

ANÁLISIS DE CARGAS AMBIENTALES NETAS POR VALORIZACIÓN DEL SUBPRODUCTO CO₂ EN UNA BIORREFINERÍA DE MAÍZ

Schein L.⁴, Hilbert J.¹, Carballo S.³, Galbusera S.², Dantur A.⁵,
Galban M.J.⁶, Manosalva J.¹, Michard N.³

1. Inst. de Ing. Rural INTA

2. Consultor INTEASA

3. Inst. Clima y Agua INTA

4. Univ. Nac de Lujan

5. ACABIO

6. Univ. Nac. Villa María

Rutas 5 y 7 Universidad Nacional de Luján (Luján B)

Dpto Cs. Básicas-11-15-2156-8650 leila.schein@gmail.com

Resumen:

En el marco de la realización de un estudio integral de desempeño ambiental, huella de carbono, hídrica y tasa de retorno energética del proceso de biorrefinación de maíz, se desarrolló un modelo integral de la manufactura de productos y co-productos de la biorrefinería. El objetivo es desarrollar particularmente el análisis desempeño ambiental de la operación de la planta, considerando cuantitativamente la contribución de la valorización de un residuo del proceso en un co-producto que se constituye como insumo industrial del proceso de producción de bebidas gaseosa carbonatada. El modelo base fue desarrollado mediante una serie de hojas de cálculo en planilla Excel, con tablas dinámicas. En el mismo se consideraron todos los insumos materiales y energéticos del proceso central de la planta (la producción de bioetanol de maíz) identificado cada subproducto de interés, constituyendo la familia de co-productos del mix de salidas de la biorrefinación del maíz. Los resultados arrojaron que las emisiones “evitadas” por no producir CO₂ a partir de Gas Natural y reemplazarlo con el CO₂ proveniente de la fermentación de maíz son de 1,19 kgCO₂eq/Kg CO₂ purificado, lo cual multiplicado por la producción del periodo considerado de 11.442 Tn CO₂ purificado, da un “ahorro” estimado de 13.588 tnCO₂eq. Equivalente al 12% de las emisiones de la planta integrada completa. Si bien los resultados obtenidos permiten corroborar el efecto positivo de la mejora del desempeño ambiental del sistema de producción integrado, es necesario desarrollar escenarios alternativos teniendo en cuenta la sensibilidad de los datos ingresados al sistema, su representatividad territorial y consistencia temporal, para contextualizar y comprender el impacto real de los resultados obtenidos.

Palabras claves: enfoque de ciclo de vida, expansión de sistemas, co-productos, valorización residuos

Abstract

An integral study of environmental performance, carbon footprint, water and energy return rate of the maize biorefining process was performed, and an integral model of the manufacture of products and co-products of the biorefinery was developed. The objective was to analyze quantitatively the environmental performance of the plant's operation, considering the contribution of the recovery of a process residue in a co-product that is constituted as an industrial input of the production process of carbonated soft drinks. The base model was developed through a series of spreadsheets in Excel, with dynamic tables. In which all the material and energy inputs of the central process (the production of maize bioethanol) identified each byproduct of interest, constituting the family of co-products of the mix of maize biorefining outputs. The results showed that the "avoided" emissions for not producing CO₂ from Natural Gas and replacing it with CO₂ from the fermentation of maize are 1.19 kgCO₂eq / kg purified CO₂, which multiplied by the production of the period considered 11.442 Tn CO₂ purified, gives an estimated "saving" of 13,588 tnCO₂eq. Equivalent to 12% of the emissions of the complete integrated plant. Although the obtained results corroborate the positive effect of improving the environmental performance of the integrated production system, it is necessary to develop alternative scenarios taking into account the sensitivity of the data entered into the system, its territorial representativeness and temporal consistency, to contextualize and understand the actual impact of the results obtained.

Keywords: life cycling thinking, system expansion, co-product, waste recovery

Introducción

En el marco de la realización de un estudio integral de desempeño ambiental, huella de carbono, hídrica y tasa de retorno energética del proceso de biorrefinación de maíz, se desarrolló un modelo integral de la manufactura de productos y co-productos de la biorrefinería. El objetivo del presente trabajo es desarrollar particularmente el desempeño ambiental de la operación de la planta, considerando cuantitativamente la contribución de la valorización de un residuo del proceso en un co-producto que, debidamente acondicionado, alcanza grado alimenticio y se constituye como insumo industrial del proceso de producción de bebidas gaseosa carbonatada.

