

ARTÍCULO ORIGINAL

# Modelo económico–matemático para la organización racional de los medios técnicos en la cosecha–transporte-recepción de la caña de azúcar

*Cost-reducing model–reception of sugar cane–mathematical transportation for the rational organization of the half a technicians in the harvest*

Neeldes Matos Ramírez<sup>1</sup> y Ciro Iglesias Coronel<sup>2</sup>

**RESUMEN.** La labor de mejoramiento del proceso cosecha – transporte - recepción es una de las prioridades del país en la etapa actual y la introducción de técnicas que garanticen la eficiencia está en correspondencia con las necesidades actuales de la industria azucarera cubana. En el presente trabajo, se muestra la propuesta de un modelo económico – matemático con el objetivo de organizar la transportación en el cultivo de la caña de azúcar utilizando los camiones a partir del estudio realizado de la aplicación de la teoría de colas o de servicio masivo. El mismo facilita un análisis del nexo entre los eslabones cosecha–transporte–recepción y pone a su disposición las herramientas para el estudio de un sistema de espera en el que es necesario balancear la relación, de tal forma que las pérdidas por estas causas sean mínimas. La propuesta, ratifica el empleo de la teoría de cola o el servicio masivo, como una forma para estudiar la composición más eficiente de los pelotones de corte mecanizado de la caña de azúcar, lo que constituye el objetivo central del trabajo. Además, da la posibilidad de determinar el número necesario de camiones a emplear en cada etapa de trabajo bajo disímiles condiciones.

**Palabras clave:** optimización de la cosecha de la caña, transporte de la caña de azúcar.

**ABSTRACT.** The work of improvement of the process harvests reception one comes from the priorities of the country in the present-day stage and the introduction of techniques that they guarantee efficiency this in mail with the present-day needs of the sugar industry Cuban–transport. Work in the present the proposal of a cost-reducing model is shown–mathematician for the sake of organizing the transportation in the cultivation of sugar cane utilizing the trucks as from the study accomplished of the application of the theory of tails or of massive service. The same an analysis provides of the linkage between the links harvest – transport – reception and you put the tools for the study of a system of wait it is necessary to balance the relation in at your disposal, in such a way that the losses for these causes be minimal. The proposal, ratify the job of the theory of tail or the massive service, like a form to go into the most efficient composition of the big balls of court mechanized of sugar cane, what the central objective of work constitutes. Besides, give the possibility to determine the necessary number of trucks to use in each stage of softly work dissimilar conditions.

**Keywords:** the crop of optimization of the cane, transport of the sugar cane.

## INTRODUCCIÓN

Los tiempos actuales en la agricultura exigen una óptima explotación de los sistemas mecanizados; la concentración y la especialización de la producción, y el incremento de la productividad en el trabajo, con base en los rendimientos agrícolas,

la disminución de los costos de producción, obtención de nuevas variedades de plantas, y la mecanización y automatización científica del trabajo.

En el trabajo de los eslabones cosecha–transporte–recepción se originan esperas, por estas pérdidas de tiempo durante la espera en la cola, se pierden cuantiosos medios materiales, capacidades productivas y energía humana.

**Recibido** 27/05/11, aprobado 19/05/12, trabajo 40/12, artículo original.

<sup>1</sup> Ing. Mecánico, Profesor Asistente de la Universidad de Camagüey, miembro del Grupo Multidisciplinario Agrícola (GMA), Calle 3<sup>ra</sup> N° 70 % B y C Reparto Las Mercedes, CP: 70 500. Camagüey, Tel: (032) 261456, E-✉: [neeldes.matos@reduc.edu.cu](mailto:neeldes.matos@reduc.edu.cu)

<sup>2</sup> Dr. C., Profesor e Investigador Titular, Universidad Agraria de La Habana.

Para reducir a lo más mínimo las colas existe un medio racional: el empleo de la teoría de cola o el servicio masivo, por este método se puede obtener la composición de los pelotones para el corte mecanizado de la caña de azúcar, dando la probabilidad de determinar el número necesario de camiones a emplear (Kaufmann, 1975; Iglesias *et al.*, 1985; Iglesias, 2007).

