

# Sistema informático para perfeccionar la cosecha cañera en empresas azucareras cubanas

## *Informatic System for Improve of Sugarcane Harvest in Cubans Sugar Factories*

*MSc. Alejandro Álvarez-Navarro; Dr. Cs. Ramón Rodríguez-Betancourt*

*[alejandroa@eco.uo.edu.cu](mailto:alejandroa@eco.uo.edu.cu); [ramonrb@eco.uo.edu.cu](mailto:ramonrb@eco.uo.edu.cu)*

*Centro de Estudio de Investigaciones Económicas Aplicadas (CEIA); Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba*

## Resumen

La reestructuración de la industria azucarera condujo a implementar métodos eficaces para optimizar la cosecha cañera en el proceso agroindustrial. Las Técnicas de Información y Comunicaciones (TIC), asociadas a los métodos de optimización, permiten la toma de decisiones acertadas a diferentes instancias del proceso productivo. Un momento importante en este esquema es la organización de la cosecha de la caña de azúcar. El objetivo de esta investigación está en la determinación de la estrategia óptima de corte teniendo en cuenta los nuevos cambios existentes que permite obtener mayores volúmenes de azúcar con la misma cantidad de materia prima. Para esto se implementó un nuevo sistema informático, soportado por una nueva variante de la programación meta con prioridades lexicográficas. Los resultados experimentales muestran que se produce un impacto a nivel de planificación al disminuir el desfase hasta en un 15 % e incrementarse la producción de azúcar en 2 043,89 t.

**Palabras clave:** optimización, cosecha cañera, estrategia, lexicográfico.

## Abstract

The restructure of the sugar industry, led to the implementation of efficient methods in order to enhance the sugar cane harvest in the agroindustrial process. The Information and Communications Technology (ICT), associated to optimization methods, may allow take the right decisions at different levels of the productive process. The organization of the sugar cane harvest is an important moment within this scheme. The objective of this investigation is to determine the optimal cutting strategy considering the new changes existing that permit obtain higher amount of sugar using the same quantity of raw material. Has been implemented a new informatic system, supported by a new branch of the goal programming with lexicographic priorities. The experimental results show that there is an impact at the planning level, as the cutting out of date decreases until a 15 %, and the sugar production increases in 2 043,89 t.

**Keywords:** optimization, sugar cane harvest, strategy, lexicographic.

## Introducción

Teniendo en cuenta la situación de la demanda oscilante que presenta el azúcar en el mercado mundial y con el objetivo de hacer frente a este problema, los órganos de gobierno nacionales han escogido nuevos enfoques en cuanto a las prioridades del sector azucarero, considerándolo de mayor importancia dentro de la economía, de manera que siempre se produzca con un costo inferior al precio del azúcar en el mercado mundial. La industria azucarera requiere de un continuo y sostenido trabajo que le permita mantenerse como fuerza vital y decisiva en todo el proceso en que se desarrolla la economía cubana.<sup>1</sup>

En el quinquenio 2001-2005 y dados los bajos precios del azúcar en el mercado mundial y su perspectiva, el gobierno cubano decidió realizar el redimensionamiento del sector azucarero buscando dos alternativas: 1) elevar la productividad y efectividad de la producción y asegurar así la competitividad en el mercado; 2) diversificar, integralmente, para distribuir riesgos y ser más independiente del mercado de azúcar físico. Tales perspectivas han conducido a Cuba a plantearse la tarea de implementar un programa integral de reestructuración de la agroindustria azucarera para ejecutarlo de inmediato.

Esta investigación forma parte de un proyecto universitario de Ciencia e Innovación Tecnológica: "Utilización de técnicas modernas de planificación para la optimización de los procesos en sectores priorizados de la provincia Santiago de Cuba", encaminada a dar cumplimiento a la primera alternativa, tomando como punto de partida los resultados obtenidos en la zafra 2011-2012, los cuales indican que todavía se debe seguir insistiendo en la elevación de los rendimientos agrícolas y la eficiencia industrial en lo que se refiere a la producción de azúcar.

Teniendo en cuenta lo anterior se pretende diseñar e implementar un nuevo Sistema Informático para la Estrategia de Corte (SISCOR), que esté asociado a modelos económico-matemáticos de Programación

Meta con prioridades. Este sistema será utilizado en la empresa azucarera "Paquito Rosales" de la provincia Santiago de Cuba, como fase de prueba para la determinación del estimado, la creación de la base de Pol<sup>2</sup>, la determinación de la estrategia óptima de corte y su control con dos objetivos: minimizar el desfase y maximizar la producción de azúcar.

El problema en cuestión pretende ser resuelto mediante los siguientes objetivos:

- Diseñar el nuevo sistema.
- Automatizar la información primaria para los modelos de estrategia de corte mediante el nuevo sistema SISCOR.
- Obtener las soluciones de los modelos de estrategia por frente de corte teniendo en cuenta que ofrezca las salidas en el mismo formato que utiliza el Grupo Azucarero (AZCUBA).
- Exportar la información en el Sistema Integral de Cosecha y Estimado (SICE) utilizado por AZCUBA.
- Validar estos resultados en la Unidad Empresarial de Base (UEB) central azucarero "Paquito Rosales".

Para el diseño del sistema se consideró:

- De la regresión lineal, emplear el Método de los Mínimos Cuadrados con el Enfoque Matricial (MMCEM) para la creación de la base de Pol.
- El método de pesos de los tallos para el cálculo del estimado a todos los niveles.
- El método de formulación y el planteamiento del modelo de Programación Meta con Prioridades Lexicográficas que presenta una solución con mayor nivel de satisfacción.

Si en la UEB central azucarero "Paquito Rosales" de la provincia Santiago de Cuba, se introduce el Sistema Informático SISCOR, para la determinación de la estrategia de corte, se logrará una mayor precisión en los resultados obtenidos expresados en los indicadores físicos y económicos de la zafra.

La investigación se desarrolla utilizando los conceptos básicos y elementos fundamentales, teniendo en cuenta el análisis y diseño de programación en C++ orientado a objeto y en la formulación y

<sup>1</sup> PCC (2011). Idea tomada de los Lineamientos del 6to Congreso del PCC.

