

Costo beneficio de residuales para su posible aprovechamiento energético para fábricas de cerveza

Cost Benefit Waste for Possible Energy Use in the Beer Factory

Ph.D. Ángel Amado Recio-Recio¹, recioangel@gmail.com; Dr.Cs. Ramón Rodríguez-Betancourt¹, rr828845@gmail.com; Ph.D. Luis Oscar Oliva-Ruiz², oliva@uo.edu.cu

¹Profesor invitado de la Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador; ²Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

Resumen

Los problemas existentes producto de la escasez de combustibles fósiles y el deterioro del medio ambiente provocado por su utilización ha hecho de vital importancia el uso de energías renovables para la sustitución de estos combustibles. Esta necesidad se recoge en el objetivo 87 de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución aprobados en el VI Congreso del PCC. El presente artículo tiene como objetivo un estudio teórico experimental encaminado para el futuro aprovechamiento de los residuales (biomasa) con fines energéticos, residuo derivado de la elaboración de la cerveza, en las industrias cubanas. Se utiliza el análisis costo-beneficio para seleccionar la mejor variante de tres posibles. El resultado arrojó escoger la variante, utilizar el biogás para el ahorro de *fuel oil* en las calderas, con un plazo de recuperación de la inversión de tres años.

Palabras clave: energía, costo-beneficio, cogeneración.

Abstract

Existing problems resulting from the shortage of fossil fuels and the environmental degradation caused by their use has become vital to the use of renewable energies to replace these fuels. This need is reflected in the objective 87 of the Guidelines for Economic and Social Policy of the Party and the Revolution adopted at the Sixth Congress of the PCC. This paper aims at a theoretical experimental study aimed for the future utilization of waste (biomass) for energy purposes, residue derived from the brewing, in Cuban industries. The cost-benefit analysis to select the best variant of three possible is used. The result showed choose the variant: use biogas for saving *fuel oil* in boilers, with a term of payback of three years.

Keywords: energy, benefit-cost, cogeneration.

Introducción

La cerveceras cubanas desechan diariamente una serie de residuales provenientes de la elaboración de la cerveza, entre los que están, fundamentalmente: bagazo de cebada, tierra infusoria gastada, crema de levadura, soluciones de limpieza, barreduras y polvo de limpieza de la malta, aceites recuperados; sacos de nylon, cajas plásticas, vidrios, etiquetas: la mayoría reciclables.

De estos desechos es de particular atención el bagazo de cebada, denominado afrecho, que actualmente se destina a la alimentación animal por poseer cierto valor nutritivo, aunque con un valor económico muy bajo (Arias Lafargue *et al.*, 2012). Sin embargo, este residuo posee un alto aprovechamiento energético como potencial biomasa para la producción de biogás, útil para la sustitución parcial del combustible consumido en la entidad.

Características del bagazo de la cebada

Se entiende por cebadilla de cerveza, término equivalente al anglosajón “wet brewer's grains” o bagazo de la cebada fresco de cervecera, al conjunto de la masa resultante de la extracción de materiales solubles de la malta (cebada malteada). Su riqueza analítica será la siguiente (Fonte *et al.*, 2010): proteína bruta, mínimo 22 %; fibra bruta, máximo 20 %; cenizas, máximo 7 %.

Es un producto húmedo cuyo contenido en materia seca es de un 20-25 %. No se observan diferencias significativas en la composición química correlacionadas con el contenido de materia seca, aunque este es variable. El bagazo de cerveza es un subproducto rico en proteína, siendo su contenido proteico medio de un 22-26 % sobre materia seca (Sandoval, 2009).

Resulta un subproducto de la industria cervecera resultante del proceso de prensado y filtración del mosto obtenido tras la sacarificación del grano de cereal (cebada, básicamente) malteado. El bagazo está compuesto por fibra, cascarilla y proteínas, y no tiene alguna característica de peligrosidad, pues su origen principal es la malta de cebada; se usa como alimento para ganado vacuno de tipo lechero o engorda y porcino.

En estudios realizados por la Fábrica de Cervezas Estrella de Levante, S.A. (España) se determinó mediante un ensayo real de biometanización del bagazo de la cebada, en la Universidad de Muesen Friedberg, Alemania, que el potencial de producción de biogás sería de $170 \frac{m^3}{Tonelada}$ de bagazo (Sandoval, 2009).

