

Gestión de ciencia y técnica para el desarrollo prospectivo de tecnologías obtención de etanol y coproductos de bagazo de caña de azúcar

Leyanis Mesa - Centro de Análisis de los Procesos. UCLV

Marcelo Portal - Facultad Ciencias Sociales, UCLV

Erenio González - Facultad Ciencias Sociales, UCLV

Eulogio Castro - Universidad de Jaén

Resumen

El siguiente trabajo parte de la necesidad de la producción de biocombustibles como una forma de contribuir a resolver los problemas de la matriz energética de Iberoamérica y considerando la disponibilidad del bagazo de caña de azúcar como materia prima, así como los requerimientos económicos, energéticos y ambientales de sus producciones se establece una visión prospectiva de las necesidades investigativas para la producción de bioetanol de bagazo de caña de azúcar.

Desde los aspectos concernientes a la incertidumbre en el desarrollo de procesos de la Industria Química y con ello las principales direcciones del trabajo de Ciencia e Innovación Tecnológica en ingeniería con vistas a las producciones de bioetanol de residuos lignocelulósicos, se propone una secuencia de acciones de trabajo, de la comunidad científica, que permitan acortar la obtención e introducción de la tecnología de obtención de etanol y coproductos en la práctica productiva en la concepción de desarrollar investigaciones a ciclo completo. Se concluye que el desarrollo de la tecnología de obtención de etanol de bagazo de caña de azúcar presupone resolver de forma coordinada un grupo problema científicos de alta complejidad, lo que puede lograrse con la acción coordinada de grupos de investigación que organicen su labor a través de un plan de investigaciones que se coordine operativamente a través de una ruta crítica de actividades que se retroalimente y ajuste periódicamente.

Palabras claves: bioetanol, ciencia, innovación, incertidumbre, bagazo de caña de azúcar.

I. Introducción:

La tendencia actual hacia la obtención de productos y energía a partir de fuentes renovables plantea problemas potenciales que deben ser evaluados cuando se intenta proponer alternativas viables, pues el uso de la biomasa, en cualquiera de sus manifestaciones, para biocombustibles presenta limitaciones o más bien barreras u obstáculos a superar para su empleo. Por lo anterior se requiere establecer las bases de la estrategia de investigación en esta dirección.

El adecuado uso de la tierra y los recursos naturales vinculados a ella, es un problema trascendental en la solución de esta dicotomía alimentación - agrocombustibles. Para resolver este problema debemos partir de algunas premisas y conceptos, frutos del acervo cultural de la propia humanidad. No se debe desistir del sueño de conciliar la producción de alimentos y agrocombustibles, sólo tratemos de ver las señales que nos lleven a él. Indudablemente, no podemos sacrificar la alimentación de los pueblos por excesivos gastos de energía de los mismos y mucho menos por el gasto desmesurado e

innecesario realizado por sectores de la sociedad de diferentes países, en detrimento de las necesidades básicas de los sectores más amplios de la sociedad.

A partir de los años 90 el Programa de Naciones Unidas para el desarrollo, inició la publicación anual de un informe sobre la dimensión humana del desarrollo como intento de medir y comprobar el desarrollo en su integridad, con ello se difunde el término de desarrollo humano: “un proceso en el cual se amplían las oportunidades del ser humano. En principio estas oportunidades pueden ser infinitas y cambiar con el tiempo. Sin embargo, a todos los niveles del desarrollo, las tres más esenciales son: disfrutar de una vida prolongada y saludable, adquirir conocimientos y tener acceso a los recursos necesarios para lograr un nivel de vida decente, entre los cuales se incluye la libertad política, la garantía de los derechos humanos, además el respeto a sí mismo.” (Cunningham; 2000).

Paralelamente a la discusión, acepción y consenso acerca de la dimensión social de desarrollo y como consecuencia de los enfoques que en los 70 sometieron a revisión el concepto de desarrollo económico y la creciente crítica de los círculos ambientalistas al modo de vida contemporáneo, a la variable social de desarrollo, se le adiciona la ambiental.

En junio de 1992 se desarrolla la conferencia de la ONU sobre Medio Ambiente y desarrollo en Rio de Janeiro y dejó establecida el vínculo que tiene los procesos de crecimiento y desarrollo económico con el medio ambiente.

De esta forma desarrollo humano y Medio Ambiente son dos temas dominantes hoy y ambos convergen en lo que se denomina “Desarrollo Sustentable o Sostenible ” que se define como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las capacidades de las futuras generaciones, para satisfacer las propias. Esto significa mejorar la capacidad de vida humana sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sustentan y persigue tres grandes objetivos (Tuñón, E.;1996).

a) El crecimiento económico, b) Equidad, c)La sustentabilidad ambiental.

La calidad de vida, pues esta categoría expresa el tipo y la calidad de las relaciones sociales del hombre. Se cumple aquí entonces la máxima de Carlos Marx de que “lo que distingue las épocas económicas y unas de otras, no es lo que se hace, sino el cómo se hace”(Marx, C.; 1972).

