

# **ADAPTACIÓN Y MODIFICACIÓN DE LA ESTRATEGIA PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE UN PROCESO QUÍMICO A LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON FINES ENERGÉTICOS EN ESCENARIOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA**

**Ernesto Luis Barrera Cardoso, Osvaldo Romero Romero, Lisbet López González,**

**Centro de Estudio de Energía y Procesos Industriales, Centro Universitario de Sancti Spíritus.**

**Néstor Ley Chong,**

**Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

Recibido:

Aceptado:

Este trabajo expone la experiencia acerca de las modificaciones realizadas a la estrategia para la transferencia tecnológica de un proceso químico, con el objetivo de asimilar tecnologías de producción de biogás con fines energéticos, convirtiéndola en una herramienta específica para estas últimas y considerando nuevos elementos, como el efecto ambiental esperado, que fortalecen la estrategia base. A partir de aquí se elaboró, basada en la estrategia heurística, una propuesta tecnológica para la producción de biogás con fines energéticos en un escenario de la industria azucarera.

Palabras clave: Asimilación, energía, producción de biogás, residuos, transferencia tecnológica.

## **FALTA TITULO EN INGLES**

This work gives the experience about the modifications made to the strategy for technology transfer of a chemical process, in order to assimilate technologies for biogas production with energetic purpose, turning it into a tool specifically for the latter and considering new elements, such as the environmental impact expected, that strengthen the basic strategy. From here were developed, based on the heuristic strategy, one technology proposal to produce biogas for energy purposes from the waste available in the sugar industry sceneries.

Key words: Assimilate, biogas production, energy, technology transfer, wastes.

## INTRODUCCIÓN

Las formas de producir energías renovables son muchas en la naturaleza, una de ellas ha sido mediante la degradación anaerobia de biomásas para la obtención de biogás. En la actualidad, este gas ha representado una alternativa para la generación de energía eléctrica lográndose reducciones de hasta el 40 % en los costos del kWh producido al compararlo con la generación a partir de combustibles fósiles.

La problemática radica en cómo producir biogás, es decir, qué etapas tecnológicas emplear para el aprovechamiento del gas en la generación de energía eléctrica, pues no sólo es importante la selección de la etapa de digestión, sino también, el pretratamiento de los sustratos, la purificación del gas, su almacenamiento y la generación de energía. Algunos intentos de la producción de biogás a gran escala han sido concebidos con errores en la selección de la tecnología adecuada, como el caso de la planta anexa a los centrales Heriberto Duquesne y Enrique José Varona. Por tal motivo estas etapas deben ser seleccionadas cuidadosamente para lograr el máximo aprovechamiento energético del gas teniendo en cuenta las tendencias tecnológicas más recientes en función de las posibilidades del país receptor, del uso final del biogás, del tipo de sustrato a tratar y otros, para evitar errores que contribuyan a la mala imagen de esta importante fuente renovable. Por lo que se puede plantear que ha sido un problema de la producción de biogás en Cuba los métodos y estrategias utilizadas en la asimilación de plantas de producción de biogás que permitan generar energía de manera eficiente e incluyan las etapas anteriormente mencionadas.

## DESARROLLO

En la búsqueda de métodos para la asimilación de tecnologías de producción de biogás, que incluya tanto las tendencias tecnológicas existentes a nivel mundial como las necesidades del país receptor, se encontraron reportes<sup>3</sup> sobre una estrategia que de manera general permite asimilar la tecnología para un proceso químico. Su aplicación intacta a la asimilación de tecnologías de producción de biogás con fines energéticos no fue posible por lo que se realizaron modificaciones necesarias que permitieron

alcanzar el propósito del artículo, las cuales se relacionan a continuación.

### **Modificación No. 1:**

Etapas 1 de la estrategia. Inicio del proceso.

Se agregó el bloque “*Selección de los sustratos*”: Este permite la conformación de grupos de sustratos en un territorio (país, provincia, escenario, etc.), y en función de estos buscar las tendencias tecnológicas existentes en Cuba y el mundo para producir biogás a partir de los mismos.

### **Modificación No. 2:**

Etapas 3 de la estrategia. Selección de la tecnología.

