

INVERSIONES EN BIODIESEL DE ACEITE DE PALMA AFRICANA PARA EL RECICLADO DE ALUMINIO EN CABINDA ANGOLA

INVESTING IN BIODIESEL AFRICAN PALM OIL FOR ALUMINIUM RECYCLING PLANT IN CABINDA ANGOLA

David Muto Lubota

Facultad de Ciencias Económicas
Universidad 11 de Noviembre
Cabinda, Angola
marciodeivy@yahoo.com.br

Erenio González Suárez

Facultad de Química y Farmacia
Universidad Central de las Villas
Santa Clara, Villa Clara, Cuba
erenio@uclv.edu.cu

Gilberto Dionisio Hernández Pérez

Facultad de Ingeniería Industrial
Universidad Central de Las Villas
Santa Clara, Villa Clara, Cuba
ghdez@uclv.edu.cu

Juan Esteban Miño Valdés

Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Misiones
Oberá, Misiones, Argentina
minio@fio.unam.edu.ar

Inti González Herrera

LaboratoireBordelais de Recherche en Informatique
UniversitéBordeaux I
Bordeaux, Francia
inti.glez@gmail.com

Fecha de recepción: 16/03/2017 - Fecha de aprobación: 13/07/2017

RESUMEN

En el presente trabajo, se expone el estudio de las posibilidades que tiene el aprovechamiento eficiente del aceite crudo de Palma Africana como materia prima, para la producción de bioenergéticos que garantice las operaciones de una planta de reciclaje de residuos de aluminio. En el estudio se valida un modelo conceptual y los procedimientos para la asimilación de tecnologías de producción de bioenergéticos reportados en trabajos anteriores por Lubota et al., (2016). Por su importancia se considera la incertidumbre a los cambios futuros con énfasis al crecimiento de la demanda de capacidades de procesamiento de los residuos sólidos urbanos y a la disponibilidad de la materia. Para la primera etapa de 6 años de duración se determinaron los valores de las capacidades de inversión con la visión prospectiva de que, en la segunda etapa, estas capacidades de inversión se incrementen respecto de la primera etapa. Mediante este trabajo se determinaron los indicadores dinámicos del análisis económico, cuyos resultados fueron de 1 832 409 U\$D para el valor actualizado neto, 22% para la tasa interna de retorno y de 3 años para el periodo de recuperación de la inversión a valor actualizado.

PALABRAS CLAVE: Aceite; Aluminio; Biodiesel; Inversiones; Reciclado.

ABSTRACT

The study of the possibilities that the efficient use of the raw oil of African Palm has is exposed in this work, for production of bioenergetics that guarantees the operations of an aluminium waste recycling plant. A conceptual model and the procedures for the assimilation of technologies of bioenergetics production reported in previous works to Lubota et al., (2016) is proved in the study. Owing to their importance, it is considered the uncertainty to the future changes with emphasis on the growth of the demand of capacities of urban solid waste processing and the material availability. The investment capacity values are established for the first six-year phase with a forward-looking vision, for the second phase, that these capacity values will increase in relation to the first phase. Through this work, dynamic indicators of economic analysis were established, whose results were US\$1,832,409 for the net present value, 22% for the internal rate of return and 3 years for payback period of investment at present value.

KEYWORDS: Aluminum; Biodiesel; Investments; Oil; Recycling.

INTRODUCCIÓN

Considerando que, en la provincia de Cabinda Angola, se reconoce la necesidad de potenciar la matriz energética mediante la asimilación de tecnologías para producción de bioenergéticos, y a su vez se ha previsto introducir el reciclado de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que de forma creciente demandará portadores energéticos; se hace necesario estudiar la utilización de bioenergéticos para los procesos de reciclado de RSU.

Es una característica de los procesos de reciclado de RSU, que cada desecho tenga tecnologías específicas, que requieren diferentes formas de energía. Así por ejemplo, los procesos para el reciclado de papel requieren electricidad y vapor (González, 1982), el reciclado de plástico: energía eléctrica (Granchó, 2015) y el aluminio: energía en forma de calor directo para la fundición (Sambovo, 2015). Por ello, para el aseguramiento energético mediante biocombustibles, cada tipo de RSU, necesita evaluar aspectos tecnológicos y logísticos, para garantizar de forma estable el suministro de energía al proceso industrial en el cual se decida invertir.

Un aspecto de gran importancia es el problema de la incertidumbre en diferentes aspectos como ser:

- La disponibilidad del suministro de biomasa como fuente de energía para los procesos.
- La demanda en aumento de la capacidad de reciclado por aumento de la población.
- La variación del volumen y tipo de los diferentes RSU a lo largo del tiempo.

Estos problemas de incertidumbre dan lugar a que los procesos inversionistas deben evaluar la alternativa de invertir en capacidades productivas en exceso en los primeros años de operación, con vistas a cubrir las capacidades productivas cuando se incrementen las capacidades de producción, debido al aumento de los niveles de los diferentes componentes de los RSU. Este problema fue planteado por Rudd y Watson (1968) y más tarde se considera el problema existente en la disponibilidad de la biomasa cuando se utiliza como materia prima (Oquendo, 2002). La aplicación de estos conceptos ha sido incluida en un procedimiento especificado por Lubota et al. (2016), para el estudio de la cadena del suministro que permite determinar la capacidad inversionista inicial para resolver el problema de reciclado de los RSU y su aseguramiento energético.

DESARROLLO

En el municipio de Cabinda, Angola se genera una apreciable cantidad de RSU cuyo destino no son adecuadamente gestionados (Do Rosario, 2014a) y que incluyen Aluminio, plásticos, madera, neumáticos, papel, material orgánico y otros (Do Rosario, 2014b). En paralelo con ello están disponibles como fuentes de energía, además de los residuos de madera y aserrín que se generan entre los RSU, diferentes formas de biomasa que pueden ser fuentes de bioenergéticos (Lubota et al., 2014).

Para la ejecución de este trabajo se utilizó el modelo conceptual y procedimental propuesto por David Muto Lubota en el año 2015, adecuado para la asimilación de tecnologías según artículo de la referencia bibliográfica (Lubota et al., 2016).

El procedimiento utilizado por Lubota et al., (2016), se ejecuta con un conjunto de pasos específicos, a saber:

- Paso 1. Determinación de la demanda de productos y disponibilidad de materia prima.
- Paso 2. Vigilancia sobre tecnologías disponibles y emergentes.
- Paso 3. Diagnóstico de alternativas de disponibilidad de materia prima.
- Paso 4. Escalado de la tecnología.
- Paso 5. Planeamiento de alternativas de cadenas de suministro. Incluye varias etapas.
- Paso 6. Evaluación técnica, económica y ambiental de la nueva tecnología.
- Paso 7. Incorporación de la tecnología.