**MÉTODOS**

**Planteamiento del problema en el proceso cosecha – transporte – recepción de la caña de azúcar**

Si se analiza la cadena cosecha – transporte – recepción de la caña según las variantes organizativas que existen en Cuba y el mundo, generalmente se puede llegar a la conclusión de que esta se componen como mínimo de cuatro eslabones: cosechadoras, tractores movedores en el campo, camiones y centro de recepción o basculador, por lo tanto existen tres empalmes entre eslabones; en el caso que se utilice tractores movedores en el centro de recepción la cadena quedaría compuesta por cinco eslabones y cuatro empalmes, (Figura 1).

Este proceso de producción como su nombre lo indica es una cadena o flujo productivo. La ley fundamental que rige la

organización de estos procesos es la denominada “Ecuación de continuidad del flujo de producción” y que plantea, que para mantener un flujo de producción estable o sea sin “atrasos o ociosidades”, la productividad de los eslabones que participan en la cadena del complejo de máquinas deben ser la misma, o sea (Capuñay, 2000; García, 2006; Iglesias, 2010):

$$W_1 = W_2 = W_3 \dots = W_i \tag{1}$$

o lo que es igual a:

$$W_1 n_1 = W_2 n_2 = W_3 n_3 \dots W_i n_i$$

donde:  $W_i$ : productividad horaria de cada conjunto del eslabón  $i$ , t/h;  $n_i$ : número de conjunto en el eslabón  $i$ .

Lo cual queda de la siguiente forma:

$$W_c = W_{tmc} = W_{ca} = W_{tmer} = W_{cr} \tag{2}$$

donde:  $W_c$  - productividad horaria del eslabón cosechadoras (pelotón de combinadas), t/h;  $W_{tmc}$  - productividad del eslabón tractor movedor en el campo, t/h;  $W_{ca}$  - productividad horaria del eslabón camión de tiro, t/h;  $W_{tmer}$  - productividad del eslabón tractor movedor en el centro de recepción, t/h;  $W_{cr}$  - productividad horaria del eslabón Centro de Recepción, t/h.

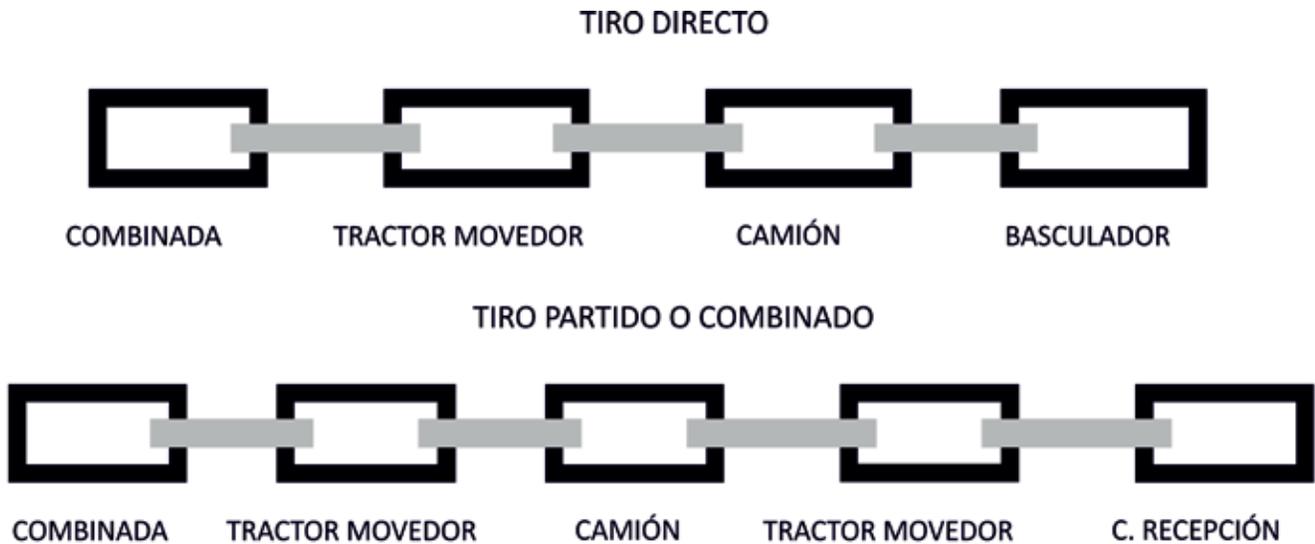


FIGURA 1. Eslabones y empalmes de la cadena cosecha–transporte–recepción.

