

Labor de la comunidad científica para la fundamentación de la asimilación de una Tecnología de obtención de biodiesel de residuos sólidos de la industria de la Azúcar de caña.

Romel García Prado¹; Gretel Villanueva Ramos²; Inti González Herrera³, Diana Concepción Toledo⁴.

2) Departamento de Ingeniería Química, UCLV, Cuba; 3) Centro de Estudios Informáticos, UCLV, Cuba; 1) Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala, 4) Departamento de Marxismo, UCLV

Resumen:

En el trabajo se presenta la articulación de las actividades de colaboración, de la comunidad científica, en la evaluación de las posibilidades de producción de biodiesel de cachaza de caña de azúcar en las condiciones de varias instalaciones industriales en un territorio con apoyo de métodos modernos de análisis y evaluación de alternativas tecnológicas. En el estudio se incluyen los resultados obtenidos en el escalado a nivel de Planta Piloto de las producciones de biodiesel mediante la tecnología desarrollada por un grupo de trabajo en colaboración con otro grupo interesado en la introducción de esta tecnología. Gracias a la colaboración internacional multidisciplinaria, se estiman los indicadores económicos de la ubicación de una instalación en cada fuente de cachaza y finalmente ante resultados no aceptables en algunas macrolocalizaciones se evalúa la posibilidad de dos instalaciones industriales, a la cual tributen varias fuentes de residuos sólidos.

Conclusiones: mediante la colaboración de la comunidad científica, es factible evaluar las posibilidades de producción de biodiesel de cachaza de caña de azúcar en las condiciones de la industria de la caña de azúcar con varias instalaciones industriales en un territorio.

Palabras claves: biodiesel, planta piloto, Cooperación internacional Gestión de I+D innovación.

Summary:

In the work the articulation of the activities of collaboration is presented, of the scientific community, in the evaluation of the possibilities of production of biodiesel of phlegm of cane of sugar under the conditions of several industrial facilities in a territory with support of modern methods of analysis and evaluation of alternative technological. In the study the results are included obtained in the one climbed at level of Plant Pilot of the biodiesel productions by means of the technology developed by a work group in collaboration with another group interested in the introduction of this technology. Thanks to the multidisciplinary international collaboration, they are considered the economic indicators of the location of an installation in each source of phlegm and finally before having not been acceptable in some macrolocalizaciones the possibility of two industrial facilities is evaluated, to which you/they pay several sources of solid residuals. Conclusions: by means of the collaboration of the scientific community, it is feasible to evaluate the possibilities of production of biodiesel of phlegm of cane of sugar under the conditions of the industry of the cane of sugar with several industrial facilities in a territory.

Key words: biodiesel, pilot, Cooperation international Administration of I+D innovation plants.

I.Introducción.

La transferencia tecnológica para los países receptores, puede implicar riesgos muy serios en el momento de seleccionar la tecnología más adecuada, es por ello que se deben valer de métodos que propicien la mejor selección, considerando no sólo factores técnicos, comerciales y económicos de la tecnología sino también de otros, como la respuesta a un mercado pequeño, a las restricciones de las materias primas, a la escasez de las habilidades y a la infraestructura subdesarrollada.

Por otro lado, no siempre los resultados científicos generados tienen un nivel de acabado necesario para la introducción en la práctica productiva en las condiciones actuales, debido a que por las limitaciones financieras y concepciones que deben superarse se han dedicado pocos recursos en el contexto latinoamericano al acabado necesario de los resultados para su transferencia al sector productivo.

Aquí se comprende, que la disponibilidad de nuevas tecnologías, a nivel de laboratorio, de obtención de biocombustibles, en centros de generación de conocimientos de países del sur, es una oportunidad que no debe ser descartada y más bien potenciada, siendo necesario minimizar el problema del desconocimiento, que genera incertidumbre.