II. Desarrollo

2.1. La asimilación y transferencia Nuevas Tecnologías para la obtención de bioetanol.

El Informe de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1987(Tuñón.E; 1996) plantea que hoy se trata de conjugar las exigencias de un primer mundo dueño de la tecnología (y que quiere mantener o mejorar su nivel de vida pero sin destruir el medio ambiente) con las de los países económica y tecnológicamente subdesarrollados pero poseedores de los recursos naturales (y poblacionales). Así, se basa en los siguientes preceptos:

- Plena conciencia de que los recursos son finitos y de que el mundo es un único.
- No podemos, por consiguiente, servirnos de los recursos de forma inconsciente o alocada, se impone el cálculo preciso.
- La finalidad de la tecnología no es ya un mero medio para explotar de modo progresivamente sistemático los recursos con vistas a satisfacer nuestras necesidades, sino el instrumento que permite conjugar «desarrollo económico» - «conservación o renovación de los recursos» - «reparto de las ganancias». La característica de la tecnología es ahora, como viera F. Taylor a principios de siglo, *la eficiencia*. El antiguo «producir más» es sustituido ventajosamente por el actualmente posible «producir mejor»
- No se habla de reducir el nivel de vida medio (o de necesidades) , sino de hacerlo ecológicamente "sostenible", contando para esto con la eficiencia tecnológica, el control de la población; la racionalización del consumo.
- El reparto de los beneficios que genera el manejo tecnológico de los recursos no puede ser tan desigual como lo es en la actualidad (donde los poseedores de la tecnología se llevan la parte del león y los titulares de los recursos se han de conformar con las migajas, lo que les aboca a sobreexplotarlos irracionalmente y destruir lo que se considera patrimonio de la humanidad).

Uno de los problemas en que a nivel mundiales centra la mayor atención , es precisamente en el tema del modelo energético mundial, el cual toma un nuevo rumbo, debido a la disminución progresiva de las reservas de combustibles fósiles, así como a los requerimientos de conservación del medio ambiente, de ahí que la atención de los investigadores se está dirigiendo hacia la búsqueda de nuevas fuentes de energía limpias y renovables, como son los biocombustibles, esto incorrectamente presentado y en algunos países también ejecutado, ha dado lugar a una contradicción entre el uso de la tierra para alimentos o para los llamados agrocombustibles.

La idea fundamental que debe gobernar cualquier propuesta de utilización de la tierra, debe ser preservar y mejorar la calidad de vida de la población actual y de las generaciones futuras, para lo que sin dudas habrá que conjugar muchos factores entre los que se destaca el uso de tecnologías adecuadas y la conservación del medio ambiente.

En las condiciones del mundo moderno, para encontrar soluciones a estos problemas, es importante, tanto la posibilidad de generar soluciones propias, como la capacidad de asimilar de forma inteligente y en las condiciones locales, procesos tecnológicos de producción originados del exterior. La adquisición de tecnologías tiene un importante papel en el proceso de acumulación de capacidades tecnológicas, orientando su gestión para usarla adecuadamente, adaptarla y mejorarla. Para ello es necesario buscar formas de trabajo que viabilicen con mejor eficacia que lo que actualmente se hace, la transferencia de resultados del sector de generación de conocimientos a las empresas de los países en desarrollo.

Persiguiendo este fin, y teniendo en cuenta la importancia de la obtención de vías alternativas para la producción de combustibles, se propone la utilización de los materiales lignocelulósicos, formados por tres componentes principales: celulosa, hemicelulosas y lignina que son los polímeros más abundantes en la naturaleza. De entre ellos, la madera

constituye la mayor de las reservas, seguida por los residuos agrícolas y, en tercer término, los cultivos especiales para la producción de biocombustibles.

Lo anterior lleva a proponer el análisis del uso óptimo de un recurso renovable en la producción de un insumo energético determinado sin perder de vista la posible generación de coproductos de alto valor añadido que pueden ser fuentes alternativas de productos de alto valor agregado en procesos tecnológicos en que se aprovechen los logros que nos lega la naturaleza, en su maravilloso proceso de transformación de la materia primas.

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.

Por ello, se deben disponer de herramientas para que los países en desarrollo puedan accionar para disminuir los efectos negativos de la transferencia y asimilación de tecnología, en las que se destacan las metodologías científicas para la adquisición y adaptación de tecnologías, la selección y evaluación de tecnologías que se va asimilar y el diseño local de la tecnología más apropiada a la realidad de cada uno de los países.

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.

Una característica de las producciones de la industria química y fermentativa es su potencial alto impacto al medio ambiente, así por ejemplo el desarrollo de las producciones de derivados de la caña de azúcar, induce un incremento en el nivel de contaminación, lo que en muchos casos ha sido un factor que ha frenado el desarrollo de estas producciones y con ello las demandas de conocimientos científicos inmediatos, por lo que se requiere una verdadera proyección en la búsqueda de tecnologías más limpias en el sector de generación de conocimientos.

Por otro lado, considerando las potencialidades de la biomasa como fuente de productos químicos y energía, en los países del sur, así como las experiencias de trabajos existentes en los centros universitarios de los países del sur, en el desarrollo de los procesos con este objetivo y las propias tradiciones de los pueblos del sur que pueden ser reforzadas con los adelantos de la industria de procesos químicos, la colaboración en la industrialización de la biomasa como fuente de biocombustibles sin afectar las necesidades alimentarias y sin agredir el medio ambiente, es un problema cardinal de su desarrollo al ser una clara demanda de la práctica y una potencialidad del conocimiento disponible en las instituciones de generación de conocimientos del sur.

