

## **El modelo de la gestión estratégica para la producción de carbón vegetal en la EFI Pinar del Río**

### **Strategic management model for production of charcoal in Pinar del Rio Integral Forest Company**

Van Anh Nguyen Thi\*; Yudel García Quintana; Madelén C. Garofalo Novo.

\*Ing. Forestal, Departamento de Forestal, Universidad de Pinar del Río. Calle Martí 270 Final, Pinar del Río. CP. 20100, email: [vananh@estudiantes.upr.edu.cu](mailto:vananh@estudiantes.upr.edu.cu), teléf.:+5348779661

#### **RESUMEN**

Esta investigación tuvo como objetivo elaborar un modelo matemático-económico mediante la programación lineal y el sistema informática Win QSV, con vistas a maximizar las utilidades y propiciar la gestión del proceso de producción de carbón vegetal. El modelo matemático-económico resulta una herramienta efectiva para la planificación de este proceso en la empresa forestal. Se proponen un conjunto de acciones que permiten a largo plazo optimizar el proceso de obtención sostenible de carbón vegetal.

**Palabras claves:** programación lineal, optimización, carbón vegetal

#### **ABSTRACT**

The aim of the research was to elaborate a mathematical-economic model built by linear programming and the Win QSV software to maximize the utilities in the charcoal production process in the Pinar del Rio Integral Forest Company (IFC). The mathematical-economic model is an effective tool for the charcoal production planning. A group of actions have been proposed which allows a long term optimization for the process of charcoal sustainable production.

**Keywords:** linear programming, optimization, charcoal

## INTRODUCCIÓN

Según García (2004), la conciencia cada vez más generalizada de la importancia de los recursos forestales y la necesidad de su gestión ha de efectuarse de acuerdo con los principios de sostenibilidad, lo cual ha supuesto el inicio de múltiples acciones encaminadas a lograr estos objetivos.

El grado de responsabilidad de las empresas forestales con la sociedad y el medio ambiente, así como el nivel de aplicación de los estándares conlleva a una gestión sostenible de los recursos que maneja. Estos elementos están influenciados por las posiciones de los diferentes grupos de interés frente a la producción (Fernández, 2012). En este contexto, la sostenibilidad del proceso de este proceso tiene gran importancia, pues favorece la conservación del equilibrio de los ecosistemas, obteniendo a la vez aumentos considerables. Los métodos matemáticos, son considerados herramientas importantes para lograr la producción sostenible, lo que garantiza no solo una mejora en la ganancia de producción, sino también una disminución de los impactos negativos provocados al medio.

En países que mantienen un alto desarrollo en la producción forestal, son muchas las experiencias existentes en este campo. La técnica más usada ha sido la programación matemática y dentro de los modelos de optimización, los de programación lineal (León, 1999).

La actividad forestal, como otras ramas de la economía, ha tenido un desarrollo vertiginoso unido al importante papel y los impactos ambientales que se derivan de este, lo que ha promovido un incremento considerable en el número de variables que intervienen en el proceso, así como en sus magnitudes. Todo esto ha traído consigo que las decisiones empíricas se alejen cada vez más de la eficiencia (Sampson *et al.*, 1970).

Garófalo (2003) señala que la utilización de la programación lineal se ha visto como una necesidad dentro del sector forestal. Este mismo autor plantea que en el mundo de hoy de seguir tomando decisiones sin considerar los factores más influyentes en este sistema, tanto en la actividad de silvicultura, aprovechamiento, ordenación y protección se derivarán errores que pondrán en riesgo la calidad de estos procesos.

Los esfuerzos iniciales de utilizar la programación lineal para la planificación detallada no fueron exitosos, por sus propias limitaciones; sin embargo, sentó

las bases para reconocer el concepto de integridad espacial en la planificación del manejo forestal (León, 1997). En este contexto, aún son muchos los campos dentro de este sector en el que sus potencialidades siguen vigentes, ejemplo de ello es el uso en las industrias carboneras.

En la Empresa Forestal Integral (EFI) Pinar del Río, el carbón vegetal resulta uno de los rubros económicos principales, de gran importancia tanto para el mercado nacional e internacional por la alta demanda de este. Sin embargo, en los últimos años sus producciones han disminuido progresivamente, siendo insuficiente para satisfacer las demandas actuales. Paralelamente, se presentan situaciones organizativas y de planificación, además de limitaciones con los envases que ponen en riesgo los rendimientos del carbón vegetal producto de la desintegración de volúmenes considerables. Estos elementos posibilitaron identificar como problema de investigación que la producción de carbón vegetal no se sustenta en mecanismos de gestión que permitan la sostenibilidad, estableciéndose como objeto de estudio: El proceso de producción de carbón vegetal en la EFI Pinar del Río. Para ello se trazó como objetivo: elaborar un modelo matemático-económico a través de la programación lineal que permita la optimización y gestión del proceso de producción de carbón vegetal.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ubicación geográfica del área de estudio.**

Este trabajo se realizó en la EFI Pinar del Río ubicada en la parte centro y sur de la provincia del mismo nombre, la cual abarca patrimonio que corresponde a los municipios San Juan y Martínez, San Luís, Pinar del Río y Consolación del Sur, limitando geográficamente al norte con los municipios Minas de Matahambre y Viñales; al sur con el Mar Caribe; al este con el municipio Los Palacios y al oeste con el municipio Guane (Figura 1).

### Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

Figure 1. Geographical location of studying area.



Fuente: Proyecto de ordenación de EFI Pinar del Río (Guelmez y Acosta, 2007)

Source: Project of ordination of EFI Pinar del Río (Guelmez y Acosta 2007).

### Metodología utilizada para construir el modelo matemático

Se aplicó la metodología establecida por Pilar (1982), a partir de la cual se realizó una descripción del problema a modelar. Se identificaron los elementos que constituyen variables, parámetros e índices según los pasos siguientes:

- **Paso 1:** Los supuestos del modelo
  - Se tuvo en cuenta dos supuestos fundamentales: la proporcionalidad y la aditividad al modelo de programación lineal
- **Paso 2:** Definición de las variables de decisión
  - Se identificaron las variables de decisión con cada una de las actividades que deben realizarse en el proceso de producción de carbón vegetal.
  - Se definieron las variables de forma conceptual, dimensional y temporal teniendo en cuenta la no negatividad de estas.
- **Paso 3:** Definición de la función objetivo
  - Se elaboró la función objetivo como una función lineal, la cual contenía todas las variables de decisión. El objetivo global de la función fue maximizar la producción de carbón vegetal.

- **Paso 4:** Construcción del sistema de restricciones
  - Se construyó el sistema de restricciones teniendo cuenta la necesidad objetiva de considerar las existentes limitaciones cuantitativas de los recursos disponibles, la demanda de producción y los insumos por unidad de producto.
- **Paso 5:** Generación de una solución
  - Para el desarrollo de este paso se obtuvo la solución del modelo matemático y se realizó un análisis post óptimo de la solución a través del uso del software profesional Win QSB ver.01.

## RESULTADOS

### **Modelo matemático-económico para la optimización y gestión de la producción de carbón vegetal**

La eficiencia económica refleja los resultados finales de la producción en la entidad, lo cual expresa el efecto resultante de la utilización de los bienes de capital en su conjunto a los diferentes niveles, o sea, es la obtención del máximo de producción por unidad de superficie o con el mínimo de gasto (Recompenza y Angarica, 2010).

A continuación se muestra la definición de las variables empleadas para el modelo:

- $X_1$ : volumen de producción de carbón vegetal (sacos) destinado para el mercado nacional
- $X_2$ : volumen de producción de carbón vegetal (sacos) destinado para el mercado internacional

Condición de no negatividad:  $X_i \geq 0$  ( $i = 1, 2$ )

Se estableció la función objetivo basada en los precios y costos de producción de cada tipo de carbón vegetal:

$$\text{Max} = (18 - 15,25)X_1 + (115 - 50)X_2$$

Restricciones:

- Disponibilidad de leña en m<sup>3</sup> para producir carbón vegetal  

$$0,71 X_1 + X_2 \leq 26574 \text{ m}^3 \quad (1)$$
- Plan de producción de carbón vegetal en el año 2013 (sacos) de la EFI Pinar del Río  

$$X_1 + X_2 \leq 34000 \text{ sacos} \quad (2)$$
- Plan de producción de carbón vegetal para el mercado nacional en el año 2013 (sacos) de la EFI Pinar del Río  

$$X_1 \geq 13584 \text{ sacos} \quad (3)$$
- Punto equilibrio de la producción de la EFI Pinar del Río (Nguyen, 2013)  

$$X_1 + X_2 \geq 9000 \text{ sacos} \quad (4)$$

En la Tabla I, se muestran los resultados del modelo económico- matemático a través del programa WinQSB, lo que permitió la proyección del potencial de carbón vegetal para lograr, a partir del volumen óptimo de producción destinado para los dos mercados, una ganancia máxima aproximada de 1 138 mil pesos si se producen 13 584 sacos de carbón para el mercado nacional y 16 929 sacos para mercado internacional teniendo en uso toda la cantidad de leña disponible.

