

**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.**

AÑO DE ELABORACIÓN: 2013

TÍTULO: MODELO DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA PARA LA CADENA PRODUCTIVA DEL BIOCOMBUSTIBLE BIODIESEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL META, COLOMBIA

AUTOR (ES): BARÓN MOLINA, Manuel José

MODALIDAD: Investigativa

PÁGINAS: **TABLAS:** **CUADROS:** **FIGURAS:** **ANEXOS:**

CONTENIDO:

1. MARCO REFERENCIAL
 - 1.1 MARCO CONCEPTUAL
 - 1.2 OBJETO TEÓRICO
 - 1.2.1 Logística
 - 1.2.2 Gestión de la Cadena de Suministro
 - 1.3 OBJETO PRÁCTICO
 - 1.3.1 Biocombustibles
 - 1.3.1.1 Bioetanol
 - 1.3.1.2 Biodiesel
 - 1.3.2 Biodiésel mezcla (ACPM, Aceite Combustible Para Motor)
 - 1.3.3 Aceite Vegetal
 - 1.4 PALMA DE ACEITE (ELAEIS GUINEENSIS)
2. METODOLOGÍA
 - 2.1 SITUACIÓN ACTUAL
 - 2.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN
 - 2.3 RECOLECCIÓN DE DATOS
3. MODELO LOGÍSTICO DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA PARA EL FLUJO DE RECURSOS Y AMPLIACIÓN DE CAPACIDADES
4. RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

6. RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

PALABRAS CLAVES: Biomasa, biocombustibles, biodiésel, gestión de la cadena de suministro

DESCRIPCIÓN: Los beneficios asociados a los biocombustibles se ven reflejados en un creciente número de países, introduciendo o planeando políticas para incrementar la proporción de su producción dentro de su matriz energética.

Con base en el tendiente crecimiento del negocio de los biocombustibles, resulta pertinente contar con herramientas técnicas que apoyen la toma de decisiones en la gestión agroindustrial para aprovechar de mejor manera un mercado por ahora naciente.

Esta investigación presenta un estado del arte sobre la cadena de abastecimiento del biocombustible biodiésel y un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta, en el Departamento del Meta, Colombia, desarrollado para apoyar la toma de decisiones en la gestión de la cadena de suministro mencionada.

METODOLOGÍA: El contexto de este trabajo investigativo aplica en diversos enfoques, en concordancia con el punto de vista de diferentes autores. Debido a que se identifica una situación particular, es pertinente plantear motivos y correlaciones en los sucesos tomados en cuenta. De acuerdo con lo anterior, se presenta un escenario que toma en cuenta los eventos inherentes a la misma solución.

CONCLUSIONES: Se definieron los eslabones (o nodos) integrantes de la Cadena Productiva del biocombustible biodiesel en la zona geográfica determinada para el estudio, lo cual se logró acopiando información primaria a través de dos visitas, a una biorrefinadora (BIO D) y a una mezcladora (Biomax) y secundaria proveniente de bases de datos científicas y publicaciones de entes nacionales e internacionales (gubernamentales y privados).

Se determinó el flujo de los requerimientos de la Cadena Productiva de biodiesel a partir de la estructura operativa de los elementos necesarios para la producción del biodiesel y la identificación y descripción de los procesos de producción específicos al biodiesel.

FUENTES:

ADARME JAIMES Wilson, FONTANILLA DÍAZ Carlos, ARANGO SERNA Martín Darío. Modelos Logísticos Para La Optimización Del Transporte De Racimos De Fruto Fresco De Palma De Aceite En Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 2011

Agenda Interna de Productividad y Competitividad de Casanare. www.cccasanare.co/.../2013-02-08_11-53-30-amAgenda%20Interna%20...
Agenda Interna de Productividad y Competitividad de Casanare. www.cccasanare.co/.../2013-02-08_11-53-30-amAgenda%20Interna%20...

AJANOVIC, A. HAAS, R. (2010). Economic challenges for the future relevance of biofuels in transport in EU countries. January – February, 2010. vol. 35, no. 8, p. 3340

AN, Heungjo. WILHELM, Wilbert E. SEARCY, Stephen W. (2011). Biofuel and petroleum-based fuel supply chain research: A literature review. In: Biomass and Bioenergy. October, 2011. vol. 35, no. 9, p. 3763 – 3774.