Precisamente, el objetivo de esta investigación es realizar una evaluación técnico-económica para determinar que es más viable para las cervecías del país: vender la cebadilla como alimento a la empresa porcina o utilizarla como combustible para la fábrica y sustituir importaciones.

Fundamentación teórica

Descripción del proceso de biometanización

La fermentación anaerobia es una de las vías que emplea la naturaleza para descomponer la materia orgánica, a través de un conjunto de procesos bio-degradativos realizados por asociaciones bacterianas y que, como resultado, se forman biogases con alto contenido en metano.

El sistema adoptado para las transformaciones, denominado digestión anaerobia, no es otra cosa que una biodegradación de materia orgánica en un medio ambiente anóxico (ausencia de oxígeno) que permita el desarrollo de las comunidades microbianas responsables de las transformaciones y que estas transcurran con una velocidad significativa. Así se obtiene el desdoblamiento de la materia orgánica en sus componentes energéticos (metano e hidrógeno) y fertilizantes (nitrógeno, fósforo, potasio) de una forma natural y espontánea, conservando la totalidad de elementos minerales (Chernicharo y Lemus. 2007).

Los substratos susceptibles de ser sometidos a digestión anaerobia abarcan:

- **Biomásas primarias:** residuos o desperdicios agrícolas, marinos y forestales.
- **Biomásas secundarias:** excrementos de ganado, residuos urbanos e industriales, especialmente de la industria agroalimentaria.

Básicamente, el proceso considera tres etapas:

1. **Hidrólisis.** Etapa en la que los polisacáridos (celulosa, almidón, etc.), los lípidos (grasas) y las proteínas son reducidas a moléculas más simples. Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono.
2. **Acidogénesis.** Etapa en que los productos formados anteriormente son transformados principalmente en ácido acético, hidrógeno y CO₂. Esta reacción es endoenergética, pues demanda energía gracias a la estrecha relación

simbiótica con las bacterias metanogénicas, que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético.

3. **Metanogénesis.** Los productos resultantes de esta etapa son metano CH₄ y CO₂, principalmente (Chernicharo y Lemus. 2007).

Para que las bacterias formadoras de biogás trabajen en forma óptima, es necesario que se mantengan a temperaturas que oscilan entre los 30 y 65 °C (Recio y Martínez, 2010).

La industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos que pueden ser usados como fuentes de energía: los provenientes de todo tipo de carnes (avícola, vacuna, porcina) y vegetales (cáscaras, pulpa) cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en combustibles gaseosos. Otras industrias también generan grandes cantidades de residuos que pueden ser convertidas para su aprovechamiento energético, entre estas tenemos a la industria del papel, del plástico, las destilerías, etcétera (Romagosa Vila, 2011). Evidentemente, dada estas potencialidades, la cebadilla es un residuo que puede ser utilizada como biocombustible y sustituir importaciones en las fábricas de cervezas.

Métodos utilizados

En estas circunstancias, es evidente que debe realizarse una evaluación económica para determinar que sería más factible para las fábricas de cervezas del país. La evaluación económica es un conjunto de técnicas que se utilizan para comparar las opciones abiertas para el decidor, en una situación de elección relacionada con un conjunto de posibles cursos de acción.

El concepto de evaluación económica se basa en dos aspectos clave del análisis económico. En primer lugar, no solo analiza los costos, sino también las consecuencias; segundo, se basa en la capacidad de elegir entre los recursos limitados o escasos. De ahí que se defina la evaluación económica como “el análisis comparativo de alternativas en términos de costos y consecuencias” (Drummond, Stoddart, Torrancés, 1991).

La evaluación económica permite reducir las arbitrariedades en la toma de decisiones sobre el uso de los recursos disponibles, y conseguir mejores resultados a un costo

sostenible por la sociedad. El objetivo final de la evaluación económica es ayudar a los encargados de la toma de decisiones a elegir de forma racional, con determinados objetivos y restricciones. Este conjunto de técnicas no siempre ofrece respuestas sencillas e indiscutibles. Sin embargo, cuando cumple con rigor requerimientos teórico metodológicos, obliga a explicar detalladamente la información y a fundamentar los supuestos y juicios de valor que requiere un razonamiento lógico, lo cual puede no estar previsto el encargado de la toma de decisiones (Azqueta, 2001).

En los estudios de descripción de consecuencias no hay comparación de alternativas, ni se analizan los costos; este es el caso en que una única tecnología es descrita a partir de sus resultados. En la descripción de costos solamente se analiza el comportamiento de estos sin tener en cuenta las opciones de comparación ni las consecuencias.

