

# **Impacto de la vigilancia tecnológica en la proyección de las investigaciones de producción de etanol a partir del bagazo de la caña de azúcar. Parte II**

## **The impact of the technological surveillance in the projection of the investigations of ethanol production from sugarcane bagasse. Part II**

**Mirelis Claro<sup>2</sup>, Leyanis Mesa Garriga<sup>1</sup>, E. González Suárez<sup>1</sup>, C. Galian<sup>3</sup>**

**(1) Centro de Análisis de Procesos. Facultad de Química-Farmacia. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Villa Clara. Cuba.**

**(2) CIGET. CITMA. Villa Clara**

**(3) Parque Tecnológico de Misiones. Misiones. Argentina.**

### **Resumen**

En este trabajo, se exponen las consideraciones de los autores, teniendo en cuenta los aspectos técnicos que deben ser mejorados para la generalización e introducción de los resultados obtenidos a través de la Vigilancia tecnológica teniendo en cuenta el criterio de expertos, las publicaciones que existen sobre el tema y la aplicación de la ingeniería Inversa a los resultados del laboratorio, para que la nueva propuesta tecnológica contribuya con mayor eficacia a la obtención del producto. Se identifican los principales competidores en la temática por continentes y se plantea una estrategia de prospectiva tecnológica teniendo como base fundamental la biotecnología, que es el centro de esta investigación. Se destacan Suecia y Brasil en artículos científicos publicados en la temática y Brasil en las patentes desarrolladas en la misma. Finalmente, se plantea una matriz DAFO que expone las principales ventajas e inconvenientes que tiene la implementación de esta tecnología en Cuba y Latinoamérica en general y se analizan una serie de actividades para minimizar las debilidades y amenazas en la obtención de etanol a partir de bagazo de la caña de azúcar, como residuo lignocelulósico fundamental.

**Palabras clave:** Vigilancia tecnológica, etanol, bagazo de caña, Matriz DAFO.

## **Abstract**

In this work, the author considerations are exposed, keeping in mind the technical aspects that should be improved for the generalization and introduction of the obtained results through the technological surveillance considering the criterious of experts, the publications on the topic and the application from the inverse engineering to the results of the laboratory, so that the new technological proposal contributes with more effectiveness to the product obtaining. The main competitors are identified in the thematic and their ideas about a prospective strategy of technological having like fundamental base the biotechnology that is the center of this investigation. Sweden and Brazil stand out in scientific articles published in the thematic one and Brazil in the patents developed in the same one. Finally, a matrix WTSO that exposes the main advantages and inconveniences that it has the implementation of this technology in Cuba and Latin America in general thinks about and they are analyzed a series of activities to minimize the weaknesses and threats in the ethanol production from sugarcane bagasse.

**Key words:** Technological surveillance, ethanol, cane trash, Matrix WTSO

## **Introducción**

El aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica con el objetivo de obtener etanol está basado en la transformación de los azúcares contenidos en la misma. Los microorganismos que realizan esta conversión necesitan disponer de los azúcares en forma monomérica, por lo que es preciso la descomposición o hidrólisis de los polímeros azucarados presentes en la biomasa lignocelulósica. Sin embargo, mientras que es relativamente sencilla la hidrólisis en el caso de las materias primas ricas en almidón, como los cereales, resulta mucho más difícil el proceso cuando se parte de residuos lignocelulósicos, puesto que los polímeros que los constituyen están formando estructuras estrechamente ligadas entre sí y altamente empaquetadas, dificultando el acceso a los agentes hidrolíticos.

### **Bagazo de caña de azúcar**

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una gramínea con una elevada eficiencia en la fotosíntesis, que le permite obtener hasta 85 t de biomasa seca por hectárea de cultivo (Gálvez y Gálvez, 2000), por lo que constituye una fuente inagotable de alimentos, energía y materias primas para la industria y ha sido tradicionalmente la base

de la economía de Cuba y otros muchos países tropicales. Como los precios del azúcar en el mercado mundial han estado deprimidos por largo tiempo, la diversificación de la industria azucarera es un requerimiento urgente de los países exportadores de azúcar (Olguin *et al.*, 1995; Clarke y Edye, 1996; Romero *et al.*, 1997; Almazán, 1999; Gálvez, 2000).

