



Encuentro Internacional
de Educación en Ingeniería **ACOFI**

Una formación de calidad
en ingeniería para el futuro

Centro de Convenciones Cartagena de Indias
15 al 18 de Septiembre de 2015

CARACTERIZACIÓN DE LA LOGÍSTICA Y MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE PALMA EN SANTANDER Y SUR DEL CESAR

Paula Daniela Alzate Zuluaga, Slendy Katherine Díaz Ibáñez, Lisaura Gómez Ávila, Carolina Jaimes Muñoz, Juan David Landazábal Sandoval, María Alejandra León Flórez, Cindy Carolina León Redondo, Karen Dayana Muñoz Jerez, Lised Yocelis Quiñones Osorio, Nelson Enrique Moreno Gómez, María Teresa Castañeda Galvis, Edwin Dugarte Peña

Universidad Pontificia Bolivariana
Bucaramanga, Colombia

Resumen

Se realizó una revisión bibliográfica con el fin de caracterizar la operación logística de la producción de biodiesel a partir de aceite de palma en Santander y el Sur del Cesar, a partir de ella, se identificaron los modelos matemáticos propuestos a nivel mundial relacionados con la optimización de ésta cadena de abastecimiento, para proponer el modelo de optimización más completo y contextualizado a la zona establecida. Se definió cada uno de los eslabones de la cadena de suministro en forma concreta para compilar todo el conocimiento producido acerca de cada uno de ellos, entender la importancia que tienen dentro de ella y los modelos aplicables a cada uno. Se definieron los siguientes eslabones: proveedores, producción de aceite de palma, producción de biodiesel, distribución y consumo del mismo. El diseño de la investigación fue descriptivo, como resultado se obtuvo una síntesis teórica de la recopilación de información relevante hallada en diferentes fuentes.

Palabras clave: biodiesel; logística; palma de aceite

Abstract

A bibliographical review was realized in order to characterize the logistic operation of the production of biodiesel from palm oil in Santander and the South of the Cesar, and to

identify the mathematical models proposed worldwide related to the optimization of this one supply chain, to propose the most complete model of optimization. It was defined each of the links of the supply chain to compile the whole produced knowledge brings over of each of them, to understand the importance that they have inside the chain and the models applicable to each one. The following links were defined: suppliers, production of oil palm, production of biodiesel, distribution and consumption of biodiesel. The design of the investigation was descriptive and the result was a theoretical synthesis of relevant information found in different sources.

Keywords: *biodiesel; logistics; palm of oil*

1. Introducción

Betancurt (2011) señala que, actualmente el uso del biodiesel como combustible alternativo se ha incrementado a nivel nacional e internacional. Las condiciones climáticas del país son beneficiosas para el cultivo de palma de aceite, por lo que en las zonas costeras existe un gran número de hectáreas de palma sembradas, a lo que se le suma el aumento de puertos marítimos.

Con base en lo anterior, Adarme, Fontanilla y Arango (2011) afirman que Colombia es un país competitivo en la producción de biodiesel a partir de aceite de palma a nivel internacional. Ello provoca que la cadena de suministro de este biocombustible deba ser estudiado para identificar las áreas que se pueden mejorar y así contribuir con el mejoramiento de la situación económica en los municipios en los que se dan estos cultivos e incentivar la economía colombiana con el incremento en la producción y comercialización de este producto.

Este estudio cuyo diseño es no experimental, transaccional y descriptivo, responde a una revisión bibliográfica, fundamentada en artículos de investigación originales, que a su vez constituye un sub-proyecto del macro-proyecto: "Optimización de la cadena de abastecimiento del biodiesel a partir de aceite de palma en el departamento de Santander y Sur del Cesar", en él participan la Universitaria Agustiniiana, Universidad de Pamplona, empresas del sector de palma y el grupo de investigación PROLOG de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