Costo-beneficio: la característica principal de este análisis es que tanto los costos como los efectos de las opciones comparadas se miden en unidades monetarias. Desde el punto de vista económico se considera la forma de análisis más ortodoxa. Su ventaja consiste en permitir comparar opciones cuyos resultados se midan en unidades diferentes, lo que resulta útil para opciones de distintas áreas, por ejemplo, programas energéticos, programas de constructivos o de infraestructura.

Minimización de costos: se utiliza este método cuando no existe diferencia entre los efectos de las opciones que se comparan. En este caso se selecciona la opción menos costosa. En las evaluaciones económicas los costos siempre se utilizan expresados en unidades monetarias, es decir, cuando ya se han identificado y cuantificado en unidades específicas los recursos afectados por las distintas opciones que se evalúan, es preciso que, con el fin de poder obtener el efecto agregado neto, esas unidades sean valoradas en una unidad homogénea. En el caso de los beneficios o los efectos, la unidad que se utiliza depende del tipo de análisis que se realice.

Otro aspecto importante es el cálculo de los costos, el cual debe realizarse de forma precisa y mediante fichas, las cuales deben reflejar la realidad de cada tratamiento que se someta a un proceso de evaluación.

Lo expuesto son aspectos sencillos que no siempre se toman en cuenta por el decisor. En el proceso de evaluación del costo de su implementación es mayor que el beneficio que se obtiene, la decisión no debe ser tomada y viceversa.

Utilización del método de costo-beneficio para medir los resultados finales

El método de Costo-beneficio proporcionará el criterio de dominancia. En su forma más simple, una alternativa domina a otra si su beneficio resulta mayor y sus costos son menores; se determina, entonces, la razón de costo-beneficio. Esta relación se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$\text{Costo-Beneficio}_o = \min \frac{\text{Costo}A_i}{\text{Beneficio}A_i}; i = 1, 2, \dots, m$$

donde

A_i : significa la alternativa a evaluar tipo i , m es la última alternativa.

La variante que se acepta es aquella que presente un valor menor que minimice esta relación, siempre y cuando el coeficiente que se determina sea menor que uno. Debe tenerse en cuenta que tanto el costo como el beneficio están afectados por el coeficiente de actualización en el tiempo el cual se expresa de la siguiente manera:

$$M = P(1+r)^n$$

donde

P - representa el principal, que puede ser el costo o beneficio en el día de hoy.

M - es el monto que se alcanzará en n años.

r - es el interés del mercado.

Análisis de sensibilidad

Para realizar el análisis de sensibilidad se aplica una variabilidad a los parámetros más significativos de un 3 % y se volverá a calcular la relación costo beneficio dada.

Resultado y discusión

Indicadores físicos

Variante I: considerar la inversión sin grupo electrógeno

En el periodo enero-abril del 2013, la fábrica había procesado 803,6 toneladas de cebada malteada de la cual el 85 % es afrecho o sea 683,06 toneladas; si en 120 días de trabajo tenían un promedio diario de 5,7 t diarias de afrecho, considerando 170 m³

biogás/t de bagazo de cebada malteada (afrecho), puede obtenerse cada día: $967,66 \text{ m}^3$ de biogás, si el Poder Calórico Inferior (Biogás) $5\,500 \text{ Kcal/m}^3$, cada día se obtiene:

$$967,66 \times 5\,500 = 5\,322\,113,5 \text{ Kcal/m}^3$$

Si el Poder Calórico Inferior (*fuel-oil*) $10\,000 \text{ Kcal/kg}$, se puede obtener el equivalente de: $5\,322\,113,5 / 10000 = 532,21 \text{ kg}$ de *fuel oil*, que es igual a $0,53 \text{ t}$ de *fuel oil* diario, que en un año equivale a $193,45$.

Variante II, considerar la inversión con Grupo electrógeno

1 m^3 biogás (totalmente combustionado) $\Rightarrow 1,25 \text{ kWhora}$ de electricidad

entonces

$353\,195,9 \text{ m}^3$ biogás anual (totalmente combustionado) $\Rightarrow 441\,494,9 \text{ (kwhora)}$

El promedio anual de consumo de electricidad en la fábrica es:

$5\,210,71 \text{ MWh} \dots\dots\dots 100 \%$

$441\,494,9 \text{ MWh} \dots\dots\dots x$

$X = 8,47 \rightarrow$ Con la utilización del biogás la empresa se ahorra el $8,47 \%$ del consumo energético.