2.2. Bases estratégicas de la Política de investigación para la obtención de bioetanol.

La producción y uso de bioetanol debe ir al compás de la sustentabilidad ambiental, y es conveniente incentivar el desarrollo y el uso de pautas ambientales en todas las industrias de bioenergía. Lo que puede ser optimizado mediante una adecuada integración material y energética, incluso para productos de un alto valor agregado (González et al, 2005); (Cunningham, 2000); (Garrison, 1996); (Hurme, 1996).

Una premisa importante es ver el aporte del bioetanol, conjuntamente con otras fuentes renovables de energías, solamente como una necesidad de incorporarlos a la matriz energética de cada país en su justa medida, o sea, una contribución, sin olvidar y resolver los problemas ambientales de los biocombustibles; es decir, por un lado se debe tener conciencia de que los agrocombustibles no van a sustituir a los combustibles fósiles y no habrá “pozos” de biocombustibles y por otro no se pueden repetir los errores de falta de vigilancia del impacto ambiental que ya se cometieron con el uso de los combustibles fósiles. En adición, la carencia de combustibles fósiles no solo incide negativamente en las posibilidades energéticas de cada país, sino también en la disponibilidad de fuentes de materias primas para la obtención de numerosos productos químicos, de los cuales hoy la sociedad dispone y necesita, de manera que en la solución del problema del uso de la tierra hay que verla como fuente de alimentos, agrocombustibles y productos químicos de alto valor agregado en una sinergia extremadamente atractiva y retardadora, pues la biomasa es fuente de productos químicos y energía, y una premisa importante es no destruir lo que la naturaleza ya ha fabricado, podemos recuperarlo y usarlo y esta tarea debe estar como restricción.

Las necesidades de biocombustibles y alimentos para el desarrollo sustentable de la humanidad, es una dicotomía que no puede ser relegada y mucho menos desatendida, aquí cabe aquello de que “los obstáculos son a las almas fuertes antes acicate que freno”.

El desarrollo de la Ciencias y la Técnica debe permitirnos enfrentar con éxito este reto a la humanidad. Ante cualquier obstáculo, lo primero que debemos definir con exactitud es el objetivo a alcanzar y las restricciones para lograrlo, por ello debe estar bien definido que deben buscarse soluciones a los problemas de alimentación y energéticos de la sociedad en su conjunto, sin agredir el medio ambiente, por lo que el problema a resolver es de múltiples propósitos, siendo una realidad que no podemos desconocer, como han demostrado las ciencias contemporáneas, es que no se puede alcanzar el máximo en todas las respuestas de un sistema de múltiples funciones, por lo que una solución de compromiso tendrá que ser la meta a alcanzar.

Siendo uno de los problemas esenciales la incertidumbre en la disponibilidad de la biomasa para agrocombustibles y coproductos químicos de alto valor agregado, es de obligado pensamiento considerar que una forma de resolver la tricotomía alimento-biocombustibles-productos químicos es considerar que si destinamos preferentemente la tierra para producir alimentos, al tener más alimentos, tendremos más desechos agroindustriales, es decir, más alimentos más desechos que se traducen en biomasa lignocelulósica; siendo entonces la utilización de los desechos agroindustriales una oportunidad de resolver la tricotomía. Por ejemplo, la caña de azúcar, es fuente de alimento, energía y productos químicos. Se obtiene azúcar, mieles para la producción de

alcohol y levadura proteica para alimentación animal que se traduce en alimentación humana, se obtienen las vinazas con un enorme potencial en la producción de biogás; se obtiene además el bagazo que se usa fundamentalmente en la generación de vapor, pero siempre queda entre un 10 y un 40% sobrante sin aplicaciones prácticas apreciables que pueden ser usado para la obtención de bioetanol y según la tecnología empleada se obtendrán diferentes coproductos de valor industrial.

Del fraccionamiento de los materiales lignocelulósicos, en este caso bagazo, que se realizan en el pretratamiento para la obtención de etanol se logran en las diferentes etapas, productos químicos logrados en la naturaleza que son materias primas para la producción de xilitol (de amplia aplicación en la industria química), furfural (para resinas furánicas y medicamentos G-0), ácido láctico (amplia aplicación) , polímeros de interés industrial, poliuretanos, espumas, resinas de sustitución.

Representa así la caña de azúcar un buen ejemplo de solución de esta tricotomía e indica que la mayor producción de alimentos puede también permitir un incremento en la producción de biocombustibles líquidos y coproducidos de alto valor agregado. Indudablemente no podemos permitir que la producción de combustibles alternativos incida negativamente en la producción de alimentos, por ello una alternativa loable, es el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos de las producciones agroindustriales para fabricar biocombustibles que de hecho sean utilizados también en las producciones alimenticias. Debido a esta problemática, el etanol ha ocupado un lugar importante dentro de los combustibles obtenidos a partir de fuentes renovables, lo que está reforzado por las posibilidades de los residuos lignocelulósicos en la obtención de bioetanol.

2.3. La problemática económica y tecnológica en el desarrollo de nuevas tecnologías.

No se puede aseverar a priori que el empleo de un determinado biocombustible en sustitución de un combustible tradicional proveerá una solución al problema del abastecimiento energético y de la contaminación ambiental, sino que será necesario efectuar un estudio detallado de cuáles son las condiciones locales de producción y disponibilidad de la biomasa, de fabricación del combustible, y de su utilización.