La determinación de la estructura de la cadena cosecha – transporte – recepción según la “Ecuación de continuidad del flujo de producción” presenta un inconveniente, que, el supuesto de que las diferentes productividades son constantes durante todo el turno de trabajo y en realidad no lo es, ya que las magnitudes de las que dependen las productividades tienen un carácter aleatorio como son: los tiempos de carga, de descarga, de viaje, etc. Esto conlleva a una variación del valor del tiempo del ciclo de trabajo de cada uno de los eslabones provocando “atrosos y paradas” a cada ratos en cada uno de estos (López, 1989).

La solución más exacta de este problema se obtendría mediante la evaluación de las paradas a través del método de la

“Teoría de las probabilidades”, sin embargo las características de esta cadena, complican extraordinariamente la misma, hasta el presente varios autores han propuesto dar solución a esta problemática estando entre ellos: Gentil y Ripolit (1977); López (1989); Rodríguez y Aldana (1999); García (2006); Valdés (2009) e Iglesias (2010), pero analizando el fenómeno en su variante más sencilla, en este trabajo se fundamenta una propuesta más efectiva de solución, a partir de la aplicación de la “Teoría de Colas o Servicio Masivo” teniendo en cuenta que en el proceso cosecha–transporte–recepción de la caña de azúcar se forman colas en dos puntos del proceso: en el campo en cosecha y en el Centro de Recepción (Escudero, 1972; Kaufmann, 1975 y López, 1989).

### Modelo económico-matemático para determinar la estructura óptima del sistema

Los estudios realizados en Cuba sobre la aplicación de la Teoría de Colas en la cosecha de la caña de azúcar se han concentrado en el análisis del fenómeno de espera con la conformación de una sola cola, el cual se manifiesta en la combinación combinada – camión, este modelo no toma en consideración los sucesos que tienen lugar cuando el camión arriba al centro de recepción.

Como se observa en la (Figura 2) el caso responde a dos estaciones consecutivas o servicio en cascada, en la primera estación el subsistema cosecha  $S_1$ , un camión puede esperar en cola a ser servido, luego de recibir el servicio realizar el proceso de salida del campo y dirigirse a la zona de descarga e inmediatamente pasar a un segundo proceso el subsistema recepción  $S_2$ , formando o no cola ante el mismo.

