



## *XII Seminario Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica - ALTEC 2007*

### **“Un Modelo para la Asimilación de Tecnología a partir de patentes para producción de biocombustibles”**

Ley Chong, Nestor  
Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas – Cuba  
[nley@uclv.edu.cu](mailto:nley@uclv.edu.cu)

González Suárez, Erenio  
Centro de Análisis de Procesos, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas – Cuba  
[erenio@uclv.edu.cu](mailto:erenio@uclv.edu.cu)

Albernas Carvajal, Yailet  
Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas – Cuba  
[yailetac@uclv.edu.cu](mailto:yailetac@uclv.edu.cu)

García Alaric, Rómel  
Universidad de San Carlos, Guatemala  
[romel@guate.net.gt](mailto:romel@guate.net.gt)

#### **Resumen:**

El presente trabajo tiene como objetivo la asimilación de una tecnología para la producción de biocombustibles sobre bases científicamente fundamentadas, para ello se utiliza una metodología en forma de procedimiento para lograr eficientemente la Asimilación y Transferencia de tecnología a partir de un estudio realizado de patentes a productos de los derivados de la biomasa, en el cual, intervienen tres fases, la Adquisición de la tecnología, la Adaptación de la tecnología y el Desarrollo de Procesos, ellas conjugadas, amortiguarán las dificultades que aparecen en el procesos de asimilación y transferencia de esas tecnologías.

Asimismo, la metodología establece un Modelo que brinda la información consultada y permite un análisis interactivo ante las problemáticas que enfrenta el receptor de la tecnología.

Finalmente se reflejan los resultados en el desarrollo de una instalación demostrativa para la producción de bioetanol y biodiesel de residuos de la caña de azúcar.

**Palabras claves:** biocombustibles, asimilación de tecnologías, caña de azúcar.

## **1. Introducción:**

Ante la necesidad de búsqueda de fuentes de combustibles alternativos y biodegradables, nuestro país trabaja, particularmente en la obtención de procesos más favorables para el medio ambiente o en una utilización más eficaz de la energía, por lo que se deben acelerar los trabajos que en este sentido se vienen realizando.

En la actualidad, como parte de buscar alternativas de fuentes de materias primas, de energía y de crear una capacidad adecuada de asimilación, transferencia y creación de tecnologías, se tiene la producción de bioetanol y biodiesel, para los cuales se perfeccionan y desarrollan nuevas tecnologías que logran obtener bioetanol a partir de residuos de madera, de desechos sólidos y de todos los materiales que contienen celulosa y hemicelulosa disponible y de biodiesel a partir de residuos de la caña de azúcar (*cachaza*), lo que permite revalorizar los desechos de varias industrias y convertirlos en materia prima aprovechable.

Esta premisa, constituye un punto de partida para estudiar vías que reduzcan los costos de producción de bioetanol y biodiesel. Para ello, se propone la integración de dos tecnologías a partir de residuos sólidos para producir estos biocombustibles, los cuales serán empleados para diferentes fines.

Con vistas a desarrollar el estudio de la ingeniería conceptual de un proceso viable, se ha considerado ventajoso, la realización de una extrapolación a partir de la información que periódicamente se dispone, como una forma apropiada de acotar las indefiniciones que existen con respecto a las distintas alternativas tecnológicas de producción de biocombustibles con la utilización de estos residuos.

El desarrollo y el análisis de estas alternativas de producción serán facilitados siguiendo la metodología que se ha propuesto para evitar y atenuar las dificultades y los riesgos que aparecen en el proceso de asimilación de las tecnologías que se han seleccionado para tales casos.

## **2. Desarrollo:**

### **2.1. Estrategia para la asimilación y transferencia de una tecnología.**

Para amortiguar los problemas que se derivan de la transferencia tecnológica, además de tener la capacidad para asimilarla a los niveles que complimentan el proceso de transferencia, se debe seguir la estrategia que se propone para tales casos (**Ley N, 2006**), el cual permite guiar paso a paso los análisis preeliminarios para una correcta asimilación de la tecnología y la misma se muestra en la figura 1.