ANTÚN, Juan. (1993), Logística: Una visión Sistémica. Santafandila: Instituto Mexicano de Transporte, 1993. p.2

ARÍSTEGUI, Juan Pablo. (2009). Los biocombustibles desde la perspectiva del comercio internacional y del derecho de la organización mundial del comercio. En: Revista de Derecho Valdivia. Julio – agosto, 2009. vol. 22, no. 1, p. 113

ASOCIACION PROFESIONAL DE ESTADOS UNIDOS. Definición de distribución logística [en línea]. Washington: Consejo Nacional de Gestión de la Distribución Física [citado 10 enero, 2013]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.acronymfinder.com/National-Council-of-Physical-Distribution-Management-\(NCPDM\).html](http://www.acronymfinder.com/National-Council-of-Physical-Distribution-Management-(NCPDM).html)>

AWUDU, Iddrisu y ZHANG, Jun. (2012). Uncertainties and sustainability concepts in biofuel supply chain management: A review. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. February – March, 2012. vol. 16, no. 2, p. 1359– 1368.

BALAT , Mustafa. Potential alternatives to edible oils for biodiesel production – A review of current work. En: Turquía. Energy Conversion and Management. February – march, 2011. vol. 52, no. 2, p. 1479

BALLOU, Ronald. Logística - Administración de la cadena de suministro. 5 ed. México: Prentice Hall, 2004.

BENJUMEA, Pedro. AGUDELO, John. RIOS, Luis. (2009). Biodiesel: Producción Calidad y Caracterización. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

BENJUMEA, Pedro; AGUDELO, John; RIOS, Luis. (2009). Biodiesel: Producción Calidad y Caracterización. Medellín: Universidad de Antioquia, 2009.

BOWERSOX Donald, CLOSS David. COOPER M. Bixby. (2007). Logística, Administración de la Cadena de suministro. Mcgraw Hill. México.

BUNGE, Mario. La Ciencia. Su método y su filosofía. México: Siglo XXI, 1960.

CARRANZA, Octavio. Logística, mejores prácticas en Latinoamérica. México: Thompson, 2005.

CEPAL. Análisis comparativo de patentes en la cadena de producción de biocombustibles entre América Latina y el resto del mundo. Santiago, Chile. Comisión económica para América Latina y el Caribe. Memorias Diálogo de Políticas sobre desarrollo institucional e innovación en biocombustibles en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: La CEPAL, 28 y 29 de marzo, 2011.

CHEN, Chien-Wei. FAN, Yueyue. (2011). Bioethanol supply chain system planning under supply and demand uncertainties. In: Journal Transportation Research Part E. June, 2011. vol. 48, p.150–164.

CHOUINARD, Pascale. BRADT, Laura. PONCE José M. EL-HALWAGI, Mahmoud M. (2010). Incorporation of process integration into life cycle analysis for the production of biofuels. USA y Mexico. Clean Technologies and Environmental Policy. Volume 13, Number 5, 673-685.

CONSTANTINO, Miguel. MARTINS, Isabel. BORGES, José G. (2008). A New Mixed-Integer Programming Model for Harvest Scheduling Subject to Maximum

Area Restrictions. Lisboa, Portugal. OPERATIONS RESEARCH, Vol. 56, No. 3, May–June, pp. 542–551.

COUNCIL OF LOGISTIC MANAGEMENT. Definición de Distribución física [en línea]. Michigan: Central Michigan University [citado 10 enero, 2013]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.cba.cmich.edu/lmc/>>

CUNDIFF, John S.; DIAS, Neil and SHERALI, Hanif D. A linear programming approach for designing a herbaceous biomass delivery system. In: Bioresource Technology. Bioresource Technology. January, 1997. vol. 59, no.1, p. 47–55

DE LA TORRE, Daniel. (2006). Developing Bioenergy: Economic and Social Issues. En: Bioenergy and Agriculture: Premises and Challenges. Diciembre, 2006; p. 5-6. Disponible en <http://www.ífpri.org/2020/focus/focus14.pdf>.

DE MOL, R.M. JOGEMS, M.A.H. VAN BEEK, P. GIGLER, J.K. (1997). Simulation and optimization of the logistics of biomass fuel collection. In: Netherlands Journal of Agricultural Science. March, 1997. vol. 45, p. 219-228.

DEMIRBAS, Ayhan. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. In: Energy Conversion and Management. January, 2009. vol. 50, no.1, p. 14

DEMIRBAS, Ayhan. DINCER, K. (2008). Sustainable Green Diesel: A Futuristic View. In: Energy Sources. 2008. Part A, vol. 30, p. 1233–1241

DEMIRBAS, Ayse Hilal. DEMIRBAS, Imren. (2007). Importance of rural bioenergy for developing countries. Trabzon, Turquía. Energy Conversion and Management 48 2386–2398.