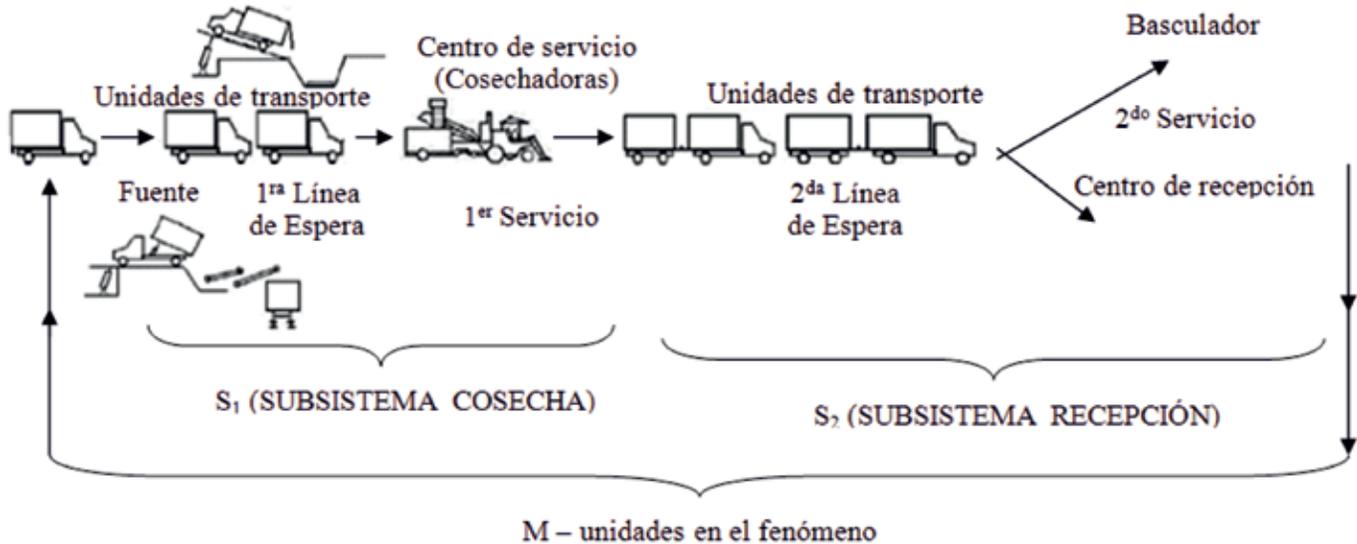


FIGURA 2. Diagrama del fenómeno de espera con dos servicios en cascadas.

Iglesias (2010), plantea “la organización de la utilización de la técnica agrícola durante la producción en flujo, desde un punto de vista general, se puede formular de la siguiente manera: el sistema de servicio está compuesto de  $m$  máquinas para el trabajo básico o productivo (serviciado). El flujo de llegadas de las exigencias para ser satisfechas es limitado, es decir, en el sistema de servicio no pueden al mismo tiempo surgir más de  $s$  solicitudes. El flujo es simple. La frecuencia de llegadas de solicitudes desde una máquina para el trabajo básico o productivo (serviciado) es igual a  $\lambda = 1/2$  “La máquina que recibe el servicio, abandona el sistema solamente cuando el mismo sea satisfecho independientemente del largo de la cola”.

Si “ $m$ ” es el número de estaciones serviciadas (combinadas) y “ $n$ ” es el número limitado de clientes (camiones). (Escudero, 1972; Kaufmann, 1975, López, 1989 e Iglesias, 2010).

Entonces:

Si en el proceso participan un número limitado de clientes “ $n$ ” camiones y un número de estaciones “ $m$ ” combinadas,  $n > m$ , el proceso de inicio y terminación van a contener los parámetros  $\lambda_n$  y  $\mu_n$  tales que: se conoce que ningún camión va a abandonar la zona de carga hasta tanto no haya sido servido, según expresa Kaufmann (1975), solo en estos casos el flujo de demandas de servicios describen un Flujo Simple o de Poisson.

Con los grupos de tiempos que se obtengan de la observación fotocronometraje de los sucesos del proceso cosecha–transporte–recepción, se puede comprobar la frecuencia de distribución de probabilidad y la media correspondiente, de manera que se determinan los parámetros necesarios para la

obtención del modelo de colas, quedando definido como un: *fenómeno de espera con dos estaciones en cascadas con un número limitados de clientes y donde las llegadas de los camiones al campo se comportan según la distribución de Poisson y los intervalos de servicio según la exponencial negativa.*

El flujo simple o de Poisson”, se describe según la expresión:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \tag{3}$$

donde:  $P_n(t)$  - probabilidad de hayan llegado  $n$  unidades al sistema en el intervalo de tiempo  $t$ ;  $n$  - número de unidades;  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ;  $e$  - base de los logaritmos neperianos;  $e = 2,71828\dots$  y  $\lambda$  - densidad de flujo, tasa media de llegadas o entradas, número medio de unidades o consumidores (camiones) que llegan o entran al sistema de servicio masivo o sistema de espera en una unidad de tiempo.

La magnitud  $\lambda$ , se determina por la expresión:

$$\lambda = \frac{N}{\sum_{i=1}^n t_i} \tag{4}$$

donde:  $t_i$  - intervalo del tiempo entre la llegada de  $i$ , e  $i+1$  exigencia,  $h$  y  $N$ - cantidad de exigencias que llegan desde una máquina en el tiempo ( $T$ ), y se determina como:

$$T = \sum_{i=1}^n t_i \tag{5}$$

Donde el funcionamiento del eslabón de servicio se caracteriza por la duración del servicio de una exigencia, en la cual en la mayoría de los casos, se puede representar por la ley exponencial siguiente:

$$F_{(t)} = 1 - e^{-vt} \quad (6)$$

donde:  $F_{(t)}$  - probabilidad de que el tiempo del servicio no sea mayor que el tiempo  $t$  dado;  $v$  - parámetro de la ley exponencial, es decir, la esperanza matemática de la cantidad de solicitudes, las cuales se satisfacen por unidad de tiempo y la cual es igual a:

$$v = \frac{n}{\sum_{j=1}^n t_j} \quad (7)$$

donde:  $n$  - cantidad de exigencias cumplidas en el tiempo  $T$ .