**Tabla I Resultados de modelo matemático- económico**

Table I: Results of mathematical-economic model

	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	13.584,0000	2,7500	37.356,0000	0	basic	-M	46,1500
2	X2	16.929,3600	65,0000	1.100.408,0000	0	basic	3,8732	M
	Objective	Function	(Max.) =	1.137.764,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	26.574,0000	<=	26.574,0000	0	65,0000	9.644,6410	30.060,6400
2	C2	30.513,3600	<=	34.000,0000	3.486,6400	0	30.513,3600	M
3	C3	13.584,0000	>=	13.584,0000	0	-43,4000	0	25.606,8900
4	C4	30.513,3600	>=	9.000,0000	21.513,3600	0	-M	30.513,3600

Fuente: Elaboración propia.

Source: Own elaboration.

En cuanto a otras restricciones relacionadas con el plan de producción de la empresa, resulta que solo se puede lograr la óptima solución cuando este

tenga un valor mínimo de 30 513 sacos; para el mercado nacional no debe sobrepasar un volumen de 25 607 sacos para garantizar la optimización del modelo.

El reporte combinado que se obtiene a partir de la solución del modelo también permite realizar un análisis post-óptimo cuando se hacen cambios en las alternativas relacionadas con los costos, precios, plan de producción y la disponibilidad de leña. El coeficiente económico indica la diferencia entre precio y costo, demostrando que esta puede aumentar hasta 46,15 pesos / saco para el mercado nacional, y disminuir hasta 3,87 pesos / saco para el mercado internacional, sin afectar a la solución óptima. Además corrobora que no se pierde la eficacia de la solución si la disponibilidad de leña se encuentra en el rango de 9 645 hasta 30 060 m<sup>3</sup>.

La tabla simplex final (Tabla II), muestra el efecto que causan los cambios en las alternativas establecidas en la solución óptima básica obtenida y en la ganancia, los cuales pueden ser favorables según las necesidades de la empresa. Se demuestra que por cada m<sup>3</sup> de la leña que se aumente se obtendrán 65 pesos de ganancia; para ello se debe producir 1 saco de carbón destinado al mercado internacional, y eliminar 1 saco destinado al mercado nacional. Al considerar que la disminución de la demanda nacional es favorable para la solución general, los resultados indican que por cada saco de carbón vegetal menos en el mercado nacional se puede producir 0,71 sacos de carbón para el mercado internacional y obtener una ganancia de 43,4 pesos.

**Tabla II Resultados de la tabla simplex final**

Table II: Results of table simplex final

Basis	C(j)	X1	X2	Slack_C1	Slack_C2	Surplus_C3	Surplus_C4	Artificial_C3	Artificial_C4	R. H. S.	Ratio
X2	65,00	0	1,00	1,00	0	0,71	0	-0,71	0	16.929,36	
Slack_C2	0	0	0	-1,00	1,00	0,29	0	-0,29	0	3.486,64	
Surplus_C4	0	0	0	1,00	0	-0,29	1,00	0,29	-1,00	21.513,36	
X1	2,75	1,00	0	0	0	-1,00	0	1,00	0	13.584,00	
	C(j)-Z(j)	0	0	-65,00	0	-43,40	0	43,40	0	1.137.764,38	
	* Big M	0	0	0	0	0	0	-1,00	-1,00	0	

Fuente: Elaboración propia.

Source: Own elaboration

La solución obtenida se pondrá en práctica dependiendo de la adaptación de los miembros de la empresa y decisores de la actividad de producción de carbón vegetal, en aras de eliminar dificultades en la planificación de los indicadores, por lo que el modelo matemático-económico resulta una herramienta que contribuirá significativamente a asentar las bases teóricas para la planificación eficiente de la producción de carbón vegetal.

### **Propuesta de modelo para la gestión estratégica de la producción sostenible de carbón vegetal**

La propuesta de un modelo para la gestión estratégica de la producción sostenible de carbón vegetal en las condiciones de la EFI Pinar del Río, permite el reordenamiento de la política energética del país y la situación con los suministros de combustibles empleados en la cocción de alimentos, sobre todo en zonas rurales, el impacto ambiental de la utilización irracional, así como la demanda para mercado nacional e internacional. Ello requiere un conjunto de acciones que permitirán optimizar la producción de carbón vegetal, siendo necesario disponer de recursos, tecnologías, elementos organizativos y de planificación:

- Desarrollo de un Taller Nacional de intercambio para la implementación de un sistema dendroenergético optimizado que permita el aprovechamiento racional, eficiente y sostenible del potencial energético de la empresa.
- Empleo de tecnologías de extracción de impacto reducido y el enfoque de buenas prácticas para el aprovechamiento, tomando como núcleo central alternativas para utilizar los residuos derivados de la producción de carbón vegetal.
- La adopción de un escenario alternativo que implique el establecimiento de plantaciones energéticas.
- La definición de los criterios e indicadores para el manejo sostenible de los bosques como base para incursionar en el proceso de certificación, acentuado aún más por la demanda del producto en el mercado internacional.
- Logro de una mayor autonomía para la gestión eficiente de la producción de la empresa.