Por otro lado la diversidad de la biomasa permite abordar varias alternativas de biocombustibles y varias fuentes para su producción que tendrán que resolver, para hacer competitivas sus producciones, aspectos logísticos, tecnológicos, ambientales y financieros que incluyen los problemas de escala y transporte que deberán ser evaluados en cada contexto específico y que como se ha demostrado son susceptibles de ser optimizados utilizando métodos probados de Programación Lineal.

El interés por el uso de materiales lignocelulósicos como materia prima en procesos de transformación por microorganismos es importante desde hace ya varias décadas. Entre las razones fundamentales por tal interés se encuentran:

- La materia lignocelulósica es el subproducto agroindustrial de mayor abundancia.
- Constituye la parte estructural en el reino vegetal, y por ello es una fuente de materia prima renovable.

- Sus tres mayores constituyentes (celulosa, hemicelulosa y lignina) encuentran aplicaciones prácticas apreciables. Así, por ejemplo, la celulosa se utiliza para la obtención de etanol y biomasa, la hemicelulosa como fuente de etanol y/o biomasa y la lignina como combustible, y como fuente de adhesivos o plásticos.

2.4. Las potencialidades de la asimilación y transferencia de tecnologías para bioetanol y sus requisitos.

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.

Aunque existe incertidumbre en el impacto real de toda tecnología que va a ser transferida, no se ha logrado una metodología científicamente fundamentada que permita seleccionar de forma imparcial y con una visión multilateral la mejor tecnología que minimice la incertidumbre existente ante su comportamiento y futuro, por lo que se requiere también en este sentido un trabajo colaborativo de los sectores de generación de conocimientos que sin duda en una sinergia adecuada contribuirán también al mismo desarrollo de las instituciones y sus capacidades de aprendizaje y transmisión de nuevos conocimientos. Es por ello que 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 internacionalmente.

Las Nuevas Tecnologías para la obtención de bioetanol 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.

Una de las formas más comunes de materializar un proceso de transferencia de tecnología es la ejecución de una inversión, por ello “en general debemos considerar que cuando se enfrenta un problema con múltiples objetivos”- como es el caso de una inversión- “será necesario sopesar las ventajas y desventajas de cada alternativa con relación a cada uno de los objetivos y realizar un balance de ellos” (Rapoport, A.;1998)

La complejidad y el carácter multiobjetivo de la evaluación de una inversión, que se realiza en el contexto de una transferencia de tecnología, viene dado por los crecientes requisitos que el desarrollo viene imponiendo a las inversiones, esencialmente incrementados estos factores por los requerimientos de impacto ambiental (Warren D. Seider, J.D. Seader, Daniel R. Lewin; 1999). Así, en las últimas dos décadas el tema del medio ambiente ha pasado de la periferia al centro mismo del debate teórico y el proceso de toma de decisiones en muchas partes del mundo.

La suposición tácita de que para el diseño de un proceso se dispone de toda la información necesaria, no suele ser cierta, por lo que existe (Rudd –Watsson, 1980).

- Incertidumbre de los datos de diseño de los equipos.
- La consideración de las fallas operacionales de los equipos.
- Las variaciones en el entorno en el diseño y operación.
- El mejor ajuste del diseño de un proceso a los cambios futuros.
- La incertidumbre financiera.

El primer aspecto que debemos considerar para minimizar la incertidumbre en un proceso de transferencia de tecnología es que, así como el desarrollo de un producto o un proceso, tiene su ruta con sus etapas, la transferencia de tecnología tiene las propias. Un elemento de extrema importancia para los procesos de asimilación de tecnología son los estudios previos inversionistas, en los que se determina las posibilidades reales de éxito de una inversión, tanto en lo tecnológico, como en lo económico y lo ambiental. La ejecución de estas tareas se refleja en el Diagrama Heurístico de la figura 3.1.

La integración de un trabajo de esta naturaleza conlleva una cooperación de diferentes grupos de trabajo, y es la concepción de realizar esto entre diferentes grupos de países en la colaboración sur –sur una reto en el plano científico de la Gestión de Ciencia y Tecnología de los proceso de la industria química.

Existiendo estas premisas se ha desarrollado de conjunto el proceso de asimilación de las tecnologías de producción de biodiesel y de etanol incluyendo el aprovechamiento de los residuos sólidos de la producción de azúcar de caña.