Para la evaluación de la efectividad de utilización de las cosechadoras y camiones, los cuales trabajan conjuntamente en flujo es necesario determinar:

- intensidad del servicio en cada uno de los subsistemas de la cadena  $S_1$  y  $S_2$ , lo que es igual a  $\mu_1$  y  $\mu_2$ ;
- tasa de llegada de los camiones a cada subsistema  $\lambda$ ;
- valor de la intensidad del tráfico  $\varphi_1$  y  $\varphi_2$ ;
- probabilidad de condición de dicho sistema  $P_0$ ;
- probabilidad de que en el subsistema cosecha o en la primera estación haya  $n_1$  camiones entre cola y serviciados, y el segundo  $n_2$ ,  $P_{n_1, n_2}$ ;
- probabilidad de que al llegar un camión al primer servicio o al segundo, tenga que esperar,  $P_{e1}$  y  $P_{e2}$ ;
- coeficiente de paradas de las combinadas y camiones en trabajo productivo,  $K_{np}$  y  $K'_{np}$ , respectivamente;

La probabilidad  $P_0$  de que haya cero unidades desocupadas en el sistema de Servicio Masivo, va estar definido por:

$$P(0,0) = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)(1 - \varphi_1)(1 - \varphi_2)}{\varphi_1 - \varphi_2 - (\varphi_1^{M+2} - \varphi_2^{M+2}) + \varphi_1\varphi_2(\varphi_1^{M+1} - \varphi_2^{M+1})} \quad (15)$$

Se define entonces, a  $P_{n_1, n_2}$ , como la probabilidad de que en el subsistema cosecha o en la primera estación de servicio haya  $n_1$  camiones en cola y serviciados, y el segundo haya  $n_2$ , el valor de esta probabilidad es igual:

$$P_{n_1, n_2} = \varphi_1^{n_1} \cdot \varphi_2^{n_2} (1 - \varphi_1)(1 - \varphi_2) = \varphi_1^{n_1} \cdot \varphi_2^{n_2} P(0,0) \quad (16)$$

La probabilidad de que al llegar un camión al primer servicio, tenga que esperar, será:

$$P_{e1} = \varphi_1 \quad (17)$$

La probabilidad de que al llegar un camión al segundo servicio, tenga que esperar, es igual a:

$$P_{e2} = \varphi_2 \quad (18)$$

Conociendo estos valores, se puede definir, que las correspondientes probabilidades de que un camión encuentre cola en los subsistemas cosecha o recepción estará dado por:

$$P_{e1} = \varphi_1^2; P_{e2} = \varphi_2^2 \quad (19), (20)$$

Entonces, el número medio de camiones en espera o recibiendo el servicio de cada proceso de la cadena, es igual:

- cantidad media de camiones que estarán esperando o recibiendo el servicio de cada proceso de la cadena,  $\bar{n}_{11}$  y  $\bar{n}_{12}$ .

Cada proceso está saturado de trabajo y tienen una tasa media de servicio ( $\mu_1$  y  $\mu_2$ ), el número de camiones servidos en la unidad de tiempo no tienen por qué ser idénticos en los dos subsistemas.

La tasa media de servicio será igual a:

$$\mu_1 = \frac{1}{T_{cc}}, \mu_2 = \frac{1}{T_{dc}} \quad (8), (9)$$

donde:  $T_{cc}$  - tiempo de llenado del camión por la combinada, h;  $T_{dc}$  - tiempo de descarga del camión, h.

Asimismo, la tasa de llegada de los camiones a cada subsistema tiene un valor,

$$\lambda = \frac{1}{T_c} \quad (10)$$

donde:  $T_c$  tiempo del ciclo del camión, h.