En el contexto de un país del denominado tercer mundo, con respecto al costo, al tiempo y a las operaciones funcionales, se requiere de un conjunto de acciones para procesar toda la información y resolver los problemas que se derivan de la incertidumbre de la tecnología (Ley; 2006).

El Modelo Conceptual evidencia que la asimilación y la transferencia de tecnología son interactivas pues cuentan con la participación de múltiples protagonistas, que incluye a los que entregan y a los que reciben la tecnología y a los operadores de la misma. Todos ellos transitan por las siguientes fases.

En la fase preparatoria es donde la dirección elabora el delineamiento estratégico: visión, misión, objetivo institucional, análisis interno y externo, planificación de las actividades a realizar y se establece la cooperación dentro del contexto de un proyecto de ingeniería.

En la segunda fase se asignan los recursos disponibles, se forman los grupos de transición que constituirán el núcleo de las actividades a realizar.

En la fase de ejecución es donde se van adaptando progresivamente los diferentes procesos, se extraen las lecciones aprendidas que sirven para revisar las estrategias para proceder a la nueva adopción de comportamientos.

Por último, en la fase de difusión, se institucionaliza la tecnología dentro de la organización; se crean y documentan todos los procesos y se difunden a todos los usuarios finales.

La aplicación de estos procedimientos ha tenido como eje metodológico, establecer los diferentes elementos que inciden en la toma de decisiones, entre los que se destacan los pronósticos de precios, el balance oferta/demanda, la capacidad de producción, el estudio de la tecnología, los consumos de las materias primas e insumos, fuentes de abastecimiento, los costos de inversión y producción, tamaño y localización de la planta, entre otros. También ha sido un elemento esencial la consideración de la incertidumbre a los cambios futuros (Rudd y Watson, 1968).

Resultados y Discusión

De acuerdo con el procedimiento presentado y fundamentado en Lubota et al (2016), se aplicaron los siguientes pasos:

Paso 1. Determinación de la demanda de productos y disponibilidad de materia prima

En la tabla N°1, se presenta la demanda de procesamiento para el Aluminio que contienen los RSU de Cabinda.

Tabla N°1. Presencia de Aluminio en los RSU de Cabinda

	Años			
	0	5	10	15
	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
Aluminio	9 836,1	11 091,9	12 494,6	13 743,3

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°2 se expresa la demanda de energía para procesar el aluminio y los plásticos presente en los RSU de Cabinda.

Tabla N°2. Energía para procesar Aluminio y plásticos en los RSU de Cabinda

	Años			
	0	5	10	15
	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
Biodiesel	39 855,59	81 239,8	202 771,91	505472,99

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°3 se presenta la demanda de materias primas para la producción de bioenergéticos según los coeficientes de conversión para Aceite de Palma Africana.

Tabla N°3. Demanda de materias primas para la producción de Bioenergéticos

	Años			
	0	5	10	15
	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
Materia Prima (APA)	39 855,59	81 239,8	202 771,91	505472,99

Fuente: Elaboración Propia

Disponibilidad de la materia prima

La cuantificación y caracterización de la biomasa energética existente en una región geográfica, es el punto de partida para cualquier proyecto que utiliza a esta como materia prima, ya que puede influir en el sitio del emplazamiento industrial.

La biomasa residual que se puede emplear con fines energéticos se caracteriza por su diversidad en cuanto a su origen y características. Por tanto, a la hora de realizar estudios territoriales, esta diversidad supone un número muy elevado de alternativas posibles en cuanto a disponibilidad, extracción, logística y consumo de biomasa, lo que incrementa significativamente la complejidad de los mismos. Esta complejidad lleva asociada un alto grado de incertidumbre, debido a las múltiples interacciones existentes entre unos usos y otros y el propio mercado de biomasa que se cree. Es decir, dependiendo de la evolución de los precios, será más o menos rentable extraer biomasa de la foresta.

Una primera aproximación al territorio revela que las principales fuentes de biomasa en la provincia de Cabinda son las masas forestales y los cultivos agrícolas. Por un lado, la provincia de Cabinda posee los ecosistemas forestales más productivos de toda Angola debido a su disposición orográfica y climatología.

No obstante, a pesar de esta disponibilidad potencial, la ausencia de instrumentos técnicos de gestión forestal, la estructura atomizada de la propiedad, la difícil accesibilidad de los terrenos para su aprovechamiento o las propias características del recurso biomásico (impurezas, humedad, heterogeneidad entre otros) han dificultado su utilización.

Dinámica del crecimiento de la foresta

En la provincia de Cabinda, en particular se identifican 4 tipos de formaciones forestales:

- Tipo I: Foresta densa húmeda de neblina

Sempervirente, poliestrata, de baja altitud (Alto Maiombe), ocupa una superficie de unos 431 Km² de foresta productiva.

- Tipo II: Foresta densa húmeda

Semidecídua, poliestrata, de baja altitudes, peregrineense (Alto Maiombe), representa unos 2676 Km², siendo la parte productiva alrededor de 1880 Km².

- Tipo X: Mosaico de foresta mixta en tierra firme

Está ubicada en la sabana Sub-litoral, y posee unos 210 Km².

- Sin Tipo: Manglar arbóreo o arbustillo

Están en el litoral (Rhyzophora, Avicennis) son específicas de ambientes de transición entre agua dulce y salada, posee unos 44 Km² y no son adecuadas para la producción de bioenergéticos. En la Tabla N°4 se presenta la dinámica del crecimiento de la foresta en m³/año.

Tabla N° 4. Dinámica de crecimiento de la foresta

Foresta Tipo	Dinámica m ³ / ha año	Superficie ha	Crecimiento m ³ / año
I	10	43 100	431 000
II	10	188 000	1 880 000
X	15	21 000	315 000
Total			2 626 000

Fuente: Elaboración Propia

Existen dos tipos de palmares en Cabinda de acuerdo a su origen: palmar plantado y palmar espontáneo.

El palmar plantado presenta mayor capacidad de producción durante el año, en relación al palmar espontáneo.

En la Tabla N°5 se presentan las cantidades de (palmares/ha) y su localización.

