

# DEFINICIÓN DE MACROPROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN LA CADENA PRODUCTIVA DE BIOETANOL E HIDRÓGENO, MEDIANTE LA VIGILANCIA TECNOLÓGICA

**Omar Freddy Prias\***, Meylin González Cortés, Centro de Análisis de Procesos, UCLV; Tamara León Aliz, Centro de Información y Gestión Tecnológica, Villa Clara; Erenio González Suárez, Centro de Análisis de Procesos, UCLV, y Viatcheslav Kafarov, Centro de Investigaciones en Simulación y Control, Universidad Industrial de Santander

Recibido: 7/febrero/2005

Aprobado: 11/noviembre/2005

Se exponen, de manera resumida, las posibilidades que existen para integrar de una forma eficiente y competitiva la producción de hidrógeno por reformado con vapor a las producciones de bioetanol y azúcar de caña, así como el destino de este hidrógeno a celdas combustibles, todo ello concebido a través de una metodología de integración material y energética de procesos con la cual se logra una tecnología más limpia en los procesos involucrados. Se incluyen y ordenan a través de una ruta crítica los proyectos de investigación necesarios para lograr la asimilación creativa de tecnologías para alcanzar el objetivo propuesto. Finalmente, se ofrecen conclusiones y recomendaciones para el trabajo futuro.

Palabras clave: Reformado con vapor, producción de hidrógeno, vigilancia tecnológica.

## ***Definition of Investigation Macroprojects in the productive chain of Bioethanol and Hydrogen through of the Technological Surveillance***

They are exposed in a summarized way the possibilities that exist to integrate in an efficient and competitive way the production of hydrogen for reforming with steam to the bioethanol productions and cane sugar, as well as the destination of this hydrogen to combustible cells, everything conceived it through a methodology of material integration and energetics of processes with which a cleaner technology is achieved in the involved processes. They are included and they order through a critical route the necessary investigation projects to achieve the creative assimilation of technologies to reach the proposed objective. Finally they offer conclusions and recommendations for the future work.

Key words: Steam reforming, hydrogen production, technology surveillance.

## **INTRODUCCIÓN**

El auge que en los últimos años ha cobrado el desarrollo de tecnologías de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables y procesos aceptables para el medio ambiente ha reforzado el desarrollo de las celdas combustibles que emplean hidrógeno como materia prima.

Por otro lado, varios autores se han referido al hecho de que si bien las celdas combustibles constituyen una fuente alternativa para la generación de energía a través de una tecnología poco contaminante, avalada fundamentalmente por la casi inexistente emisión de CO<sub>2</sub>, el proceso tiene barreras tecnológicas dadas por los requerimientos de materiales y condiciones de operación necesarios para la obtención de los productos involucrados en la cadena productiva hidrógeno-celda combustible, lo que redundará en un alto costo y, por ello, ha limitado su extensión.<sup>2, 4, 9</sup>

No obstante a lo anterior, entre las motivaciones principales para la generación de energía eléctrica se encuentra el hecho de que las evidencias sobre el agotamiento de las fuentes principales de energía (carbón, petróleo, y gas natural) son cada vez mayores. En efecto, los planificadores más optimistas creen que el petróleo se agotará en unos 40 a 50 años y unido a tal agotamiento, un hecho que agrava más la situación, es el aumento de los precios.

Es por ello que a nivel mundial se observa una tendencia a la asimilación de estas tecnologías y a la búsqueda de soluciones alternativas que hagan la generación de energía a través de celdas combustibles un proceso factible, no sólo desde el punto de vista ambiental sino también técnico y económico. Especialmente en los países desarrollados, se están haciendo grandes esfuerzos por introducir estas nuevas fuentes, por bajar sus precios y hacerlas competitivas.

En nuestro caso, un estudio detallado de las tecnologías desarrolladas para la producción de hidrógeno,<sup>1, 5</sup> permitió concluir que la tecnología con mayores posibilidades de implementarse es la de reformación con vapor empleando como hidrocarburo bioetanol.

Un aspecto importante analizado en el trabajo está en que el hecho de considerar la reformación de etanol con vapor, como variante más apropiada para la producción de hidrógeno ofrece además, la posibilidad de integrar en la cadena productiva hidrógeno/celda combustible los procesos de producción de etanol y de fabricación de azúcar, y este último dado por el hecho de que sus residuales materiales constituyen la materia prima para la producción de etanol. Este análisis permite tener en cuenta oportunidades para el intercambio no sólo de recursos materiales entre los procesos, sino que también permite valorar las posibilidades de una mejor distribución de los recursos energéticos en los procesos.