El bagazo es el residuo separado después de la extracción del jugo de la caña de azúcar y es el principal subproducto de la industria azucarera (Banerjee y Pandey, 2002). Por cada 100 t de caña procesada para la producción de azúcar se obtienen alrededor de 28 t de bagazo y 20 t de residuos agrícolas (Suárez, 1994; Gálvez, 2000). Valdés (1999) plantea que por cada millón de toneladas de azúcar producido se originan 2,5-2,3 millones de toneladas de bagazo y residuos agrícolas.

El bagazo y los residuos de la cosecha de la caña de azúcar contienen alrededor de un 70 % de carbohidratos. Los datos de la literatura indican que el bagazo contiene 41-52 % de celulosa, 25-30 % de pentosanas y 18-25 % de lignina, por lo que su composición química es más cercana a la de las maderas duras que a la de las maderas blandas (Martín y Obolenskaja, 1988; Noa *et al.*, 1991;

Gastón *et al.*, 2000; Banerjee y Pandey, 2002).

Los xilanos son, después de los glucanos, los carbohidratos más importantes en el bagazo. La xilosa representa casi un tercio del contenido de azúcares en los hidrolizados de bagazo (Puls, 1993). Para que la obtención de etanol a partir de bagazo sea económicamente viable se requiere una eficiente conversión de todos sus azúcares, incluyendo pentosas como la xilosa en etanol.

El bagazo de caña de azúcar se encuentra disponible en las fábricas de azúcar sin un costo adicional, ya que los costos de cultivo, transportación y almacenamiento son cubiertos por la producción de azúcar (Teixeira *et al.*, 1999). Además, tiene un alto contenido de carbohidratos y un contenido de lignina relativamente bajo. El bagazo representa, por tanto, una fuente barata y abundante de carbohidratos con un gran potencial de ser convertido en etanol. Según Triana *et al.* (1990), la gran experiencia en la manipulación, transportación y almacenamiento del bagazo disminuye los riesgos inversionistas y lo hacen atractivo en comparación con otros materiales lignocelulósicos.

### **Desarrollo**

#### **Fuentes de Información**

La fuente de información fundamental fue la base de datos de patentes QPAT la cual dispone de un sistema de búsqueda (PlusPat) que incluye cerca de 50 millones de documentos de patentes, colectados a partir de las bases de datos de 75 autoridades mundiales. También se utilizó la base de datos Esp@cenet internacional, la cual incluye información de cerca de 70 países y regiones del mundo y contiene 59 millones de patentes. Complementariamente se consultaron las bases de datos de patentes de EE.UU. y la de los registros internacionales de patentes de acuerdo al Tratado Internacional de Patentes administrado por la OMPI. Además se utilizaron sitios de búsquedas de información científico-técnica, así como motores de búsquedas de compañías comerciales.

Las bases de datos de información de patentes e información científico-técnica consultadas fueron: QPAT, USPTO, Espacenet, Scirus y Scholar Google.

Se recuperaron 15 patentes y familias de patentes relacionadas con la producción de etanol a partir de

los residuos lignocelulósicos.

La generación de patentes está centralizada en pocos países siendo Alemania quien ha generado casi el 50 % de las mismas. El contenido de los documentos incluye:

- Procesos para obtención de alcohol a partir de materiales lignocelulósicos incluyendo pretratamiento.
- Métodos de hidrólisis con contenido de biomasa.
- Sacarificación de celulosa a partir de todo tipo de residuos.
- Extracción de hemicelulosa a partir de bagazo de caña de azúcar.
- Uso de solventes orgánicos para deslignificar el bagazo de la caña de azúcar.

Alemania tiene el 40 % del total de patentes repartidas en los tres centros de investigación. Estas patentes alemanas están referidas a resultados de investigaciones básicas con probabilidades de ser aplicadas industrialmente como varios tipos de hidrólisis, de sacarificación y de extracción. Por otro lado, es importante señalar que la titularidad de las patentes brasileñas, país mayor productor de alcohol a partir de caña de azúcar, recae en dos de los grupos nacionales empresariales más potentes del país. Uno relacionado con los combustibles (Petrobrás) y otro con la agroindustria azucarera (DEDINI).