Tabla N°5. Ubicación y tamaño de las granjas de palmas

Granja N°	Nombre	Municipio	Localización	Tamaño ha
1	Sassa-Zau	Cabinda	Sassa-Zau	120
2	Sócoto	Cacongo	Socoto	169
3	Tchuquisi	Cacongo	Massabi	500
4	Pinto da Fonseca	Buco-Zau	Bémbica	208
5	Mpuila	Cacongo	Mpuela	3 000
6	Marco Pinto	Buco-Zau	Melele-Inhuca	100
7	17 de Setiembre	Cabinda	Champuto Rico	2
8	Daniel da Costa	Cabinda	Malembo	15
Total				4 014

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°6 se ilustran las distancias entre las granjas lo que es de interés para los estudios de macrolocalización de instalaciones productoras de biodiesel.

Tabla N°6. Distancias entre granjas en Km

Granja	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	20	34	67	37	57	22	16
2	20	0	34	44	8	43	32	14
3	34	34	0	54	12	54	20	13
4	76	44	54	0	55	36	70	62
5	37	8	12	55	0	40	23	12
6	57	43	38	36	40	0	65	54
7	22	32	20	70	23	65	0	13
8	16	14	13	62	12	54	13	0

Fuente: Elaboración Propia

Los palmares espontáneos, se concentran con mayor predominio en los municipios de Buco-Zau y Belize, en las comunas de (Necuto, Miconge), en Cacongo (Massabi) y en Cabinda (Tando-Zinze). Las tres comunas mencionadas presentan palmares espontáneos de mayor relevancia respecto de otras regiones. En la Tabla N°7 se resumen las disponibilidades de aceite de palma por granja para elaborar biodiesel.

Tabla N°7. Disponibilidad de aceite de palma para biodiesel por año y por granja (en ton/año)

Granjas	Años			
	0 ton/año	5 ton/año	10 ton/año	15 ton/año
Sassa Zau	4 134,5	4 134,5	6 278,0	15 246,6
Sócoto	516,8	516,8	784,7	1 905,8
Tchuquisi	68,9	68,9	104,6	254,1
Pinto Fonseca	5 822,7	5 822,7	8 841,5	21 472,3
Mpuila	17 227,2	17 227,2	26 158,4	63 527,6
Marco Pinto	103 363,2	103 363,2	153 950,6	381 165,9
17 de Setiembre	3 721,0	3 721,0	5 650,2	13 721,9
Daniel da Costa	3 445,4	3 445,4	5 231,6	12 705,5
Totales	138 299,7	138 299,7	206 999,6	509 999,7

Fuente: Elaboración Propia

Paso 2. Vigilancia sobre tecnologías disponibles y emergentes

Se monitorean periódicamente las informaciones relevantes del interior y exterior sobre las tendencias tecnológicas.

El panorama socio-económico actual viene marcado por el proceso de globalización de los mercados, producido principalmente por la mejora sustancial de las comunicaciones y los transportes, en lo cual, ha influido significativamente el desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), permitiendo el intercambio de conocimientos en cualquier momento a nivel global.

En el caso de estudio, fue consultada una diversidad de fuentes detectadas, se deriva que la tipología de documentos a vigilar es muy amplia; desde información científico-tecnológica (patentes, artículos científicos, normas, entre otras) hasta información relativa a noticias, eventos, cursos, oferta y demanda tecnológica, proyectos de investigación, también se lleva a cabo de manera semiautomática.

De acuerdo con esta búsqueda se seleccionó la tecnología propuesta en la Figura N°1.

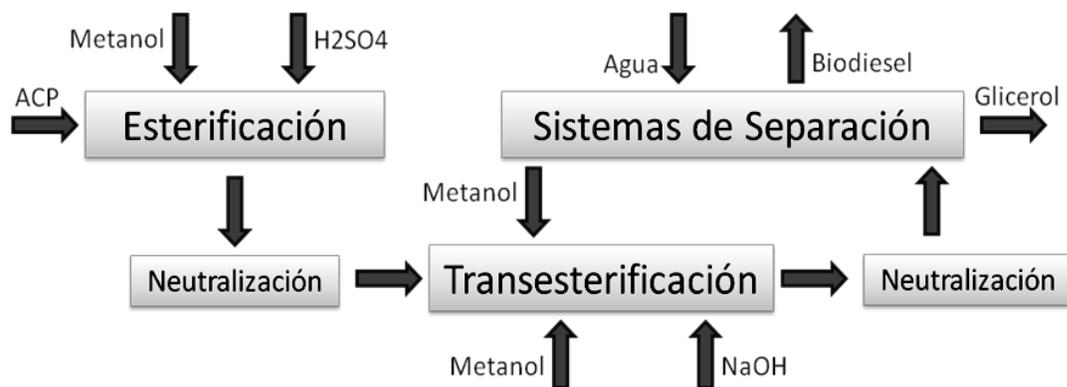


Figura N°1. Esquema tecnológico de producción de Biodiesel utilizando aceite de Palma de Caña
Fuente: Acevedo Pabón (2012)

Paso 3. Diagnóstico de alternativas de disponibilidad de materia prima

Este es otro paso de trabajo que se recomienda realizar cuando la materia prima es insuficiente o no es compatible con las tecnologías existentes en el mercado, lo que no es el caso.

Paso 4. Escalado de la tecnología

En este paso de trabajo por su carácter especializado se buscan alianzas con terceros y en este caso en particular con las universidades o centros de investigaciones.

En la misma se conforma un grupo de especialistas, encargados de proyectar, diseñar y realizar el montaje de la planta generadora, de acuerdo al tipo de materia prima, insumos y productos.

Se debe tomar en cuenta requisitos como: flexibilidad operacional, capacidad productiva. La tecnología que se decide diseñar debe contribuir a disminuir los costos por concepto de producción, por lo cual estas plantas deben ser bien concebidas desde un principio. Para prevenir las contaminaciones y generaciones de dióxido de carbono.

Paso 5. Planeamiento de alternativas de cadenas de suministro

El procedimiento elaborado para este paso incluye como primer requisito la planificación de la logística de suministro de materias primas que ha sido recomendada en trabajos anteriores (Lubota et al., 2016).

El comportamiento real para este caso de estudio se reseña a continuación:

Sistemas logísticos propuestos

El sistema logístico comprende la recolección, el transporte, almacenamiento, manipulación y el tratamiento previo de los racimos, es decir, todas las actividades comprendidas entre el punto de origen de la palma hasta la Planta producción de biodiesel.

El sistema logístico en el caso de estudio, debido a que existe un número de granjas de palma, comprende varias etapas.

A continuación, se hace la descripción de cada una de las etapas:

Etapa 1: Zona de corte y recolección

La primera etapa se lleva a cabo en las granjas de cultivo y comprende el corte de los racimos de la palma y su traslado a los sitios de acopio.