Para cada proceso, existe un valor de intensidad del tráfico  $\varphi$ :

$$\varphi_1 = \frac{\lambda}{\mu_1} \quad (11)$$

Para el primer proceso o subsistema cosecha

$$\varphi_2 = \frac{\lambda}{\mu_2}$$

Para el segundo proceso o subsistema recepción

(12)

La probabilidad  $P_0$  de que haya cero unidades desocupadas en uno u otro subsistema, será:

$$\text{Para el primero, } P_{(1)}^0 = 1 - \varphi_1 \quad (13)$$

$$\text{Para el segundo, } P_{(2)}^0 = 1 - \varphi_2 \quad (14)$$

$$\bar{n}_{t_1} = \frac{\varphi_1}{1 - \varphi_1}; \bar{n}_{t_2} = \frac{\varphi_2}{1 - \varphi_2} \quad (21), (22)$$

El promedio de tiempo que transcurre desde que un camión está en disposición de entrar en el subsistema cosecha hasta que termina en el subsistema recepción, será:

$$\bar{t}_{t_1} = \frac{\varphi_1}{\lambda(1 - \varphi_1)}; \bar{t}_{t_2} = \frac{\varphi_2}{\lambda(1 - \varphi_2)} \quad (23), (24)$$

Luego de haber alcanzado estas expresiones, se esta en condiciones de definir:

El coeficiente de paradas ( $K_{np}$ ), de las combinadas, es igual:

$$K_{np} = \frac{1}{m} \sum_{k=n+1}^m (k - n) P_{n_1, n_2} \quad (25)$$

El coeficiente de paradas del transporte ( $K'_{np}$ ), se determina como:

$$K'_{np} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} (n-k) P_{n_1, n_2} \quad (26)$$

Donde:  $P_{n_1, n_2}$  - probabilidad de encontrarse el sistema en k situación; k - número de condiciones del sistema; m - cantidad de cosechadoras en trabajo; n - cantidad de medios de transporte.

Teniendo los valores de los coeficientes de paradas de las combinadas ( $K_{np}$ ) y del transporte ( $K'_{np}$ ), la productividad horaria de uno y otro eslabón serán igual:

$$W_i = W_i \cdot m(1 - K_{np}), W_j = W_j \cdot n(1 - K'_{np}); \text{ t/h} \quad (27), (28)$$

donde:  $W_i$ ;  $W_j$  - productividad de las combinadas y el transporte respectivamente, durante su trabajo autónomo, sin tener en cuenta las paradas, condicionados por la organización en cadena (flujo), t/h.

La principal condición de la producción en cadena (flujo), tomando en cuenta el coeficiente de paradas será:

$$W_i \cdot m(1 - K_{np}) = W_j \cdot n(1 - K'_{np}) \quad (29)$$

Los fenómenos de espera tienen un componente económico, pues normalmente se busca hacer máximo o mínimo, según el caso, una cuenta de función que recibe generalmente el nombre de función objetivo o función económica a optimizar.

Según los análisis realizados por varios autores, estos definen en general, que los aspectos económicos de los fenómenos de espera van a estar definido por el costo total de la espera de las unidades de producción y el de la inactividad de las estaciones de servicio, para un intervalo de tiempo T, para el cual se debe calcular el costo de la espera de una unidad por unidad de tiempo  $C_1$  y el costo de una estación por unidad de tiempo  $C_2$  (Edgar & Himmenblau, 1998; Escudero, 1972; Kaufmann, 1975; Koopmas, 1974; Pulido, *et al.*, 2009; Valdés, *et al.*, 2009).

Por tanto, para la determinación de la cantidad óptima de los medios de transporte ( $n_{vt}$ ), para un número fijo de cosechadoras, se determina el mínimo de los gastos específicos de explotación en función de la cantidad de cosechadoras a servir, es decir,  $n_{vt} = f(m)$  por la ecuación:

$$n_{vt} = \frac{m \cdot C_{exp(m)} + n \cdot C_{exp(n)}}{W_i \cdot m(1 - K_{np})} \quad (30)$$

donde:  $C_{exp(m)}$ ;  $C_{exp(n)}$  - costos específicos de explotación del eslabón de cosecha y del transporte, respectivamente, peso/t, peso/ha; m; n - cantidad de medios de cosecha y de transporte respectivamente;  $W_i$  - productividad de la cosechadora, t/h.