DUFEY, Annie. (2006). Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas. Documento de Discusión Número 2 de Mercados Sustentables. Londres: Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo, 2006. p. 3

DUNNETT, A. ADJIMAN, C. SHAH, N. Biomass to heat supply chains Applications of Process Optimization. Centre for Process Engineering, Department of Chemical Engineering, Imperial College, London, UK., 2007

ECOPETROL. (2007). Alianza entre Ecopetrol y Petrobras para Desarrollo de Combustibles. En: Boletín de Prensa, [en línea]. Disponible en <<http://ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=148&conID=129219>>

EKŞIOĞLU, Sandra D. ACHARYA, Ambarish. LEIGHTLEY, Liam E. ARORA, Sumesh. (2009). Analyzing the design and management of biomass to biorefinery supply chain. USA. Computers & Industrial Engineering 57: 1342–1352.

EKŞIOĞLU, Sandra D. PETROLIA, Daniel. (2010). Analyzing the Impact of Intermodal Facilities to the Design and Management of Biofuels Supply Chain. In: State University. April, 2010. vol. 10. p.14

FAZAL, M.A. HASEEB, A.S.M.A. MASJUKI, H.H. (2010). Biodiesel feasibility study: An evaluation of material compatibility; performance; emission and engine durability. Kuala Lumpur, Malasia. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 1314–1324.

FEDEPALMA XL CONGRESO NACIONAL DE CULTIVADORES DE PALMA DE ACEITE Informe de labores del Fondo de Fomento Palmero Ricardo Torres Carrasco Director de Planeación y Desarrollo Económico Sectorial Bucaramanga, Mayo 2012

FEDEPALMA. Palma [en línea]. Bogotá: La Federación [citado 20 enero, 2013]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.fedepalma.org/palma.htm>>

FERREIRA, Viridiana. FORTES, Leda. FERRARA, María. LIMA, Alexandre. CORREA, Bruno. (2010). Biomass Residues in Brazil: Availability and Potential Uses. Received: 11 November 2009 / Accepted: 4 January 2010 / Published online: 7 February 2010. Springer. Science+Business. Media B.V. 2010.

FLÓREZ B. Ana M.; FRANCO C. Carlos J. y DYNER, Isaac. Análisis de la producción de biocombustibles en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 8º Congreso Latinoamericano y 8º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. Bogotá: 2010

GALLIS, Christos TH. (1996). Activity oriented stochastic computer simulation of forest biomass logistics in Greece. Forest Engineering Researcher, Greece. Biomass and Eioenergy Vol. 10. Nos 516, pp. 377-382.

GIAMPIETRO, Mario. ULGIATI, Sergio. PIMENTEL, David. (1997). Feasibility of Large-Scale Biofuel Production. Does an enlargement of scale change the pictured?. *BioScience* Vol. 47 No. 9. October.1997.

GIGLER, J.K. HENDRIX, E.M.T. HEESEN, R.A. VAN DEN HAZELKAMP, V. MEERDINK, G. (2002). On optimisation of agri chains by dynamic programming. Wageningen. In: *European Journal of Operational Research*. March, 2002. vol. 139, p. 613–625.

GLOBAL SUPPLY CHAIN FORUM. What is Management in Supply Chain Management? – A critical review definitions. In: *Journal of Management Policy and Practice*. April – May, 2010. vol. 11, no. 4, p. 11.

GUALTEROS S, Juan Manuel. Estudio prospectivo de la cadena productiva del biodiésel a partir de palma africana en Colombia. Bogotá: Universidad Nacional, 2011

GUNNARSSON, Helene. RÖNNQVIST, Mikael. LUNDGREN, Jan T. (2004). Supply chain modelling of forest fuel. In: Linköping Institute of Technology *European Journal of Operational Research*. June, 2004. vol. 158, p. 103–123.

HANDFIELD, Robert y NICHOLS, Ernest. *Introduction to Supply Chain Management*. Upper Saddle River. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

HIGGINS, Andrew J. POSTMA, Steve. (2004). Australian Sugar Mills Optimise Siding Rosters to Increase Profitability. In: *Annals of Operations Research*. April, 2004. vol. 128, no. 1, p. 235–249.

HILLIER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald. *Introducción a la Investigación de Operaciones*. 9 ed. México: Mc Graw Hill, 2010. p. 63

HUANG, Yongxi. CHEN, Chien-Wei. FAN, Yueyue. (2010). Multistage optimization of the supply chains of biofuels. In: *Journal Transportation Research Part E*. November, 2010. vol. 46, no. 6, p. 820–830.