Es por lo anterior que el objetivo del trabajo se encaminó a desarrollar una estrategia que permitiera analizar las posibilidades de integración material y energética de los procesos de la cadena productiva azúcar-etanol-hidrógeno-celda combustible, logrando a través de tecnologías más limpias, un complejo eficiente tecnológicamente y competitivo.

## **DESARROLLO**

Teniendo en cuenta el objetivo planteado en el trabajo se desarrolló la estrategia de análisis de las posibilidades de integración de los procesos de la cadena productiva azúcar-etanol-hidrógeno-celda combustible, la cual debe constar de los pasos siguientes:

1. Identificación de la problemática a resolver.
2. Vigilancia tecnológica sobre los procesos involucrados.
3. Identificación de los requerimientos comunes, materiales y energéticos de los procesos involucrados y de los residuales materiales o corrientes con calidad térmica que no son aprovechados.
4. Identificación de las herramientas de integración de procesos con posibilidades de aplicación para la búsqueda de la solución óptima de integración.
5. Aplicación de la integración de procesos a los procesos por separado para garantizar que los mismos trabajen de forma eficiente indepen-

- dientemente.
6. Aplicación de la integración al complejo productivo propuesto.
  7. Análisis de los resultados.

En la estrategia, además, debe considerarse la factibilidad técnica y económica de aplicación de las soluciones obtenidas en cada etapa, unido a un análisis de ruta crítica de modo que como resultado del estudio se obtengan además de las alternativas factibles, las barreras tecnológicas, económicas y ambientales de las variantes de integración desarrolladas.

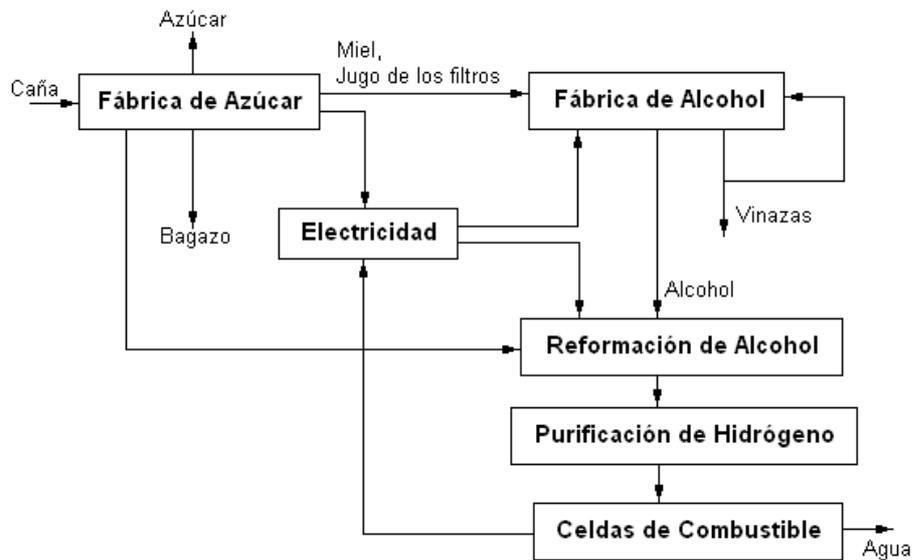
### **Integración material y energética en los procesos involucrados**

En este trabajo se valoran las posibilidades de integración de tres procesos, los que, como se ha explicado, intercambiarían recursos materiales y energéticos. Las premisas y motivaciones

que justifican el esquema que se propone son las siguientes:

1. Racionalizar el uso de los portadores energéticos.
2. Disminuir el efecto negativo sobre el medio ambiente de los residuales que se generan en los procesos.
3. Aprovechamiento de los recursos de los procesos, convirtiendo los residuales en materiales de valor.
4. Minimizar los costos de producción garantizando la factibilidad técnica de las tecnologías propuestas.
5. Eliminar las barreras tecnológicas de la producción de hidrogeno y las celdas combustibles que hagan estos procesos competitivos en el mercado internacional.

En la siguiente figura se muestran las posibilidades de intercambio material y energético entre los procesos señalados anteriormente.



