de la maquinaria agrícola se realiza cada mes, en forma empírica, sin una evaluación sustentada en criterios de optimización.
3. Todo el proceso de cálculo se realiza manualmente a pesar de disponerse en la generalidad de las empresas azucareras de microcomputadoras con aceptable capacidad de trabajo.
4. Existe en todo el entorno de trabajo el clásico conflicto resultante de la necesidad de cumplir un significativo número de actividades agrícolas, con recursos limitados (equipos, implementos, combustible, presupuesto, tiempo, entre otros).

Premisas fundamentales para la aplicación de nuevos enfoques en la planificación de la maquinaria agrícola

Una vez verificados los supuestos para la aplicación de las técnicas de programación lineal se desarrollaron modelos para la obtención de los óptimos individuales de tiempo y combustible. La investigación se aplicó

en dos empresas azucareras de la provincia Santiago de Cuba: la *Julio A. Mella* y la *Paquito Rosales*. En la Tabla 1 se muestra un resumen de estas aplicaciones en la primera.

Tabla 1. Resumen de las aplicaciones en las condiciones de la empresa azucarera *Julio A. Mella* (octubre de 2006)

	Programación S/ empresa	Programación S/ modelo	Diferencia	%
Tiempo (horas)	18 832,67	16 694,90	2 137,77	
Combustible (litros)	111 179,52	98 457,19	12 722,33	

Las corridas de modelos de programación lineal en las condiciones de la empresa *Paquito Rosales* indicaron ahorros de tiempo, costo y combustible del 12 % en los dos primeros, y del 15 % en el último indicador.

Estas evaluaciones previas muestran la efectividad de la aplicación de los modelos lineales a la problemática organizativa de la maquinaria agrícola. Al mismo tiempo, sirven de punto de partida a su extensión al ambiente multiobjetivo.

Para aplicar estas técnicas fue necesario calcular previamente los coeficientes de insumo: por vez primera se confeccionó una ficha de costo por agregados, la cual permitió formular restricciones y objetivos.

Los modelos de programación lineal convencional permiten obtener los valores óptimos individuales de tiempo, de combustible y de costo, para, a partir de esos resultados, instrumentar modelos multicriterio de optimización. La programación meta presenta ventajas con respecto a los modelos de programación lineal, al permitir la evaluación al unísono de los diferentes objetivos enunciados en el problema. En este caso se adapta perfectamente al campo de acción, pues permite a los usuarios la selección de las metas y decidir su escala de importancia.

Para la solución de estos modelos se empleó el algoritmo Simplex, con la utilización de softwares profesionales, entre los que se pueden señalar el Lindo Systems, Manager, MSLPEDIT, entre otros. Luego se enriqueció el espectro de estas aplicaciones con la creación del Sistema Informático para la Planificación Óptima del Uso de la Maquinaria (SAPOUMA).

A continuación se expone el modelo de programación meta. Se asume que no es necesario exponer los modelos preliminares de programación lineal para la determinación de las metas individuales, por considerarse que a partir de la observación del modelo multicriterio, son fácilmente comprensibles los pasos subsiguientes.

Utilización de la programación meta para la optimización del uso de la maquinaria agrícola

La técnica multiobjetivo aquí utilizada se sustenta en la programación meta (Moskowitz y Wright, 1982), la que, como extensión de la programación lineal, brinda un enfoque apropiado para tratar problemas que tengan objetivos múltiples conflictivos, permitiendo la clasificación de estos (metas) en términos de importancia.

La formulación de un modelo de programación meta es similar a la formulación de la programación lineal, sólo que en la primera no se intenta maximizar o minimizar los objetivos como lo hace la segunda, sino que se trata de minimizar las desviaciones entre las metas deseadas y los resultados reales de acuerdo a su importancia.

Es decir, se trata de una técnica que permite armonizar el logro de objetivos múltiples, propiciando el mínimo sacrificio a cada óptimo individual (Roscoe y McKeown, 2001).

Se parte de la determinación de cada uno de los diferentes valores óptimos, los que devienen en metas, formando parte, desde este momento, del sistema de restricciones del modelo.

Formulación del problema para el planteamiento matemático

Las entidades productivas de base del Ministerio del Azúcar, cuentan con determinado número de equipos del tipo i y un número de implementos del tipo j que forman lo que hemos definido como agregado, los cuales serán utilizados, a partir de criterios agrotécnicos, en actividades del tipo k , planificadas para ser realizadas en un período de tiempo t .