La metodología planteada, abarca el estudio de tres etapas fundamentales: Adquisición de la Tecnología, Adaptación de la Tecnología y Desarrollo del Proceso.

- **Adquisición de la tecnología**

Esta etapa tiene como objetivos centrales, promover el origen o las necesidades tecnológicas que tiene el país receptor como parte del desarrollo tecnológico y de realizar una correcta selección de una tecnología apropiada y competitiva (TAC) que se decida poner en práctica.

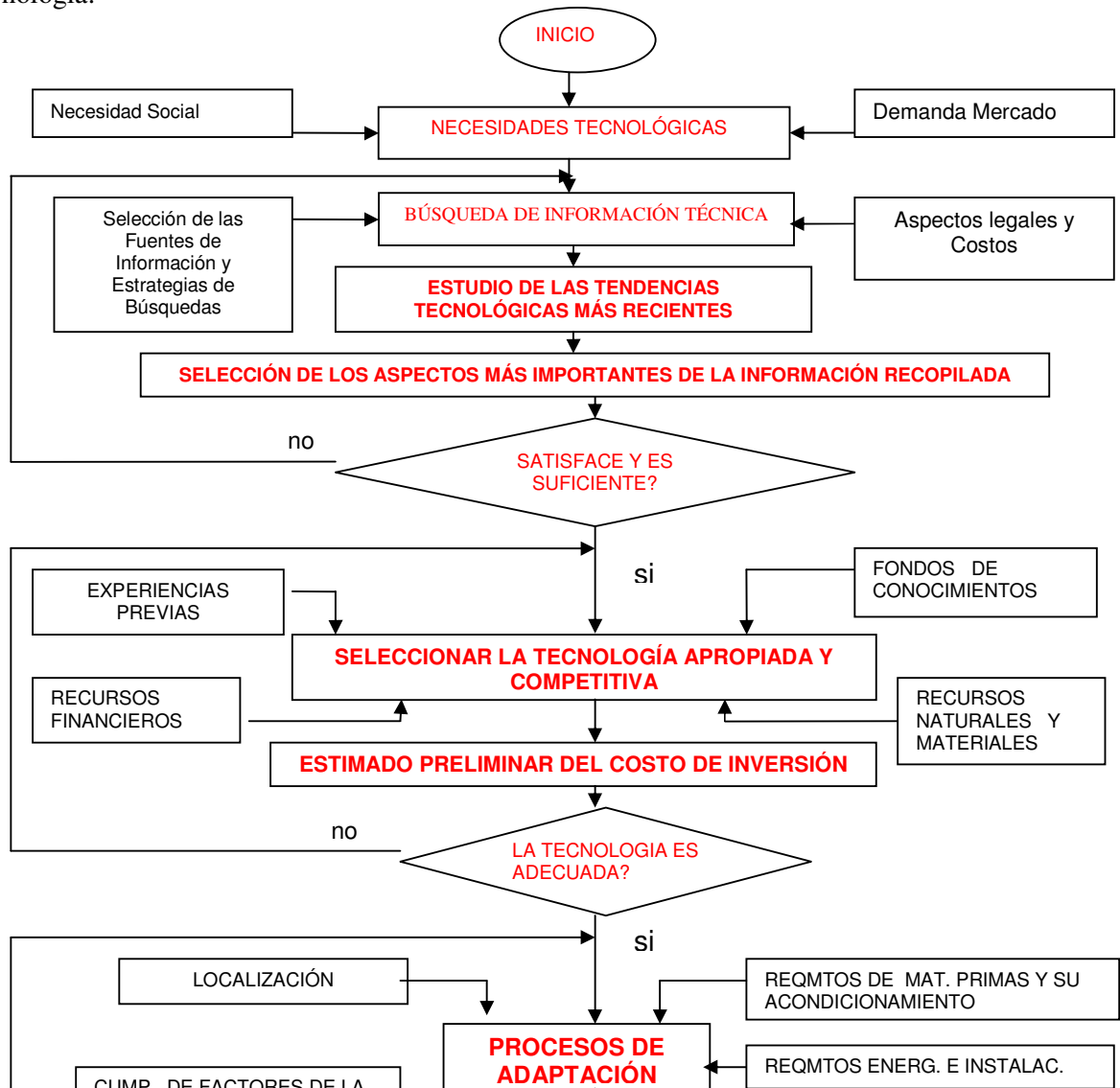
La primera es consecuencia de dos fuentes fundamentales: la demanda del producto en el mercado y la satisfacción social de la necesidad, no sólo del producto sino ampliado al desarrollo tecnológico de un país, ambas definen aspectos importantes que deciden la consecución de la nueva inversión y de su tamaño.