**Figura 1. Esquema de integración material y energética propuesto.**

### **Ruta crítica de los proyectos necesarios para lograr la asimilación de la tecnología propuesta**

En los procesos involucrados se requiere determinar los puntos que tienen incertidumbre, para los cuales se definen actividades dentro de la ruta crítica. Además, teniendo en cuenta los

análisis anteriores se planteó la necesaria consideración de las alternativas de integración y para ello también se requiere minimizar la incertidumbre.

De acuerdo con los requerimientos de procedencia de cada una de las tareas previstas se ordena la red del proyecto detallando las

actividades a realizar en cada proceso. La jerarquía establecida fue la siguiente:

### **Producción de azúcar, A**

A<sub>1</sub>, Actividad 1. Búsqueda de alternativas para la utilización integral del bagazo de caña como fuente de bioetanol y coproductos.

A<sub>2</sub>, Actividad 2. Determinación del impacto de la incertidumbre, de los balances de materiales y energía de las instalaciones de derivados en el proceso de integración material y energética de plantas de derivados considerando el uso integral de la caña.

A<sub>3</sub>, Actividad 3. Evaluación del impacto de la incertidumbre en los costos de las materias primas, así como la incertidumbre financiera en los indicadores económicos del proceso de fabricación de azúcar.

### **Producción de bioetanol, B**

B<sub>1</sub>, Actividad 1. Considerar la incertidumbre en las tecnologías de producción de bioetanol. No tiene precedencia.

B<sub>2</sub>, Actividad 2. Establecer las condiciones óptimas de fermentación de sustratos azucarados para obtener bioetanol de acuerdo con las tecnologías disponibles en el caudal científico-técnico. Le precede la actividad 1.

B<sub>3</sub>, Actividad 3. Determinar las condiciones óptimas tecnológicas para obtener bioetanol de residuos lignocelulósicos de acuerdo con la información disponible en el caudal científico técnico. Le precede la actividad 2.

B<sub>4</sub>, Actividad 4. Considerar la incertidumbre en el análisis de alternativas tecnológicas y de cogeneración para la obtención de etanol con vistas a la producción de hidrógeno a partir de diferentes materias primas. Le preceden las actividades 2 y 3.

B<sub>5</sub>, Actividad 5. Desarrollar sistemas de apoyo computacional en los procesos de reconversión

de instalaciones de la industria química para la producción de bioetanol.

### **Producción de hidrógeno, H**

H<sub>1</sub>, Actividad 1. Búsqueda de información y de resultados en los procesos de reformación con vapor de etanol para celdas tipo Óxido Sólido. No tiene precedencia.

H<sub>2</sub>, Actividad 2. Considerar la incertidumbre tecnológica en la obtención de hidrógeno para su uso en la producción de pilas combustibles.

H<sub>3</sub>, Actividad 3. Determinación de las propiedades termodinámicas y cinéticas en los procesos de reformación del bioetanol. Le precede la 2.

H<sub>4</sub>, Actividad 4. Considerar la incertidumbre en el análisis tecnológico de alternativas a la reformación con vapor de etanol para la producción del hidrógeno celdas combustibles. Le precede la 2 y 3.

H<sub>5</sub>, Actividad 5. Desarrollar tecnologías sustentables para el desarrollo de catalizadores con materias primas cubanas para la reformación con vapor de etanol. Le precede la 4.

### **Celdas Combustibles, C**

C<sub>1</sub>, Actividad 1. Búsqueda de información de la oxidación electroquímica de compuestos orgánicos sobre electrodos catalíticos para el desarrollo tecnológico de pilas de combustibles.

C<sub>2</sub>, Actividad 2. Desarrollar tecnologías sustentables para el desarrollo de celdas combustibles.

### **Integración de Procesos, IP**

IP<sub>1</sub>, Actividad 1. Determinar las oportunidades de intercambio de recursos materiales y energéticos en los propios procesos y entre estos. Le preceden las actividades finales de cada grupo.