Se deben adquirir y adaptar tecnologías más modernas, convirtiéndolas en propias mediante la Investigación y Desarrollo (I+D), para usarlas de forma creativa en el desarrollo de productos competitivos, aspecto en el cual los países del sur deben aliarse con gran competitividad profesional. Las Nuevas Tecnologías para la obtención de biocombustibles deben tener como requisito un mínimo impacto ambiental, debiendo ser del tipo de Tecnologías más Limpias, en ello es necesario considerar que existen barreras para las tecnologías más limpias, en la que se destacan la falta de habilidad para determinar, seleccionar, importar, desarrollar y adaptar tecnologías de forma apropiada, la falta de datos, informaciones y conocimientos específicamente de tecnologías emergentes y a la falta de confianza de tecnologías no probadas, todo lo que justifica la necesidad de procedimientos y modelos que guíen los análisis para estos casos.

II.Desarrollo.

2.1.Las metodologías para la asimilación de tecnologías de biocombustibles.

Para elaborar una adecuada decisión en las actividades de transferencia de tecnología en los procesos que usan biomasa como materia prima, no debemos olvidar que los procesos de obtención de biocombustibles son procesos transformativos dominados por los principios de los fenómenos de transporte y de la ingeniería de las reacciones químicas en los que descansa la industria de procesos químicos y en la que han sido debidamente caracterizados los problemas de incertidumbre.

La etapa de desarrollo tecnológico puede definirse como el proceso que, al tomar como base los trabajos de investigación, desarrollo e ingeniería, al interactuar con ellos y tener en consideración la necesidad social, así como las demandas actuales y potenciales de mercado, sirve de base para mostrar las posibilidades de aplicación práctica y económica de estos conocimientos, que facilitan la información requerida para los proyectos y diseños de ingeniería (Sáez, Tirso; 1999).