Cuando se cosecha, los racimos y los frutos sueltos también se recogen del suelo y son depositados en los recipientes de carga de los equipos de transporte que finalmente los conducen al sitio de acopio en la granja.

A este transporte, dentro de los lotes del cultivo, usualmente se lo conoce como transporte primario o interno, mientras que al transporte desde los sitios de acopio hasta la planta de tratamiento se lo conoce como transporte secundario o externo. En Cabinda se utilizan una gran variedad de sistemas de transporte primarios, tales como: a) al hombro; b) con tractor y acoplado; c) con carretillas; d) con carretas haladas por tractor; e) con carretas halada por un búfalo; f) parihuelas.

Etapa 2: Centro de tratamiento de racimo (Desgrane)

Son áreas especiales donde confluye el fruto de varios lotes o fincas pequeñas. Se sitúan en sitios estratégicos, de fácil acceso para los productores y para los equipos que transportan el fruto hacia la planta de beneficio. Este tipo de centros de tratamiento de acopios son frecuentes en zonas donde hay alianzas productivas entre pequeños productores y las plantas de beneficio.

En estos centros de tratamiento se construyen instalaciones que albergan la báscula, la celaduría, la oficina, los patios y tolvas para el descargue de fruto que llega en los equipos de transporte interno; estos frutos serán luego desgranados.

Antes de trasladar el fruto a la planta de beneficio, además de la planificación diaria que debe existir entre el campo y la planta, es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Reducir al mínimo los recorridos para la carga del fruto.

- Coordinar permanentemente con el supervisor de cosecha los sitios o sectores por donde se desplaza el personal de cosecha para hacer eficiente el desplazamiento de los equipos de transporte.
- Mantener el flujo de materiales al sistema de transporte.
- Verificar que se cargue todo el fruto cosecha del mismo día del corte.
- Verificar que haya un mínimo de contaminación con impurezas en el momento de la carga y evitar que tales impurezas se vayan en el equipo de transporte.
- Revisar que no haya sobrecargas del equipo.
- Verificar que el personal utilice los implementos de protección.

Para que el fruto de la palma llegue a la planta de beneficio, donde será procesado, es necesario transportarlo desde los sitios o centros de acopio. Esta labor se realiza con el apoyo de equipos que se describen a continuación:

- Camión de doble chasis: tienen capacidad para 20 o más toneladas. Demandan vías en muy buen estado, preferiblemente pavimentadas o con buen afirmado. Son aptos para recorridos de 30 a 50 kilómetros.
- Camiones ganaderos: cuentan con una capacidad de transportar entre 12 y 15 toneladas de fruto. Son versátiles para recorridos intermedios (de 30 a 50 kilómetros), y tanto para terrenos irregulares como para pavimento.
- Tracto-camiones: son vehículos para transporte a grandes distancias (superiores a 100 kilómetros), y tienen una capacidad de hasta 35 toneladas. No son equipos versátiles en terrenos irregulares ni en vías angostas.
- Sistemas mixtos de carga y transporte: son equipos a los que se les acondiciona un sistema hidráulico o mecánico para cargar el fruto desde el sitio de acopio y descargarlo en la tolva de la planta de beneficio.

Etapas 3: Planta Generadora

Después de la descarga de los materiales con destino al almacén central de la planta, se realiza el proceso de transesterificación del aceite de palma. El proceso a grandes rasgos consta de dos etapas fundamentalmente que son:

- Esterificación de los ácidos grasos libres (FFA) presentes en el aceite dentro de los metilésteres, seguido por,
- Transesterificación de la mezcla de los glicéridos neutros directamente dentro de los metilésteres.

Etapa 4. Determinación de la capacidad inicial óptima de la instalación considerando la incertidumbre a los cambios futuros

Partiendo de la experiencia, en estudios anteriores de Rudd y Watson (1968) y de trabajos similares para la industria de la caña de azúcar desarrollado por Oquendo (2002); Lubota et al., (2016) ha propuesto un procedimiento que se representan en la Figura N°2.