<sup>2</sup> Contenido de azúcar en la caña, lo cual se determina mediante el polarímetro.

planteamiento de la modelación económico-matemática. En la confección de la base informática es importante el análisis y síntesis como vía para racionalizar la entrada de información de manera ordenada y evitando la redundancia, garantizando de esta forma su estabilidad y robustez.

### **Fundamentación teórica**

Para el inicio de la zafra se deben distinguir dos momentos: la elaboración de un plan de corte como estrategia inicial y, seguidamente, la realización de esta estrategia, la cual se conoce como Programación.

El problema general de la estrategia de corte consiste en encontrar un ordenamiento previo de los campos de caña por variedades, cepas y edades para cada Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC), Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) y Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) por tipo de cosecha (manual o mecanizada), que minimice el desfase y haga máxima la producción de azúcar, y que al mismo tiempo tenga en cuenta las siguientes restricciones:

- Existencia de caña por frente de corte.
- Días de zafra.
- Norma de tiro operacional por decena.
- Edad de las cepas.
- Lineamientos de corte de algunas variedades y cepas.
- Demoliciones.

La estrategia de corte es un elemento de gran valor, que permite:

- Ordenar el corte de la caña atendiendo a su período óptimo de madurez.
- Compensar las cepas de ciclo largo y variedades florecedoras por centros de recepción.
- Buscar solución a los desfases en edades, variedades y cepas.
- Ordenar el corte de las demoliciones en función de la época de siembra y reposición.

En la planificación de la zafra siempre se ha tenido en cuenta la elaboración de una determinada estrategia de corte como aspecto fundamental para lograr los mayores volúmenes de azúcar. La misma se basa desde el punto de vista cuantitativo en un programa diseñado a tal efecto (Base de Datos Agrícolas), que

se resume en los modelos Programación de Corte Mensual (Z2-A), por frente de corte; no obstante, este procedimiento es empírico. Por tanto, no se optimiza ni se obtiene el potencial de azúcar de las empresas azucareras.

Actualmente las principales desventajas al momento de elaborar la estrategia de corte son:

- La determinación de los estimados, que es la base fundamental para la determinación de la estrategia y que se realiza de forma empírica, teniendo en cuenta los factores determinantes para ello. Es decir, la variedad, la cepa, la edad, la zona, las atenciones culturales, la lluvia, la cantidad cortada en la zafra pasada, la experiencia del programador, las visitas al campo y otros factores. Las cifras definitivas de los estimados por campo las sanciona la comisión de estimado. Este es un proceso que se realiza de manera totalmente manual y lo anota el programador en su libreta de campo.

- Por otra parte, una vez definidas las cifras de estimados, se elabora la estrategia, la cual, por el gran volumen de información a manejar, se hace de forma agregada, manualmente, por frente de corte, sin tener en cuenta el uso de la computación, determinándose el ordenamiento de bloques y campos según los lineamientos establecidos y la experiencia del programador.

- Este proceso sumamente trabajoso sólo permite evaluar una alternativa, y el resultado final no garantiza que se minimice el desfase ni que se maximice la producción de azúcar.

En el momento en que se elabora la estrategia no se tienen en cuenta todos los elementos que determinan la madurez de la caña; el comportamiento posterior de la humedad por zonas y la temperatura no se conocen con anticipación, por tanto, hace falta un proceso posterior de ajuste.

Se considera que el establecimiento de una estrategia óptima de corte contribuye a disminuir los factores de pérdida de azúcar por el llamado desfase, ayudando a minimizar las decisiones improvisadas. No obstante, son tantas las alternativas a evaluar que no es posible lograrlo por los métodos empíricos y tradicionales. Por ello, se deben emplear las técnicas avanzadas de planificación y control, como la modelación

económico-matemática y los sistemas automatizados para lograr el mayor nivel de satisfacción de todas las metas impuestas en el proceso de programación y control de la programación del corte.

El logro de tal objetivo debe contribuir a una disminución sustancial en los costos de producción, con el propósito de lograr mayores volúmenes de azúcar con la misma cantidad de caña.

## Métodos utilizados

El sistema cuenta con tres bloques fundamentales:

### **Bloque de importación y exportación de datos que comprende:**

- Importación de datos desde el sistema informático SICE utilizado por AZCUBA, a partir de éste se obtiene la relación de campos y su estimado molible.

- Exportación de la información procesada por el SISCOR al sistema informático SICE, es decir, se exportan los ocho modelos de los estimados. Este subsistema ahorra gran cantidad de tiempo y minimiza el error humano al informatizar el flujo de datos, los cuales se tratan teniendo en cuenta el mismo formato utilizado por los demás sistemas de AZCUBA.

- Creación de la base de Pol por zonas edafoclimáticas dividiendo la empresa azucarera en estas zonas.

- En este proceso se utiliza un programa de regresión lineal, sólo para la estimación puntual, que utiliza la curva:

$$y = a + bx + cx^2 + e$$

donde:

y: es el por ciento de Pol en caña;

x: es el tiempo expresado en decenas de zafra.

Esta curva se adapta perfectamente a la tendencia del Pol y como criterio de aceptación se toma lo siguiente:

- Un alto coeficiente de determinación R<sup>2</sup>, que es el grado de dependencia de y con respecto a x.

- Pronóstico confirmado por criterio de expertos para cada zafra.

- Entrada de indicadores generales (nombre de la UEB central azucarero, fechas de inicio y terminación de la zafra, entre otros).

### **Bloque del algoritmo de solución utilizando la Programación Lineal Meta con Prioridades Lexicográficas para la determinación de la estrategia de corte, cuya característica esencial es la siguiente:**

- Cálculo del estimado cañero con las nuevas disposiciones y otros datos necesarios para el planteamiento del modelo matemático.

- Implementación del algoritmo de programación meta lexicográfico dinámico, para perfeccionar la determinación de la estrategia óptima del corte.

- La solución hallada dará cumplimiento a las metas establecidas de acuerdo con la aparición o no de los sublogros en la base a nivel positivo. Esta información se refleja en los modelos de salida.

### **Bloque de los modelos de salida:<sup>3</sup>**

- Se obtienen los modelos Z-1 para la consolidación del estimado cañero.

- La solución al Modelo Económico-Matemático (MEM) de estrategia de corte decenal es dada por el modelo Z1-A o de estrategia mensual y Z2-A por frente de corte y a nivel de UEB central azucarero donde se puede observar el desfase.