Previo a la selección de una TAC, se establece la vigilancia tecnológica en una primera fase del proceso en cuestión, teniendo en cuenta la actualidad y modificaciones o innovaciones que han sido realizadas por otras instituciones e investigadores, para ello se requiere la búsqueda de informaciones técnicas y comerciales de las alternativas analizadas y de las recomendaciones para la toma de decisiones, apoyados en las observaciones sobre los aspectos legales, sus costos y selección de las fuentes de información.

Una vez realizado este proceso se hace evidente una evaluación de la calidad de la información recopilada, la cual, si no es suficiente y ni satisface a los demandantes de la tecnología, se continúa con la búsqueda de nuevas informaciones, de lo contrario se procede a la selección de la TAC.

La selección de la tecnología debe estar retroalimentada en primer lugar de la disponibilidad del financiamiento, pues no contar con ella o de las posibilidades para obtenerla es imposible una transferencia de cualquier magnitud por muy necesaria que sea la misma.

En segundo lugar, los conocimientos previos de la tecnología, las experiencias en la Proyección y funcionamiento de plantas similares existente en el país y de información técnica-económica constituyen las bases de conocimiento y las necesidades de asesorías que puede indicar las forma o las modalidades que se pueden emplear para la transferencia de tecnología y en tercero, de la restricciones de recursos naturales y materiales, donde se incluye el acceso a las materias primas, materiales y de otros recursos como energía y agua extendido a los aspectos del medio ambiente, los cuales, deben satisfacer las cantidades requeridas para todo el tiempo de explotación de la planta, con análisis de los recursos nacionales para garantizar gastos mínimos en la operación y funcionamiento de la tecnología.



no

Figura 1: Estrategia para la asimilación y transferencia de tecnología.

El análisis de los aspectos tratados conjugados con los métodos de selección de tecnologías argumentará la mejor adquisición tecnológica, los cuales están sustentados por un estimado preliminar del costo de inversión de la tecnología seleccionada, valorando su correspondencia con el financiamiento previsto. En caso de no satisfacer se buscarán nuevas variantes tecnológicas.

Por tanto, esta etapa consiste en escoger una tecnología que reduzca al mínimo sus riesgos en inversión y mercado, reafirmando la relación triangular de la adquisición de la tecnología con los mercados y la inversión.

- **Adaptación de la tecnología.**

En esta etapa, se analizan los elementos que hacen posible una mejor adaptación tecnológica, en el que se incluyen el cumplimiento de las premisas de una buena localización y de los factores que inciden en el éxito de la transferencia tecnológica relacionado a los problemas de Aptitudes del personal, Accesibilidad y Fortaleza para construir fábricas, hacer funcionar fábricas, para elaborar planes de fábricas y estudios técnicos en detalle y el acceso al equipamiento necesario ya sea para construirlos como para adquirirlos.

Con respecto a la localización, su análisis al transferir una tecnología es especialmente importante si la empresa ha crecido mediante un proceso de fusión y adquisición, la cual incide en el plan estratégico de la empresa combinada.

Otra parte importante para adaptar eficientemente a las condiciones locales una tecnología es el acondicionamiento de la materia prima y de otros materiales de origen nacional que se consumen, dado a que estos en su forma natural u obtenidos de otras industrias no cumplen con los requisitos de calidad para ser procesados, y para ello se requiere el diseño de instalaciones auxiliares para su tratamiento.