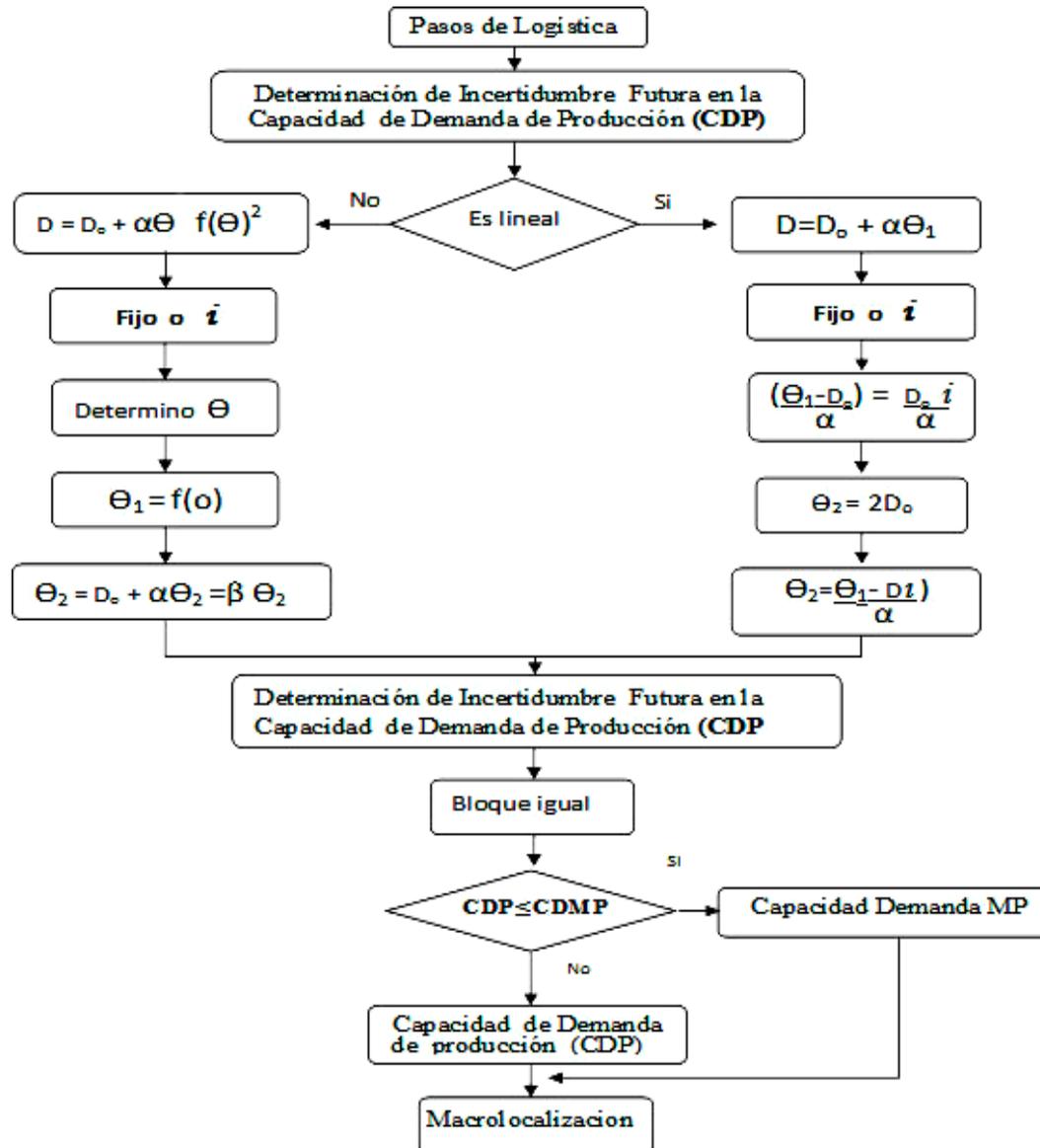


Figura N°2. Procedimiento específico para definir el tamaño inicial de la instalación y su macro localización
 Fuente: Lubota et al. (2016)

Este procedimiento incluye dos etapas, una para estudiar la incertidumbre en la demanda de producción de la instalación y otra para la incertidumbre en la disponibilidad de las materias

primas para bioenergéticos. Los crecimientos necesarios en la producción de biodiesel han sido estimados partiendo de las cantidades de aluminio a reciclar y de energía eléctrica para el procesamiento del plástico se resumen en la Tabla N°2 considerando los cambios futuros en la Tabla N°1.

El primer paso del procedimiento incluye el ajuste a una ecuación del crecimiento de la demanda de bioenergéticos y la disponibilidad de la materia prima, Figura N°3.

Demanda De Biodiesel

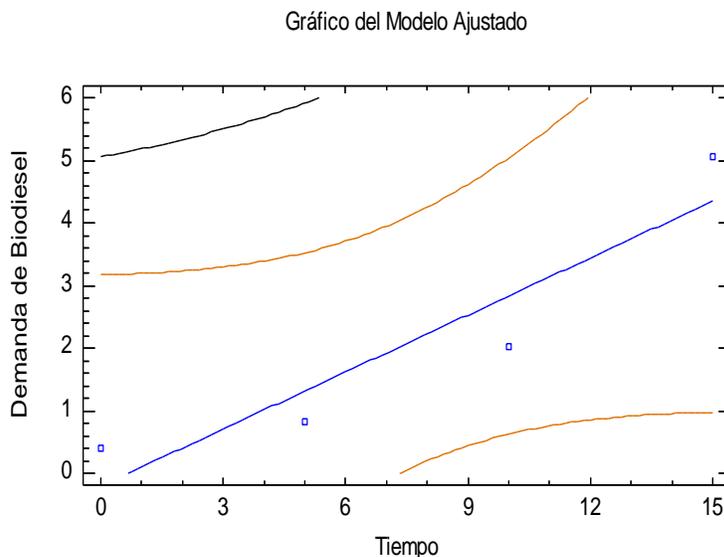


Figura N°3. Crecimiento de la demanda de biodiesel para el reciclado de aluminio con el tiempo
Fuente: Elaboración Propia

La ecuación del modelo ajustado fue:

$$\text{Demanda de Biodiesel} = -20422,6 + 30367,7 * \text{Tiempo} \text{ (Ecuación 1)}$$

A partir de esta información y aplicando la metodología propuesta en el paso 5 del procedimiento para la determinación de la capacidad de inversión inicial considerando también la incertidumbre financiera (Lubota et al., 2016) se obtiene los resultados para el biodiesel que se expresa en las Tablas 8 y 9, para el caso del biodiesel, en lo que se incluye también el tiempo a realizar la primera ampliación.

Tabla N° 8: Capacidad inicial considerando la demanda de biodiesel

	Demanda inicial no nula (sin sobre diseño)			FÓRMULAS
	0,12	0,15	0,18	(Sin sobre diseño)
Pendiente	30 367.70	30 367.70	30 367.70	
Capacidad Inicial (Kg/día)	292 919.76	242 306.92	208 565.03	$C_i = b_1/i + b_0$
Primera ampliación (años)	8,33	6,67	5,56	$\theta = (C_1 - b_0)/b_1$
Capacidad de la ampliación (kg/día)	253 064.17	202 451.33	168 709.44	$C^* = b_1/i$
Total	545 983.17	444 758.35	377 274.47	$C_t = C_i + C^*$

Fuente: Elaboración Propia

La ecuación del modelo ajustado fue:

Disponibilidad de Racimo de Palma = 71130 + 23736*Tiempo (Ecuación 2)

Gráfico del Modelo Ajustado

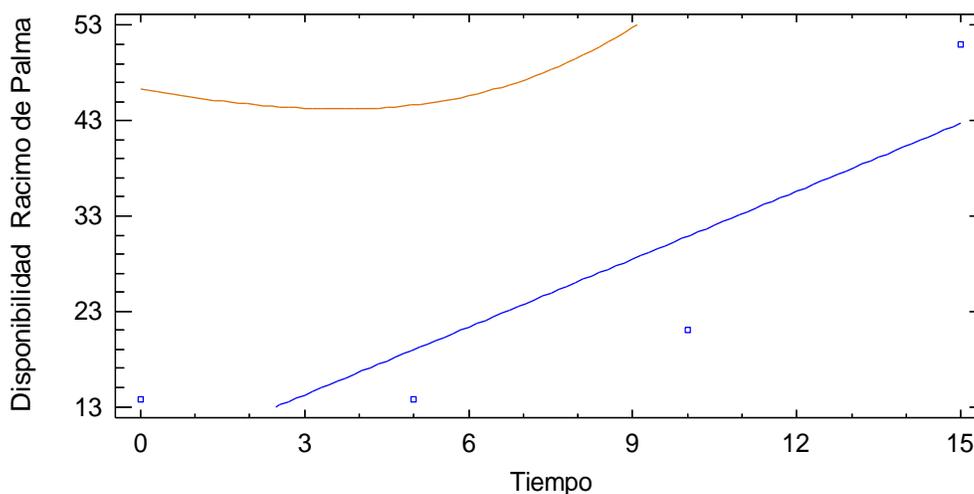


Figura N°4. Crecimiento de la disponibilidad de Aceite de Palma para producir biodiesel para el reciclado de Aluminio con el tiempo

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°9. Capacidad inicial considerando la disponibilidad de aceite de Palma Africana

	Demanda inicial no nula (sin sobrediseño)			FORMULAS
	0,12	0,15	0,18	(sin sobrediseño)
Pendiente	23 736	23 736	23 736	
Capacidad Inicial (kg/día)	336 100	296 540	270 166.66	$C_i^* = b_1/i + b_0$
Primera ampliación (años)	8.33	6.67	5.56	$\theta = (C_1 - b_0)/b_1$
Capacidad de la ampliación (kg/día)	197 800	158 240	131 866.67	$C^* = b_1/i$
Total	533 900	454 780	412 033.33	$C_t = C_i^* + C^*$

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°10 se hace un resumen de los resultados, de cuyo análisis se concluye que la limitante para la capacidad de inversión inicial y posterior, está dada por la disponibilidad de Aceite de Palma Africana (APA).