PetroBras presenta la solicitud de dos patentes para un proceso completo de obtención de alcohol a partir de residuos lignocelulósicos, en especial bagazo de caña de azúcar. La primera comprende un paso de hidrólisis ácida de la hemicelulosa con ácido sulfúrico ocurriendo simultáneamente una fermentación alcohólica en la cual el índice de conversión a etanol es muy alto en muy poco tiempo; la segunda patente va encaminada a la deslignificación del sustrato pretratado referido en la patente anterior y así incrementar los resultados de obtención de etanol. DEDINI, uno de los mayores grupos empresariales fabricantes de máquinas e implementos para el sector de azúcar y alcohol, ha depositado varios pedidos de patente referentes al proceso DEDINI Hidrólisis Rápida (DHR) en Brasil; dos de éstas ya han sido concedidas y otras se encuentran en estudio. En el exterior, se solicitaron patentes en algunos países de Europa y en Japón. En Estados Unidos, la patente principal ya ha sido otorgada.

Esta patente comprende el diseño de un reactor en el cual el residuo lignocelulósico está distribuido a lo largo del mismo y este está sometido a un flujo de solvente orgánico, agua y un ácido inorgánico fuerte diluido. Bajo estas condiciones se obtiene un extracto contenido en la fase líquida, mientras que la sólida no reacciona, este proceso ocurre bajo condiciones de temperatura controlada y recirculación. La generalización de este proceso permitirá que Brasil, en el año 2012, suministre el 10 % de etanol de toda la gasolina global.

#### Información de literatura no Patentes

Se encontraron 26 artículos vinculados a usos en proyectos de investigación e información académica enfocados a la obtención de etanol a partir del bagazo de la caña.

De todos los artículos encontrados, el 65 % fueron publicados en los últimos 10 años. Es conveniente explicar que a su vez, se encontraron 3 artículos de principios de siglo xx relacionados con la hidrólisis ácida de la caña de azúcar, publicados en eventos de la revista *Royal Society of London*.

La gama de revistas es amplia, las que más publicaciones tienen son la *Applied Biochemistry and Biotechnology* y la *Journal of Food Engineering*, dos publicaciones de alto impacto en la comunidad científica. Las universidades brasileñas acaparan el 30 % del total de artículos, y las otras instituciones pertenecen a países productores de azúcar a partir de la caña, con excepción de España. En la temática en general, o sea, obtención de etanol a partir de materiales lignocelulósicos, en las revistas citadas por la *Web Citation Index*, se encontraron un total de 158 artículos revisados hasta enero de 2009, de los cuales el 32,4 % correspondió al bagazo de la caña de azúcar. En cuanto a las publicaciones organizadas por continentes, se tiene que Europa representa el 43,2 % de las publicaciones en la temática, siendo los países líderes Suecia y España. Después le sigue América con un 33,3 % siendo significativas las publicaciones de Brasil, Estados Unidos y Cuba, en ese orden; y por último es necesario destacar las publicaciones del continente asiático con un 33,3 % destacándose la India y China.

En el proceso de recuperación de información, quedó evidenciado que la mayor cantidad de

información disponible se encuentra en los sitios de información científico-técnica y comercial de los países con mayor volumen de exportación de bioetanol, tomaremos a Brasil como ejemplo ya que se mantiene como el mayor exportador a nivel mundial de etanol a partir de caña de azúcar.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que:

- Se recuperaron muy pocas patentes relacionadas con el tema en estudio, solamente 15 patentes y familias de patentes.

- El 47 % de las patentes recuperadas fueron alemanas. Estas patentes alemanas están referidas a resultados de investigaciones básicas con probabilidades de ser aplicadas industrialmente como varios tipos de hidrólisis, de sacarificación y de extracción.

- Brasil es el mayor país productor-exportador de etanol a partir de caña de azúcar.

- Se recuperaron 3 patentes brasileñas de alto impacto en la producción de etanol a gran escala. Las grandes empresas Petrobrás y DEDINI son las titulares de las mismas.

- A través del método de hidrólisis rápida, el procesamiento del material lignocelulósico resulta factible para la producción de bioetanol. Este método no incluye la hidrólisis enzimática en el proceso; a través del pretratamiento se obtienen los azúcares fermentables directamente que serán mezclados con los azúcares procedentes de las mieles y los jugos de caña para la fermentación y destilación.

- Se recuperaron 26 artículos científicos encontrándose el 65 % de ellos publicados en los últimos 10 años.

- Las revistas *Applied Biochemistry and Biotechnology* y la *Journal of Food Engineering*, fueron las que más artículos publicaron.