HUANG, Yongxi; CHEN, Chien-Wei y FAN, Yueyue. (2010). Multistage optimization of the supply chains of biofuels. In: *International Journal*. March, 2010. vol. 46, no. 6, p. 820-830

HURTADO DE BARRERA, Jacqueline. Metodología de la Investigación Holística. 3 ed. Caracas: Fundación Sypal, 2000. p. 45

IADB. (2008). A blueprint for green energy in the Américas. [en línea]. Disponible en <http://www.iadb.org/biofuels>. Sustainable Energy and Biofuel Strategies for Colombia. En: Project Profile. [en base de datos en línea].

IICA. (2010). Atlas de la Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas: II Biodiesel. - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Costa Rica.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA
IICA. Atlas de la Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas: II Biodiesel. Costa Rica: IICA, 2010. p.3

KAFAROV, V. OJEDA, K. SÁNCHEZ E. (2004). Situación y Perspectiva de biocombustibles en Colombia. En Centro de Investigaciones en Simulación y Control. Universidad Industrial de Santander.

KIM, Jinkyung. REALFF Matthew J. LEE, Jay H. WHITTAKER Craig. FURTNER, Ludwig. (2011). Design of biomass processing network for biofuel production using an MILP model. Biomass and bioenergy 35 853 – 871.

KNOTHE, G. KRAHL, J. VAN, Gerpen J. (2005). Editors. The biodiesel handbook. Champaign, IL: AOC.

KNOTHE, G. SHARP, CA. RYAN, TW. (2006). Exhaust emissions of biodiesel, petrodiesel, neat methyl esters, and alkanes in a new technology engine. Energy Fuels; 20:403–8.

KRAWCZYK, T. (1996). Biodiesel - alternative fuel makes inroads but hurdles remain. INFORM;7:800–15

KUMAR, Amit and SOKHANSANJ Shahab. Switchgrass (*Panicum vigratum*, L.) delivery to a biorefinery using integrated biomass supply analysis and logistics (IBSAL) model. In: Bioresource Technology. June, 2007. vol. 98, p. 1033–1044.

LAMBERT, Douglas. (1997). Supply Chain Management: More than a new name for Logistics. In: The International Journal of Logistic Management. January – february, 1997. vol. 8, no. 1, p. 3.

LEJARS, Caroline. LE GAL, Pierre-Yves. AUZOUX, Sandrine. (2008). A decision support approach for cane supply management within a sugar mill area. In: computers and electronics in agricultura. March, 2008. vol. 60, no. 2, p. 239–249

MA, F. HANA, MA. (1999). Biodiesel production: a review. Biores Technol 1999; 70:1–15.

MARTINS, Isabel; CONSTANTINO, Miguel and BORGES, José G. A column generation approach for solving a non-temporal forest harvest model with spatial structure constraints. In: European Journal of Operational Research. February – March, 2005. vol. 161, no. 2, p. 478-498

MENTZER, John; DEWITT, William; KEEBLER, James; MIN, Soonhong; NIX, Nancy; SMITH, Carlo y ZACHARIA, Zach. (2001). Defining Supply Chain Management. In: Journal of Business Logistics. 2001. May – Jun, 2001. vol. 22, no. 2. p.1

MITTELBAACH, M. REMSCHMIDT, C. (2004). Biodiesels – the comprehensive handbook. Graz, Austria: Karl-Franzens University Press.

MOREIRA. Marco. ILEANA. María. (2009). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias (Mental models and conceptual models in the teaching & learning of science). Tejina, La Laguna, Sta. Cruz de Tenerife, España.

NACEPT. (2007). Strategic Framework for Biofuels Efforts. National Advisory Council for Environmental Policy and Technology. Washington DC, Estados Unidos.

NACEPT. (2007). Strategic Framework for Biofuels Efforts. National Advisory Council for Environmental Policy and Technology. Washington: NACEPT, 2007.

NG, J.-H. NG, Hoon Kiat, GAN, S. (2009). Recent trends in policies, socioeconomy and future directions of the biodiesel industry. Malasia. Clean Techn Environ Policy 12: 213–238

NG, J.H.; NG, Hoon Kiat, GAN, S. (2009). Recent trends in policies, socioeconomy and future directions of the biodiesel industry. In: Clean Techn Environ Policy. September, 2009. vol. 19. no. 12, p . 213–238

ORJUELA, Javier y RODRÍGUEZ, Isaac. Panorama de las políticas y leyes del gobierno colombiano frente a la producción de alimentos agropecuarios y de producción de agrocombustibles. En: Estudios en Derecho y Gobierno. Junio – diciembre, 2009. vol. 2, no. 2, p. 83

ORJUELA, Javier. RODRÍGUEZ, Isaac. (2009). Panorama de las políticas y leyes del gobierno colombiano frente a la producción de alimentos agropecuarios y de producción de agrocombustibles. Estudios en derecho y gobierno. Pag-83 98.

