

## Titulo

# Gestión colaborativa para el desarrollo prospectivo de tecnologías de obtención de etanol y coproductos de residuos lignocelulósicos

Diana Niurka Concepción Toledo<sup>1</sup>; Marcelo Portal Jiménez<sup>1</sup>

Departamento de Marxismo. UCLV

Leyanis Mesa Garriga<sup>2</sup>, Erenio González Suárez<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Centro de Análisis de los Procesos. UCLV

Recibido:

:  
Aceptado:

### Resumen.

El trabajo parte de la necesidad de la producción de bioetanol como una forma de contribuir a resolver los problemas de la matriz energética de Cuba y se establece una visión prospectiva de las necesidades investigativas para la producción de bioetanol considerando la disponibilidad del bagazo de caña de azúcar como materia prima, así como los requerimientos económicos, energéticos y ambientales de sus producciones. Se establecen 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 proponiendo una secuencia de acciones de trabajo que permitan acortar la obtención e introducción de resultados en la práctica productiva.

**Palabras clave:** Bioetanol, ciencia, incertidumbre, residuos lignocelulósicos, innovación.

**Collaborative Management for the prospective development of technologies obtaining of ethanol and co-products of residuals lignocelulósicos..**

### Abstract.

In this work, it is analyzed the necessity of the bioethanol production like a form of contributing to solve the problems of the energy matrix of Cuba, and a prospective vision of the investigative necessities settles down for the bioethanol production, considering the readiness of the bagasse of cane of sugar like matter prevails, as well as the economic, energy and environmental requirements of its productions. The concerning aspects settle down to the uncertainty in the development of processes of the Chemical Industry and with it the main addresses of the work of Science and Technological Innovation in engineering with a view to the productions of bioethanol of bagasse of cane of sugar proposing a sequence of work actions that allow to shorten the obtaining and introduction of results in the productive practice.

**Key words:** Bioethanol, science, innovation, uncertainty, residuals lignocelulosic.

## 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 sociales de diferentes países, en detrimento de las necesidades básicas de los sectores más amplios de la sociedad.

A partir de los años noventa 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.” (PNUD 1990: 34).

Paralelamente a la discusión, acepción y consenso acerca de la dimensión social de desarrollo y como consecuencia de los enfoques que en los setenta 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 el ambiental. En junio de 1992 se desarrolla la conferencia de la ONU sobre medio ambiente y desarrollo en Rio

## DESARROLLO

### **La asimilación y transferencia de nuevas tecnologías para la obtención de biocombustibles**

El Informe de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1987<sup>8</sup> 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 preceptos siguientes:

- plena conciencia de que los recursos son finitos y de que el mundo es 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 mayor parte 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 que a nivel mundial centra la mayor atención es precisamente 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 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. 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 las materias 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 las 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 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 debe 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 van a 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.

Bases estratégicas de la política de investigación para la obtención de biocombustibles líquidos

La producción y uso de todos los biocombustibles 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

1,2,3,4

Una premisa importante es ver el aporte de los biocombustibles líquidos, 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 retadora, 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 ciencia 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, 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 además las vinazas con un enorme potencial en la producción de biogás, así como 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 puede 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 realiza en el pretratamiento para la obtención de etanol se obtiene 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.

### **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.

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.

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 óptimo 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 previas.

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 será en muchas ocasiones la alimentación humana y, en segundo lugar, lograr tecnologías competitivas y acordes con las exigencias del desarrollo actual. Aspectos insoslayables 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.<sup>3,9</sup>

De acuerdo con los estudios de vigilancia tecnológica realizados<sup>6</sup> 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 integración material y energética para el aprovechamiento de los recursos.
- Estudios de disponibilidad de las materias primas y con ello determinación de macrolocalización y tamaño de instalaciones.

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:

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 en el caudal científico- técnico.

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.

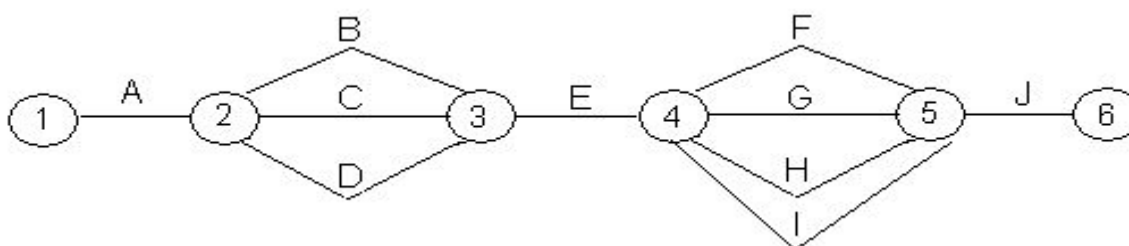
F Analizar los modelos de separaciones mecánicas para la variante seleccionada.

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.



## 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. Se hace 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. Se hace necesario la ejecución de proyectos específicos de I+D encaminados a solucionar las limitantes identificadas de las tecnologías ya implementadas a nivel industrial.

## Bibliografía

1. Cunningham, R.: Energía-Biomasa-Iberoamérica. Colección Energía. Subprograma IV CYTED, Buenos Aires, 2000.
2. Garrison, G. W.; H. D. Spriggs and M. M. El-Halwagi: "A Global Approach to Integrating Environmental, Energy, Economics, and Technological Objectives", The 5<sup>th</sup> World Congress of Chemical Engineering, California, USA, July 1996.
3. González Suárez, E.; M. González Cortes; L. M. Peralta Suárez y M. 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, in Proceedings de HIPOTHESIS VI. Hydrogen Power Theoretical and Engineering Solutions Internacional Symposium, Ciudad de La Habana, 8 al 12 de mayo, 2005. ISBN:959-7136-32-5.
4. Hurme, M.: "Conceptual Design of Clean Processes: Tools and Methods", The 5<sup>th</sup> World Congress of Chemical Engineering, California, USA, July 1996.
5. Marx, C.: *El Capital*, tomo III, p.111, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1972.
6. Mesa, L.; E. González y M. González: "Estrategia de vigilancia tecnológica para la obtención de etanol de residuos lignocelulósicos." IV Congreso sobre Comunicación Social de las Ciencias. Madrid, del 21 al 23 de noviembre de 2007.
7. Rudd, D. F. and C. C. Watson: *Strategy of Process Engineering*, pp. 269-273, La Habana, 1980.
8. Tuñón, E.: Ciencia, tecnología y sociedad, Unidad 15 Tecnociencia y sociedad. Modelos de desarrollo y evaluación de las tecnologías. España, 1996.
9. Xuejun Pan *et al.*: "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.