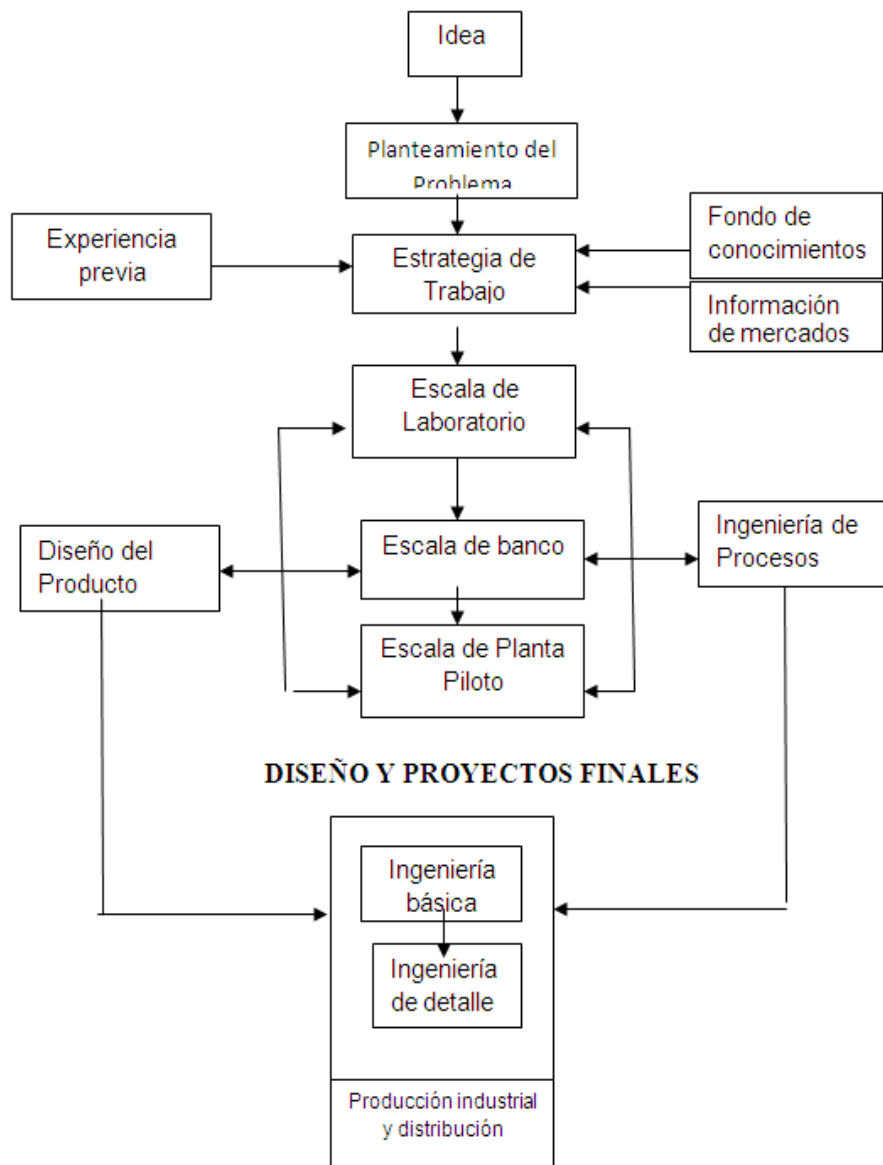
Los resultados del trabajo de desarrollo tecnológico para ser llevados a escala industrial deben pasar necesariamente por las etapas de ingeniería de proyectos y de diseño del producto. Es por ello, que en desarrollo de nuevas tecnologías se manifiesta con fuerza la problemática de convertir en términos económicos de producción y comercialización los conocimientos adquiridos en las etapas de investigación y desarrollo, enlazados con los conocimientos ya establecidos universalmente, que dan la posibilidad de generar una nueva tecnología. El proceso de interacción de diferentes disciplinas es la ingeniería, que consiste en garantizar que, desde la propia escala de laboratorio se tome la ruta adecuada hasta la realización final de la nueva tecnología con un enfoque técnico económico adecuado, y en ello : “Los estudios experimentales a nivel de laboratorio son la base fundamental para el estudio y desarrollo de las propuestas tecnológicas y es necesario su escalado a nivel de Planta Piloto”(Oliva Y.;2010), por lo que las instalaciones de Planta Piloto deben estar presentes en los procesos de asimilación de nuevas tecnologías. Los estudios a escala de planta piloto resultan de especial importancia para el cambio de escala en muchos procesos, no solo en las etapas fundamentales, sino

también en procesos auxiliares, (de filtración, centrifugación, de suministro de materiales y movimiento de productos y otros), así como para evaluar los factores críticos dentro del mismo, aunque son costosos tanto por los gastos requeridos para inversiones, como en operaciones. Un esquema básico para el trabajo de investigación, desarrollo e ingeniería de tecnologías de la industria química y biológica se ofrece en la Figura 1. (Sáez, T. W.; 1999). En es el caso de interés aquí, encontramos que por un grupo de investigación de un país del sur (Cuba) se ha desarrollado una tecnología que es necesaria para satisfacer la demanda de biodiesel que existe para la transportación de mieles, con el objetivo de fabricar etanol, en otro país del sur (Guatemala) y esto hace que plantee la tarea de asimilar, en un país, la tecnología desarrollada en un laboratorio en el otro país.

En estas condiciones son un conjunto de acciones esenciales, que constituyen el fundamento metodológico, para la terminación y asimilación de la tecnología generada en Cuba por la industria de la caña de azúcar de Guatemala, a saber:

1. Búsqueda del financiamiento para el escalado de la tecnología; que ha sido responsabilidad del grupo guatemalteco;
2. Diseño tecnológico del equipamiento de la Planta Piloto, de lo que ha sido responsable el grupo cubano;
3. Diseño mecánico, construcción y montaje de la Planta Piloto, que ha sido responsabilidad de ambos grupos.

Figura 1. Esquema del papel de la I+D y la ingeniería en el desarrollo de tecnologías típicas de productos de y tipo químico, biológico, etc.