- Compendio de la información obtenida a nivel de empresas provinciales y nacionales. Este proceso es contemplado en el SICE como teletransmisión.

### **Formulación general del problema para el modelo matemático**

El modelo matemático utilizado para la determinación de la estrategia óptima del corte es del tipo de Programación Lineal Meta con Prioridades, cuyo planteamiento general es:

#### **Conjuntos:**

G – Conjunto de todos los campos, con elemento típico g.

I – Conjunto bloque-campo, con elemento típico i, i = (b, g).

I<sub>k</sub> – Conjunto bloque-campo que contienen cepas quedadas que pertenecen al frente k, con elemento típico i;

<sup>3</sup> Documentos Normativos del MINAZ (2005-2006).

$I2_k$  - Conjunto bloque-campo que contienen cepas de frío que pertenecen al frente k, con elemento típico i;

$I3_k$  - Conjunto bloque-campo que contienen cepas de ciclo corto que pertenecen al frente k, con elemento típico i.

$I1_k, I2_k, I3_k \subset I$ .

J - Conjunto de todas las decenas, con elemento típico j.

J1 - Conjunto de decenas en que se cortan las cepas quedadas, con elemento típico j;

J2 - Conjunto de decenas en que se cortan las cepas de frío, con elemento típico j.

J3 - Conjunto de decenas en que se cortan las cepas de ciclo corto, con elemento típico j.

$J1, J2, J3 \subset J$ .

K - Conjunto de todos los frentes de corte, con elemento típico k.

K1 - Conjunto frentes de corte que contienen campos con cepas quedadas, con elemento típico k;

K2 - Conjunto frentes de corte que contienen campos con cepas de frío, con elemento típico k;

K3 - Conjunto frentes de corte que contienen campos con cepas de ciclo corto, con elemento típico k.

$K1, K2, K3 \subset K$ .

### Parámetros:

$E_{ik}$ : Estimado molible en toneladas del bloque-campo i en el frente de corte k.

$N_{jk}$ : Norma operacional en toneladas de la decena j en el frente de corte k.

$m_{ijk}$ : Edad en el momento del corte, del bloque-campo i, basada en meses, que se corta en la decena j y en el frente de corte k.

$C_{ijk}$ : % de rendimiento industrial, obtenido a partir del % de Pol en caña del bloque-campo i en la decena j y frente de corte k.

PAk: Plan de producción de azúcar en toneladas en el periodo que se analiza en el frente k.

E1, E2, E3: Edades mínimas, en meses, con que se deben cortar las cepas de ciclo largo y corto.

P1, P2: Prioridades que comprenden los lineamientos establecidos y el cumplimiento del plan de azúcar respectivamente.

### Variables:

Xijk: Toneladas métricas de caña del bloque-

campo i a moler en la decena j de zafra y que corresponde al frente de corte k.

$d_{1ik}^+, d_{1ik}^-$ : Sobrelogro y Sublogro, expresado en la misma unidad de medida de la restricción correspondiente, para minimizar el desfase en las cepas quedadas, durante la zafra.

$d_{2ik}^+, d_{2ik}^-$ : Sobrelogro y Sublogro, expresado en la misma unidad de medida de la restricción correspondiente para minimizar el desfase en las cepas de frío.

$d_{3ik}^+, d_{3ik}^-$ : Sobrelogro y Sublogro, expresado en la misma unidad de medida de la restricción correspondiente para minimizar el desfase en las cepas de ciclo corto.

$d_{4k}^+, d_{4k}^-$ : Sobrelogro y Sublogro, expresado en la misma unidad de medida de la restricción correspondiente para cumplimentar el plan de azúcar.

### Restricciones:

1 - Cumplimiento del plan de molida para las cepas quedadas según prioridades:

2 - Cumplimiento del plan de molida para las cepas de frío, según prioridades:

$$\sum_{j \in J2} X_{ijk} = E_{ik}; i \in I2_k; k \in K2$$

3 - Cumplimiento del plan de molida para las cepas de ciclo corto:

$$\sum_{j \in J3} X_{ijk} = E_{ik}; i \in I3_k; k \in K3$$

4 - Cumplimiento de la norma de molida para quedadas según prioridades:

$$\sum_{i \in I1} X_{ijk} \leq N_{jk}; j \in J1; k \in K1$$

5 - Cumplimiento de la norma de molida para fríos, ciclo corto según prioridades:

$$\sum_{i \in I2} X_{ijk} \leq N_{jk}; j \in J2; k \in K2$$

6 - Cumplimiento de la norma de molida para ciclo corto:

$$\sum_{i \in I3} X_{ijk} \leq N_{jk}; j \in J; k \in K3$$

7 - Cumplimiento de los lineamientos trazados en edad y etapa para las cepas quedadas:

$$\sum_{j \in J1} (m_{ijk} - E_1) X_{ijk} + d_{1ik}^- - d_{1ik}^+ = 0; i \in I1; k \in K1$$

8- Cumplimiento de los lineamientos trazados en edad y etapa para las cepas de frío:

$$\sum_{j \in J} (m_{ijk} - E_2) X_{ijk} + d_{2ik}^- + d_{2ik}^+ = 0; i \in I2; k \in K2$$

9- Cumplimiento de los lineamientos trazados en edad y etapa para las cepas de ciclo corto:

$$\sum_{j \in J} (m_{ijk} - E_3) X_{ijk} + d_{3ik}^- - d_{3ik}^+ = 0; i \in I3; k \in K3$$

10- Cumplimentar el plan de producción de azúcar:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ijk} X_{ijk} + d_{4k}^- + d_{4k}^+ = PA_k; k \in K$$

11 - No negatividad de las variables:

$$X_{ijk}, d_{1ik}^+, d_{1ik}^-, d_{2ik}^+, d_{2ik}^-, d_{3ik}^+, d_{3ik}^-, d_{4ik}^+, d_{4ik}^- \geq 0; \forall i, j, k$$

12- Función Objetivo:

$$\text{Min} Z = P_1 \sum_{i \in I, k \in K} (d_{1ik}^- + d_{2ik}^- + d_{3ik}^-) + P_2 \sum_{k \in K} d_{4ik}^-$$

El análisis de las restricciones es el siguiente:

El conjunto de restricciones 1, 2 y 3 indica que todos los bloques sembrados con primaveras quedadas deben molerse en la primera etapa de la zafra, y los fríos a continuación. Los retoños deben ser molidos en toda la etapa de zafra y la distribución decenal debe ser exactamente igual al estimado de caña del bloque.