Entonces, la toma de decisiones conlleva a la determinación de los costos de explotación en una hora de paradas por espera de la cosechadora y del medio de transporte. Tales costos, para su análisis, se dividen en dos: los Costos Fijos ( $C_f$ ) y Costos Variables ( $C_v$ ) y la suma de los costos fijos y los costos variables dan lugar a los costos totales o de explotación ( $C_{exp}$ ):

$$C_{exp} = \sum_{i=1}^n C_{fi} + \sum_{i=1}^n C_{vi}, \text{ peso/año} \quad (31)$$

**Costos Fijos ( $C_f$ ).** Son aquellos que no dependen del uso de la maquinaria y están conformadas por la depreciación ( $C_d$ ), el mismo se determina de la siguiente manera:

**Depreciación ( $C_d$ ).** En el país se determina por el método de la línea recta, es decir proporcional a la vida útil de la máquina (cosechadora y transporte). El mismo consiste en la desvalorización de la máquina en iguales proporciones a lo largo de su vida útil. Este costo se determina por la expresión:

$$C_d = \frac{P_i \cdot Hd}{100 \cdot T_{cs}}, \text{ peso/h} \quad (32)$$

donde:  $P_i$  - Precio inicial de la máquina, peso;  $H_d$  - por ciento anual de depreciación de la cosechadora o el medio de transporte, %;  $T_{cs}$  - carga anual durante la cosecha de la caña en la empresa determinada, h.

**Los Costos Variables ( $C_v$ ).** Son aquellos que dependen del nivel de utilización de la maquinaria en forma directamente proporcional a su uso e incluyen: el costo del complejo combustible-lubricantes ( $C_{C-L}$ ); costo mantenimiento y reparación ( $C_m$ ) y el costo de salario de la mano de obra ( $C_s$ ), los mismos se determinan a través de a siguientes expresiones:

**Costos del complejo combustible-lubricante ( $C_{C-L}$ ).** Se determina en función del gasto combustible y lubricante consumido por hora durante el turno de trabajo considerando su precio actualizado, se utiliza la ecuación siguiente:

$$C_{C-L} = \sum_{i=1}^n G_h V_c, \text{ peso/h} \quad (33)$$

donde:  $G_h$  - gasto horario de combustible complejo de la cosechadora, kg/h;  $V_c$  - valor complejo del combustible, peso/kg.

**Los costos mantenimiento y reparación ( $C_{m-r}$ ).** Estos costos para la cosechadora se determinan como:

$$C_{m-r} = \frac{P_i (H_m + H_r)}{100 T_{CS}}, \text{ peso/h} \quad (34)$$

donde:  $P_i$  - precio de compra de la cosechadora, peso;  $H_m$ ,  $H_r$  - porcentaje de descuento anual por mantenimiento y reparación respectivamente, %.

**Costos de Salario ( $C_s$ ).** Tiene como base al salario vigente en el país para los trabajos de cosecha y transporte en la agricultura, el mismo se determina por:

$$C_s = \sum_{i=1}^n C_t + \sum_{i=1}^n C_o n_o, \text{ peso/h} \quad (35)$$

donde:  $C_t$  - Salario de operadores de la cosechadora o el medio de transporte participantes en el proceso de cosecha-transporte, peso/h;  $C_o$  - Salario de los obreros auxiliares, peso/h.  $n_o$  - cantidad de obreros auxiliares.

El costo total de explotación del sistema por unidad de tiempo ( $C_{exp}$ ) es el que se tratará de hacer mínimo, precisamente donde se alcance su valor más bajo con altas productividades y elevada eficiencia demostrará la composición óptima de

número de camiones para cada pelotón de combinadas, lo cual será demostrado con la utilización de las herramientas informáticas elaboradas para tal efecto.

## VENTAJAS QUE GENERA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

- La aplicación de esta metodología permitirá realizar un análisis más integral y completo en el estudio de los factores que influyen en el proceso cosecha – transporte – recepción de la caña de azúcar.
- Los profundos cambios que experimenta la industria azucarera a nivel nacional, sumado a la introducción de nuevas tecnologías; demandan un perfeccionamiento de la organización del complejo de máquinas que participan en la cosecha. Esto solo se alcanzará con la utilización eficiente de las modernas técnicas de organización y planificación que facilitan los modelos económico- matemáticos expuestos en la metodología.
- La utilización de los modelos económico-matemáticos y la aplicación de la informática, en la organización del complejo de máquinas que participan en el corte, alza, transporte y recepción, permiten realizar un análisis económico más efectivo de este difícil proceso.