El problema consiste en encontrar la mejor combinación de agregados para el período que deberá planificarse, y permita cumplir el plan de producción de la entidad, minimizando los costos generales, el consumo de combustible y el tiempo de las operaciones, considerando para estos fines las limitaciones en la disponibilidad de recursos.

Índices:

$i = 1, 2, \dots, n$ Tipos de equipos

$j = 1, 2, \dots, m$ Tipos de implementos

$k = 1, 2, \dots, r$ Labores agrícolas

$t = 1, 2, \dots, 12$ Cada mes del año

$s = 1, 2, 3$ Metas establecidas (combustible, tiempo y costo)

Parámetros:

α_{ijk}^t - volumen de trabajo de la labor k, en horas, que puede realizar el equipo i con el implemento j en el período t.

A_k^t -volumen total de trabajo, en hectáreas, planificado para la labor k en el período t. (UM)

E_i^t - disponibilidad de equipos del tipo i en el período t.

I_j^t - disponibilidad de implementos del tipo j en el período t.

C^t - disponibilidad de combustible, en litros, en el período t.

T^t - disponibilidad de tiempo, en horas, en el período t.

P^t - disponibilidad presupuestaria, en pesos, en el período t.

C_{ijk}^t -consumo de combustible, en litros, por unidad de volumen de trabajo a realizar por el equipo i con el implemento j en la labor k en el período t.

g_{ijk}^t - gasto de trabajo, en horas por unidad de volumen de trabajo a realizar por el equipo i con el implemento j en la labor k en el período t.

p_{ijk}^t - costo unitario, en pesos, por unidad de volumen de trabajo a realizar por el equipo i con el implemento j en la labor k en el período t.

Ws = Coeficiente de prioridad asignado a la meta s.

Variables:

X_{ijk}^t - volumen de trabajo, en hectáreas, que deberá realizarse con el equipo i con el implemento j en la labor k durante el período t.

d_s^+ = Variable de desviación que indica sobrelogro de la meta s. Representa valores por encima de las metas individuales seleccionadas. Constituye un objetivo que deberá minimizarse en el modelo.

d_s^- = Variable de desviación que indica sublogro de la meta s. Representa valores por debajo de las metas individuales seleccionadas. En este modelo no son llevados a la función objetivo dada la naturaleza favorable, conceptualmente, de esta variable.

Restricciones:

De disponibilidad de equipos:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r \frac{X_{ijk}^t}{a_{ijk}^t} \leq E_i^t$$

t = 1, 2, 3,...12

Para i = 1, 2, 3,...n

De disponibilidad de implementos:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r \frac{X_{ijk}^t}{a_{ijk}^t} \leq I_j^t$$

Para j = 1, 2, 3,...m

t = 1, 2, 3,...12

Del cumplimiento del plan de actividades:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n X_{ijk}^t = A_k^t$$

Para k = 1, 2, 3,...r

t = 1, 2, 3,...12

Restricciones de metas:

De consumo de combustible:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r c_{ijk}^t X_{ijk}^t + d_s^- - d_s^+ = C^t$$

Para t = 1, 2, 3,...12

S = 1

De disponibilidad de tiempo:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r g_{ijk}^t X_{ijk}^t + d_s^- - d_s^+ = T^t$$

Para t = 1, 2, 3,...12

S = 2

f) De disponibilidad presupuestaria:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r p_{ijk}^t X_{ijk}^t + d_s^- - d_s^+ \leq P^t$$

Para t = 1, 2, 3, ..., 12

S = 3

g) De no negatividad de las variables:

$$X_{ijk}^t, d_s^+, d_s^- \geq 0$$

Para i = 1, 2, 3, ..., n

J = 1, 2, 3, ..., m

k = 1, 2, 3, ..., r

t = 1, 2, 3, ..., 12

s = 1, 2, 3

Función objetivo

$$\text{Min} Z = \sum_{s=1}^3 W_s d_s^+$$

Los diferentes coeficientes de las funciones objetivos y de las restricciones de los tres modelos fueron obtenidos de la forma siguiente:

$$a_{ijk} = \frac{1}{N_t * D.e * H}$$

donde :

N_t = Norma de trabajo del agregado, en hectáreas, en ocho horas.

$D.e$ = Días efectivos del mes.

Ht = Horas que deberán trabajarse por el agregado.

g_{ijk} = Es la laboriosidad, e identifica el gasto de tiempo, en horas, que demanda hacer una hectárea con el agregado.

C_{ijk} = Es el coeficiente de la restricción de combustible o del modelo de minimización de ese recurso. Se calcula multiplicando la norma de consumo del agregado, en litros en una hora, por la laboriosidad.