Se incluyeron dentro del bloque “*Selección de la tecnología apropiada y competitiva*” los siguientes aspectos:

- *Tipo de sustrato*: Determina el tipo de equipo a emplear en las dos primeras etapas del proceso (Pretratamiento y Digestión anaerobia)
- *Uso final del biogás*: Exige parámetros de calidad y operación que a su vez inciden en la selección de los equipos para las etapas de purificación, almacenamiento y generación de energía.
- *Efecto ambiental*: Reduce los efectos negativos al medio ambiente de los equipos seleccionados en cada etapa tecnológica.

### **Modificación No. 3:**

Etapas 3 de la estrategia. Selección de la tecnología.

Se agregó el bloque *Elaboración de las propuestas tecnológicas* con el fin de unir los equipos seleccionados para el pretratamiento, la digestión, la purificación, el almacenamiento y la generación de energía afines con los diferentes grupos de sustrato obtenidos en la modificación No 1 y obtener propuestas tecnológicas que puedan ser adaptadas a diferentes escenarios.

### **Modificación No. 4:**

Etapas 4 de la estrategia. Proceso de adaptación.

Se incorporó el bloque “*Selección de la propuesta tecnológica correspondiente*” para escoger, entre las propuestas tecnológicas confeccionadas, la que se adaptará al escenario bajo estudio teniendo en cuenta el “*Potencial de*

sustratos” existente y los “Consumidores de energía”.

**Modificación No 5:**

Etapa 5 de la estrategia. Desarrollo del Proceso.

Finalmente, se agregó el “Análisis preliminar del efecto Ambiental.” Esta etapa tuvo como fin el análisis del efecto ambiental causado por las corrientes de entrada y salida del proceso en general. Para esto se utilizó la herramienta de diagnóstico ambiental y oportunidades de mejora,<sup>2</sup> específicamente el acápite 4.1.7, que plantea el

estudio del proceso como caja negra.

Resultado de la aplicación de la estrategia modificada a un escenario de la industria azucarera. Empresa Azucarera Uruguay

La estrategia se aplicó en el territorio espiritano donde se conformaron tres grupos de sustratos (G.S) y una propuesta tecnológica (P.T) para cada uno de ellos, cuya pretensión energética fue la generación de energía eléctrica y la cocción de alimentos. Los resultados se tabularon y se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1. Equipos seleccionados para cada grupo de sustrato y en cada etapa tecnológica**

G.S.	P.T.	Pretratamiento de los sustratos	Digestión Anaerobia	Purificación del biogás	Compresión y Almacenamiento	Generación energía
1er G.S:	Sustratos o mezclas con altos % ST <sub>T</sub> (8-10 %) y de compleja biodegradación.	Pretratamiento Químico con Ca (OH) <sub>2</sub>	Híbridos	Método biológico	Compresor Bala de GAS	M.C.I.
2do G.S:	Sustratos con alto contenido de sólidos totales (8-10 %) de menor complejidad para su biodegradabilidad.	Molino Cuchillas y/o Disolutor	Híbridos	Método biológico	Compresor Bala de GAS	M.C.I.
3er G.S:	Sustratos altamente diluidos % S.S < 2g/l.	Disolutor	UASB	Método biológico	Compresor Bala de GAS	M.C.I.

UASB: Digestor con manto de lodo y flujo ascendente, MCI: Motor de Combustión interna. , S.T: Sólidos totales, Híbridos: Combina las tecnologías chinas y flujo pistón y alcanzan tamaños en el país de hasta 1000 m<sup>3</sup>.

Los grupos de residuos formados atendiendo a su similitud, son relacionados a continuación:

1er G.S: Incluye:

Empresa azucarera sin diversificación. (CACHAZA + RESIDUAL LÍQUIDO)

Empresa azucarera diversificada. (CACHAZA+ RESIDUALES LÍQUIDOS+ VINAZAS)

2do G.S: Incluye:

Residuales de excretas frescas.

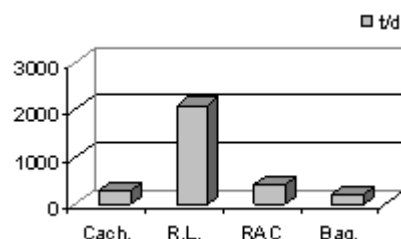
Mezclas de residuos de cosecha con excretas frescas. (CODIGESTIÓN)

3er G.S: Incluye:

Residuales diluidos de destilerías, de la producción de torula y de azúcar.