- Eliminación paulatina de los intermediarios entre las entidades productoras de los envases y las empresas productoras de carbón vegetal.
- Desarrollar programas de capacitación sobre el proceso de gestión de marketing forestal.
- Compatibilizar los intereses económicos de los empresarios con la responsabilidad social.
- Perfeccionar el proceso de toma de decisiones sobre la cadena productiva y el mercado del producto.

Estas acciones se proponen a largo plazo, bajo la dirección y control del subdirector de producción de la EFI Pinar del Río, el jefe de comercialización, el director de la empresa y los representantes del Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña.

## **DISCUSIÓN**

La producción de carbón vegetal se caracteriza al igual que otras producciones, por tener una serie de decisiones interdependientes que difieren tanto en el nivel donde se deciden como en la importancia y plazo en el que deben definirse. No obstante, el uso de modelos en la gestión de la producción ha facilitado los procesos de toma de decisiones, mejorando la eficiencia tanto productiva como económica de las empresas forestales, generando a su vez una disminución de los costos involucrados en las operaciones forestales. Su éxito se debe a la adaptabilidad de los modelos de optimización, a un amplio rango de problemas que varían con el tipo de empresa, con el entorno ecológico (plantaciones o bosque nativo) y con el enfoque de interés (estratégico, táctico u operativo) (Garófalo, 2003).

Mc Killop *et al.* (1967), demostraron que la programación lineal puede ser utilizada para solucionar el problema de la confección del plan de producción y los niveles de inventario.

Según Girard (2002), la producción sostenible y el uso de carbón vegetal mediante la gestión y planificación adecuada de las fuentes de suministro, junto con infraestructuras comerciales racionales y un uso eficiente, pueden tener

también un notable efecto positivo al ayudar a conservar los recursos, reducir la migración desde zonas rurales o forestales y elevar los ingresos de la población.

Por su parte Palacios (2012) planteó que la gestión estratégica de un producto teniendo en cuenta la disponibilidad de los recursos y los elementos de planificación resulta una herramienta eficaz para lograr la sostenibilidad.

## CONCLUSIONES

- El modelo matemático- económico resulta una herramienta efectiva para la planificación de la producción de carbón vegetal en la empresa.
- El modelo para la gestión estratégica de la producción sostenible de carbón vegetal sustentado en un conjunto de acciones, permitirá a largo plazo optimizar el proceso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERNÁNDEZ, A. I. *Impactos de la producción clandestina de carbón vegetal sobre los patrones espaciales de degradación forestal en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán*. [en línea]. Tesis de maestría Universidad nacional autónoma de México. 2012. consultado 10 de abril de 2013. Disponible en: <http://redd.ciga.unam.mx/files/FernandezAna.pdf>.
- GARCÍA Q. Y. *Gestión de marketing para los productos forestales: una herramienta eficaz para el tejido empresarial cubano*. Memorias Congreso Forestal de Cuba, 2004.
- GARÓFALO, M. C. *Tratamiento multicriterio en la planificación operativa del proceso de aserrado de la madera*. Tesis de maestría inédita. Universidad de Pinar del Río. Cuba, 2003.
- GIRARD, P. *Dendroenergía- Producción y uso del carbón vegetal en África*. *Unasylva*, 2002, **211**.
- GUELMEZ, J. L. y ACOSTA, E.P. *El proyecto de organización y desarrollo de la economía forestal para el periodo 2008-2017 de la EFI Pinar del Río*, 2007.

- KILLOP, Mc. Y HOVER-NIELSEN, S. Plannigsawmill production and inventories using Linear Programming. University of California. *Forest Products Journal*, 1967.
- LEÓN, M. A. *Contribución de la Investigación de Operaciones a la planificación del desarrollo forestal sostenible*. Ensayo para mínimo de problemas sociales de la ciencia. Universidad de Pinar del Río, 1997.
- LEÓN, M. A. *Tratamiento Económico – Matemático en el perfeccionamiento de la ordenación de plantaciones puras*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Pinar del Río. Cuba, 1999.
- PILAR, F. *Programación matemática I*. Habana: Editorial Félix Varela, 1982.
- RECOMPENZA, C. y ANGARICA, L. *Introducción a la economía agrícola*. Habana: Editorial Pueblo y Educación, 2010.
- SAMPSON, G. y FASICK, C. Operations Research Application in Lumber Production FPES Southeast Section meeting. St. Peterburg. 1970.

**Aceptado:** 17/02/2014