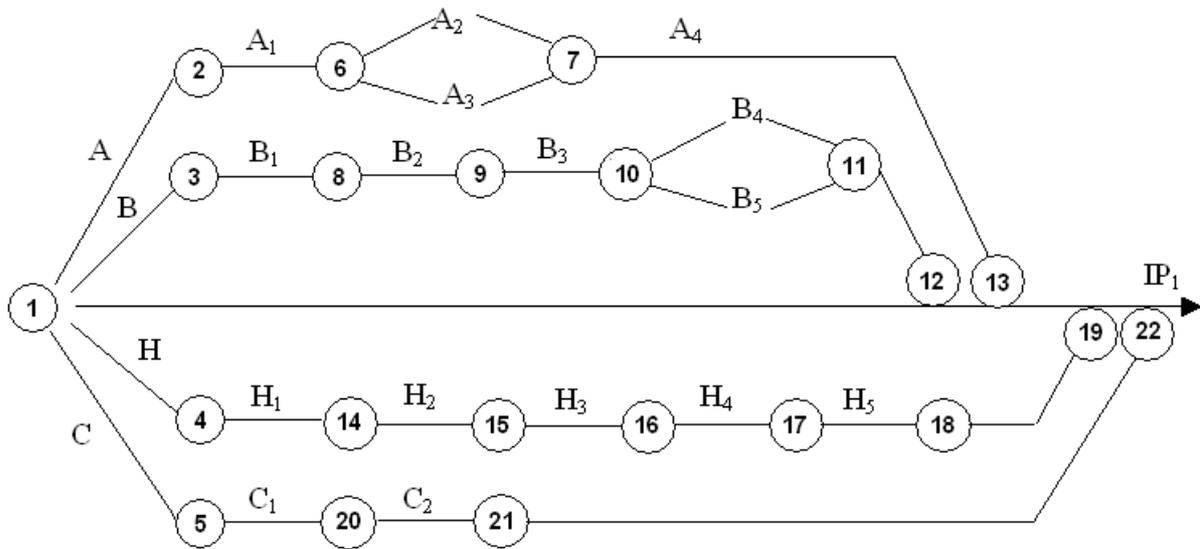


Figura 2. Ruta crítica de los proyectos necesarios para la asimilación de la tecnología propuesta

## CONCLUSIONES

1. Se requiere optimizar el trabajo científico investigativo para minimizar los riesgos y los plazos para introducir la producción de bioetanol e hidrógeno en condiciones industriales.
2. Están presentes en los conocimientos tecnológicos actuales las premisas para el desarrollo y asimilación de las tecnologías de utilización de hidrógeno como combustible.
3. La utilización de la biomasa cañera como fuente de bioetanol e hidrógeno para celdas combustibles es un problema cardinal de la ciencia, por cuanto cumple la premisa de ser una demanda de la práctica productiva y existe el conocimiento científico especializado para asimilar y desarrollar las tecnologías requeridas en condiciones competitivas energéticamente sustentables y ambientalmente compatibles.
4. La integración material y energética de las producciones de azúcar-etanol e hidrógeno para celdas combustibles son una alternativa de gran perspectiva para el desarrollo energético de los países del tercer mundo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Arteaga, P. L.: Estudio Cinético y Termodinámico de la Reformación Húmeda de Bioetanol, Diseño y Aplicaciones de la Operación, Trabajo de Diploma, UCLV, 2004.
2. Campos S. T.: Celdas Combustibles. Teodoro Gerente Programa, Energía, Infraestructura y Servicios Básicos, ITDG-Perú, 2002.
3. Fateev V.; R. Blach; A. Vishnjakov; V. Chaschin and N. Jakovleva: Facilities and Restrictions in the Technology of on Board Hydrogen Production and Purification for Zero Emission, Paper Number 01ATT035.
4. González García, C.: Hacia la economía del hidrógeno. Director del departamento de Aerodinámica y Propulsión-INTA. Presidente de la Asociación Española del Hidrógeno. Foro IBERDROLA, Desarrollo Sostenible y Energía, Madrid, 2004.
5. Hübner, P.: Research on the reforming of ethanol. LAMNET Workshop, Brasilia, Dec. 3-5, 2002, Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme.

6. Laborde, M.: Producción de hidrógeno a partir de hidrocarburos y alcoholes. Laboratorio de Procesos Catalíticos, Buenos Aires, Argentina, marzo, 2004.
7. Manual "Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies". (Revisión 0. Diciembre de 2001), Energy Technology Training Center, College of the Desert, 2002.
8. Mariño F.; M. Boveri; G. Baronetti and M. Laborde: Hydrogen Production via catalytic gasification of ethanol. A mechanism proposal over copper-nickel catalyst. Informe Técnico, Proyecto CYTED IV.21, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Buenos Aires, 5 de marzo, 2004.
9. Tampone O. and A. Iacobazzi: TIP/IEA Energy innovation case study on fuel cell technology, 2003
10. Zhang B.; X. Tang; Y. Li and W. Shen: Production of Hydrogen by Steam Reforming of Bio-ethanol over Ceria-supported Metal Catalysts. State Key Laboratory of Catalysis, Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023, China.