Las restricciones 4, 5 y 6 indican que los bloques sembrados con las cepas de ciclo largo y corto, que se muelan en cualquier decena j no deben sobrepasar la norma de tiro para esa decena. Aquí se considera cada cepa hasta la decena que le es permisible su molida.

Las restricciones 7, 8 y 9 garantizan que no se produzca desfase por edades en las cepas de ciclo largo y corto, se plantean conforme al nivel de prioridad N° 1. La restricción indica que la diferencia de la edad que tiene la caña con respecto a la edad en que debe ser molida más el sublogro, menos el sobrelogro sea igual a cero, para toda i, j, y k.

La restricción 10 garantiza el cumplimiento del plan de producción de azúcar según el nivel de prioridad N° 2. Es decir, la sumatoria del rendimiento industrial multiplicado por las toneladas de caña a moler en todos los frentes de cortes más el sublogro, menos el sobrelogro tiene que ser igual al plan de azúcar.

La restricción 11 garantiza la no negatividad de las variables.

Se debe garantizar por el algoritmo a utilizar, en éste caso por el algoritmo lexicográfico, la continuidad de molida, o sea, que una vez se comienza a moler un bloque, éste se continúa moliendo y no se pasa a otro hasta tanto no haya terminado.

### Algoritmo lexicográfico

El criterio de optimizar en la programación meta se sustituye por el de satisfacer. Luego, deben ser observadas las reglas que se establecen para el ordenamiento de los bloques.

### Reglas a tener en cuenta en el caso de la estrategia de corte

Se muelen las quedadas en el siguiente orden: Retoño Quedado (RQ), Primavera Quedada (PQ), Otras Quedado (OQ), para cada cepa prevalece la edad, es decir, primero se muele la de mayor edad y así sucesivamente. Si hay un empate en edad se toma el Pol para desempatar.

Se muelen los Fríos (F) también por edad y por último los Retoños (R), Socas (S) y Primaveras (P) con el mismo criterio de la edad.

En las cuatro primeras decenas se muelen los bloques que son demoliciones, independientemente de las cepas.

La variedad CP 5243 no puede molerse después de enero 31.

La variedad MY 55-14 se muele al final de zafra.

Si un frente de corte no tiene quedadas, se debe comenzar por las cepas de ciclo corto, es decir Retoños (R), Socas (S) y Primaveras (P), priorizando aquellas que tienen mayor edad, nunca por los Fríos (F) que comienzan siempre a partir de enero.

Se debe garantizar cualquier cambio de posición del bloque por razones de última hora.

### Proceso de ordenamiento

El ordenamiento se hace para cada frente de corte, primero se ordenan las quedadas por edad, si

existe algún empate, decide el Pol; después se ordenan las cepas de Ciclo Corto, es decir los Retoños (R), las Socas (S) y las Primavera (P).

Si los estimados de las quedadas están por debajo de la norma, se rellena con ciclo corto por edad.

Las demoliciones y la variedad CP 5243 se ordenan siempre al inicio de zafra.

Los bloques que tengan MY 5514 se ponen al final.

**Información primaria**

Cuadrar el estimado por entidad, tipo de corte y cepas (Modelos Z1).

Centros de recepción de la Empresa Azucarera.

Relación por frente de corte de bloques-campo que contenga variedad, cepa, edad, área, producción y Pol asociado en la etapa de zafra.

Norma de tiro decenal para cada frente de corte, que se halla de la siguiente manera: conociendo las fechas de inicio y terminación de la zafra, se calculan los días de zafra, después se dividen los estimados de caña del frente entre los días de zafra y se obtiene la

norma de tiro diaria, la cual se multiplica por los días de la decena y se obtiene la norma decenal del frente.

Se construyen dos tablas: en la tabla 1 se obtienen las normas de tiro decenales de cada bloque y en la tabla 2 se obtienen los porcentos de Pol por decenas.

Teniendo en cuenta el criterio de continuidad de molida se aplica el método de la esquina noroeste. La producción de azúcar se halla multiplicando y sumando la solución de la tabla 1 por sus correspondientes estimados de Pol de la tabla 2.

A partir de los fundamentos teóricos y del planteamiento del problema realizado se determinó que el sistema debe cumplir con el siguiente conjunto de requerimientos funcionales (RF):

RF1: asignar diferentes niveles de permiso sobre los datos a los usuarios mediante la autenticación;

RF2: importar provincias, variedades, empresas, centros, entidades y campos del SICE;

RF3: exportar los centros, entidades y campos al SICE;

RF4: mostrar, insertar, eliminar y actualizar información de la base de datos;

**Tabla 1: Norte oeste tiro de cada bloque**

Decenas Estimado	D1	D2	D3	D4	D5	D6	...	Dn	
B1									E1
B2									E2
B3									E3
B4									E4
...									..
Bm									Em
	NT1	NT2	NT3	NT4	NT5	NT6	...	NTn	$\sum NT_i = \sum E_i$

*B<sub>i</sub>: Bloques, D<sub>j</sub>: Decenas, NT<sub>j</sub>: Norma de tiro, E<sub>i</sub>: Estimados.*

**Tabla 2: Norte oeste porcentos de Pol**

Decenas Estimado	D1	D2	D3	D4	D5	D6	...	Dn	
B1	P11	P12						P1n	E1
B2									E2
B3									E3
B4									E4
...									..
Bm	Pm1							Pmn	Em
	NT1	NT2	NT3	NT4	NT5	NT6	...	NTn	$\sum NT_i = \sum E_i$

*B<sub>i</sub>: Bloques, D<sub>j</sub>: Decenas, NT<sub>j</sub>: Norma de tiro, E<sub>i</sub>: Estimados, P<sub>ij</sub>: Porcentaje de Pol*

RF5: mostrar el Pol por la cepa, la variedad y el agroecosistema;

RF6: generar y guardar el Pol por la cepa, la variedad y el agroecosistema;

RF7: crear una nueva etapa de zafra;

RF8: calcular estimado para los campos;

RF9: mostrar reportes por entidad, cepa y variedad;

RF10: asignar a cada campo sus respectivos centros de recepción;

RF11: calcular edad de los campos para una zafra;

RF12: establecer prioridades entre las restricciones;

RF13: obtener la estrategia de corte para cada entidad, centro de recepción y frente de corte;

RF14: mover un bloque al principio de una decena;

RF15: generar reportes del modelo Z1 y Z2-A a nivel de empresa y entidad, además de los reportes decenales para la estrategia óptima de corte y análisis del desfase;

RF16: realizar la teletransmisión, generando un compendio de cada reporte a nivel de empresas tanto provinciales como nacionales.