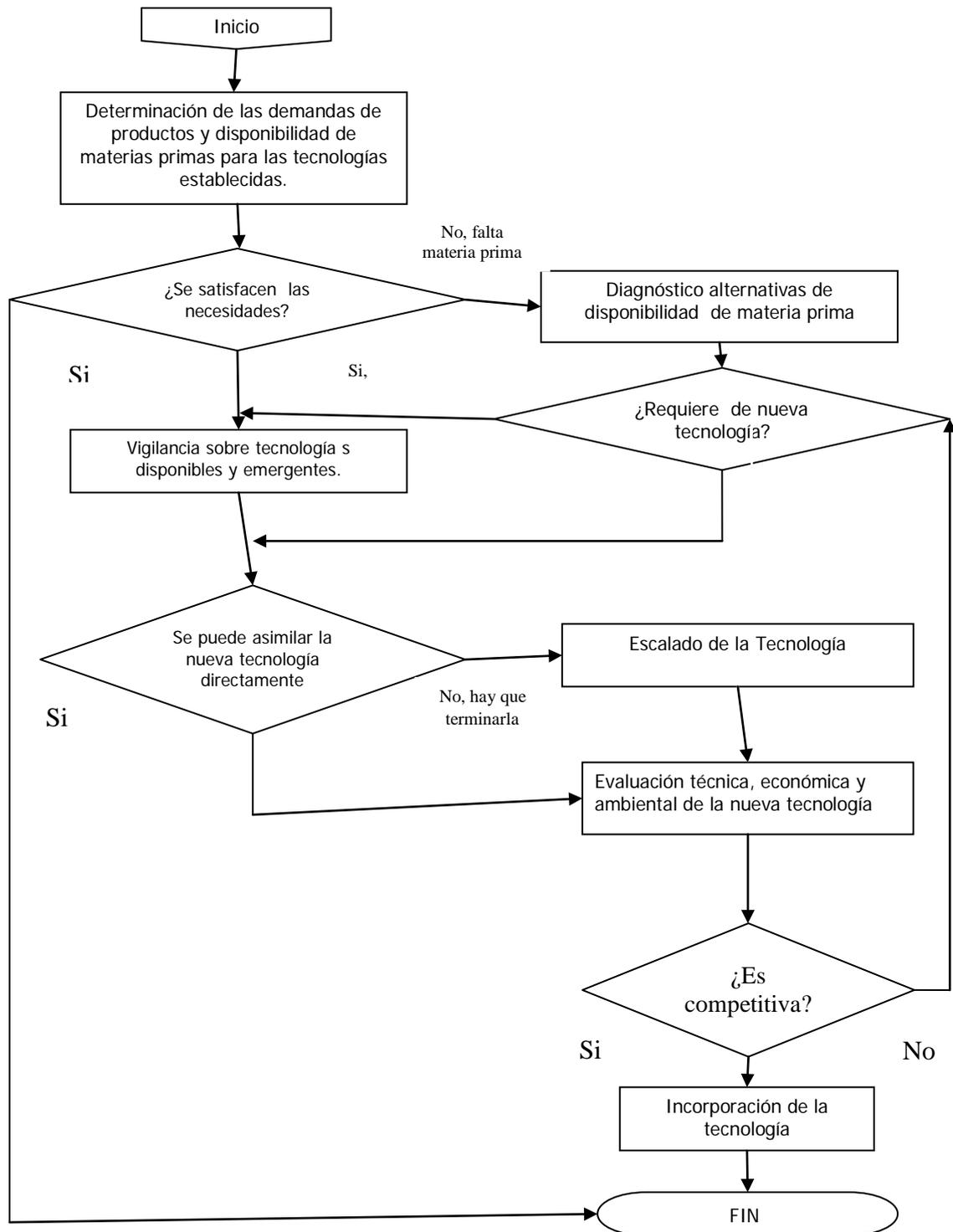


Figura 3.1. Diagrama Heurístico para el análisis de la asimilación de una tecnología. (García, R, 2011)

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

Se deben disponer de herramientas para que los países en desarrollo puedan accionar para disminuir los efectos negativos de la transferencia y asimilación de tecnología, en las que se destacan las metodologías científicas para la adquisición y adaptación de tecnologías, la selección y evaluación de tecnologías que se va a asimilar y el diseño local

de la tecnología más apropiada a la realidad de cada uno de los países. (González, E; 2008)

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.

Aquí se combinan el trabajo de investigación aplicada y el de ingeniería. En el primero, el objetivo es la búsqueda de nuevos conocimientos siguiendo métodos científicos de observación y experimentación. En el trabajo de ingeniería como tal no persigue investigar, buscar nuevos conocimientos, sino utilizar los ya establecidos e integrarlos en la búsqueda de soluciones técnicas y económicas a problemas planteados por la sociedad. Aunque en el proceso de nuevas tecnologías, investigadores e ingenieros interactúan estrechamente, sus misiones están muy bien definidas y diferenciadas. La creatividad está presente en ambos; unos en la búsqueda de nuevos conocimientos; otros en la integración novedosa de conocimientos establecidos.

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. Este proceso de interacción de diferentes disciplinas es la ingeniería, la cual 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, como se ha señalado: “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 y desarrollo y la ingeniarización de producciones de la industria química y biológica se ofrece en la Figura 1. (Sáez, T. W.; 1999).