- El 30 % de los artículos fueron generados por universidades brasileñas.

Para la culminación de este trabajo se elaboró la matriz DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) para este caso de producción de etanol y coproductos a partir del bagazo de la caña de azúcar.

#### **Matriz DAFO**

##### **Debilidades, D**

- La disminución y agotamiento inminente de las reservas de combustibles fósiles abren una

oportunidad de obtención de biocombustibles, en este caso concreto etanol, a partir de materias primas lignocelulósicas residuales de la agroindustria, pero requieren del desarrollo y puesta a punto de tecnologías que permitan bioprocesos eficientes y económicamente viables, objetivos no tan sencillos de alcanzar.

El factor costo constituye una debilidad actual que debe ser superada a través de la optimización del proceso innovativo. La utilización de la biomasa lignocelulósica residual de procesos agrícolas y/o industriales pueden disminuir los costos asociados a las materias primas. Sin embargo los costos de recolección, transporte y procesamiento pueden hacer su uso inviable frente a procesos basados en sustratos convencionales (azúcares y almidones). Por esta razón, se ha orientado la línea de investigación y desarrollo hacia el empleo de microorganismos fermentadores capaces de utilizar como fuente de carbono a la mayoría de los azúcares presentes, incluidas las pentosas.

#### Amenazas, A

- El traslado de tecnologías diseñadas en otras regiones del mundo atendiendo a las características y composiciones particulares de la biomasa disponible en dichas regiones, sin tener en cuenta que diferencias quizás poco significativas porcentualmente en cuanto a la composición de los materiales lignocelulósicos pueden derivar en la invalidación de una ruta determinada de procesamiento.

Otra amenaza relacionada con la solución innovativa propuesta se deriva de competidores ya establecidos en el mercado que elaboran productos equivalentes a partir de otras materias primas como es el caso de los derivados del petróleo.

En términos de demandas el factor crítico se relaciona con el costo de estas biotecnologías, que puede eventualmente afectar la competitividad por el precio final respecto a las contrapartes derivadas de la industria del petróleo y la petroquímica.

- Por tratarse de tecnologías no convencionales su difusión a nivel razonablemente masivo puede encontrar un obstáculo en la falta de personal con experiencia específica. Esta amenaza potencial puede ser disminuida en parte a través de un adecuado diseño y automatización de los procesos que disminuya el peso relativo de los conocimientos técnicos requeridos para operar los

mismos.

- Una amenaza importante es la tendencia que, al contrario de la biomasa que pretende el aprovechamiento del material en una cascada de mayor a menor valor agregado, impulsa a utilizar la biomasa residual para la combustión directa, como proponen algunos programas de gran difusión.

#### Fortalezas, F

- La biomasa lignocelulósica está compuesta mayoritariamente por lignina, celulosa y hemicelulosa. La xilosa es el monómero fundamental encontrado en residuos agroindustriales. En cuanto a los residuos lignocelulósicos contienen los azúcares más importantes: hexosas y pentosas. Esta composición básica de la materia prima indica que la bioconversión de los lignocelulósicos a etanol, requiere de la fermentación eficiente de la mezcla de azúcares que incluye a la xilosa. Se incluye el proceso de obtención de etanol a partir de pentosas, que es un proceso relativamente nuevo, al menos en términos de factibilidad económica.

- La fermentación de la glucosa y fructosa ha sido establecida a través de miles de años de práctica. Las cepas de levaduras utilizadas para producir vinos y cervezas han sido aisladas de diferentes fuentes. Esto constituye una fortaleza esencial del proceso, ya que en la etapa de fermentación permite aprovechar las tecnologías establecidas por industrias de gran tradición.

- La existencia en Cuba de industrias de producción de alcohol a partir de melazas integradas material y energéticamente a la producción de azúcar, lo que indudablemente constituye una fortaleza, ya que los input de energía y masas estarían distribuidos a partir de la fábrica de azúcar.

- Otro aspecto innovador se centra en la mejora del proceso de hidrólisis enzimática de la celulosa que permite obtener monómeros de glucosa. De esta manera se evitan los procesos más usuales basados en la hidrólisis ácida a temperaturas elevadas, que requieren equipamiento resistente a la corrosión y además se desaprovecha parte del potencial de la materia prima ya que pueden dar lugar a la destrucción de la glucosa y, por ende, reducir la fuente de carbono para los microorganismos durante la fermentación, disminuyendo consecuentemente el rendimiento en etanol.