2. Metodología

La investigación tuvo un alcance y diseño de tipo descriptivo, ésta se llevó a cabo mediante la revisión de fuentes primarias y secundarias de las cuales se extrajo la información más relevante, apoyados en formatos como fichas de lectura. Ello permitió la especificación de las propiedades, características y rasgos importantes de la cadena de suministro de la producción de biodiesel a partir de aceite de palma; así como de los modelos matemáticos propuestos por distintos autores para la optimización de la misma. Por lo anterior, se consideró como unidad de observación los artículos científicos de las bases de datos más importantes (ScienceDirect, Scielo, Scopus, EBSCO-HOST, Google

académico), de la revista Palmas, artículos publicados por Fedepalma y por entes gubernamentales; con fecha de publicación en los años 2004 a 2015, con temática centrada en la operación logística de la producción de biodiesel a partir de aceite de palma, y que el idioma de publicación sea inglés o español.

3. Resultados

3.1 Proveedores

El primer eslabón dentro de la cadena son los proveedores, cuyo papel es importante y determinante en la calidad y cantidad de productos a cosechar. Según Montenegro Torres (2007) las semillas de palma de aceite para pre-viveros son consideradas la principal materia prima que debe adquirir el palmicultor, dependiendo de su calidad será la futura plantación. Siendo así, uno de los principales insumos a la hora de mantener un cultivo de palma son los abonos y fertilizantes. No existe un tipo de abono general para todos los cultivos, sin embargo el cultivo requiere de nutrientes esenciales como el boro, fósforo, magnesio, nitrógeno y potasio; éstos ayudan al desarrollo correcto, asegurando mayor eficacia y a la vez cumplen una función importante en la recuperación de los suelos donde es llevado a cabo la siembra. Adicionalmente, Acepalma (2009) define los agroquímicos como productos químicos empleados para proteger y prevenir los posibles daños a las plantas como lo son la maleza, insectos y/o enfermedades, los más utilizados son los herbicidas, insecticidas y fungicidas.

3.2 Producción de aceite de palma

Según los estudios realizados por Fedepalma (2011), el cultivo de la palma de aceite en Colombia se ha expandido desde la década de 1960, para contar en el 2011 con cerca de 365.000 hectáreas, las cuales se dividen en las cuatro zonas palmeras del país: norte, central, oriental y occidental. Es importante resaltar que Santander y el Sur del Cesar pertenecen a la zona palmera central. El proceso de cultivo inicia con las actividades preliminares de la cosecha, destinadas a la selección y especificación del terreno donde se va a llevar a cabo la plantación, mientras que la segunda fase corresponde a la adecuación de las tierras, como el levantamiento de suelo, la limpieza del terreno, la preparación del mismo y el ahoyado.

3.2.1 Establecimientos de viveros y siembra. Teniendo cuenta lo aportado por Fedepalma (2011), ésta fase inicia con la inducción a la germinación de la semilla, mediante el cual se busca romper el estado latente de las semillas. En el previvero, las semillas germinadas se siembran en bolsas con suelo desinfectado y con buena humedad, y son ubicadas en un cobertizo a base de malla polisombra. Luego sigue el proceso de vivero y se realiza la siembra de las palmas en los lotes seleccionados, aproximadamente 143 palmas por hectáreas al iniciar periodo de lluvias pues las condiciones son más favorables.

3.2.2 Mantenimiento del cultivo. De acuerdo a Ruiz Álvarez & Molina López (2014), en esta etapa se deben realizar seis actividades iniciando con la siembra de arvenses. En la primera actividad se identifican los beneficios de las coberturas de leguminosas, estos son: minimizar el impacto de las gotas de lluvia, aporte de nutrimentos, especialmente del nitrógeno, mejora de la aireación, incremento de la retención de humedad en los suelos y generación de un incremento en la cantidad de materia orgánica que se aporta al suelo.

Fedepalma (2011) afirma que el primer plateo se lleva a cabo en el momento de la siembra para permitir las tareas cotidianas alrededor de cada palma. Por otro lado, la poda se realiza con el fin de mantener un número óptimo de hojas para la actividad fotosintética de las palmas, las cuales deben ser como mínimo de 36 hojas. Para el proceso de riego, la zona central presenta una disponibilidad regular de agua, por lo cual generalmente no se requiere el riego; mientras que en la zona oriental se presentan periodos de altos índices de precipitación y periodos de verano que deben ser compensados con el sistema de riego. El sistema de riego y drenaje se diseña y ejecuta en el momento de la adecuación de los lotes.