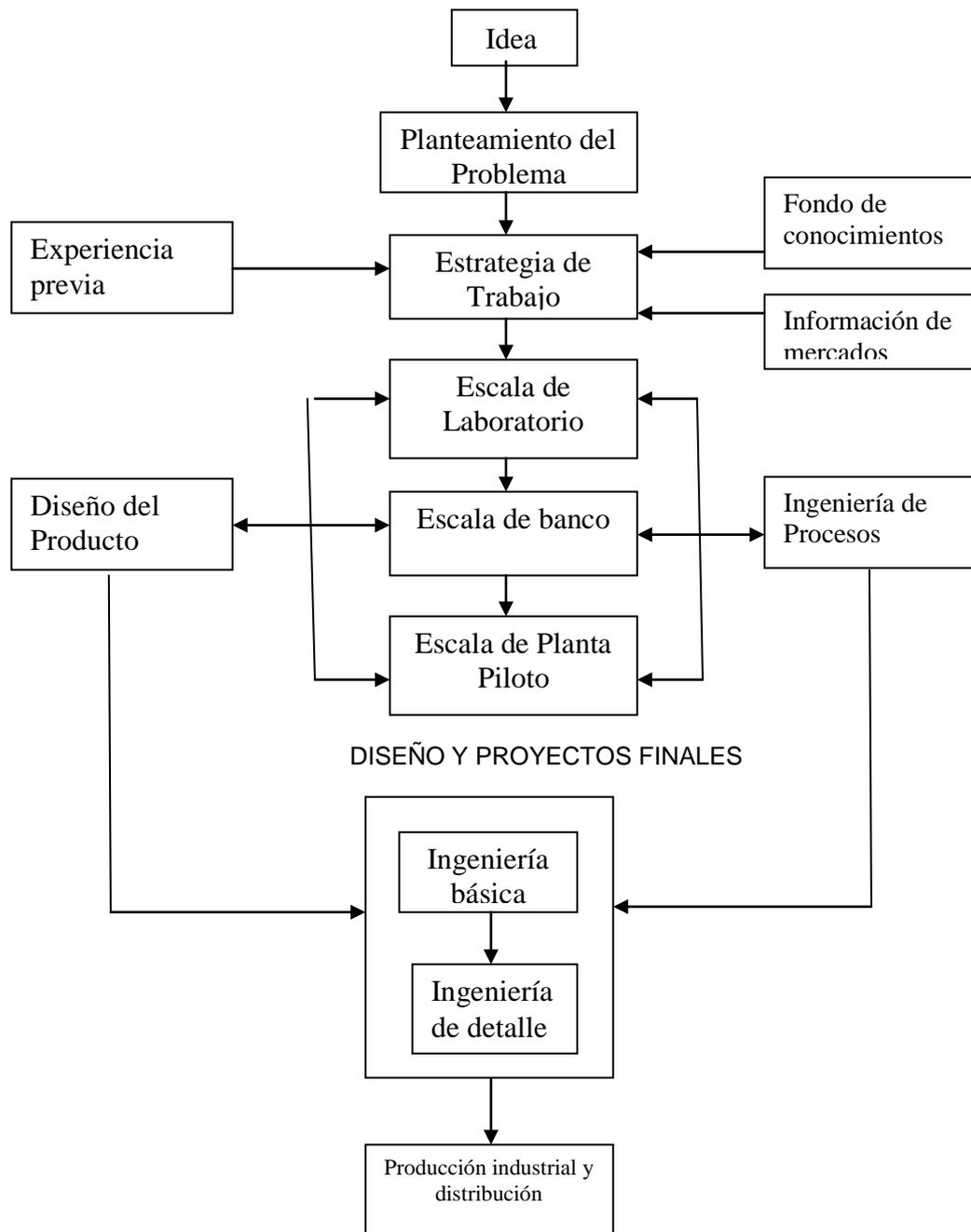


Figura 2. Esquema del papel de la I+D y la ingeniarización en el desarrollo de tecnologías típicas de productos de y tipo químico, biológico, etc.

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 caso que por acciones de Vigilancia Tecnológica y con una visión prospectiva se avizoran

oportunidades de tecnologías emergentes, en muchos casos sin un completo desarrollo, se requiere estar atentos a cuestiones de gran interés (Puchalski, C. et al; 2008).

En el caso del análisis económico se utilizan estimaciones del futuro para ayudar a tomar decisiones. Estas estimaciones pueden ser incorrectas y en consecuencia se presentan, en algún grado los errores en los análisis económicos.

Un aspecto a tener en consideración con mucha precisión es la evolución del costo de adquisición de los equipos, por ello en la Figura 2, se ofrece la evolución de los índices de costos para equipos de la industria química desde los años setenta hasta la actualidad.

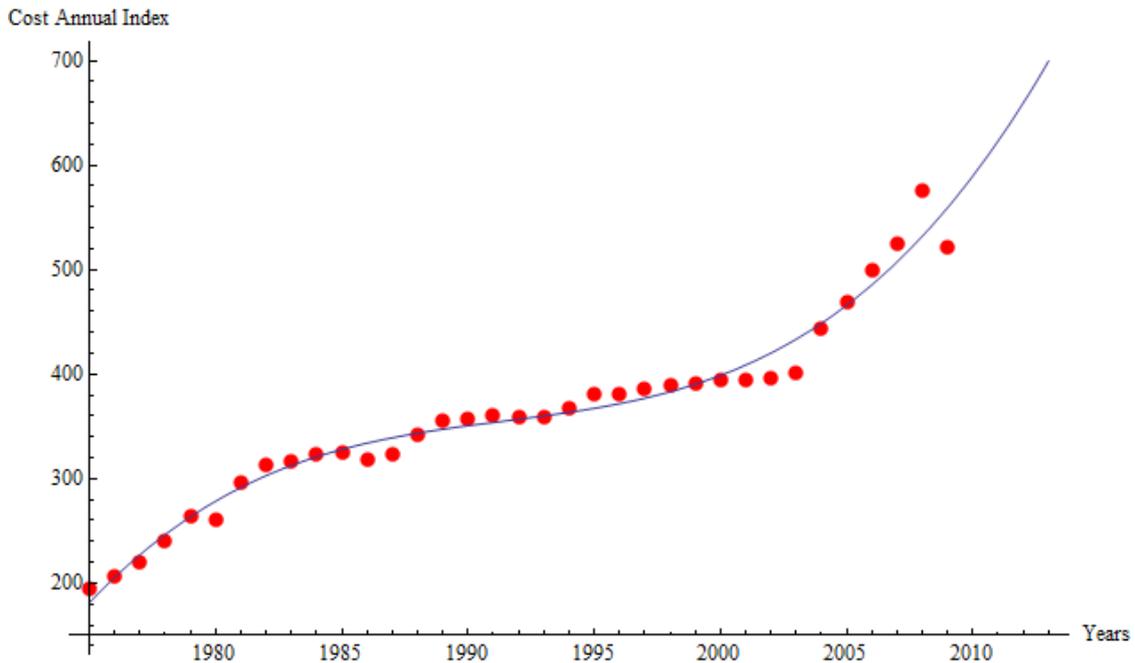


Figura 2. Gráfico de la evolución del Chemical Engineering Cost Annual Index.1975-2015