Residuales porcinos y vacunos frescos altamente diluidos.

Se escoge como escenario para la adaptación de las P.T la Empresa Azucarera Uruguay, situada en el municipio de Jatibonico, provincia de Sancti Spíritus; debido a que la misma es la mayor productora de azúcar crudo de la provincia. Las cantidades de residuos generados en ella se estimaron a partir de la caña molida en la zafra 2006-2007 y se muestran en el gráfico 1.



**Gráfico 1. Disponibilidad de residuos biodegradables**

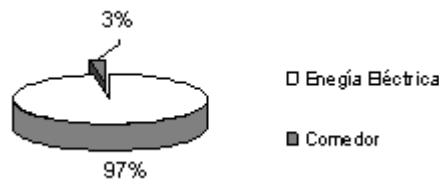
Respecto a los RACs y el bagazo no se encontraron reportes sobre el uso de ellos en la producción de biogás. Los mismos se destinan a la alimentación animal y a la generación de energía, por lo que en esta investigación fueron tratados como residuos disponibles para la producción de biogás, solamente los residuos líquidos y la cachaza, que representan casi el 80 % del total de los residuos generados en la empresa.

La demanda total de biogás tomando como base un día, fue de 11 200 m<sup>3</sup>, estimada para la cocción de alimentos (3 %) y para generar la energía eléctrica que se consume en la empresa (97 %). Se consideró obligatorio el suministro de biogás al comedor para el mejoramiento de las condiciones de vida de los trabajadores, como aspecto social. (Gráfico 2)

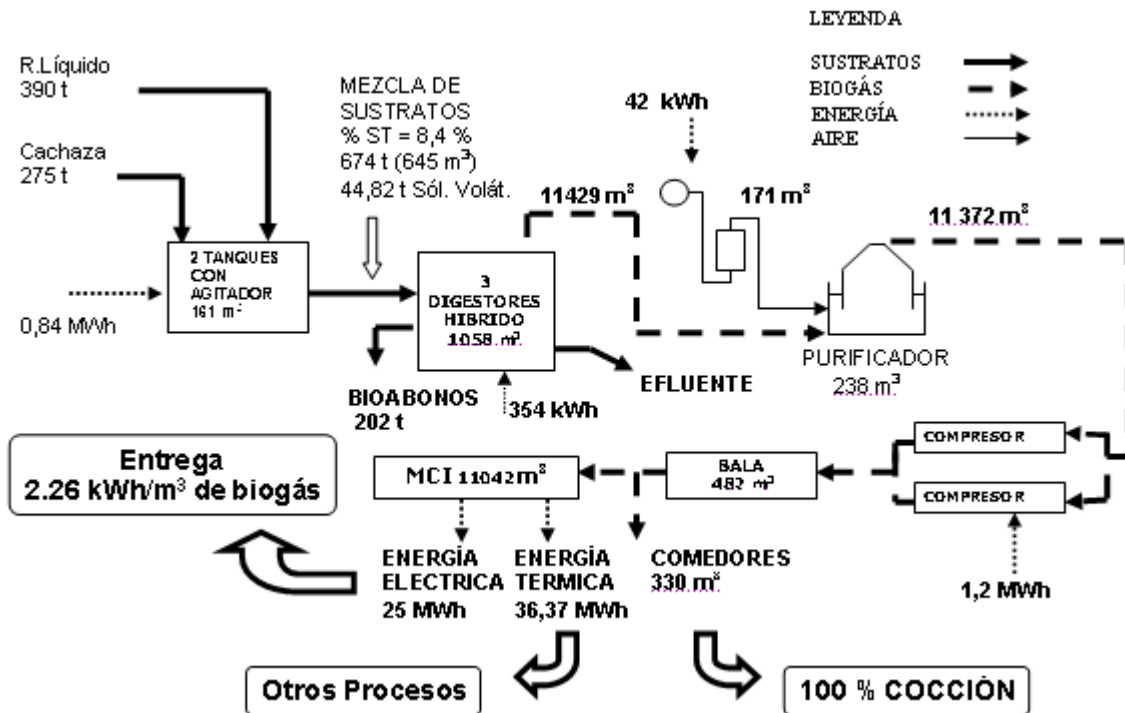
Teniendo en cuenta los sustratos disponibles y los