El diagrama principal de los casos de usos se muestra en la figura 1.

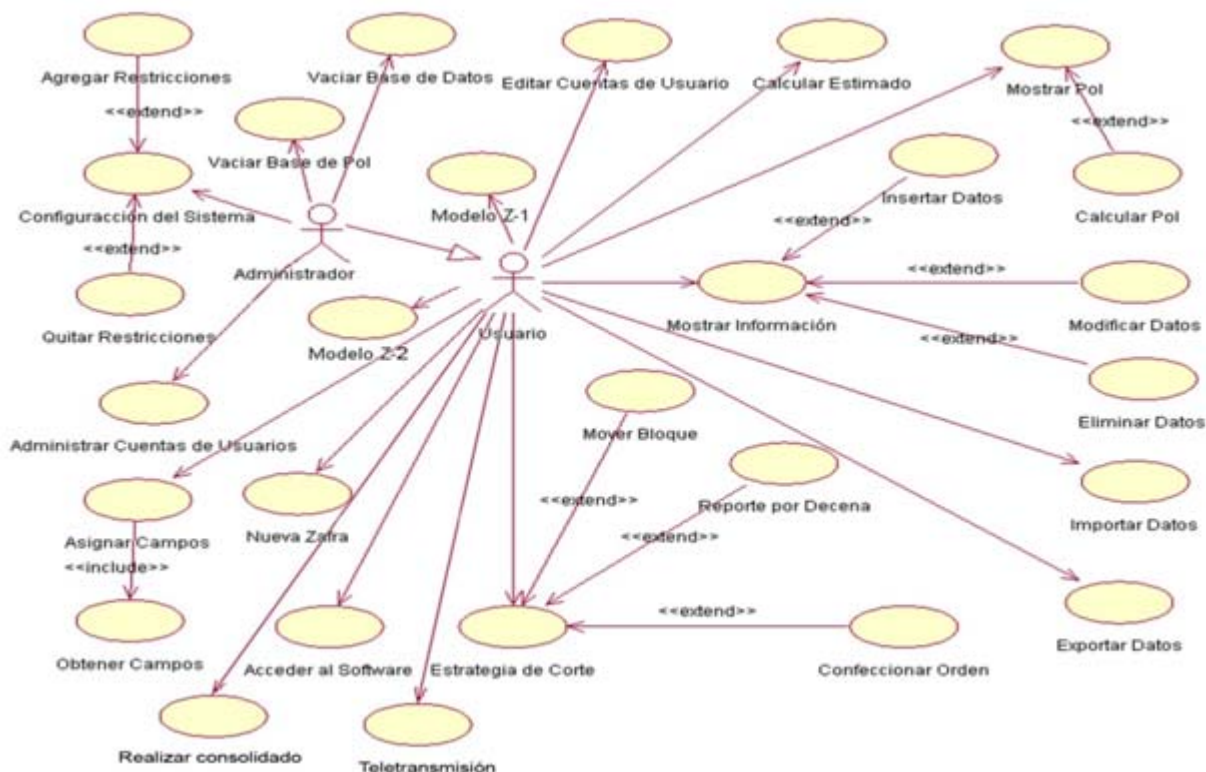


Figura 1: Diagrama principal de los casos de uso.

### Base de Datos del sistema.

A partir del análisis realizado se determinó que información se debía mantener de forma persistente para el eficaz funcionamiento del SISCOR, por lo que se utilizó una base de datos en Microsoft Access, su diagrama se muestra en la figura 2.

### Ventajas del sistema informático implementado:

- Una mejor aproximación de los valores de los coeficientes de la curva de Pol y el  $R_2$ , ya que se implementó el MMCEM.

- El cálculo del estimado es exacto, ya que se tienen en cuenta las nuevas disposiciones emitidas por el MINAZ y se hace una discriminación entre los frentes de cortes.

- Se garantiza la correcta exportación del estimado cañero al SICE.

- La implementación de un nuevo algoritmo de Programación Meta Lexicográfico, para la determinación de la estrategia óptima del corte, que simplifica el procedimiento utilizado y permite dinamizar las restricciones y el orden en que serán evaluadas.