4. Prueba a escala Piloto de la Tecnología cubana elaborada a nivel de laboratorio; que ha sido responsabilidad de ambos grupos.

5. Evaluación de la nueva tecnología considerando en ello su macrolocalización;

La asimilación de una nueva tecnología requiere la evaluación de la tecnología en el menor tiempo posible. Una tarea de tal magnitud requiere de criterios y métodos de evaluación. A la hora de evaluar tecnologías los inversionistas se plantean preguntas que favorecen el proceso de selección de la mejor tecnología, que no siempre pueden ser

respondidas de la información técnica disponible, aun más, en los casos que por acciones de Vigilancia Tecnológica y con una visión prospectiva se avizoran oportunidades de tecnologías emergentes. En el caso del análisis económico se utilizan estimaciones del futuro para ayudar a tomar decisiones.

1.1. Escalado y evaluación técnico económica para la asimilación de la tecnología de etanol de biodiesel. Una vez conseguido el financiamiento para el escalado a nivel de Planta Piloto de las instalación tecnológica requerida para la nueva tecnología, se procedió por parte del Grupo cubano, al trabajo investigativo para el escalado y evaluación técnico económica para la asimilación de la tecnología de etanol de biodiesel, con los siguientes resultados.

1.1.1. El diseño tecnológico del equipamiento de la Planta Piloto.

Desde una capacidad de 120 kg/día de Biodiesel, que es para la cual han sido diseñados todos los equipos (Albernas; Y; 2007) y considerando estos resultados del diseño tecnológico se procedió al diseño mecánico de los equipo de la Planta Piloto de biodiesel (Romel et al, 2010).

2.2.2. La prueba a escala Piloto de la Tecnología cubana elaborada a nivel de laboratorio; que ha sido responsabilidad de ambos grupos,

Las pruebas a nivel de Planta Piloto tiene como objetivos entre otros: a) Chequear los cálculos de diseño; b) Resolver problemas de escalado; c) Ganar en conocimientos del proceso y su dinámica; d) Producir muestras representativas; e) Fijar flujos de residuales.

2.2.3. Descripción de la Prueba de Planta Piloto. Para la prueba en la planta piloto, fue necesario el diseño e instalación de una Planta Piloto en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Diseñada en colaboración entre el Grupo cubano y el Grupo guatemalteco. En las pruebas de Planta Piloto se mantienen todas las relaciones propuestas en la Tecnología desarrollada en la UCLV (Feyt, 2007).

2.3. Resultados finales:

Se logró la operación estable de la instalación con un rendimiento de 1,574 kg de Biodiesel y 0,417 kg Insaponificables, para un rendimiento de 0,68 kg de biodiesel/kg de extractables y 0,07 kg de biodiesel/ kg de cachaza, lo que para una densidad de 0.891 kg/ l, significa 0,0786 l/kg de cachaza. Los valores de extractables en cachaza de alrededor

de 11 %, ligeramente inferiores al 12 % obtenido en la cachaza cubana, manteniendo la misma relación con respecto a la cantidad de materia prima utilizada que los obtenidos con materia prima cubana en la tecnología propuesta por la UCLV.

Considera recomendable que la Planta Piloto continúe funcionando aún después de construida la planta industrial, pues se utilizará para evaluar modificaciones en el proceso.

2.4. Evaluación de la nueva tecnología considerando su macrolocalización.

La evaluación de la asimilación de una nueva tecnología debe considerar los beneficios económicos que se generan y su relación con los egresos que son necesarios, siendo esenciales en ello los gastos en materias primas e inversionistas, por ello los pasos inmediatos son determinar los costos inversionistas y de producción, para lo que se requiere la determinación de la capacidad potencial de producción de biodiesel de acuerdo con la disponibilidad de materias primas en cada fuente de cachaza, actividad en la cual el Grupo guatemalteco tuvo un papel trascendental para lograr una información confiable.