Asimismo, el análisis de las necesidades energéticas y de agua y de las formas de obtención son partes importantes para adaptar una tecnología, pues para ello se necesitan conocer las fuentes, las cantidades y las instalaciones que serán diseñadas, incidiendo en gran medida en la inversión de la tecnología.

Lo anterior, puede ser conjugado con un análisis de integración del proceso, donde pueden estudiarse las variantes de contribución energética en la planta diseñada. A estas consideraciones se adiciona el análisis de los factores técnicos, sociales y medio ambientales, teniendo en cuenta los recursos humanos, la fuerza técnica disponible en el lugar y los aspectos que posibilitan la preservación del medio.

Esta fase culmina con un estimado del costo de producción y de los costos inducidos, cuyos resultados ayudarán a tomar las decisiones correctas.

- **Desarrollo del proceso**

En esta etapa, se resuelven los problemas de la llamada ingenierización donde se incluyen los aspectos tratados de ingeniería de procesos y diseño que como tal no persigue investigar y buscar nuevos conocimientos, sino utilizar los ya establecidos e integrarlos en la búsqueda de soluciones técnicas y económicas a problemas planteados por la sociedad (**Colectivo GEST, 1999**), en la que se incluyen entre los más importantes, los siguientes elementos: Diagrama de flujo del Esquema tecnológico (Flowsheet), Definición primaria de las especificaciones de equipos y otros elementos del sistema, Diseño de ingeniería de procesos y su automatización, Documentación técnica de puesta en marcha y manuales de operación.

Estos aspectos definen el diseño preliminar de la planta en una secuencia de las distintas operaciones unitarias que involucra el proceso de producción; finalizando con una evaluación económica que incluye el análisis de sensibilidad y riesgo de la inversión, lo cual, facilitaría el éxito en la toma de decisión.

Con respecto a esta última, específicamente el análisis de sensibilidad y el riesgo de la inversión, estos se incorporan dentro de la metodología planteada como elementos importantes de decisión en las condiciones del país receptor.

El seguimiento de este procedimiento, amortiguará las dificultades que pueden ser generadas por la complejidad de la transferencia tecnológica, conjugadas con el enfrentamiento de tecnologías envejecidas, insumos de materias primas importadas por no poseer la calidad requerida, la puesta en marcha, dificultades en la comunicación del proceso, su implantación entre otras.

De esta manera, la tecnología debe adaptarse a las condiciones geográficas, climáticas, a un gasto de investigación y desarrollo para adaptar o mejorar el diseño y a establecer diseños apropiados que pueden facilitar la difusión de nuevas técnicas productivas.

Por todo lo anterior se puede inferir, que la estrategia planteada responde a un **Modelo combinado y de procedimiento**, en el cual se han aprovechado las ventajas de los modelos existentes sobre la base de la recopilación de la información que se requiere para la tecnología en cuestión, y así lograr el objetivo de obtener una identificación más exacta de la misma y conocer en qué aspectos se deben profundizar para lograr una correcta adaptación tecnológica.

Además como proceso interactivo, analiza las necesidades del usuario, dando a conocer su disponibilidad, su argumento y conocimiento de la tecnología.

Como procedimiento, se brinda una estrategia que evalúa los elementos que involucra cada fase en los estudios preliminares de esta transición, ayudando a tomar las decisiones más acertadas en cada situación, basándose en los métodos empleados para su evaluación.

## **2.2. Etapas del proceso tecnológico seleccionado.**

Una vez definida la capacidad de producción de la planta, se ejecuta en una primera fase la vigilancia tecnológica, para conocer los avances, las tendencias y las investigaciones que se realizan para mejorar la eficiencia de estos procesos, teniendo en cuenta sus barreras y limitaciones. En la estrategia planteada la tecnología propuesta surge de los estudios de las patentes relacionadas con el tema en cuestión y de las vías que actualmente se emplean para la obtención de biocombustibles a partir de residuos sólidos industriales. (*Easter J. M 1993*), (*González, S. E. 2003*), (*González C. M. 2003*), (*Xuejun Pan y col.2005*), en él han incidido las estrategias de búsqueda de la información en los aspectos legales, económicos y técnicos y de los resultados investigativos que se vienen desarrollando.