Se tiene en cuenta que para generar un kWh hacen falta 200 gramos de *fuel oil*, entonces $441\,494 * 200 = 88,3$ toneladas de *fuel oil*.

Variante III, cogeneración

Dos variantes de acuerdo a las calderas: se puede producir $10\,000$ o $12\,000 \text{ kg/h}$

Lo anterior genera $91,87$ o 109 kW

Producción anual: 794 o $941,8 \text{ MWh/año}$

Por el consumo de combustible se puede calcular que la producción de vapor oscila entre $5\,000$ y $1\,054 \text{ kg/h}$

Teniendo en cuenta la generación de vapor se tiene lo siguiente:

$P_{\text{max}} = 45,82 \text{ kW}$ y $P_{\text{media}} = 20,92 \text{ kW}$

Para la carga de $5\,000 \text{ kg/h}$ la generación en un año es igual a 395 MWh y por la carga media 180 MWh

Análisis económico

Variante I, costo de Inversión sin grupo electrógeno 250 000 USD

Se pueden construir tres digestores de biogás de 340 m³, con todo el equipamiento que lleva, esto es:

- Tanque de alimentación.
- Tanque de descarga y secado.
- Tanque colector de agua.
- Bomba hidráulica.
- Torre limpiadora de SH₂
- Corta fuego.
- Bala metálica.
- Quemadores (por si en algún momento sobra gas).

Tiempo de inversión: año y medio.

Un año para estudio de pre inversión.

Gastos de mantenimiento

Fuerza de trabajo: 2 técnicos. Salario mensual \$ 365,00

Vida útil de la planta (años): 30

Gastos de mantenimiento (% inv): 2

Cantidad de personas para mantenimiento: 4

Salario mensual del personal (\$): 365,00

Según los indicadores físicos la producción de biogás ahorra anualmente 193,45 t. La tonelada de *fuel oil* cuesta 589,31 USD¹ ; por tanto, el ahorro sería de **114 002 USD**.

El promedio anual de producción de afrecho en la Fábrica de Cerveza Hatuey es de 2 077,6 toneladas la estrategia actual, que se deriva de la obtención del bagazo de cebada; es la venta de este subproducto por un precio de \$ 14 CUP por tonelada de bagazo.

Para un promedio anual de 2 077,6 toneladas, la empresa recauda: **\$ 34 015,66**

¹ Banco Central de Cuba. Informe Económico.2014

Utilizando el criterio de Valor Actual Neto (VAN)

Costo de la Inversión: CI; Beneficio en USD: B Gastos anuales de operación y mantenimiento en USD sin considerar la amortización: GAOM.

Con estos elementos se tiene:

$$VAN = CI - (B - GAOM)/(1+r)^n \quad (1)$$

$$CI = 250\,000 \text{ USD}$$

$$B = 114\,002 - 3\,401,6^2 = 110\,600,4 \text{ USD}$$

$$GAOM = 50 + 4\,500 + 2\,628 = 7\,178 \text{ USD}$$

$$\text{Salario Operación: } 730 * 12 = \$ 8\,760$$

$$\text{Mantenimiento: } (250\,000 * 2) / 100 = \$ 5\,000$$

$$\text{Salario Mantenimiento: } 365 * 4 * 12 = \$17\,520$$

$$\text{Gastos en CUP} = 8\,760 + 17\,520 = \$26\,280. \text{ Conversión } 10 \text{ a } 1 = 2\,628 \text{ USD}$$

$$\text{Mantenimiento: } \$ 5\,000 \text{ } 10 \% \text{ CUP} = \$ 500 \text{ y } 4\,500 \text{ USD}$$

$$500 \text{ CUP} = 50 \text{ USD}$$

Utilizando (1) se tiene:

$$250\,000 - (110\,600,4 - 7\,178) / (1,06)^n$$

$$103\,422,4 / 1,06 = 97\,568$$

$$103\,422,4 / 1,1236 = 92\,045$$

$$103\,422,4 / 1,191\,016 = 86\,835$$

$$97\,568 + 92\,045 + 86\,835 = 276\,448$$

A modo de conclusión: se recupera la inversión en menos de tres años. Se trata de un ahorro considerable, en términos monetarios, a la economía del país. Sin contar la cantidad de cebadilla de cerveza que la entidad, por diversas cuestiones, no recupera o es desperdiciado puede llegar, según directivos de la entidad, hasta el 10 % de la cantidad total emitida al país.