## CONCLUSIONES

- La teoría de servicio masivo o teoría de colas, constituye una de las herramientas más completas para evaluar el proceso cosecha – transporte – recepción.
- Si se observa el fenómeno desde que en el proceso se producen colas en el campo y en el punto de recepción, la solución más efectiva estará en el análisis del fenómeno con ***una cola y servidores secuenciales o dos estaciones en cascada***, entonces: se aproximaría el modelo de ***organización*** empresarial “just in time” en el que se trata de minimizar el costo asociado a la ociosidad de recursos en la cadena productiva.
- La metodología aplicada representa un instrumento eficaz que permite perfeccionar los métodos de planificación corriente y operativa de la zafra; contribuyendo a la confección de variantes óptimas y a la toma de decisiones científicamente fundamentadas.
- Los resultados de las composiciones óptimas posibilitan un incremento del Balance de Tiro; y una utilización racional y eficiente de las cosechadoras, tractores movedores, camiones y centros de recepción y basculador.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAPUÑAY, E.; “Los fenómenos de espera en el transporte de caña” *Revista Saccharum*, 5(2): 109- 129, 2000.
2. EDGAR, T. F. & M. HIMMENBLAU: “Optimization of Chemical Processes”, Series. McGraw–Hill, *Chemical Engineering*, 3(7): 36-48, 1998.
3. ESCUDERO, F. L.: *Aplicación de la teoría de colas*, pp. 98-121, Editora Deusto, España, 1972.
4. KAUFMANN, A.: *Métodos y modelos de la investigación de operaciones*, pp. 105-152 y 399- 429, Editora Pueblo Educación, La Habana, Cuba, 1975.
5. KOOPMAS, P. A.: “Capacidad y economía de un sistema existente para el transporte de caña”, *Proc. Int. Sugar Cane Technology*, 25: 1058- 1064, 1974.
6. LÓPEZ, C. L.: *Organización Integral de la cosecha mecanizada*. Modelación matemática del proceso cosecha–transporte, pp. 7-19, Folleto impreso, Universidad de Camagüey, Cuba, 1989.
7. GARCÍA, C, E.: Conformación racional de los medios técnicos en la cosecha transporte del cultivo de arroz en el complejo agroindustrial “Ruta Invasora”, **Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas)**, Universidad de Holguín, Cuba, 2006.
8. IGLESIAS, C. C. y A. PUIG: “Análisis y determinación del punto de ubicación óptimo de los centros de recepción de caña y radio de tipo medio de los trasportes”, *Revista ATAC*, 46(1): 23-29, 1985.
9. IGLESIAS, C. C.: Composición óptima de la brigada cosecha-transporte del arroz a través de la teoría del servicio masivo, En: *AGROMEC '2007*, Edición magnética ISSN-1607-6281, La Habana, Cuba, 2007.
10. IGLESIAS, C. C.: Carácter probabilístico del trabajo de los medios de cosecha de la caña de azúcar”, En: **Agrociencias '2007**, Universidad Agraria de La Habana, pp. 3-7, Edición magnética ISBN-978-959-282-053-1, La Habana, Cuba, 2007.
11. IGLESIAS, C. C.: *Determinación de la composición de la brigada de cosecha-transporte del arroz por la teoría del servicio masivo*, pp. 4-12, Universidad Agraria de La Habana, CEMA, La Habana, (monografía), 2009.
12. IGLESIAS, C. C.: *Fundamentación de la cantidad optima de medios de transporte en los eslabones de cosecha de caña por el método del servicio masivo*, pp. 1-8, Universidad Agraria de La Habana, CEMA, La Habana, (monografía), 2010.
13. PULIDO, M, G.; M. GRAVE P. y R. SÁNCHEZ: *Algunas consideraciones en la planificación y organización de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar [en línea]* Disponible: [www.monografias.com](http://www.monografias.com) [Consulta: abril 10 2011].
14. VALDÉS, G. A.: *Sistema Automatizado para la Organización de la Cosecha de la Caña de Azúcar [en línea]* Disponible: [www.monografias.com](http://www.monografias.com) [Consulta: diciembre 15 2009].