Para el proceso de fertilización, Carvajal & Torres Aguas (2013) encontraron al estudiar diferentes sistemas de aplicación de fertilizantes, que en el sistema con big bag de 1.000 kg y esparcidora de tiro con capacidad de 2.000 kg, refleja una mejor distribución espacial del fertilizante, pues se ubicaba entre las líneas de la palma y el rendimiento con las esparcadoras mecánicas superó entre 5 y 10 veces al sistema de aplicación con búfalos que sólo alcanza entre 8 y 10 ha/día. Adicionalmente, Bustillo Pardey (2014) encontró que actualmente, se ha implementado la estructura de manejo integrado de plagas y enfermedades MIPE para el cultivo de la palma de aceite en Colombia, la cual busca combatirlas por medios biológicos.

3.2.3 Cosecha y post-cosecha. Cuando se encuentran maduros los frutos se cortan y son trasladados el mismo día a la planta de beneficio. En el traslado hay que tener especial cuidado con los retrasos de los racimos de fruta seca (RFF) a la planta de beneficio, pues una vez cortados, se acelera la acidificación de los frutos y puede disminuir en un 1% la ganancia por cada punto porcentual de acidez del aceite de palma crudo.

3.2.4 Beneficio de los frutos. Según Acepalma (2011), primero se da la esterilización de RFF, para facilitar la separación de los frutos, la extracción del aceite y el desplazamiento de la almendra. Posteriormente, en el desfrutamiento, se separa el fruto de las tusas mediante un proceso mecánico. Se continúa con la digestión y prensado, donde los frutos son macerados, la cual se dispone para extraer el aceite mediante prensas donde se separa la torta del aceite crudo. Continuando con la descripción del proceso realizada por Rincón, Nieto, & Cala (2011), la palmistería recibe las nueces secas que son clasificadas y enviadas a las rompedoras donde se separa la almendra de la cascara para obtener aceite de palmiste. El aceite pasa a la clarificación y sedimentación donde las partículas pesadas se van decantando. Finalmente, el aceite pasa a secado para disminuir la humedad y es almacenado.

3.3 Producción Industrial de biodiesel

Según Gualteros (2011), en los últimos años la capacidad de producción de biodiesel en Colombia ha aumentado debido a la apertura de nuevas plantas de procesamiento. En Colombia, Fedebiocombustibles (2011), reporta que existen seis plantas de biodiesel, sólo una de ellas en la zona central, donde se encuentran los departamentos de Santander y sur del Cesar. Así pues, la capacidad total de las mismas es de 506.000 Ton/año, de la cual, la zona central contribuye con el 19,76%. Según Torres Novoa (2014), el biodiesel producido en el país era de aproximadamente 9.600 barriles por día en 2012.

3.3.1 Proceso de producción del biodiesel

Según los estudios llevados a cabo por Guerrero, Rodríguez, & Serratto (2012), la producción de biodiesel inicia mezclando anhídridos de metanol con el catalizador escogido en un tanque agitado. Posteriormente, se agrega el aceite de palma a la mezcla, donde debe ir un 60% en exceso de metanol. Así, la mezcla definitiva se lleva a un reactor de columna (PFR) con las propiedades físicas ideales para que haya una reacción exitosa. Uno de los productos de la reacción es el glicerol, éste se va sedimentando durante el proceso en un sedimentador diseñado para poder extraerlo luego. La fase ligera producto de la reacción, se pasa a otro reactor, un tanque agitado (CSTR), en el cual la transesterificación llega al 97%.

Guerrero, Rodríguez, & Serratto señalan que se continúa con el procedimiento de lavado con agua (pH=8; T= 80°C). Realizado lo anterior, una parte de la fase ligera vuelve al segundo reactor para mejorar la concentración de glicerol y el producto pasa a un tercer reactor. A continuación, se da un segundo lavado y en un tanque de separación Flash (T= 85°C, P= 0,9 bar) se retira casi por completo el metanol. Después, se elimina la gran mayoría del jabón mediante dos lavadores con agua de proceso; para luego llevar la fase a un separador (T=120°C, P= 9 bar) donde se elimina casi totalmente el agua. Finalmente el biodiesel obtenido se enfría y se filtra.