Existen formas de estimar estos errores. El efecto de la variación en el estimado utilizado, en los análisis económicos, pueden determinarse realizando los análisis de sensibilidad, estos constituyen estudios para ver de qué manera se alterará la decisión económica si varían ciertos factores. Entre los indicadores más recomendados para la realización de los mismos se encuentran el VAN, la TIR y el PRD, lo que para la industria de los derivados de la caña de azúcar ha sido reportado en la investigación científica (Lauchy; 2009).

Generalmente en los análisis de sensibilidad se utilizan estimaciones de los factores pertinentes: una estimación pesimista, una razonable y una optimista, lo cual permite estudiar la sensibilidad de la decisión para cada factor, involucrando una ponderación subjetiva de los factores sensibilizados.

2.6. Gestión del Conocimiento para la producción de bioetanol de residuos lignocelulósicos.

La vida útil de una instalación industrial se extiende hacia el futuro; por lo tanto su diseño debe tratar de asegurar las mejores condiciones futuras, de manera que mientras más incierto e impreciso es el pronóstico, más incierto e impreciso es el diseño óptimo.

Por lo anterior, es imprescindible al gerenciar el conocimiento en el diseño y escalado de los procesos de la industria química y fermentativa, considerar la incertidumbre para determinar la necesidad de la profundización científica a través de investigaciones.

Esto justifica en muchos casos que antes de diseñar la instalación para un proceso industrial se invierta en estudios encaminados a minimizar los puntos neurálgicos en la incertidumbre de los nuevos procesos industriales.

Como se comprende, las posibilidades de obtención de cualquier producto están determinadas principalmente por la existencia de materias primas disponibles y en segundo término de tecnologías capaces de realizar su transformación en el producto deseado, de ello se infiere que sin biomasa no hay biocombustibles, sin tecnologías no hay transformación a biocombustibles, de manera que los dos problemas científicos esenciales de la producción de biocombustibles son sin dudas: en primer lugar resolver la adecuada disponibilidad de biomasa, sin perder de vista que en muchas ocasiones la tierra destinada para estos cultivos compite con la destinada a otros, o que la propia biomasa puede ser destinada a objetivos alternativos uno de los cuales sin duda será en muchas ocasiones la alimentación humana y en segundo lugar, lograr tecnologías competitivas y acordes con las exigencias del desarrollo actual. Aspectos insoslayable aquí son, sin duda, que toda tecnología requiere energía y genera residuos, da lugar a costos (indicadores económicos), genera impacto ambiental, así como calidad del producto y es indudable que en la base de todos estos aspectos está la tecnología.

Como parte de lograr un mejor aprovechamiento de todas las corrientes de salida de las producciones agroindustriales (Por ejemplo la industria azucarera), se establecen tecnologías de producción con el propósito de elaborar biocombustibles líquidos, que son productos como alternativas energéticas, los cuales son logrados a partir de los estudios realizados de las patentes relacionadas con el tema y de las vías que actualmente se emplean para la obtención de biocombustibles de los residuos sólidos industriales. (González, E., 2005), (Xuejun Pan, 2005).

De acuerdo con los estudios de vigilancia Tecnológica realizados (Mesa, 2007) las Áreas de Investigación en la tecnología de bioetanol a partir de biomasa deben ser:

- Alternativas de pretratamiento de la biomasa
- Desarrollo de enzimas que provean mayor y más rápida conversión
- Destino final de los residuos sólidos después de la etapa de hidrólisis enzimática
- Evaluación de las potencialidades de los coproductos
- Estudios de sensibilidad para reducir y hacer competitivos los costos.
- Estudios de aprovechamiento integración material y energética de los recursos.

- Estudios de disponibilidad de las materias primas y con ello determinación de macrolocalización y tamaño de instalaciones.

2.7. Programa para la asimilación de tecnologías de producción de etanol.

Como ya se ha comentado, la asimilación de tecnologías para la producción de etanol está influenciada por aspectos económicos, ambientales y barreras tecnológicas a superar. Se requiere entonces de un acertado programa de trabajo que contemple determinadas tareas las cuales se resumen de forma esquemática:

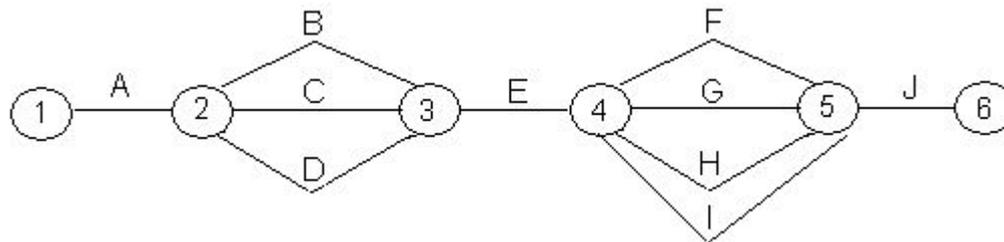


Figura 3. Ruta crítica para el desarrollo de una tecnología de producción de etanol de residuos lignocelulósicos.