P_{ijk} = Es el coeficiente de la restricción de costo; representa el resultado de la elaboración de las fichas de costo de cada agregado, aspecto que se explica a continuación. Es el costo, en pesos, de la elaboración de una hectárea de la labor k con cada agregado.

Ficha de costo de cada agregado

Las fichas de costo elaboradas para la definición del coeficiente de la restricción de costo, dimensionalmente representan la sumatoria de todas las partidas o elementos de costo que intervienen en la ejecución de una caballería con un agregado determinado (en el caso del corte, alza y tiro se expresa en arrobas).

Para llegar a su establecimiento fue necesario calcular, para cada agregación, de los niveles que acusan las partidas directas (materias primas y materiales fundamentales, salarios directos y seguridad social, depreciación) así como las partidas indirectas (gastos del taller de mantenimiento y otros).

Esta ficha de costo identifica, dada la relativa similitud que tiene el proceso organizativo de la maquinaria agrícola en el territorio santiaguero, el costo unitario de las agregaciones más comunes utilizadas, pudiendo por ello hacerse extensiva al resto de las empresas azucareras de la provincia. Permite asimismo, su confección, identificar los más acuciantes problemas del entorno, a saber: poco dominio de los principios y regulaciones de la contabilidad, carencia y mal manejo de los documentos primarios, incorrecto control de los activos fijos tangibles, dificultades en los registros de amortización y de las cuentas por pagar y por cobrar; éstos entre los más significativos.

En la misma medida que sean superadas estas dificultades, se irá perfeccionando el proceso de confección de las fichas de costo, con el consiguiente realce del uso de esta importante categoría como herramienta indispensable para alcanzar la eficiencia económica.

El resto de los parámetros y las restricciones del modelo se explican por sí solos.

Sistema informático para la programación óptima del uso de la maquinaria

El sistema informático SAPOUMA está sustentado en el lenguaje de programación Borland Delphi 6.0 en ambiente Windows 95 o superior y permite enfrentar toda la problemática algorítmica resultante de los modelos de programación lineal convencional y de los modelos de programación meta, de tal manera que el decisor no esté obligado a manejar la terminología de modelación antes comentada, sino que al introducir los datos prácticos de su medio (disponibilidad de equipos e implementos,

disponibilidad de combustible, normas de trabajo y de consumo, planes de labor, etc.) estará incorporando, sin necesidad de saberlo, los datos que necesita un modelo de optimización multiobjetivo con prioridades, como los diseñados en la programación meta, obteniendo como tabla de salida la programación mensual del uso de la maquinaria atendiendo a la estructura informativa que demanda el Ministerio del Azúcar.

El sistema es el complemento práctico de los estudios de modelación que le preceden, pues permite al personal encargado de la programación

Fig. 1. Entrada de datos del sistema

Entrada de Datos

F. Inicio09/07/20F. Fin09/07/20Replicar

Datos generales de la etapa

Entidad5 UBPC # 5

Días Efectivos24

Combustible [Lts]10000

Presupuesto10000

Navigation icons

Actividades a realizar

Actividad	Volumen	UM	Clasificación
ROTURA A	5	Cab	ND ZAFRA

Navigation icons

Parque de Equipos

Acceptar

Cancelar

escoger las mejores variantes de agregaciones entre todas las posibles, atendiendo a los criterios de optimización definidos por la organización así como a las prioridades de cada etapa.

El lenguaje Delphi tiene un ambiente de desarrollo rápido de aplicaciones (RAD *Rapid Applications Development*), el cual a través de la programación visual orientada a componentes acelera grandemente el proceso de implementación de software. Este ha logrado un gran éxito por las facilidades que brinda para crear aplicaciones y por la eficiencia de su código ejecutable.

En las Figuras 1 y 2 se observan algunas tablas del sistema informático SAPOUMA.

En las Tablas 2 a la 5 puede apreciarse un resumen, en dos UBPC, de la corrida del sistema informático sustentado en los modelos antes expuestos.