3.4 Distribución

De acuerdo con Infante, et al. (2006), la distribución del diésel (producido o importado) y por tanto de biodiesel en la mezcla, se da en el país mediante poliductos, los cuales son los terminales que lo dirigen hacia las plantas de abasto de los distribuidores mayoristas. A partir de las plantas, por medio de carro-tanque se distribuye el combustible hacia estaciones de servicio y hacia otro eslabón de la cadena importante denominado: gran consumidor (combustible para generación de energía y calor). El sector minorista está conformado esencialmente por los distribuidores a través de estaciones de servicio, en un sistema de marca con los distribuidores mayoristas, que actúan bajo un sistema de competencia con unos márgenes liberados en las principales capitales del país y donde el público puede escoger su sitio de tanqueo por consideraciones de precio, por las promociones que le ofrezcan o por la garantía de medición que le están otorgando, entre otras.

3.5 Consumo

Reyes B, Sierra R., & García-Núñez (2012) sugieren que el biodiesel se ha hecho cada vez más atractivo debido a sus beneficios sobre el medio ambiente, justamente por provenir de recursos renovables. Por tanto, es una alternativa verde importante, como

combustible de vehículos. Éste combustible puede ser utilizado en mezclas con diésel sin perder sus principales propiedades fisicoquímicas, comparables con las de este último; sin embargo, el carácter químico de uno y otro es distinto y por ende, poseen propiedades físicas diferentes. Por el momento, teniendo en cuenta las investigaciones de Gualteros Sánchez (2011), el porcentaje de mezcla es relativamente bajo, por las limitaciones de producción de biodiesel, dicho valor oscila entre el 5% y 10% de acuerdo a la capacidad de abastecimiento de cada país.

3.6 Modelos matemáticos

A partir de la caracterización realizada, se encontró tres modelos matemáticos acordes a los eslabones previamente establecidos. Se sugiere la integración de los modelos propuesto por García, R. (2007), por Adarme, W., Fontanilla, C., & Arango, M. D. (2011) y por Barón, M. (2013); para obtener uno que represente la cadena en su totalidad.

El modelo de García, R. (2007), presenta un modelo de programación lineal mixta que incorpora las decisiones estratégicas y tácticas de gestión en la operación de cosecha de los racimos de fruto fresco hasta la planta de producción de biodiesel. En el modelo se analizan las variables: cantidad de producto producido/cantidad de materia prima (Toneladas de producto en un año/Toneladas de materia prima en un año); capacidad de exceder el mínimo de existencias de materia prima en el inventario en un año (Toneladas/Año); capacidad de inventario de materia prima en la planta (Toneladas/Año); y la capacidad de la planta de producción (Toneladas/Año).

Por otro lado, el modelo de Adarme, W., Fontanilla, C., & Arango, M. D. (2011), describe la operación general y garantiza el envío de la recolección desde los puntos de acopio interno hasta los puntos de acopio externo y posteriormente a la planta productora con el objetivo de disminuir el costo de operación logística asociada a estas etapas de recolección y transporte de los racimos de fruto fresco. En él se observaron las variables: cantidad de viajes en el camión desde el punto de acopio interno hasta el punto de acopio externo (viajes); cantidad de toneladas en un camión desde el punto de acopio externo hasta la planta (Ton); cantidad de viajes en el camión desde el punto de acopio externo hasta la planta de producción (viajes); costo de un viaje en un camión desde el punto de acopio interno al punto de acopio externo (\$ /Km); costo de un viaje en un camión desde el punto de acopio externo a la planta (\$ /Km); el costo fijo diario de operación del camión (\$ /Km); capacidad máxima de carga por viaje en camión (Ton); capacidad de almacenamiento en el punto de acopio externo (Ton); cantidad que se cosecha en las fincas asociadas al punto de acopio interno (Ton); capacidad máxima que puede ser procesada en la planta (Ton); cantidad de camiones disponibles (número de vehículos); distancia entre el punto de acopio interno al punto de acopio externo (Km); distancia entre el punto de acopio externo hasta la planta (Km); tiempo de cargue y descargue en el camión de los racimos de frutos frescos (H); tiempo máximo en un día de trabajo del camión (H); velocidad de recorrido del camión desde el punto de acopio interno al punto de acopio externo (Km/H); velocidad de recorrido del camión desde el punto de acopio externo a la planta (Km/H); y la cantidad de materia prima que transporta por número de unidades/horas entre la parcela y el centro de acopio.