posibles consumidores de biogás, se seleccionó la P.T. que responde a 1er G.S y siguiendo los aspectos metodológicos considerados en 3, se corroboró la adaptación de la misma al escenario escogido, pasando a la quinta etapa de la estrategia (Desarrollo del Proceso) donde se elaboró el diagrama de flujo y se realizó el diseño preliminar de la planta.

Los principales resultados obtenidos mostraron que la energía eléctrica producida en un día de operación de la planta, podría cubrir el 100 % de la demanda en la empresa y entregar en su totalidad los 46 MWh eléctricos que son cogenerados allí, lo que representaría un incremento de más de 1500 MWh anuales. Desde el punto de vista térmico, se lograría cubrir el 100 % de la demanda de biogás para la cocción de los alimentos y entregar 36,77 MWh de energía térmica a otros procesos de la Empresa. (Figura 1).



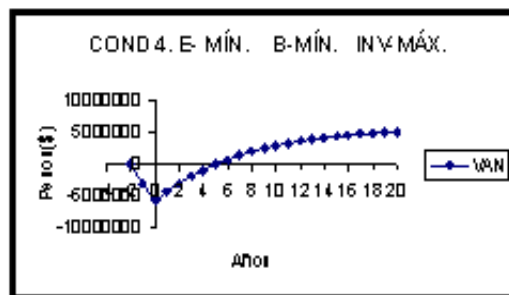
**Gráfico 2. Demanda de biogás por tipo de consumidor**



**Figura 1. Esquema tecnológico de una propuesta de planta de producción de energía a partir de residuos biodegradables disponibles en la Empresa Azucarera Uruguay. (Tomando como base, 1 día.)**

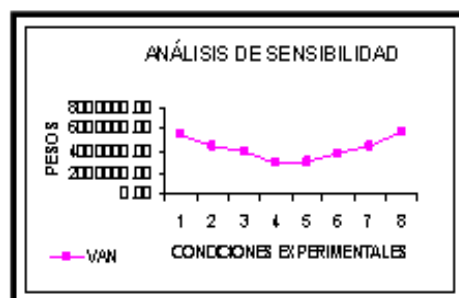
Posteriormente se estudió el efecto ambiental esperado en la planta para un año de operación, considerando 72 días de zafra (Zafra 2006-2007), según la modificación No 5. Se comprobó, por este método, que las corrientes residuales originadas mitigan los daños al medio ambiente que se originan hoy en la Empresa Azucarera Uruguay, pues se producen 4 419 MWh a partir de una fuente renovable, con lo que se logra la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, causadas por la generación a partir de combustibles fósiles. Por otra parte, se evitan las emisiones de metano, producidas durante el proceso de descomposición de la materia orgánica al aire libre, que equivalen a 7 455 t de CO<sub>2</sub> (1 t de metano = 21 t de CO<sub>2</sub>) y se producen 14 544 t de bioabonos capaces de sustituir agroquímicos. Además, los gases de la combustión del biogás, emiten un CO<sub>2</sub> cuyo balance neto tiende a cero en el cierre del ciclo natural de la biomasa, por lo que su efecto sobre el medio es considerado despreciable. Se evita también, por concepto de cocción de alimentos con biogás, la tala de árboles por la eliminación del uso de 300 m<sup>3</sup> de leña y se reduce en un 85 % la carga contaminante de los residuales líquidos originados en la industria, posibilitándose el reuso de 389 millones de litros de agua, en cada zafra, para el fertirriego.