Las aplicaciones realizadas en las empresas azucareras objeto de estudio en el año 2007 indican elevación del nivel de eficiencia, al ejecutarse

Fig. 2 Tabla con la base de datos de todas las agregaciones posibles

Entidad	Actividad	Equipo	Implemento	N. Trab. 8 Hrs.	U M	N. Comb. 1 Hrs.	U M	Costo Unitario
5	1er. CULT C/NUEV.	DT 75	BAYAMO-81	0.32	Cab	15.14	Lts	50
5	1er. CULT. R.1.60	DT 75	BAYAMO-81	0.44	Cab	15.14	Lts	52
5	1ER. CULTIVO	MTZ 80	S-240	0.33	Cab	6.813	Lts	24
5	ACARREO CANTERA	T170 (buldocer)	CUCHILLA	7 TM		15.78345	Lts	4,54
5	ACOND. AREA	YUM 6M	CARRETA	6 Cab		1.2	Lts	10
5	ACOND. AREA	YUM 6M	G/MULT. BP 206	0.5	Cab	5.9803	Lts	62.05
5	ALISAR	DT 75	LAND-PLAND	0.51	Cab	8.7055	Lts	3.2
5	ALISAR	MTZ 80	LAND-PLAND	0.44	Cab	9.084	Lts	13
5	ALISAR	YUM 6M	LAND-PLAND	0.44	Cab	8.327	Lts	32
5	ALZA CAÑA	YUM 6R (ALZA C)	PG-05K	6.8 M@		5.9	Lts/UM	6.4
5	APERTE T LIMPIEZA C	T170 (buldocer)	CUCHILLA	4 TM		15.78345	Lts	4,54
5	APERTURA DE CUNETAS	T170 (buldocer)	CUCHILLA	4 TM		15.78345	Lts	4,54
5	APLICACION CACHAZA	MTZ 80	PRT - 10	0.67	TM	6.4345	Lts	88.49
5	BOMBEO PLAN 2	A-41-50-80(RIEGO)	BOMBA SAG3	6 Hrs		32.9295	Lts	23

Tabla 2. Comparación de la corrida del sistema informático, con lo realizado en la unidad básica de producción cooperativa no. 1 de la empresa azucarera Paquito Rosales. Abril de 2007

Criterios	Presupuesto empresa	Presupuesto según modelo	Ahorro	%
Tiempo (h)	627,90	604,70	23,20	3,69
Combustible (L)	4 314,38	3 976,80	337,58	7,82
Costo (pesos)	74 256,11	72 970,98	1 285,13	1,73

Tabla 3. Corrida del sistema informático en la utilización del parque de equipos e implementos. UBPC no. 1 de la empresa azucarera Paquito Rosales. Abril de 2007

Tipo de equipo e implemento	Disponibilidad	Necesidad	Diferencia
MTZ-80	0,80	0,64	0,16
JUMZ-6M	1,50	1,50	0,33
JUMZ-6R	1,50	1,17	0,33
Bueyes	4,00	3,64	0,36
F-350	1,00	0,83	0,17
S-240	1,00	1,03	0,03
PG-05K	2,00	1,17	0,83
Arado 1 ½	1,00	3,64	2,64

Tabla 4. Comparación de la corrida del sistema informático, con lo realizado en la unidad básica de producción cooperativa no. 1 de la empresa azucarera Julio Antonio Mella. Abril de 2007

Criterios	Presupuesto empresa	Presupuesto según modelo	Ahorro	%
Tiempo (h)	1 675,60	1 220,18	455,42	27,17
Combustible (L)	10 586,25	8 904,34	1 681,91	15,57
Costo (pesos)	17 317,92	10 315,40	7 002,52	40,43

Tabla 5. Corrida del sistema informático en la utilización del parque de equipos e implementos. UBPC no. 1 de la empresa azucarera Julio Antonio Mella. Abril de 2007

Tipo de equipo e implemento	Disponibilidad	Necesidad	Diferencia
MTZ-80	3	0,60	2,40
JUMZ-6M	9	2,80	6,20
JUMZ-6R	2	1,37	0,63
Bueyes	6	1,00	5,00
KTP-2M	1	0,59	0,41
Carretas	8	1,91	6,02
S-240	2	0,45	1,55
G-Múltiple	1	0,01	0,99
F-350	1	0,72	0,28
Surcador	1	0,13	0,87

los planes de actividades elaborados, con el cumplimiento de valores establecidos (metas), de tiempo, combustible y de costos. Los ahorros de tiempo se hallan en un entorno del 4 %; las disminuciones del combustible se mueven del 9 al 16 %, en tanto los costos se reducen en un 12 %.

Ventajas y aportes del método propuesto

La aplicación de los modelos de optimización aquí presentados, así como su extensión computacional, tiene como elementos más significativo, a modo de resumen, los siguientes:

El ahorro de combustible resultante de esta aplicación se mueve en un rango que oscila entre el 9 y el 16 % en la muestra seleccionada, lo que representaría, extrapolando el análisis al entorno provincial, en valores absolutos, una reducción promedio mensual de 35 t de combustible. Si se considera que el precio unitario, en dólares, es \$ 312,08, el ahorro provincial mensual ascendería a \$ 10 922,63 USD.