El modelo de programación matemática propuesto por Barón, M. (2013) fue realizado para la optimización de la cadena productiva del biocombustible biodiesel, en el departamento del meta. En él se estudian las variables: demanda de diésel de la mezcladora ton/año; capacidad de producción en ton/año por cultivo; costo de mantener inventario de palma en ton/año, costo de aceite en ton/año, costo de biodiesel en ton/año, costo de camión en galón/año; capacidad de producción en ton/año de la extractora; capacidad de producción ton/año de la biorrefinería; capacidad de almacenamiento de palma por tonelada; capacidad de almacenamiento de aceite por tonelada; capacidad de almacenamiento de biodiesel por tonelada; capacidad de almacenamiento de camión por tonelada; y la cantidad de palma cosechada en el cultivo ton/año.

Además en el área de distribución, las variables: costo de transporte de palma por ton/año desde el cultivo a extractoras; costo de transporte de aceite por tonelada/año de extractoras a biorrefinerías; costo de transporte de biodiesel por tonelada/año de biorrefinerías a mezcladora; capacidad de transporte de palma del cultivo a la extractora por ton/año; capacidad de transporte de aceite de la extractora a la biorrefinería por ton/año; capacidad de transporte de biodiesel de la biorrefinería a la mezcladora por ton/año; cantidad de palma transportada del cultivo a la extractora en ton/año; cantidad de aceite transportada de la extractora a la biorrefinería en ton/año; cantidad de biodiesel transportado de la refinería a la mezcladora ton/año; y la cantidad de tonelada en un camión para transportar desde el acopio interno hasta el externo (Ton).

4. Conclusión

Al caracterizar la cadena de suministro para la producción de biodiesel a partir de aceite de palma y de los modelos matemáticos desarrollados, se encuentra que no existe actualmente un modelo de optimización que abarque la totalidad de la cadena. Siendo así, se sugiere la construcción de un modelo que incluya cada uno de los eslabones de la cadena y para ello se establecen como guías los modelos propuestos por: García, R. (2007), por Adarme, W., Fontanilla, C., & Arango, M. D. (2011) y por Barón, M. (2013)

5. Referencias

Artículos de revistas

- Adarme, W., Fontanilla, C., & Arango, M. D. (2011). Modelos logísticos para la optimización del transporte de racimos de frutos frescos de palma de aceite en Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(1), 89-114.
- Bustillo Pardey, A. E. (2014). Manejo de insectos-plaga de la palma de aceite con énfasis en el control biológico y su relación con el cambio climático. *Revista Palmas*, 35(4), 66-77.

- Carvajal, O. A., & Torres Aguas, J. S. (2013). Aplicación de fertilizantes en palma de aceite. *Revista Palmas*, 34(1), 21-29.
- Cock, J., Donough, C., Oberthür, T., Indrasura, K., Rahmadsyah, Galot, A. R., & Dolong, T. (2015). Aumento de los rendimientos de aceite de palma mediante. *Revista Palmas*, 36(1), 63-77.
- Infante, A., Gaitán, L., Torres N., J. A., Vera D., J. C., Coronado A., L. A., & Acosta, A. (2006). Panel de expertos Aspectos técnicos, económicos, logísticos, ambientales y legales del biodiésel. *Revista Palmas*, 26(especial), 175-198.
- Montenegro Torres, H. (2007). Normatividad colombiana para la producción, importación y comercialización de semilla y clones de palma de aceite. *Revista Palmas*, 28(especial), 292-303.
- Reyes B., J. A., Sierra R., G. A., & García-Nuñez, J. A. (2012). Parámetros de calidad del biodiésel de aceite de palma, las mezclas diésel - biodiésel y su incidencia en el desempeño de motores diésel. *Revista Palmas*, 33(1), 37-52.
- Ruiz Álvarez, E., & Molina López, D. L. (2014). Revisión de literatura sobre beneficios asociados al uso de coberturas leguminosas en palma de aceite y otros cultivos permanentes. *Revista Palmas*, 35(1), 53-64.
- Subramaniam, V. (2013). Nueva tecnología para la recuperación de aceite de la fibra de prensa. *Revista Palmas*, 34, 19-25
- Torres Novoa, J. A. (2014). Beneficio-costo del biodiésel como componente en la formulación del diésel distribuido en Colombia. *Revista Palmas*, 35(3), 41-54.