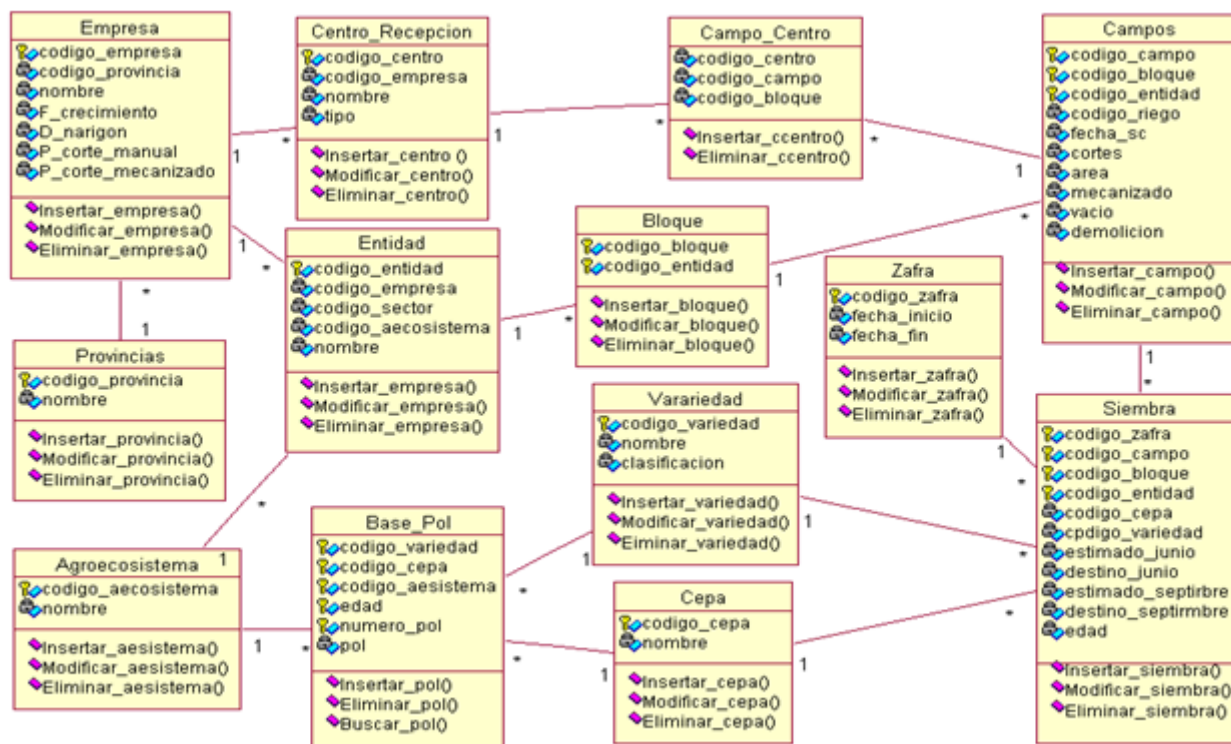


Figura 2: Diagrama de clases de la base de datos.

• Se garantiza la salida de los modelos en el formato utilizado por AZCUBA emitiendo reportes de fácil comprensión a los especialistas.

**Utilización del sistema**

Luego de haber sido instalado correctamente el sistema, se podrá ejecutar a partir del fichero SISCOR.exe que estará en la dirección que se le dio en la instalación, o accediendo al menú *Inicio* en: *Todos los programas*, existirá una entrada correspondiente a SISCOR.exe. Se le dará clic al

ejecutable como se describe a continuación y comenzará la ejecución de la aplicación. El sistema trabaja con usuarios que de acuerdo a los permisos con que cuenta así serán las operaciones que podrá ejecutar. El Administrador podrá participar en todas las actividades, mientras que el otro Usuario accederá a todas excepto a la parte administrativa del sistema. En la figura 3 se muestra la ventana de acceso al sistema SISCOR, el interesado en acceder debe seleccionar el nombre de usuario y escribir la contraseña del mismo.



Figura 3: Ventana Principal del sistema.

Después de validar la contraseña por parte del sistema, se visualiza la ventana principal, donde se muestra el menú principal con todas las opciones a las que el usuario tendrá acceso, según el grupo de usuario al que pertenezca. En la figura 3 se muestra la ventana principal.

Como se puede observar, se muestra la ventana principal, en la cual se le da paso a ciertas operaciones en correspondencia de la elegida por el usuario. Una de esas posibilidades es la de Base de Pol. Para acceder a ella se elige en la barra de herramientas el botón "Base de Pol". Como se observa en la figura 4 se da la posibilidad de elegir un tipo de agroecosistema,

un tipo de cepa y de variedad y se presiona el botón "Buscar", si existe se muestra; en el caso de que no exista su Pol, entonces se debe acceder a la ventana de Calcular Pol como se muestra en la figura 5. En esta ventana se brinda la opción de introducir los datos verídicos para la obtención de los coeficientes que son calculados por (MMCEM), esto da origen a un sistema de ecuaciones normales que deben ser resueltas utilizando los sistemas de ecuaciones lineales.

Una vez calculados dichos coeficientes, en dependencia de la edad inicio y de la edad final de la cepa se evalúa el polinomio de segundo grado para obtener el Pol.

edad	numero_pol	pol
12	1	9,15
12	2	9,30
12	3	9,45
13	1	9,65
13	2	9,80
13	3	9,95
14	1	10,15
14	2	10,30
14	3	10,45
15	1	10,65
15	2	10,80
15	3	10,95
16	1	11,15

Figura 4: Ventana para Base de Pol.

	1	2	3	4	5
Edad	10	11	12	13	14

	1	2	3	4	5
Pol	10	10,35	10,98	11,75	12,31

Coeficiente de grado 0: 9,53  
 Coeficiente de grado 1: -0,36  
 Coeficiente de grado 2: 0,04  
 Coeficiente  $R^2$ : 0,99

Figura 5: Ventana para el cálculo del Pol.

Los usuarios pueden elegir la opción "Calcular Estimados" en la barra de herramientas. Esta ventana que se muestra en la figura 6; brinda la posibilidad de escoger los campos por bloque, entidad y frente de corte, entrar el peso promedio de caña por plantón, la cantidad de caña por plantón, la distancia de camellón y los plántones reales por hectáreas. El sistema calcula el peso promedio por plantón, plántones plan, rendimiento, rendimiento ajustado y producción.

Otra opción es la de generar la Estrategia de corte para optimizar la producción, ésta se

elige en el botón "Estrategia" de la barra de herramientas. La ventana correspondiente se muestra en la figura 7; aquí se le brinda la posibilidad al usuario de realizar la estrategia óptima de corte para cada entidad, centro de recepción y frente de corte.

Si el usuario desea cambiar el orden de las restricciones puede elegir "Prioridades". La ventana correspondiente se muestra en figura 8, en la cual el usuario puede elegir las restricciones y orden en que se deben evaluar para la confección de la estrategia de corte.

**Estimado**

Filtro: Zafra: 2012-2013, Bloque: [ ], Código: 2, Entidad: mejorana, Frente de Corte: mecanizado

Bloque	Campo	P.Prom. CxPlant. (kg)	P.Prom. Cant. CxPlan (kg)	Distan. Planton Camellón (m)	Plant. Rxha	Plant. Plan	% Pobl	Rend Ajust (t/ha)	Rend (t/ha)	Área (ha)	Producc (t)	Edad	Variedad	Cepa	Vacio
61	2							35	29,43	1030,05		9	otras	R	No
61	3							23	17,18	395,14		9	otras	R	No
68	3							15	22,04	330,60		9	otras	R	No
69	1							44,6	19,87	886,20		9	otras	R	No
70	1							35	6,41	224,35		9	otras	R	No

Figura 6: Ventana para el cálculo de estimados.