Las actividades contempladas en el programa de trabajo son las siguientes:

- A Considerar la incertidumbre en las tecnologías de producción de etanol.
- B Establecer las condiciones óptimas de fermentación de sustratos azucarados para obtener etanol de acuerdo con las tecnologías recogidas en el caudal científico técnico.
- C Determinar las condiciones óptimas tecnológicas para obtener etanol de residuos lignocelulósicos de acuerdo con la información disponible..
- D Establecer las condiciones óptimas de fermentación de sustratos amiláceos para obtener etanol de acuerdo con las tecnologías presentes en el estado del arte.
- E Seleccionar la alternativa óptima de fermentación para la producción de etanol.
- F Analizar los modelos de separaciones mecánicas para la variante seleccionada.
- G Analizar los modelos de mezclado y reactores para la variante seleccionada.
- H Analizar los modelos físicos químicos de las corrientes para la variante seleccionada.
- I Analizar los modelos de equipos de transferencia de calor para la variante seleccionada.
- J Minimizar la incertidumbre en la variante seleccionada.

III. Conclusiones.

1. Es necesario un aprovechamiento creciente de los residuos de las producciones agrícolas y agroindustriales para incrementar los biocombustibles sin afectar el uso de la tierra.
2. Se requiere de un acertado programa de trabajo que contemple la secuencia efectiva de las tareas requeridas para la optimización de los diferentes pasos y vías de investigación con el fin de obtener una tecnología.
3. Es imprescindible la obtención de una tecnología competitiva y ambientalmente compatible para la producción de etanol a partir del bagazo de la caña de azúcar.
4. Se requiere mantener y perfeccionar los procedimientos de Vigilancia tecnológica para la asimilación de los adelantos de la Ciencia en la obtención de bioetanol.
5. Es necesario la ejecución de proyectos de I + D encaminados a solucionar las limitantes identificadas de las tecnologías para implementarlas a nivel industrial.
6. Se requiere incluir en los estudios para el desarrollo estratégico de la industria de la caña de azúcar la producción de bioetanol en el concepto de biorefinería.

IV. Referencias bibliográficas.

Cunningham, R. **Energía –Biomasa- Iberoamérica**. Colección Energía. Subprograma IV CYTED. Buenos Aires, 2000.

García, R: Tesis en opción al Grado Científico de doctor en ciencias Técnicas en Ingeniería Química, UCLV, 2011.

Garrison, G.W.; H.D. Spriggs; M. M. El-Halwagi: “**A Global Approach to Integrating Environmental, Energy, Economics, and Technological Objectives**”, The 5th World Congress of Chemical Engineering, California, USA, July 1996.

González, E. (Editor): **Estrategia de procesos en las nuevas tecnologías para la obtención de biocombustibles**. Editorial CYTED. La Habana, 2008. ISBN 978-959-7136-60-6. pagina150.

González, E.; M. González, Luis M. Peralta, Miguel; A. Laborde. **Investigative strategy for the material and energetic integration of the fuel cells and the hydrogen production to the bioetanol production from sugar cane**. En Proceedings de HIPOTHESIS VI. Ciudad de la Habana. 8 al 12 de mayo, 2005. ISBN:959-7136-32-5.

Hurme, M.: “**Conceptual Design of Clean Processes: Tools and Methods**”, The 5th World Congress of Chemical Engineering, California, USA, July 1996.

Lauchy Sañudo; A. "**Diseño y aplicación de un procedimiento estratégico para la diversificación de la industria de los derivados de la caña de azúcar en Cuba**". Tesis en opción al Grado Científico de doctor en Ciencias Economicas.UCLV.2009.

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.

Marx, C. **El Capital.** Tomo III. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, 1972, página 111.

Mesa, L. González, E., González, M. “**Estrategia de vigilancia tecnológica para la obtención de etanol de residuos lignocelulósicos.** IV Congreso sobre Comunicación Social de la Ciencias. Madrid del 21 al 23 noviembre del 2007.

Oliva Conyedo, Y.; L. Mesa, Erenio González, C. R. Gómez, V. González Morales; E. Castro Galiano, C. Cara. **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.** IV. Simposio Internacional de Química. Santa Clara, Cuba. 1 al 4 de junio del 2010. IQP-17.

Puchalski, C. E. González, M. Morales, M. González y L. Mesa. **Evaluación multilateral de tecnologías en los estudios inversionistas para la renovación de instalaciones industriales de procesos químicos y fermentativos (2008) / 15.** *Centro Azúcar* 4 Octubre –Diciembre/ 2008.

Rapoport, A: “**Decision Theory and Decision Behaviour**” MacMillan Press LTD. 1998. 469 páginas.

Rudd, D.F.; C.C. Watson. “**Strategy of Process Engineering**”. McGraw Hill, New York, 1968.

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

Tuñón, E. **Ciencia, tecnología y sociedad,** Unidad 15 Tecnociencia y sociedad. Modelos de desarrollo y evaluación de las tecnologías. España, 1996.

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.

Warren D. Seider, J. D. Seader, Daniel R. Lewin: **Process Design Principles. Synthesis Analysis, and Evaluation.** John Wiley & son, Inc. 824. 1999.