Tabla N°10. Determinación de las condiciones de inversión inicial para las Instalaciones procesadoras de Aceite de Palma para biodiesel

Inicial	Disponibilidad de APA (kg/día)	Demanda de Biodiesel (kg/día)	Requerimiento de APA acorde con la demanda (kg/h)	Posibilidades acordes con la disponibilidad (kg/h)
$C_{1(0.12)}$	336 100,00	292 919,76	507 659,90	193 929.70
$C_{1(0.15)}$	296 540,00	242 306,92	419 942,67	171 103,58
$C_{1(0.18)}$	270 166.66	208 565.03	361 464.52	155 886.16
	años	años		
$\Theta_{1(0.12)}$	8,33	8,33		
$\Theta_{2(0.15)}$	6,67	6,66		
$\Theta_{3(0.18)}$	5,56	5,55		

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la Tabla N°10 permiten comprender, que el aspecto limitante para los valores inversionistas iniciales es la disponibilidad de APA, pues, por ejemplo, si se considera la más alta tasa de interés financiero $i=0.18$, tenemos que mientras que la demanda de obtener 208 565.03 Kg/día de biodiesel, exigen de 361 464.52 kg/día de aceite, que es muy superior a los 270 166.66 kg/día de que realmente se dispone, que apenas permiten la obtención de 155 886.16 kg/día de biodiesel. Acorde con estos resultados se procedió a estimar los valores inversionistas

de ambas instalaciones y otros indicadores económicos cuando la planta esté produciendo a plena capacidad en el año sexto.

Etapa 5. Optimización de los costos de transporte de Aceite de Palma y de Biodiesel para el procesamiento de los RSU de Aluminio (Al)

Para optimizar se planteó un problema de minimización de costos de transporte de la siguiente manera:

VARIABLES DE DECISIÓN

B_i : Variable binaria que indica si una planta de procesamiento se instala en la locación i .

$$i = 1 \dots n$$

X_{ij} : Cantidad de toneladas de palmiche a transportar entre locaciones i y j .

$$i = 1 \dots n, j = 1 \dots n$$

Y_{ij} : Cantidad de toneladas de biodiesel a transportar entre locaciones i y j .

$$i = 1 \dots n, j = 1 \dots m$$

Parámetros

L_i : Locaciones involucradas. Centros de acopio de palmiche, y otras posibles locaciones para instalar el centro de procesamiento. $i = 1 \dots n$

P_i : Producción de palmiche en cada locación. $i = 1 \dots n$

LD_j : Subconjunto de locaciones donde se consume biodiesel.

$$LD_j \subset L_i, i = 1 \dots n, j = 1 \dots m$$

D_{ij} : Distancia entre locaciones i y j . $i = 1 \dots n, j = 1 \dots n$

D_j : Demanda de biodiesel en cada locación. $j = 1 \dots m$

C_{palm} : Costo de transportar una tonelada de palmiche una distancia de un kilómetro

$C_{biodiesel}$: Costo de transportar una tonelada de biodiesel una distancia de un kilómetro

$f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$: Función que indica como una cantidad de biomasa de palmiche se transforma en biodiesel.

Función Objetivo

$$\min Z = C_{palm} \left(\sum_{i,j \in L} (X_{ij} D_{ij}) \right) + C_{biodiesel} \left(\sum_{i \in L} \sum_{j \in LD} (Y_{ij} D_{ij}) \right) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Restricciones

En una locación se puede instalar una planta de procesamiento, pero esto no es obligatorio, esto se expresa con la variable binaria B_i :

$$B_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in L$$

Para limitar el número total de plantas de procesamiento, se debe agregar una restricción:

$$\sum_{i \in L} B_i = 1$$

La siguiente restricción asegura que cada locación donde se produce palmiche solo pueda enviar hasta una cierta cantidad máxima de este producto:

$$\sum_{j \in L} (X_{ij}) \leq P_i \quad \forall i \in L$$

Cada lugar donde se consume biodiesel debe recibir una cantidad mínima de biodiesel:

$$\sum_{i \in L} (Y_{ij}) \geq Dem_j \quad \forall j \in LD$$

La cantidad de biodiesel que sale de cada locación es menor que la cantidad de biodiesel que se produce en esa locación:

$$\sum_{j \in LD} Y_{ij} \leq B_{if} \left(\sum_{k \in L} (X_{ki}) \right) \quad \forall i \in L$$

Las condiciones de mínimo costo de transporte, para satisfacer la demanda que origina la inversión inicial determinada, de 155 886.16, kg biodiesel/día, se determinaron para las condiciones de Cabinda en 4 743 456.82 USD/año. La macrolocalización de la instalación de producción de biodiesel se ubica en la zona de Mpuila, Municipio de Cacongo.

Paso 6. Evaluación técnica, económica y ambiental de la nueva tecnología

El objetivo de la propuesta de invertir en una fuente energética renovable es para reducir los gastos por combustibles fósiles y hacer así el proceso rentable y menos impactante al medio ambiente.

Para el análisis se determinaron los costos de la inversión y los costos de producción acorde con la metodología propuesta por Peters y Timmerhauss (1981).

Los costos de los equipos fueron buscados en el Peters y Timmerhauss (1981) y actualizados por el índice de costo actual de año 2016 pronosticado según se recomienda en la literatura científica (González et al., 2012).

Una vez dimensionados los equipos fundamentales de la planta, se efectuó el análisis económico de la misma, sobre la base del cálculo del costo de inversión, el costo de producción, la ganancia y los indicadores de rentabilidad.