**Estrategia**

Zafra: 2012-2013, Código: 1, Entidad: San Benito, Frente de Corte: manual, Código Centro de Recepción: 1 mesa alimentadora

**Estrategia**

Decena	Bloque	Campo	Variedad	Cepa	Edad	Demoler	Tiro (t)
1	8	2	C.90-530	PQ	19	No	112,86
2	8	2	C.90-530	PQ	19	No	115,14
2	8	4	C.90-530	PQ	18	No	569,40
2	8	3	C.90-530	PQ	18	No	199,80
2	8	1	C.90-530	PQ	18	No	354,90
2	6	2	B.72-74	PQ	18	No	2,16
3	6	2	B.72-74	PQ	19	No	1128,55

Decena: 1, Bloque: 8, Mover Bloque, Reporte

Figura 7: Ventana para la Estrategia de Corte.



Figura 8: Ventana para establecer el orden de las restricciones.

Otra opción que tiene el usuario es la de visualizar reportes, para esto puede escoger entre el "Modelo Z-1" y el "Modelo Z2-A", se puede seleccionar el nivel (Empresa o Entidad) del reporte que se desea visualizar. En la figura 9 se muestra el modelo Z-1 de una UEB.

El usuario puede importar y exportar datos del SICE, además puede salvar los datos de las entidades y empresas para realizar la teletransmisión, esto no es más que hacer un compendio de los datos tanto a nivel provincial como nacional.

## Resultados y discusión

En la tabla 3 se presenta un estado comparativo de los planes obtenidos en la UEB central azucarero "Paquito Rosales" al aplicar el sistema SISCOR y los métodos tradicionales.

La tabla anterior demuestra que la empresa ha obtenido una potencialidad superior con el empleo del sistema SISCOR durante la zafra 2011-2012. Este propuso un rendimiento industrial de 1,07 % por encima del obtenido con la aplicación del método tradicional, con un sobregro de 2 043,89 toneladas (t) de azúcar, que representa 881 734,14 USD, a un precio promedio de 431,40 USD por t.

La empresa planificó un desfase de 72 % y los resultados del SISCOR plantean un 59 %, lo cual representa un 13% menos de desfase entre lo planteado

por el OPECOR y lo que había planificado la empresa. Esto se debe a un mejor ordenamiento en las variedades y cepas.

En cuanto a lo real, la UEB central azucarero "Paquito Rosales" no cumplió el plan de azúcar en un porcentaje de 79,81 %, dejando de producir 4037,91 t, debido fundamentalmente a los siguientes factores: incumplimiento del estimado de caña en un porcentaje de 97,45 %; incumplimiento del recobrado en un porcentaje de 93,98%; aumento de los niveles de materia extraña en el corte manual y mecanizado en un porcentaje de 42 % y 29 %, respectivamente. Ello influyó decisivamente en el incumplimiento del rendimiento industrial en un porcentaje de 91,49 %. También hubo un alto nivel de tiempo perdido en un porcentaje de 30 %, provocado por más de 490 paradas debido a excesivas roturas industriales; lo cual incidió en el cumplimiento de la norma potencial en un porcentaje de 44 %. El exceso de consumo de materia prima influyó en el alto costo del plan de azúcar, situación que repercutió en las cifras finales de ingresos adicionales en divisas que puede obtener la empresa azucarera, las cuales se redujeron a 1 741 954,37 USD.

El incumplimiento del plan de azúcar se reflejó en el comportamiento del costo de producción; de un plan de 682,17 pesos se tiene un real de 866,37 pesos, para una pérdida de 184,20 pesos por tonelada de azúcar.

Figura 9: Modelo Z-1.

Plan de zafra									
AZCUBA									
Estimado Cañero en la UEB Atención a Productores: PAQUITO ROSALES									
Fecha: Septiembre 30/12									
	Total por Cepas			Mecanizado por Cepas			U.M.: ha, t/ha, t		
	Área	Rendimiento	Producción	Área	Rendimiento	Producción	Área	Rendimiento	Producción
Primaveras Q	439,48	77,12	33892,89	148,22	77,24	11448,23	291,26	77,06	22444,66
Retofios Q	53,91	46,79	2522,48	9,47	45,00	426,15	44,44	47,17	2096,33
Otras Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total Quedadas</b>	<b>493,39</b>	<b>73,81</b>	<b>36415,37</b>	<b>157,69</b>	<b>75,30</b>	<b>11874,38</b>	<b>335,70</b>	<b>73,10</b>	<b>24540,99</b>
Frios	83,63	54,14	4527,35	7,33	70,00	513,10	76,30	52,61	4014,25
<b>Sub-Total Ciclo Largo</b>	<b>577,02</b>	<b>70,96</b>	<b>40942,72</b>	<b>165,02</b>	<b>75,07</b>	<b>12387,48</b>	<b>412,00</b>	<b>69,31</b>	<b>28555,24</b>
Socas	546,96	46,73	25557,96	138,21	48,66	6725,05	408,75	46,07	18832,91
2 Retofios	3942,10	31,53	124281,89	1192,00	34,01	40543,20	2750,10	30,45	83738,69
3 Retofios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 Retofios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5 Retofios o Más	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sub-Total Retofios 3942,10</b>	<b>31,53</b>	<b>124281,89</b>	<b>1192,00</b>	<b>34,01</b>	<b>40543,20</b>	<b>2750,10</b>	<b>30,45</b>	<b>83738,69</b>	
<b>Total Retofios</b>	<b>4489,06</b>	<b>33,38</b>	<b>149839,85</b>	<b>1330,21</b>	<b>35,53</b>	<b>47268,25</b>	<b>3158,85</b>	<b>32,47</b>	<b>102571,60</b>
Primaveras	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sub-Total Ciclo Corto</b>	<b>4489,06</b>	<b>33,38</b>	<b>149839,85</b>	<b>1330,21</b>	<b>35,53</b>	<b>47268,25</b>	<b>3158,85</b>	<b>32,47</b>	<b>102571,60</b>
<b>Total Molible</b>	<b>5072,79</b>	<b>37,66</b>	<b>191017,42</b>	<b>1495,23</b>	<b>39,90</b>	<b>59655,73</b>	<b>3577,56</b>	<b>36,72</b>	<b>131361,89</b>
Primaveras	270,06	43,57	11765,87	40,95	40,00	1638,00	229,11	44,21	10127,87
Frios	223,04	38,57	8601,65	0,00	0,00	0,00	223,04	38,57	8601,65
Retofios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL SEMILLA</b>	<b>493,10</b>	<b>41,31</b>	<b>20367,52</b>	<b>40,95</b>	<b>40,00</b>	<b>1638,00</b>	<b>452,15</b>	<b>41,42</b>	<b>18729,52</b>
Primaveras	604,66	39,84	24089,87	91,46	40,00	3658,40	513,20	39,81	20431,47
Retofios	471,86	28,70	13540,27	59,60	28,15	1677,48	412,26	28,78	11862,79
<b>TOT. DEJAR QUEDAR</b>	<b>1076,52</b>	<b>34,96</b>	<b>37630,14</b>	<b>151,06</b>	<b>35,32</b>	<b>5335,88</b>	<b>925,46</b>	<b>34,90</b>	<b>32294,26</b>
<b>TOTAL NO MOLIBLE</b>	<b>1569,62</b>	<b>76,27</b>	<b>57997,66</b>	<b>192,01</b>	<b>75,32</b>	<b>6973,88</b>	<b>1377,61</b>	<b>76,32</b>	<b>51023,78</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>6642,41</b>	<b>113,93</b>	<b>249015,08</b>	<b>1687,24</b>	<b>115,22</b>	<b>66629,61</b>	<b>4955,17</b>	<b>113,04</b>	<b>182385,4</b>