Como resultado de la misma, para el caso del Bioetanol, se pudo verificar que existe una gran cantidad de patentes obtenidas de las siguientes estrategias de búsqueda:

- *ESTRATEGIA #1: (wast\* or garbag\*) and ethan\* + IPC C12P7*
- *ESTRATEGIA #2: ethan\* and enzymat\* and hydrol\* + IPC C12P7*
- *ESTRATEGIA #3: "solid\* wast\*" and ethan\*.*
- *ESTRATEGIA #4: ethan\* + IPC C12P7.*

Estas estrategias se establecieron teniendo en cuenta, el producto a obtener, de las etapas del proceso que desea investigar, de las materias primas a utilizar y sus características, de donde se obtuvieron y se analizaron un total de 196 patentes en temas dirigidos hacia:

1. Pretratamientos a las materias primas, que sean baratas, mayor impacto al medio ambiente.
2. Empleo de Microorganismos con actividad enzimática celulolítica potente.
3. Procesos tecnológicos factibles económicamente que aprovechan la materia lignocelulósica a partir de varias materias sólidas residual.

Realizando un tamizado de las mismas, se logró conformar una tecnología para la producción de Bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos (Bagazo de caña de azúcar) que responda a las características y peculiaridades de Cuba como país en vías de desarrollo, para el cual se descartaron equipos con gran rigor en las condiciones de operación de alta presión y temperatura y complejidad de sus diseño que resuelven etapas críticas de este proceso como el Pretratamiento y la Hidrólisis.

Sobre las patentes seleccionadas se destacan aquellas que realizan innovaciones e investigaciones en el Pretratamiento de materiales lignocelulósicos y urbanos en las cuales se resaltan las diferentes etapas del proceso en cuestión, así como de las etapas que conforman el proceso brindando vías, métodos y procedimientos para mejorar la eficiencia del mismo como es en la etapa de la Hidrólisis, Fermentación (sobre diferentes levaduras a usar), de los diferentes métodos para la obtención de Etanol a partir de residuos sólidos y de equipamientos que pueden utilizarse en las etapas previstas para este proceso , entre otras.

Para ello, en el caso del Bioetanol se han establecido las siguientes etapas: Etapa de Pretratamiento del bagazo, Hidrólisis vía enzimática, Fermentación y Destilación.

Para el biodiesel las etapas a desarrollar son: Mezclado de la cachaza con la nafta, Extracción del aceite de cachaza, Deshidratación del etanol, Preparación del etóxido, Reacción de formación del biodiesel y otros coproductos.

Dentro de estas etapas del proceso, se consideran puntos críticos en la tecnología las dos primeras etapas de producción de bioetanol y la tercera de la producción de biodiesel, ya que si bien aparecen reportadas en la literatura, son etapas novedosas o no tan estudiadas a gran escala, por su complejidad y por su alto costo, lo cual constituye un desafío en el balance de costo – beneficio.

Se realizaron los balances de materiales para determinar los flujos y composiciones de las corrientes, algunos de los cuales se plantean en el esquema representado en la figura 2 para la planta completa. También se determinaron las capacidades de los equipos a diseñar.