Determinación del costo total de inversión y producción anual de la planta de transformación de aceite de palma en biodiesel

Los estudios básicos de la inversión se referenciaron al estudio realizado por Sambovo, (2015), de acuerdo con ello para una instalación de una capacidad 23 028.16 kg/día siendo los resultados estimados, para una capacidad de producción de 430 916.11 kg/día:

(Los valores del CFI se estiman para las nuevas condiciones de acuerdo con la expresión de la regla del punto seis de Peter y Timmerhauss, 1981).

$$CFI_{cp_n} = CI_{cp_r} \cdot \left(\frac{cp_n}{cp_r} \right)^{0.6} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Siendo:

CI_{cp_n} : Capital Fijo invertido de la capacidad nueva (U\$D)

CI_{cp_r} : Capital fijo Invertido de la capacidad de referencia (U\$D)

cp_n : Capacidad nueva (Kg/día)

cp_r : Capacidad de referencia (Kg/día)

CFI = 7 739 736.53 U\$D la producción de biodiesel con 155 886,16 (kg aceite de palma/día).

Para determinar los costos de inversión se utilizó la metodología propuesta por Peters y Timmerhauss (1981), así como la información económica disponible para estimar costos de inversión. En la Tabla N°11 se resumen los componentes de los Gastos de la Inversión para la transformación de aceite de Palma en Biodiesel, para una capacidad de producción instalada de 159 348.16 kg/día.

**Tabla N°11. Gastos de inversión para la transformación de aceite de Palma en Biodiesel.
Capacidad Instalada: 159 348.16 kg/día**

Componentes	Costo (U\$D)
Costos de equipos	100 % 2 668 487,24

Instalación de equipos	35%	933 970,53
Instrumentación y control	15%	400 273,08
Tuberías	10%	266 848,72
Instalación eléctrica	11%	293 533,59
Edificios	18%	480 327,70
Preparación de terrenos	10%	266 848,72
Requerimientos del proceso	40%	067 394,89 ¹
Terrenos	6%	16 010,92
Ingeniería y supervisión	5%CD	319 684,77
Gastos constructivos	10%CD	639 369,54
Imprevistos	5%CFI	0,05 CFI
<hr/>		
CFI= CD+CI = 7 352 749.7+0.05 CFI		
<hr/>		
Capital Fijo Invertido (CFI)		7 739 736,53
Capital de Trabajo (CT)	CT =8%CFI	619 178,92
Capital Total Invertido (CTI)	CTI = CFI+CT	8 358 915,45

Fuente: Elaboración Propia

Para la determinación de los Costos Totales de Producción es necesario considerar todos los insumos de materias primas y añadir los Costos de Transporte del Aceite de Palma hasta la planta de procesamiento y de esta a su destino hasta la Planta de Reciclado de Aluminio. Añadiendo a Materias primas el Costo Mínimo de Transporte (CTMP) = 19 980 291,927 USD/año queda:

**Tabla N° 12. Componentes de Costos de producción para la transformación de APA.
100 % de la Capacidad de diseño 159 348,16 kg/día**

Componentes	%	Costo U\$D
<hr/>		
1. Costos de fabricación= C. Directos + CF + costos de dirección		
Materias primas		19 980 291,927
Mano de obra	10 % CTP	
Supervisión	15 % CTP	
Requerimientos	10% CTP	
Mantenimiento y reparación	10% CFI	773 973,65
Suministro	0,015 CFI	116 096,048
Gastos de Laboratorio	0,01% CTP	
Patentes y Royalties	1% CTP	

“Visión de Futuro” Año 15, Volumen N° 22 N°1, Enero - Junio 2018 – Pág. 71 - 93

URL de la Revista: <http://revistacientifica.fce.unam.edu.ar/>

URL del Documento: http://revistacientifica.fce.unam.edu.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=454&Itemid=97

ISSN 1668 – 8708 – Versión en Línea

E-mail: revistacientifica@fce.unam.edu.ar

B. Cargos fijos = 928768,38 USD

Depreciación	0.10 CFI	773 973,65
Impuestos	0.01 CFI	77 397,365
Seguros	0.01 CFI	77 397,365
Administrativos	0.15 %CTP	
Distribución y ventas	0.02% CTP	
Investigación y desarrollo	0.02% CTP	
Intereses financieros	0.07 CTI	58 512,40

Costo total del producto = 0,362 CTP + 21 857 642,41

Costo total del producto = 32 142 731,11 U\$D/año

Fuente: Elaboración Propia

Los estimados de los Costos Totales de Producción Anuales deben realizarse para las diferentes capacidades de producción que podrán lograrse en los años de explotación de la instalación, los que, aunque irán creciendo paulatinamente en la medida en que se aproveche más la capacidad instalada, irán decreciendo como costos unitarios.

Para la determinación de estos Costos Totales de Producción Anual se seleccionaron los por cientos de aprovechamiento de las capacidades que se logran con las diferentes posibilidades de disponibilidad de Aceite de Palma.

Para los estudios de rentabilidad se requiere determinar las condiciones económicas en los 10 primeros años de producción en los cuales necesariamente tendrá que existir un periodo de desaprovechamiento de la capacidad instalada por falta de materia prima de Aluminio reciclado en los RSU que se irá cubriendo paulatinamente en los primeros 5 años.

Acorde con esto los niveles de producción y costo anuales serán como se refleja en la Tabla N°13.

Tabla N° 13. Indicadores económicos de las inversiones para obtener biodiesel de APA

Indicador Económico	Año					
	0	1	2	3	4	5 a 10
% de aprovechamiento	0	0,44	0,63	0,82	0,85	1,00
Costo de producción (MUSD)	0	16 722,0	22 672,3	30 564,2	32 142,7	32 142,7
Volumen de producción (ton/día)	0	70,05	100,39	130,66	135,44	159,35
Volumen de producción (ton/año)	0	23 160,5	33 128,4	43 119,6	44 697,1	44 697,1

Valor de la producción MUSD/año (0.763386 USD/kg)	0	22 624,1	32 422,8	42 201,1	43 745,1	43 745,1
Ganancia (M USD)	0	5 902,0	9 750,5	11 636,9	11 602,3	11 602,3

Fuente: Elaboración Propia

Mediante el estudio se determinaron los indicadores dinámicos siguientes: Valor actualizado neto (VAN) = 1 832409,66 USD; Taza interna de retorno (TIR) = 22%; y Período de recuperación de inversión a valor actualizado (PRD) = 3 años.

Paso 7. Incorporación de la tecnología

En este paso acorde con los resultados obtenidos en los indicadores económicos de la propuesta inversionista, es adecuada la propuesta formal de un proyecto de ejecución de una instalación para el reciclado de aluminio y los bioenergéticos requeridos para este proceso utilizando para ello Aceite de Palma Africana.