Libros

- Méndez, E. (s.f.). *Biodiesel - Producción y Aplicaciones*. Draco, pp. 28.

Tesis de Grado

- Barón, M. (2013). Modelo de programación matemática para la cadena productiva del biocombustible biodiesel, en el departamento del Meta, Colombia. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Betancurt, S. V. (2011). Efecto de las decisiones de pedidos de clientes mayoristas en cadenas de abastecimiento: Un análisis experimental. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- García, R. (2007). Tactical and operative optimization of the supply chain in the oil palm industry.
- Gualteros Sánchez, J. M. (2011). Estudio prospectivo de la cadena productiva del biodiésel a partir de palma. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Guerrero, J., Rodríguez, D., & Serratto, L. M. (2012). Producción de Biodiesel a partir de Aceite de Palma Crudo. Cali: Universidad del Valle.

Informes

- Rincón, H. A., Nieto, D. I., & Cala, S. L. (2011). Sistemas de control y automatización en plantas de beneficio, caso Palmas del Cesar S.A. Conferencia Internacional sobre palma. Bogotá.

Fuentes electrónicas

- Acepalma. (2009). Acepalma S.A. Recuperado el 21 de Abril de 2015, de <http://www.acepalma.com/ProductosInsumosAgricolas.php#TopServicios>
- Fedebiocombustibles. (2011). Fedebiocombustibles. Obtenido de <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-271.htm>
- Fedepalma. (Febrero de 2011). Guía ambiental de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. Obtenido de <http://www.ambientalex.info/guias/Guiambagrpalaceco.pdf>.

Sobre los Autores

- **Paula Daniela Alzate Zuluaga:** Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (paula.alzatez@upb.edu.co).
- **Slendy Katherine Díaz Ibáñez:** Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (slendy.diaz@upb.edu.co).
- **Lisaura Gómez Ávila,** Autor 3: Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (lisaura.gomez@upb.edu.co).
- **Carolina Jaimes Muñoz:** Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (carolina.jaimes@upb.edu.co).
- **Juan David Landazábal Sandoval:** Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (juan.landazabal@upb.edu.co).
- **María Alejandra León Flórez:** Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (maria.leonf@upb.edu.co).
- **Cindy Carolina León Redondo:** Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (cindy.leon@upb.edu.co).
- **Karen Dayana Muñoz Jerez:** Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (karen.munozj@upb.edu.co).
- **Lised Yocelis Quiñones Osorio:** Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (lised.quinones@upb.edu.co).
- **Nelson Enrique Moreno Gómez:** Ingeniero Industrial. Magister en Administración de Empresas de la Universidad Viña del Mar (Chile). Profesor Asociado Universidad Pontificia Bolivariana. (nelson.moreno@upb.edu.co).
- **María Teresa Castañeda Galvis:** Ingeniera Industrial. Master en Administración, Candidata a Doctor en Administración de la Universidad Nacional del Rosario (Argentina). Profesor Asociado Universidad Pontificia Bolivariana. (maria.castaneda@upb.edu.co).
- **Edwin Dugarte Peña:** Licenciado en Matemáticas y Física. Magister en Estadística de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Profesor Asistente Universidad Pontificia Bolivariana. (edwin.dugarte@upb.edu.co).

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)