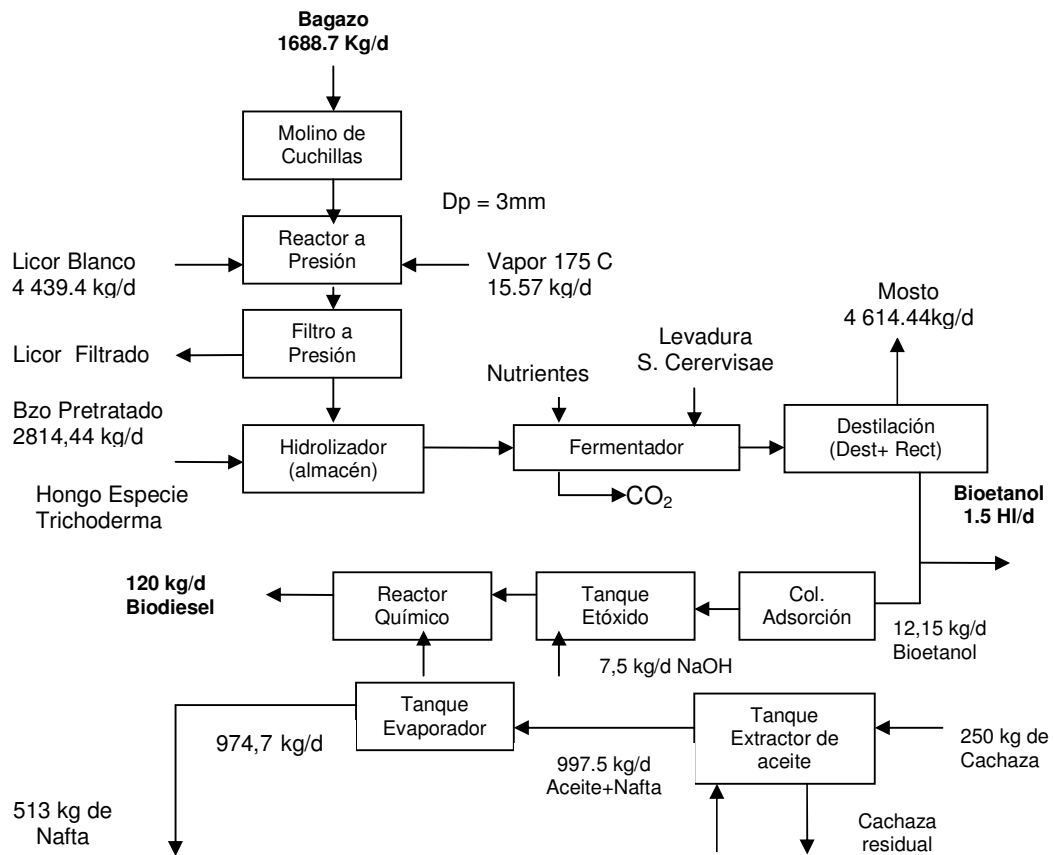


Figura 2: Balance de capacidades para la producción de Bioetanol y Biodiesel.

### 2.3. Estrategia del proceso inversionista.

Una vez que se han establecido los esquemas tecnológicos para los fines propuestos, se inicia la estrategia del proceso inversionista donde se desarrollarán un conjunto de tareas, las cuales están representadas en varios bloques que se ejecutaran paso a paso.

Para el desarrollo del proceso un paso determinante fue el estudio a escala de laboratorio, que permitió tomar decisiones para el escalado del equipamiento. Los estudios se centraron en la etapa de hidrólisis, la fermentación para la obtención de Bioetanol, la deshidratación del Etanol y la obtención de Biodiesel a partir de nuevos materiales (*residuales de la industria azucarera*). El diseño tecnológico de los equipos se basó en la determinación de las dimensiones fundamentales de los mismos a partir de los datos de capacidades necesarias y sobre todo de los resultados obtenidos a escala de laboratorio para producir 1.5 hl/d de bioetanol y 120 kg/d de Biodiesel.

El conjunto de todas las tareas concebidas y planificadas son ejecutadas y controladas a través de un cronograma de actividades confeccionado de forma detallada con el uso del Microsoft Project determinar la ruta crítica del proyecto y su terminación. , donde se establecieron la duración de las mismas y los ejecutores de cada actividad.

### 3. Resultados y Discusión.

Como parte de cumplimentar los puntos fundamentales del desarrollo del proceso se dimensionaron los equipos que conforman las etapas de los procesos seleccionados.