PAPAPOSTOULOU, Christiana; KONDILI, Emilia y KALDELLIS, John K. Development and implementation of an optimisation model for biofuels supply chain. In: Energy. October – November, 2011. vol. 36, no. 10, p. 6019 - 6026.

RAVULA, Poorna P. GRISSO, Robert D, CUNDIFF John S. (2008). Cotton logistics as a model for a biomass transportation system. In: Biomass and Biological Systems Engineering. June, 2008. vol. 32, no. 4, p. 314 – 325.

RODRÍGUEZ, Isaías. ORJUELA, Javier. (2009). Panorama de las políticas y leyes del gobierno colombiano frente a la producción de alimentos agropecuarios y de producción de agrocombustibles. Estudios en derecho y gobierno, Vol. 2, N° 2. Universidad Católica de Colombia.

SAMPIERI H., Roberto; FERNÁNDEZ-COLLADO, Carlos y BAPTISTA, Lucio. Metodología de la Investigación. México: Mc Graw Hill, 2006.

SERVERA, David. Concepto y evolución de la función logística. En: Revista Innovar. Mayo –junio, 2010. vol. 20, no. 38, p.

SOKHANSANJ Shahab, KUMAR Amit, TURHOLLOW, Anthony F. (2006). Development and implementation of integrated biomass supply analysis and logistics model (IBSAL). In: Biomass and Bioenergy. April, 2006. vol. 30, no. 10, p. 838–847.

TAJA, Hamdy. Investigación de Operaciones. 7 ed. México: Pearson, 2004. p. 74

TRONCOSO, Juan J. GARRIDO, Rodrigo A. (2005). Forestry production and logistics planning: an analysis using mixed-integer programming. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, Chile. *Forest Policy and Economics* 7: 625– 633.

UPME - Unidad de Planeación Minero Energética. Proyección de Demanda de Combustibles Líquidos y GNV en Colombia. Revisión Febrero 2012

UPME - Unidad de Planeación Minero Energética. Proyección de Demanda de Combustibles Líquidos y GNV en Colombia. Revisión Febrero 2012

URZELAINZA. (2006). Manual Básico de Logística Integral, Díaz de Santos, España.

VANDER. Marijn. AL, Fayc. ALOE, Alberto. (2009). Climate Change and Biofuels - Pan-European regional-scale modelling of water and N efficiencies of rapeseed cultivation for biodiesel. Research Centre of the European Commission, Via Fermi 2749, Ispra (VA) 21027, Italy. *Global Change Biology* 15, 24–37, doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01706.x

YANDRA. MARIMIN. JAMARAN Irawadi, ERIYATNO. TAMURA, Hiroyuki. (2006). An integration of multi-objective genetic algorithm and fuzzy logic for optimization of agroindustrial supply chain design. Center for International Genetic Algorithms Research and Intelligent Systems Study (CIGARIS). Department of Agroindustrial Technology Faculty of Agricultural Technology. Bogor Agricultural University (IPB). Bogor, Indonesia.

YEE, Kian Fei. TAN, Kok Tat, ABDULLAH. Ahmad Zuhairi. LEE, Keat Teong. (2009). Life cycle assessment of palm biodiesel: Revealing facts and benefits for sustainability. Pulau Pinang, Malasia. *Applied Energy* 86 S189–S196.

ZAPATA R Sebastián., FRANCO C. Carlos J., Ana M. FLÓREZ B. (2010). Modelo de producción de palma de aceite. 8º Congreso Latinoamericano y 8º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas.

ZHANG, Huizhen; CONSTANTINO, Miguel and FALCÃO, André. Modeling forest core area with integer programming. Portugal: Centro de Investigação Operacional Universidade de Lisboa, 2011. p.41–55.



ZHU, Xiaoyan. LI, Xueping. YAO, Qingzhu. CHEN, Yuerong. Challenges and models in supporting logistics system design for dedicated-biomass-based bioenergy industry. In: Bioresource Technology. January, 2011. vol. 102, p. 1344–1351.

LISTA DE ANEXOS: NO.