2.4.1. Estudio de macrolocalización en de cachaza de cada una de las fuentes de (residuos sólidos) de la fabricación de azúcar

La evaluación de toda inversión está vinculada a su localización, debido a la relación que existe en las evaluaciones económicas y ambientales con las fuentes de materias primas y los destinos de los productos, debido a los gastos de transportación.

Para los estudios económicos se utilizó los estudios realizados por el Grupo cubano (Albernas, 2007) sobre el costo del equipamiento para una instalación de 21 000 kg/d es de \$ 230 614.7 USD. De estos resultados, como se sabe, se puede estimar, con ayuda de la regla de la punto seis (Peters-Timmerhauss, 1981) el costo del equipamiento y el Capital Fijo a Invertir con apoyo de las tablas de estimación de costo inversionista, para cada una de las capacidades a instalar estimando 150 días de operación de la planta, de manera que el biodiesel producido esté destinado al traslado de las mieles durante y los días posteriormente cercanos a la zafra azucarera. Para determinar el Capital Fijo Invertido se siguió el criterio de distribución de costos de inversión propuesto en trabajos anteriores (Albernas; 2007).

Tabla 1. Gastos Variables de producción (CVP), Costos Fijos de producción (CF), Costos de Producción Totales (CPT) y Costos por litro de biodiesel (C/L).

Ingenio	Cachaza , t/a	Biodiesel kg/d	CVP USD	CF USD	CPT USD	C/L USD/L
Magdalena	163144.00	85520.102	2935696	5303192	9469986	0.65776
Pantaleón	163818.90	85873.883	2942976	5316344	9493472	0.656675
Santa Ana	94594.24	49586.3	2116836	3823961	6828502	0.817994
La Unión	94798.35	49693.297	2119575	3828910	6837339	0.817289
Madre Tierra	58498.77	30665.053	1586559	2866043	5117934	0.991374
Concepción	53909.47	28259.342	1510662	2728938	4873104	1.024307
Palo Gordo	33567.08	17595.862	1136885	2053727	3667370	1.238029
Tululá	22498.77	11793.853	894259.5	1615436	2884708	1.45289
Trinidad	17939.09	9403.6734	780636.1	1410181	2518181	1.590654
San Diego	14166.26	7425.9509	677518.8	1223905	2185545	1.748212
Tierra Buena	49723.95	401882.61				
Total	766658.9					

En la Tabla 1 se resumen por instalación la disponibilidad de cachaza los Gastos Variables de producción (CVP), y los Costos: Fijos de producción (CF), de Producción Totales (CPT) y por litro de biodiesel (C/L). Los resultados de los costos unitarios de producción de biodiesel son un reflejo muy claro del impacto del tamaño de escala en los costos de producción con valores mínimos por litro de biodiesel de 0.19 USD hasta máximos de 0.46 USD, de manera que de donde se suministre el combustible incidirá en los costos de transportación, en lo que queda claro que la fuente de biocombustible para la transportación puede incidir de alguna manera en la solución óptima, por lo que es un aspecto que debe ser considerado como una restricción y en nuevo planteamiento del problema. Incluso puede valorarse transportar la cachaza para ser procesada en instalaciones de mayor capacidad para bajar costos de producción y de transportación total

La determinación de los indicadores dinámicos se realizó según la experiencia del Grupo cubano (Lauchy, A. E. González., 2005) y se resumen en la Tabla 2.

En todas las inversiones en la producción de biodiesel de relativos bajos niveles tienen muy altos tiempos de recuperación de la inversión, de manera que solo en 4 ingenios se logra resultados que justifiquen invertir en el propio ingenio que genera la

cachaza., estos son los casos de “Magdalena”, “Pantaleón”, “Santa Ana” y “La Unión” con niveles de producción de biodiesel superiores a 49 693.29 Kg/día.

Tabla 2. Indicadores dinámicos para inversiones en instalaciones de biodiesel.