En las tablas 1 y 2 se reportan un resumen de una evaluación económica, en el que fueron realizados a partir de los métodos de diseños para cada equipo en cuestión, así como sus costos de adquisición. (*Peter's 2003*)

**Tabla 1: Elementos del costo de Inversión**

<b>Elementos del Costo de Inversión</b>	<b>Costo (\$)</b>
Costo Inversión del Equipamiento	<b>105 666,10</b>
Costos totales directos	122 575,76
Costos indirectos	4 226,404
<b>Inversión fija (If) = CD + CI</b>	<b>126 792,168</b>
<b>Inversión de trabajo (Itrab)</b>	<b>2113,202</b>
<b>Costo total de inversión = If + Itrab</b>	<b>128 905,37</b>

**Tabla 2: Estimado del Costo de Producción**

<b>Elementos del Costo</b>	<b>Costo \$/a</b>
Materias Primas	18 706,419
Costos Variables	36 287,83
Costos Fijos	10 143,09
Costos Exteriores	5 227,92
Costos de Fabricación	51 659,10
Gastos generales	3 786,18
<b>Costos totales de Producción</b>	<b>55 445,28</b>



### 3.1. Análisis de Alternativas de inversión.

Para lograr un resultado favorable, respecto a su factibilidad, se realizó un estudio y análisis de los factores que inciden negativamente en estos indicadores, dando como resultado el análisis de diferentes alternativas.

Teniendo en cuenta, el tamaño de los equipos, específicamente de la planta de biodiesel y de la disponibilidad de que algunos de estos pueden ser sustituidos por equipos existentes, con ligeras modificaciones para garantizar las condiciones de trabajo, se logró un ahorro en los costos de inversión, que implica un resultado positivo para mejorar la factibilidad del proceso.

Se logra un ahorro de \$24 150 del presupuesto inicial de \$105 660,10 para los equipos de ambas instalaciones, ello va dirigido al tanque receptor de etanol, tanque de mezclado enchaquetado, condensador, tanque mezclador del etóxido.

Otra alternativa con un resultado favorable, es la separación de los coproductos obtenidos en los procesos concebidos, específicamente de la producción de biodiesel, los cuales, tienen un gran impacto en el campo de la salud y en la industria de los cosméticos y pueden ser vendidos a precios que oscilan entre 11.38 \$/kg hasta 22 \$/kg.

Como resultado de estos análisis se valoraron dos alternativas

**Variante 1:** Para una capacidad de producción 120 kg/d de Biodiesel y una reducción de los costos de equipamiento por concepto de existencia de equipos similares, pero con un mínimo de inversión para adaptarlos a las condiciones de operación.

**Variante 2:** Aumenta el doble la capacidad de producción de la planta: 240 kg/d. En esta variante ocurre un aumento de la inversión por concepto de equipamiento para la planta de biodiesel para un valor total de la inversión de **\$130 801**.

Una comparación de los principales indicadores económicos de las variantes analizadas se muestra en la tabla 3 del cual se observa un resultado favorable de los indicadores económicos para las variantes que se han concebido.

**Tabla 3: Análisis de los principales indicadores económicos de las variantes**

<b>Indicadores</b>	<b>Variante 1 120 kg/d</b>	<b>Variante 2 240 kg/d</b>
Costo de Equipamiento	\$ 81 510.10	\$130 801.00
Valor de la Inversión	\$128 905.37	\$159 577.22
Ingresos Obtenidos \$/a	108 570 \$/a	200 903,40
Costo de Producción	55 445,28 \$/a	87 189,78 \$/a
VAN \$	201 437.76	499 428,96
TIR %	44	71
PRD años	4.6	3

### 3.2. Análisis de sustentabilidad del Proyecto.

Finalmente, con los resultados obtenidos se establece un conjunto de elementos para el aseguramiento del proyecto de inversión que define aspectos técnicos, económicos, de almacenamiento y transportación, seguridad y medio ambiente como parte de la sustentabilidad del proyecto y que constituye una cuestión importante dentro de su factibilidad, como son:

1. Descripción del producto que se obtendrá de la Planta Proyectada: Orientadas a responder las siguientes interrogantes ¿Qué es?, ¿Para qué sirve?, ¿Cómo se usa?, ¿Dónde se usa?
2. Tiempo de construcción y puesta en marcha de la planta de demostración, que debe ser en el menor tiempo posible para que la misma se explote con mayor rapidez.
3. Capacidad de producción a partir de la finalización de la puesta en marcha en los tres primeros años para garantizar su estabilidad y su buen funcionamiento.
4. Costos de Operación y Producción, específicamente los costos directos en régimen de operación, su envase, almacenamiento y transportación, los residuos del proceso, el costo de la disposición final de los residuos, teniendo en cuenta las regulaciones medio-ambientales locales.
5. Gastos administrativos y generales, lo que garantiza la supervisión y los costos para la investigación y la venta del producto.
6. Aspectos comerciales, definen el precio de venta, las cantidades, los clientes y los plazos y forma de pagos por la compra del producto, su distribución y frecuencia, los subproductos con un valor comercial y sus precios de venta.
7. Aspectos legales: Se debe considerar las entidades jurídicas que construirán y explotarán la planta, el costo de implementación de las normas de seguridad del personal, de acuerdo a la legislación vigente, los requisitos medio-ambientales y su costo de implementación.

#### **4. Conclusiones:**

1. La metodología desarrollada constituye una herramienta básica para guiar y evaluar los análisis preliminares de los Proyectos de Inversión de procesos químicos dado que incorpora la búsqueda de información a través del monitoreo de tecnologías, identifica los mecanismos de transferencia que pueden ser aplicado a cada caso e incluye los análisis de localización, sensibilidad y riesgo de la inversión como elementos imprescindibles para una eficiente asimilación de la transferencia tecnológica.
2. La metodología que se propone incluye fases de decisión, en las etapas de Adquisición de la tecnología, Adaptación de la tecnología y Desarrollo del Proceso, lo que permite analizar y evaluar diferentes alternativas de inversión y producción desde el punto de vista técnico económico.
3. La incorporación de la vigilancia tecnológica en la metodología desarrollada, permitió con mayor grado de actualidad y seguridad, la selección de la tecnología apropiada y de sus etapas, definiendo sus limitaciones y identificando las etapas más críticas, los cuales deben ser previstas y solucionadas en correspondencia a las condiciones del país y de lo que puede aportar al desarrollo de la tecnología.
4. Las exigencias que requiere la tecnología propuesta para la producción de biocombustibles a partir de residuos sólidos son satisfechas en nuestro país en cuanto a las materias primas que se necesitan, los requerimientos del proceso,

adquisición y construcción del equipamiento apropiado y del conocimiento acerca de la misma, por otra parte esta constituye un significativo aporte al proceso de diversificación de la industria azucarera.

5. Para las capacidades de producción que se han propuesto, este proceso de producción de Biocombustibles es factible, cuando se considera dentro de ingresos totales, la venta de los alcoholes pesados como coproducto de la producción de Biodiesel a partir de cachaza a precios que se encuentran en el rango establecido para ellos (11.38 \$/kg a 22 \$/kg).

## **5. Referencias Bibliográficas.**

1. Easter J. M.(Us). "Process For The Disposal Of Municipal Waste and Manufacture of Fuel Alcohol". Patent WO9305186. 1993.
2. González S, E. y col. La transferencia de tecnología para el desarrollo diversificado de la industria de la caña de azúcar. Revista Centro Azúcar. ISSN 0253 5757. #1 2003. 46.
3. González C, M. y col. Condiciones óptimas de operación en el pulpeo de bagazo con etanol para la fabricación de cartón ondulado Revista Centro Azúcar ISSN 0253 5757 #2. 2003. 40.
4. González C, M. y col. Calidad del papel para ondular producido con pulpa de recorte y pulpa organosolv cocida a alta presión. Revista Centro Azúcar. ISSN 0253 5757 #3 2003.
5. Ley N, y col. "Un modelo para la asimilación de tecnologías a partir de patentes de productos derivados de la Industria Azucarera". Revista Centro Azúcar. ISSN 0253 5757. Número 1. 2006
6. Xuejun Pan y col. Biorefining of Softwoods Using Ethanol Organosolv Pulping: Preliminary Evaluation of Process Streams for Manufacture of Fuel-Grade Ethanol and Co-Products. Biotechnology And Bioengineering, Vol. 90, No. 4, May 20, 2005
7. Peters, Max. S; Timmerhaus, Klaus D and West, Ronald E. "Plant Design and Economics for Chemical Engineers". Fifth Edition. McGraw-Hill. 2003.