Se requiere una actitud proactiva para incrementar a un futuro de no más de cinco años las disponibilidades de Aceite de Palma Africana a fin de incrementar las posibilidades de reciclado de aluminio en Cabinda.

CONCLUSIÓN

Es factible la aplicación de un procedimiento específico para planificar la determinación del tamaño inicial de una instalación de producción de biodiesel de Aceite de Palma Africana y su macro localización en la cadena de suministro de los procesos de conversión de la biomasa en portadores energéticos.

La capacidad inicial a instalar para la conversión de Aceite de Palma Africana en biodiesel, está limitada por la disponibilidad de esa materia prima, por lo que deberán realizarse acciones a futuro para eliminar esa restricción e incrementar las posibilidades de Reciclado de Aluminio y poder efectuar a los 5 años la inversión para incrementar la capacidad instalada para la Producción de Biodiesel y Reciclado de Aluminio.

La capacidad inicial de las requeridas inversiones de obtención de Biodiesel de Palma Africana y Reciclado de Aluminio debe satisfacer valores de producción de biodiesel de 155 886.16 kg/día, con un periodo de recuperación de la inversión de 3 años.

REFERENCIAS

- Acevedo Pabón, P. A. (2012). Herramienta de Análisis de Alternativas de producción, incorporando el ACV “Cuna a Cuna” a los métodos tradicionales. Comparación de biodiesel de Palma e Higuierilla. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería química. U. I.S. Colombia.
- Do Rosario, J. B. F., Barrios Castillo, G., Muto Lubota D. (2014a). *Diagnóstico de la gestión de los residuos sólidos urbanos en Cabinda, República de Angola/pp. 34-43*. Centro Azúcar, Vol. 41, Nº 1. ISSN: 2223-4861. Referenciada por CITMA e Indexada en: DOAJ, Latindex, Cuba Ciencias.
- Do Rosario, J.B. F., Barrios Castillo, G., Muto Lubota, D. (2014b). *Caracterización de los residuos sólidos generados en el municipio de Cabinda, Angola / pp.48-55*. Centro Azúcar, Vol.41, Nº 2. ISSN: 2223-4861. Referenciada por CITMA e Indexada en: DOAJ, Latindex, CubaCiencias.
- González Suárez, E. (1982). Modelación y optimización de un proceso tecnológico para la producción de cartón para ondular. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV.
- González Suarez, E., Pedraza Gárciga, J., Ley Chong, N., Espínola Lozano, F., Moya Vilar, M. (2012). “Aspectos técnico económicos en la proyección de instalaciones de la industria de la caña de azúcar” En González, E.; E. Castro (Editores): Aspectos técnico económicos de los estudios previos inversionistas para la producción de etanol de caña de azúcar. Editorial Cooperación Iberoamérica y Espacio Mediterráneo. Jaén, España. ISBN: 978-84-8439-609-3. (2012).
- Grancho Freitas, T.J., (2015). Posibilidad de producción y sustentación Energética de la producción del plástico mediante el reciclaje de sus desechos. Trabajo de Diploma de graduación como Ingeniero químico, UCLV. Curso 2014-2015.
- Lubota, D. M., Hernández Pérez, G., Do Rosario, J.B. F., Toure, B. M. (2014). Disponibilidad de biomasa como fuente de productos químicos y energía en Cabinda, Angola/pp.14-27. Centro Azúcar, Vol.41, Nº3. ISSN 2223-4861. Referenciada por CITMA e Indexada en DOAJ, Latindex, CubaCiencias.
- Lubota, D.M., González Suárez, E., Fernández Pérez, G., Miño Valdés, J.E. (2016). Modelo Conceptual y procedimientos para asimilar tecnologías de producción de bioenergéticos de biomasa residual. Aceptado para publicar en Centro Azúcar, Vol.43, Nº3. ISSN: 2223-4861. Referenciada por CITMA e Indexada en: DOAJ, Latindex, CubaCiencias.
- Oquendo Ferrer, H. (2002). Alternativas de desarrollo prospectivo de los derivados de la caña de azúcar”. 2002. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV.

Peters M.S. y Timmerhauss K.D. (1981). Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Singapore. McGraw–Hill. Chemical Engineering Series.

Rudd D, F. Y Watson, C.C. (1968). Strategy of Process Engineering. New York McGraw Hill.

Sambovo Landa, D.J. (2015). Posibilidad de producción y sustentación Energética de la producción del aluminio mediante el Reciclaje de sus desechos. Trabajo de Diploma de graduación como Ingeniero químico, UCLV. Curso 2014-2015.

RESÚMEN BIOGRÁFICO

Muto Lubota David

Ingeniero Industrial / Máster en Ingeniería Industrial / Dr. en Ciencias Técnicas, egresado de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Central de las Villas, Cuba.
Profesor en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad “11 de Noviembre”, Angola.

Erenio González Suárez

Ingeniero Químico / Dr. en Ciencias Técnicas, Dr. en Ciencias - Facultad de Química y Farmacia - Universidad Central de las Villas, Cuba.
Pos Dr. Gestión Ambiental y Seguridad Industrial - Universidad de Magdeburg, Alemania.
Miembro de Mérito - Academia de Ciencias - Cuba.
Premio Nacional Ing. Química 2013 - Asoc. de Química de Cuba. Profesor Titular y Emérito - Universidad Central de Las Villas, Cuba.

Gilberto Dionisio Hernández Pérez

Ingeniero Industrial y Dr. en Ciencias Técnicas egresado de la Facultad de Ing. Industrial de la Universidad Central de Las Villas, Cuba.
Profesor Titular y Emérito de la Universidad Central de Las Villas, Cuba.

Juan Esteban Miño Valdés

Ingeniero Químico / Especialista en Producción y Ambiente / MSc. en Tecnología de Alimentos.
Dr. en Ciencias Técnicas - Universidad Central de las Villas, Cuba.
PosDr. Gestión de Ciencia e Innovación en la Industria Química / PosDr. Política Científica I+D+i para el desarrollo local / PosDr. la Universidad: Capital Intangible para desarrollar la Industria Química
Profesor Titular Regular - Facultad de Ingeniería - UNaM, Argentina.

Inti González Herrera

Lic. en Ciencias de la Computación y Máster en Ciencias Informáticas egresado de la Facultad de Informática de la Universidad Central de las Villas, Cuba
Dr. en Ciencias Informáticas egresado de la Universidad de Rennes I, Francia.
Profesor e Investigador de la Universidad de Rennes I, Francia.