- La obtención de coproductos de interés industrial derivado de la obtención de etanol a partir del bagazo de caña y de los residuos lignocelulósicos

en general, lo que permite hablar de un término análogo al de la industria del petróleo: Biorrefinería. Esta fortaleza en tanto, está en línea con la tendencia a actuar hacia procesos más limpios que se proponen en el marco del desarrollo sustentable. Oportunidades, O

- El aprovechamiento de estos residuos lignocelulósicos, específicamente bagazo, mediante procesos biotecnológicos y bioquímicos, puede ser significativo para incrementar la rentabilidad del sector agroindustrial, ya que los residuos de la agroindustria azucarera son fácilmente recolectables y alcanzan volúmenes apreciables. Al mismo tiempo se les da un uso importante como fuente de biocombustibles y productos de alto valor agregado a estos residuos.

- Amplio interés nacional e internacional en la utilización de los residuos lignocelulósicos de la industria azucarera como fuente de biocombustibles y productos de alto valor agregado.

- La existencia de gran conocimiento por parte de los obreros agrícolas y técnicos del sector azucarero en el manejo, conservación y transportación del bagazo y la paja de caña de azúcar.

### **Bibliografía**

1. . . . . *The process of diversification in the sugar industry*. Specialized lecture. University of Mauritius. Port Louis, Mauritius, 1999.
2. Banerjee, R. And A. Pandey: "Bio-industrial applications of sugarcane bagasse: A technological perspective. *Int. Sugar J.*, 104: 64-68. 2002.
3. Clarke, M.A. and L.A Edye: "Sugar beet and sugarcane as renewable resources." *Agric. Mat. Renewable Resour.*, 647, 229-247. 1996
4. Gálvez, L.O.: *La producción diversificada de la agroindustria de la caña de azúcar*. En *Manual de los derivados de la caña de azúcar*, Tercera Edición, La Habana, Cuba. 2000
5. Gálvez, L.O. y G. Gálvez: *La caña de azúcar*. En *Manual de los derivados de la caña de azúcar* (Ed. L.O. Gálvez), Tercera Edición. La Habana, Cuba, pp. 21-30, 2000.
6. Gastón, C.; R. Bambanaste; J. Correa; G. Alfonso and M. Herryman: *Bagazo*. En *Manual*

*de los derivados de la caña de azúcar* (Ed. L.O. Gálvez), Tercera Edición, La Habana, Cuba, pp. 31-44, 2000,

7. González, E.: *Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria química, fermentativa y farmacéutica*, Editorial Científico-Técnica, La Habana, 2005.

8. Martín, C. and A.V. Obolenskaja: *Khimitseskij analiz bagassy sakharnogo trostnika y polutchenje dioksan-lignina*. Report. Kafedra Khimii Drevesiny. Leso-tekhnitcheskaja Akademija. Leningrad, SSSR, 1988.

9. Mesa, L.: *Estrategia de Vigilancia Tecnológica para la obtención de etanol a partir de residuos lignocelulósicos*. Comunicación Social de la Ciencia, España, 2007.

10. Noa, H.; J. Zegarra; A. Zavala y J.T. Monegro: *La diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar. Serie Diversificación*. GEPLACEA, México, 1991.

11. Olguin, E.J.; H.W. Doelle and G. Mercado: "Resource recovery through recycling of sugar processing by-products and residuals." *Resour. Conserv. Recycling*, 15: 85-94. 1995

12. Paturau, J.M.: *El uso del bagazo como materia prima para la obtención de derivados y generación de energía*, en *Subproductos y derivados de la agroindustria azucarera*. Serie Diversificación. GEPLACEA, México, 1988.

13. Teixeira, L.C.; J.C Linden and H.A. Schroeder: "Optimizing peracetic acid pretreatment conditions for improved simultaneous saccharification and co-fermentation (SSCF) of sugar cane bagasse to ethanol fuel." *Renewable Energy*, (16) 1-4:1070-1073, 1999.

14. Triana, O.; M. Leonard; F. Saavedra; N. Fernández, Gálvez, G. Peña, E. *Atlas del bagazo de la caña de azúcar*. GEPLACEA, México, 1990.