La disminución del tiempo registrado en los meses escogidos para las empresas seleccionadas, asciende a un 4 %, lo que significaría, tomando como pauta el período de cosecha, concluir cinco días antes las labores correspondientes.

Esto repercutiría favorablemente en una mejor adecuación a los imperativos meteorológicos, de tan alta incidencia en este sector productivo.

Los costos se ven disminuidos en un 12 %, por la influencia en buena medida de las reducciones de combustible y de tiempo.

Los resultados permiten conocer el marco real de necesidades de equipos e implementos, brindando en las tablas de salidas los márgenes u holguras existentes en cada uno de ellos, así como el déficit que pueda existir en algún o algunos de los renglones.

La elaboración, por vez primera de una ficha de costo por agregado crea las condiciones para el mejoramiento de los registros contables en este complejo medio, incidiendo de forma directa en el mejoramiento de los índices de efectividad económica de cada entidad

CONCLUSIONES

Las aplicaciones realizadas en las empresas azucareras seleccionadas promueven una elevación significativa del nivel de eficiencia, al ejecutarse los planes de actividades elaborados con el cumplimiento de valores establecidos (metas), de tiempo, combustible y de costos. Los ahorros de tiempo se hallan en un entorno del 4 %, las disminuciones del combustible se mueven, en la muestra seleccionada, del 9 al 16 %, en tanto los costos se ven reducidos en un 12 %.

La utilización de la programación meta como extensión de la programación lineal permite acceder a la mejor propuesta organizativa del uso de la maquinaria agrícola, armonizando prioridades de la institución productiva; se demuestra asimismo, el grado de compatibilidad entre los más importantes objetivos técnico-económicos de este complejo universo de trabajo.

Los resultados de los modelos aplicados facilitan la determinación del parque óptimo de equipos e implementos, lo cual sirve de punto de partida a proyectos investigativos diseñados en esa dirección.

La elaboración de una ficha de costo relacionada con los agregados, constituye un momento importante en la atención a los procesos productivos del medio objeto de estudio; con ello se crea no sólo la posibilidad de designar un coeficiente para las restricciones de costo, sino que constituye un elemento promotor del mejoramiento de los registros contables, con énfasis en sus fases primarias.

El diseño del sistema SAPOUMA está sustentado en el lenguaje de programación Borland Delphi 6.0, el cual posee un ambiente de desarrollo rápido de aplicaciones (RAD); por su aspecto visual crea una interfaz amigable con el usuario; no sólo permite el acceso para su operación con un mínimo conocimiento de las técnicas computacionales, sino que posibilita interpretar fácilmente la sensibilidad de los modelos, con lo cual se podrán realizar cambios operativos rápidos ante el faltante o sobrante de los recursos indispensables o cualquier otra modificación del entorno.

Recomendaciones

Hacer extensiva a todas las empresas azucareras de la provincia de Santiago de Cuba la aplicación de esta metodología.

Que se trabaje en la preparación del personal que atiende la maquinaria agrícola en todas las empresas azucareras de la provincia, con vistas a garantizar la aplicación del sistema SAPOUMA, que complementa la

práctica de los modelos de optimización aquí expuestos, propiciando así su generalización y sus propios mecanismos de control.

Extender los resultados de la presente investigación al marco de la agricultura no cañera, cuyas características se adaptan a la concepción operativa de estos modelos.

Referencias

- ÁLVAREZ, J. y SYNDE GEORGE, H. (2004, 10-11 de junio). *La rotación de arroz con caña de azúcar en la Florida, USA*. Ponencia presentada en el Seminario de las Cátedras Azucareras de las Universidades Cubanas, La Habana, Cuba.
- MOSKOWITZ, H. y WRIGHT, G. (1982). *Investigación de operaciones*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- NOVA GONZÁLEZ, A. (2004, 10-11 de junio). *Redimensionamiento y diversificación de la agroindustria azucarera cubana*. Ponencia presentada en el Seminario de las Cátedras Azucareras de las Universidades Cubanas, La Habana, Cuba.
- PARTIDO COMUNISTA DE CUBA. (1997). *Resolución económica*. V Congreso del PCC. La Habana: Ed. Política.
- RODRÍGUEZ DUHALT, L. (2004). Extraído desde www.helsinki.fi/iehc2006/papers3/Duhalt.pdf
- ROSCOE, D. y McKEOWN, P. (2001). *Modelos cuantitativos para la administración*. Universidad de Georgia, EE.UU.: Grupo Ed. Iberoamericano.