² Se considera el cambio de CUP a USD de 10 CUP por un USD (Pacheco, 2010).

Variante II: costo de inversión con Grupo electrógeno de 66kW, que trabaje las 24 horas, con un consumo de 39 m³/h: \$ 283 000,00

Por los indicadores físicos se puede ahorrar anualmente con la producción de biogás 441,494 $Mw/hora$, que representa un 8,47 % del consumo total. Por otra parte, para generar esta cantidad se necesitan 88,3 toneladas de *fuel oil*.

Si la empresa paga 226 CUP el MW, entonces el ahorro sería de 99 777,6 CUP o 9 977 USD.

$$283\ 000 - (9\ 977 - 7\ 178)/(1,06)^n$$

$$283\ 000 - 2\ 799/(1,06)^n$$

El plazo de recuperación sobrepasa los 30 años.

Variante III: cogeneración

Partiendo de la generación máxima y media que se puede lograr 395 y 180 MWh y considerando el precio del MWh se puede ahorrar 89 270CUP/año y 40 680 CUP/año, respectivamente.

Costo de Inversión:

- Caldera: 360 000 USD
- Turbina: 15 000 USD
- Proyecto: 70 000 CUP

Lo anterior solo cubriría el 40 %, por tanto para el 100 % se haría necesario 937 000 USD. Entonces el plazo de recuperación sería demasiado alto por lo cual se rechaza esta variante. Al analizar las tres variantes, resulta la variante I de mayor rentabilidad.

Conclusiones

- 1. La cantidad de residuos en la cervecería, particularmente el bagazo de la cebada, es posible utilizarlo para lograr disminuir un 10 % del consumo energético de la entidad.**
- 2. El ahorro de combustible que esta nueva tecnología genera es superior casi cuatro veces al costo que recauda la cervecería por la venta de este residual.**
- 3. Analizando las tres variantes, se llega a la conclusión que la variante I es la más rentable: utilizar el biogás para las calderas. La inversión se recupera en tres años.**

-
4. *El uso de esta energía renovable disminuye la emisión de gases a la atmósfera, tales como el dióxido de carbono (CO₂); contribuyendo así al cuidado del medio ambiente; aspecto fundamental de esta investigación.*

Referencias bibliográficas

1. Azqueta, D. (2001). *Introducción a la economía ambiental*. Universidad de Alcalá, España.
2. Arias Lafargue, T.; Reyes Yola, O.; Crespo Sariol, H. (2012). Opciones de prácticas de producción más limpias para la producción de cervezas y alcoholes en Santiago de Cuba. *Revista Tecnología Química*, 32(1), 83-89.
3. Chernicharo, C.; Lemus, A. (2007). Principios do Tratamento biológico de agua resituarias. (volumen 5, 2^{da} edición). Belo Horizonte, Brasil: Editora UFMG.
4. Drummond, M. F.; Stoddart, G. L.; Torrancés, G. W. (1991). *Método para la evaluación económica de los programas energéticos*. Universidad de Oxford, UK.
5. Fonte Martínez, A. *et al.* (2010). Caracterización y tratamiento de residuales líquidos de una fábrica de cerveza. Delegación CITMA Camagüey. Universidad de Camagüey. CETER. ISPJAE.
6. Sandoval, N. (2009). Nueva fuente de energía. *Revista Mundo ejecutivo*, pp. 82-83.
7. Pacheco, U. (2010). La competitividad de Empresas Cubana. Tesis doctoral en opción al título de Doctor en Ciencias Económicas. Universidad de Oriente, Cuba.
8. Recio Recio, A. A.; Martínez, R. (2010). Energetic use of the biogas from de wastes of the Brewery Hatuey in Santiago de Cuba. *Congreso Científico Internacional del Centro Nacional de Investigaciones Científicas*. ISBN 978-959-16-1246-5. XV
9. Romagosa Vila, J. A. (2011). Subproductos de la industria cervecera en la alimentación del ganado. *Hojas divulgadoras*, Núm. 15-79 HD. Recuperado el 24 de noviembre de 2016, de http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/biblioteca-virtual/hojas-divulgadoras/hojas_autor.asp?autorid=zz0027549&autor=romagosa%20vila,%20jos%e9%20antonio.