Para la evaluación económica de la propuesta primeramente se determinó, siguiendo las recomendaciones dadas en 7, el costo de adquisición de los equipos (\$ 1 295 461,00), capital total invertido (\$ 5208824,00), los costos totales de operación (\$/a 405 725,00) y los ingresos (\$ 2 968 886,00) de la planta. A partir de aquí se calcularon los indicadores dinámicos resultando una tasa interna de retorno (TIR) de 17 % superior a la tasa de descuento utilizada para su cálculo (15 %), lo que reduce el margen de riesgo por el incremento de esta última, con un período de recuperación de la inversión de PRI de 4 años y un valor actual neto (VAN) de \$ 6 510 804,00 tal como se mostró en la figura 2. Este resultado es superior al alcanzado en 6, para una planta de producción de biogás a partir de vinazas, que reportó un PRI de 6 años, resultado que se debe a que estas plantas producen una menor cantidad de bioabonos debido a los altos tiempos de retención de sólidos y las altas diluciones de los sustratos tratados en ellas.



**Figura 2. Valor actual neto contra años de explotación de la planta**

Para el análisis de sensibilidad, se realizó un diseño factorial 2<sup>3</sup>(tres variables a dos niveles), tomando como variables el precio de venta de la energía eléctrica, de los bioabonos y el capital total invertido con valores (niveles) un 10 % por encima y por debajo del valor utilizado en el análisis económico de la planta (figura 3). Se pudo comprobar que al pasar de la condición experimental (CE) 4 a la 5, la pendiente de la curva fue imperceptible siendo la única variación entre ambas el precio de la energía eléctrica, demostrándose poca sensibilidad de la inversión frente a cambios de esta variable. Por otra parte, se observó que en el cambio de la CE 2 a la 3, a pesar de que la inversión se hiciera mínima el VAN se redujo producto de una disminución en el precio de los bioabonos, lo que indicó una mayor sensibilidad a los cambios de esta última que a los cambios en el capital total invertido. Esto se correspondió con lo planteado en 1, 4 y 6 donde se asegura que son los bioabonos quienes garantizan la rentabilidad de estas plantas.



**Figura 3. Valor actual neto contra condiciones experimentales**



## CONCLUSIONES

1. Se realizaron cinco modificaciones a la estrategia propuesta en 3, las cuales permitieron asimilar tecnologías de producción de biogás con fines energéticos para tres grupos de sustratos y adaptar una de estas al escenario de la Empresa Azucarera Uruguay.
2. El diseño preliminar permitió demostrar la fortaleza técnica de la planta, arrojando que a partir de los residuos disponibles se pueden producir en un día de operación 25 MWh de energía eléctrica, 36,37 MWh térmicos, 202 t de bioabonos, así como satisfacer el 100 % de la demanda de biogás en el comedor y reutilizar 389 millones de litros de agua en el fertirriego.
3. La producción de biogás es una vía para mitigar los efectos ambientales causados por el vertimiento de residuos en la Empresa Azucarera Uruguay.
4. El análisis económico en este escenario mostró que la inversión se recupera en un período de 4 años, con una TIR por encima del 15 % y un VAN de más de 6,5 millones de pesos, recuperándose 1,2 pesos por cada peso invertido al final de la vida útil.
4. MIRANDA, R. Y OTROS: Factibilidad económica de la producción de biogás a partir de residuales, economía y desarrollo, 1986.
5. MONTALVO, S. Y LORNA GUERRERO: Tratamiento anaerobio de residuos. Producción de biogás, 416 pp., Chile, Universidad Técnica, Federico Santa María, 2003.
6. OBAYA, MATILDE Y OTROS: "Tratamiento combinado de las vinazas de destilería y residuales azucareros en reactores UASB." revista *Tecnología del agua*. No. 249, junio de 2004, pp. 78-85.
7. PETER'S, S. AND K. D. TIMMERHAUS: "Plant Design and Economics for Chemical Engineering", 2003.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BARRETO, SARA: Estrategia para la inserción Industrial de la digestión anaerobia en el desarrollo regional. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias, 2006.
2. Departament de Medi Ambient. Centre d'Iniciatives per a la Producció Neta. Diagnóstico ambiental y oportunidades de minimización (DAOM). Impresión: ALTÉS, SL. ISBN: 84-393-5126-7, España, 2000.
3. LEY, NÉSTOR Y OTROS: "Un modelo para la asimilación de tecnologías a partir de patentes de productos derivados de la Industria Azucarera", revista *Centro Azúcar*. ISSN 0253 5757. Número 1. 2006.