Tabla 3: Comparación de los resultados en la zafra 2011-2012.  
UEB central azucarero "Paquito Rosales"

INDICADORES	(1) PLANIF DE LA EA	(2) DATOS FINALES SIST. SISCOR	(3) DATOS REALES	(3)/(1) %
ESTIMADOS (t)	191 017,42	191 017,42	187 101,56	97,45
AZUCAR PROD (t)	19 999,52	22 043,41	15 961,61	79,81
REND IND. (%)	10,47	11,54	9,58	91,49
RECOBRADO (%)	88,50	88,50	83,17	93,98
% MAT. EXTRANA:	8,24	8,24	9,87	119,00
Manual	2,50	2,50	3,55	142,00
Mecanizada	9,32	9,32	12,05	129,00
Desfase (%)	72	59	85	118
PLAN DE FRESCURA :hrs. Agrícolas: 5 y transporte 22				
PLAN DE CORTE	100			85

Fuente: Datos obtenidos en la UEB y datos del SISCOR.

Esto representó un aumento en un porcentaje de 27 % de la cifra planificada. Estas pérdidas estuvieron ligadas directamente al aprovechamiento del rendimiento potencial de la caña (RPC); de un plan del 90 % sólo se obtuvo un 77 % de aprovechamiento. Respecto al rendimiento industrial, de un plan de 10,47 % se obtuvo 9,58 % durante el periodo de zafra. Otra de las causas de los altos costos es el exceso de consumo de materia prima (caña de azúcar), ascendiendo a 16 505,5 miles de pesos, influyendo en el costo por encima de lo planificado en 64,38 pesos, pago por los salarios de la producción en 24,26 pesos y los gastos de amortización en 55,67 pesos.

## Conclusiones

**1. La solución obtenida muestra que la producción de azúcar en la UEB central azucarero "Paquito Rosales" se incrementó a nivel de planificación en 2 043,89 t de azúcar, lo cual, a un precio de 431,4 USD, representa 881 734,14 USD, de manera que se cumple con lo referente a la producción de azúcar, obteniéndose un mayor nivel de satisfacción.**

**2. Por primera vez, estas condiciones de redimensionamiento, se adaptan concretamente a la UEB central azucarero "Paquito Rosales" con un sistema informático soportado por un modelo económico-matemático de programación meta con prioridades para determinar la estrategia de corte y su control.**

**3. El hecho que se utilice un sistema informático adaptado a las condiciones concretas de la UEB central azucarero "Paquito Rosales", permitirá perfeccionar la solución, viabilizar la introducción de los resultados, minimizar las correcciones post-modelo y evitar atrasos de la entrega de la información a nivel superior.**

## Bibliografía

1. Deitel, H.M.: C++ how to program. 5ta edición. Prentice Hall, 2005.
2. JACOBSON, Ivar; BOOCH, Grady; RUMBAUGH, James. *El Lenguaje Unificado de Modelado*. 2da edición. España: Editorial Pearson Prentice Hall. 2007.
3. LARMAN, Craig. UML y PATRONES. Introducción al análisis y diseño orientado a objetos. 2da edición. España: Editorial Pearson Prentice Hall. 2003.
4. PÉREZ B., Andrea. "Determinación de las curvas de Pol y pureza por variedad cepa y edad en la EA Rafael Reyes". Trabajo de diploma en opción al título de Licenciado en Economía. Universidad de Oriente, 2001.
5. RODRÍGUEZ B., RAMÓN: *Estudio de casos en técnicas de optimización*. Folleto utilizado en la Maestría de aplicaciones de la modelación económico-matemática. México, 1996.
6. RODRÍGUEZ B., Ramón; AGUILERA, Rolando; LEÓN ROBAINA, S. y R. "Programación matemática borrosa para la determinación de la estrategia del corte", en *Memorias del IV Congreso de la SIGEF*. Santiago de Cuba, 1997.
6. \_\_\_\_\_. "Sistema Automatizado para la determinación de la estrategia de corte en el Central Chile", en *Memorias del ATAC Provincial*. Santiago de Cuba: 1998, Vol. 5 No. 1, p. 25-27.
7. RODRÍGUEZ B., Ramón; Aguilera S., Rolando. "Sistema Automatizado para la determinación de la estrategia y programación del corte". *Revista Cañaveral*. La Habana, 1999.
8. SILBERSCHATZ, A., Korth, H. F.; Sudarshan, S. *Fundamentos de Bases de Datos*. 4ta edición. Mc.Graw-Hill, 2002.