

Editada por el Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET Pinar del Río  
Vol. 16, No.3 julio - septiembre, 2014

**ARTÍCULO ORIGINAL**

**Modelo de gestión estratégica para producción de carbón vegetal por programación lineal en la EFI Pinar del Río**

Model for a strategic management for production of charcoal in the Pinar del Rio's Integral Forest Company by linear programming

**Van Anh Nguyen Thi<sup>1</sup>; Yudel García Quintana<sup>2</sup>; Madelén C. Garofalo Novo<sup>3</sup>**

Ingeniero Forestal, Departamento de Forestal, Universidad de Pinar del Río. Calle Martí 270 Final, Pinar del Río. CP. 20100, Correo electrónico: [vananh@estudiantes.upr.edu.cu](mailto:vananh@estudiantes.upr.edu.cu)

Teléfono: +5348779661

<sup>2</sup>Doctor en Ciencias Forestales, Profesor Titular. Correo electrónico: [ygarcia@af.upr.edu.cu](mailto:ygarcia@af.upr.edu.cu)

<sup>3</sup>Master en Ciencias Forestales, Profesora Auxiliar. Correo electrónico:

[vananh@estudiantes.upr.edu.cu](mailto:vananh@estudiantes.upr.edu.cu)

---

**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. Los resultados del modelo matemático-económico resulta una herramienta efectiva para la planificación de la producción de carbón vegetal en la empresa. Se proponen un conjunto de acciones que permitirán a largo plazo optimizar el proceso de producción sostenible de carbón vegetal.

**Palabras clave:** Programación lineal, Optimización, Carbón vegetal.

---

## **ABSTRACT**

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

**Key words:** Lineal 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 a los principios de sostenibilidad, lo cual ha supuesto el inicio de múltiples acciones encaminadas a lograr estos objetivos.

El grado de responsabilidad de la empresa forestal con la sociedad y el medio ambiente, así como el nivel de aplicación de los estándares que conlleva una gestión sostenible de los recursos que maneja está influenciado por las posiciones de los diferentes grupos de interés frente a la producción (Fernández, 2012). En este contexto, la sostenibilidad del proceso de producción forestal 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, garantizando 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 del mismo, 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 derivan errores que ponen 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 vigente, 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 del mismo. Sin embargo, en los últimos años sus producciones han disminuido progresivamente resultando 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 a la desintegración de volúmenes considerables. Estos elementos permitieron identificar como problema de investigación: La producción de carbón vegetal no se sustenta en mecanismos de gestión que permita la sostenibilidad. Actuando como objeto de la investigación: El proceso de producción de carbón vegetal en la EFI Pinar del Río. Para ello se trazó como objetivo elaborar un modelo matemático-económico 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.

**Fuente:** Proyecto de ordenación de EFI Pinar del Río 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 poseyó dos supuestos fundamentales la proporcionalidad y la actividad 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 las mismas.

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 Y DISCUSIÓN**

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 (Recompensa 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:  $X_i$  mayor o igual a 0 ( $i = 1, 2$ )

Se estableció la función objetivo basado 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  
 $0,71X1 + X2$  es menor o igual a 26574 m<sup>3</sup>.

- Plan de producción de carbón vegetal en el año 2013 (sacos) de la EFI Pinar del Río.

$X1 + X2$  es menor o igual a 34000 sacos

- Plan de producción de carbón vegetal para el mercado nacional en el año 2013 (sacos) de la EFI Pinar del Río.

$X1$  es mayor o igual a 13584 sacos

- Punto equilibrio de la producción de la EFI Pinar del Río (Nguyen, 2013)  
 $X1 + X2$  mayor o igual a 9000 sacos

En la *Tabla 1*, se muestran los resultados del modelo económico- matemático a través del programa WinQSB, permitiendo la proyección del potencial de producción de carbón vegetal para lograr una máxima ganancia, a partir del volumen óptimo de producción destinado para los dos mercados resultando 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 el uso de toda la cantidad de leña disponible.

**Tabla 1.** Resultados de modelo matemático- económico.

	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.

En cuanto a las otras restricciones relacionadas con el plan de producción de la empresa, resulta que solo se puede lograr la óptima solución cuando el plan establecido tenga un valor mínimo de 30 513 sacos. El plan de producción 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 del modelo 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 demuestra que no se pierde la optimización 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 2), 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 2.** Resultados de la tabla 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.

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, evidenciándose dificultades en la planificación de los indicadores, resultando el modelo matemático-económico 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 modelo para la gestión estratégica de la producción sostenible de carbón vegetal en las condiciones de la EFI Pinar del Río, está sustentada en los análisis

realizados sobre el diagnóstico de la situación productiva, la evaluación de los indicadores ecológicos y el modelo matemático-económico, como herramienta que aporta las bases para la planificación de la producción de carbón vegetal, considerando a la vez el reordenamiento de la política energética del país y la situación con los suministros de combustibles para 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. Para lo cual se define 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 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.
- Lograr mayor autonomía para la gestión eficiente de la producción de la empresa.
- Eliminar paulatinamente 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, jefe de comercialización, director de la empresa y los representantes del Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña.

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, para cualquier nivel de decisión 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 la 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.

## 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. (2012). Impactos de la producción clandestina de carbón vegetal sobre los patrones espaciales de degradación forestal en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán. Tesis en opción al grado científico de maestría en geografía. Universidad nacional autónoma de México. México. Disponible en: <http://redd.ciga.unam.mx/files/FernandezAna.pdf>
- García, Q. Y. (2004). Gestión de marketing para los productos forestales: una herramienta eficaz para el tejido empresarial cubano. Memorias Congreso Forestal de Cuba, Habana, Cuba.
- Garófalo, M. C. (2003). Tratamiento multicriterio en la planificación operativa del proceso de aserrado de la madera. (Tesis en opción al título de Máster en Matemática Avanzada aplicada a la Ingeniería, Universidad de La Habana. Cuba.
- Girard, P. (2002). Dendroenergía- Producción y uso del carbón vegetal en África. *Unasylva*. 211.
- Guelmez, J. L. y ACOSTA, E. P. (2007). El proyecto de organización y desarrollo de la economía forestal para el periodo 2008-2017 de la EFI Pinar del Río.

- Killop, Mc. y Hover-Nielsen, S. (1967). Planningsawmill production and inventories using Linear Programming. University of California. Forest Products Journal.
- León, M. A. (1997). 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. Pinar del Río, Cuba.
- León, M. A. (1999). Tratamiento Económico \_ Matemático en el perfeccionamiento de la ordenación de plantaciones puras. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río: Pinar del Río: Cuba.
- Pilar, F. (1982). Programación matemático I. Editorial Félix Varela, Habana, Cuba.
- Recomenza, C. y Angarica, L. (2010). Introducción a la economía agrícola. Editorial Pueblo y Educación, Habana, Cuba.
- Sampson, G. y Fasick, C. (1970). Operations Research Application in Lumber Production FPES Southeast Section meeting. St. Peterburg.

Aceptado: febrero 2014

Aprobado: julio 2014

**Ing. Van Anh Nguyen Thi.** Departamento de Forestal, Universidad de Pinar del Río. Calle Martí 270 Final, Pinar del Río. CP. 20100, Teléfono: +5348779661 Correo electrónico: [vananh@estudiantes.upr.edu.cu](mailto:vananh@estudiantes.upr.edu.cu)