Ingenio	VAN USD	TIR %	PRD
Magdalena	22243914	168	1,5
Pantaleón	22392052	169	1.8
Santa Ana	7974700	62	2.9
La Unión	8014237	62	3
Madre Tierra	1431789	21	8
Concepción	682,921	16	9.5
Palo Gordo	-2270000	-5	>11
Tululá	-3500000	<-5	>11
Trinidad	-3800000	<-5	>11
San Diego	-4000000	<-5	>11
Tierra Buena	22365000	12	11

En esas condiciones se infiere que hay un problema de economía de escala siendo aconsejable macro localizar en dos ingenios instalaciones productoras de biodiesel que utilicen como materias primas la cachaza generada en más de una instalación productora de azúcar y que deben considerar el retorno de los desechos de la producción de biodiesel a los suelos de las tierras cercanas a los ingenios que generar inicialmente la cachaza como fuente de biodiesel.

2.4.2. Macrolocalización de instalaciones de biodiesel considerando vinculación entre fuentes.

La disponibilidad total de cachaza es de 198 811 toneladas, por lo que pueden proponerse dos instalaciones de no menos un insumo de 90 000 toneladas, lo que significa instalaciones de 47 177 kg/d. en la Tabla 3 se ofrecen las disponibilidades de cachaza y potencialidades de producción de biodiesel por ingenio.

Tabla 3. Cachaza disponible y producción potencial de biodiesel por ingenio.

Ingenio	Cachaza, t/año	Biodiesel Potencial;kg/d
Palo Gordo	33567.08	17595.86
Tululá	22498.77	11793.85
Madre Tierra	30665.05	6665.05
Tierra Buena	26065.29	6065.30
San Diego	14166.26	7425.95
Concepción	53909.47	28259.34
Trinidad	17939.09	9403.67
Total	198 811.00	104216.70

Aquí el problema, de acuerdo con la experiencia del grupo cubano, se puede manifestar para dos alternativas, moviendo necesariamente toda la cachaza hacia una de las dos instalaciones, o de ser mejor desde el punto de vista de los costos de transportación hacerlo solo para los menores costos.

La búsqueda de las condiciones óptimas de macrolocalización de las instalaciones para producir biodiesel en ambas regiones es un caso típico del problema del transporte que puede ser resuelto con ayuda de la programación Lineal (Hichcock; F.L., 1941), entonces los problemas de macrolocalización se formulan de diferentes formas, según el caso, actividad que fue responsabilidad del grupo cubano en estrecha colaboración con un especialista del Grupo de Guatemala:

Caso 1:

Para el caso en el cual se decide mover toda la cachaza para ser aprovechada para la producción de biodiesel destinada a lograr una capacidad de producción total (aprovechando la cachaza disponible en los 11 ingenios) de biodiesel de 374 890.27 kg/d de biodiesel, es decir 420 752.26 l/d. La localización de cada instalación debe ser en un ingenio existente. Los resultados se alcanzan con la macrolocalización de las instalaciones en los ingenios Madre Tierra y Concepción. Aquí los costos de transportación de la materia prima ascienden a 1

177 913.214 USD al año, que se distribuyen en 528 561.43 USD en Madre Tierra y 649 351.80 USD en Concepción. Siendo los niveles de producción de 55 302.79 litros/día en Madre Tierra y otros 61 663.20 litros/día , para un total anual de 6 636 334.20 litros/día, lo que significa un total de 14 035 918.00 litros/año al año , con un incremento en los costos por litro de 0.0796 USD/litro, el análisis de los indicadores dinámico de la inversión en estas dos instalaciones se reflejan en la Tabla 4.

Tabla 4. Indicadores dinámicos para las inversiones en instalaciones de biodiesel en los casos que se transporta toda la cachaza.

Ingenio	VAN USD	TIR %	PRD
Madre Tierra	6 472 460	53	3.5
Concepción	8 608 268	66	3.0

Caso 2

Para el caso en el cual se decide mover solamente la cachaza que permita mínimos costos de transportación destinada a lograr una capacidad de producción de biodiesel a mínimo costo, con un nivel mínimo de producción de biodiesel.

Los resultados que se alcanzan con la macrolocalización de las instalaciones en los ingenios Madre Tierra y Concepción. Aquí los costos de transportación de la materia prima ascienden a 1 510 248.56 USD al año, los que se pueden distribuir en la misma proporción para las dos instalaciones en 755 124,25 USD por año, de manera que el resultado del análisis de los indicadores dinámico de la inversión en estas dos instalaciones se refleja en la Tabla 5.

Tabla 5. Indicadores dinámicos para las inversiones en instalaciones de biodiesel en los casos que se transporta la cachaza a menor costo.

Ingenio	VAN USD	TIR %	PRD
Madra Tierra	6263553.85	50	3.0
Concepción	6263553.85	50	3.0

De estos resultados se observa que es factible mejorar sustancialmente los indicadores dinámicos de la producción de biodiesel incrementando la capacidad de sus instalaciones, de manera que aunque se incrementan los costos de transportación los beneficios son superiores debido a la economía de escala, lo que se refuerza en el hecho de que debe utilizarse al máximo la cachaza disponible para incrementar los volúmenes y valores de producción, lográndose rebajar los costos de producción por litros de biodiesel hasta 0.88 USD o menos en todas las instalaciones.

I. Conclusiones.

1. La colaboración internacional entre países del sur para el desarrollo y asimilación de nuevas tecnologías es totalmente factible.
2. La asimilación de la tecnología de producción de biodiesel de residuos de la industria de azúcar de caña tiene un impacto económico positivo si se hace a niveles superiores de producción de 49 000 Kg/d de biodiesel.
3. Se puede encontrar la rentabilidad de producciones de biodiesel, a partir de la disponibilidad de residuos sólidos de pequeñas fábricas de azúcar de caña, mediante la vinculación de esos residuos a instalaciones productoras de biodiesel óptimamente macrolocalización y con restricciones de niveles de producción de biodiesel superiores a los 50 000 kg/ d.

II. Bibliografía:

1. Albornas Carvajal, Y. Impacto económico de la producción de Biodiesel en la Empresa Mielera "Heriberto Duquesne". Tesis de maestría. Universidad Central de Las Villas, Cuba. 2007.
2. Feyt, R, Estudio y diseño de una Planta Demostrativa para la producción de Biodiesel a partir de un residuo de la Industria Azucarera. Trabajo de Diploma, UCLV. 2007
3. García, R., C. R. Gómez Pérez, E. González Suárez; G. Villanaueva Ramos. "Planta Piloto, con Fines Experimentales, para la Producción de Biodiesel". Aceptado para publicar Centroazucar
4. Hichcock; F.L., 1941 The distribution of a Prod-

uct from Several Sources to Numerous Localities". Journal Mathematics and Physic. 20, pp 224-230, 1941.

5. Lauchy, A. E. González. Incertidumbre económica en las inversiones de plantas de la industria química. En González, E. (Editor).: Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria química, fermentativa y farmacéutica. Editorial Científico Técnica., La Habana, 2005. pp 263 .ISBN: 959-05-0377-2 .

6. Oliva Conyedo, Y.; Layanis Mesa Garriga, Erenio González, Carlos René Gómez, Víctor González Morales; Eulogio Castro Galiano, Cristóbal Parra. Fundamentación y avances de la estrategia investigativa para el escalado industrial de una nueva tecnología de obtención de etanol de bagazo de caña de azúcar. Ponencia.

7. Sáenz T.W. Ingenierización e Innovación Tecnológica. En Balladares Rodríguez, Mildred (Editor) "Tecnología y Sociedad". Editorial "Felix Varela". 1999. ISBN: 959-258-075-8.