Para poder abordar integralmente la cuestión, a menudo polémica, de la sustentabilidad de la industria de los biocombustibles, es necesario ampliar los límites del sistema a analizar. Comprender, desde una perspectiva sistémica, los flujos de intercambio del proceso de producción de bioetanol, con el ambiente natural (consumo de recursos, energía y producción de emisiones y efluentes) y el ambiente construido (productos, co-productos y residuos). En ese sentido, a continuación se ofrece un breve panorama, con enfoque de ciclo de vida, del proceso de obtención de bioetanol de maíz actualmente en Argentina, en el caso de estudio.

El maíz es el segundo cultivo más importante de la Argentina luego de la soja, con una participación del 24% de la producción total de granos del país. Pero, puesto que el costo de producción del maíz es más elevado que el de la soja, desde 1997 se viene verificando un gran crecimiento del área sembrada con soja, alcanzándose una relación de casi 4 hectáreas de soja por una de maíz. En los últimos tiempos se ha trabajado para compensar este desequilibrio, promoviendo cultivos de cobertura y adecuadas rotaciones se plantean como alternativas de crecimiento más sustentable, involucrando directamente al cultivo de interés de este estudio.

Asimismo, más allá de la etapa agrícola del proceso, es importante hacer una lectura de la actividad en el contexto de la producción de energías renovables, y el paradigma que de ello se desprende, considerando el producto final obtenido y su desempeño. En el caso del bioetanol, su utilización como mezcla de combustible, desplaza la emisión de combustibles fósiles de origen no renovable para el desempeño como vector energético. Asimismo, y entre otras de las conocidas ventajas de las energías renovables, la moderna bioenergía permite obtener una diversidad de beneficios y servicios ambientales al mismo tiempo que incrementar las oportunidades de empleo y crecimiento económico, a partir del agregado de valor a la tradicional producción agrícola característica de la región.

En la cadena de transformación de los biocombustibles tanto de primera como de segunda generación los co-productos en la cadena de producción de los biocombustibles constituyen un punto clave que hace a la sustentabilidad económica de este tipo de proyectos. De acuerdo a sus características pueden hasta quintuplicar el valor de la energía relativa del sistema. Por esta razón, este tipo de industrias transformadoras se conciben hoy en día como biorefinerías (refinerías de biomasa) con la flexibilidad de operar ajustando la composición porcentual de producto/coprodutos en función de la dinámica de los mercados subsidiarios de su operación.

Los co-productos de este sistema son: los granos secos de destilaría con solubles (DDGS), que consisten en el grano de maíz sin el almidón separados durante el proceso

de fermentación para la obtención del etanol. Los DDGS son un alimento de alto valor nutritivo para la industria ganadera. La producción teórica anual de DDGS es de 140.000 toneladas de alimento animal de alto contenido proteico. El mismo puede ser incorporado en la dieta de los animales bovino, porcinos y aves. Actualmente se lo comercializa en dos presentaciones de producto con distinto contenido de humedad final y por ende con diferentes tiempos de conservación a temperatura ambiente, cuyas siglas comercialmente son conocidas como WDGS o burlanda húmeda (65% de humedad) y DDGS (11% de humedad).

Asimismo, y siendo en el caso particular de este trabajo, el CO₂ obtenido de la fermentación, con el debido tratamiento que se describe a continuación, es también factible de ser insertado en el mercado como un producto de alto valor y demanda constante, que mejora sustancialmente la ecuación económica de la operación de la planta integrada.

De esta forma, la modificación de la regla de corte de bioetanol en naftas, o alteraciones en el valor de la proteína para nutrición animal, de acuerdo al ritmo de la demanda, o mismo las eventuales variaciones de la demanda industrial de gas carbónico, son factores que pueden afectar la orientación de la producción de la planta. Esta extraordinaria flexibilidad en la administración del mix de productos, de alguna forma garantiza la rentabilidad del conjunto.

Por otra parte, y para realizar una consideración general de todos los aspectos vinculados al sistema productivo de interés, el bioetanol de maíz ha sido particularmente cuestionado por su balances energéticos, el costo de oportunidad del uso del suelo (la eventual competencia con la producción de alimento) y los impactos ambientales de la producción agrícola para fines energéticos. Por todas estas razones, se impulsó la realización de una serie de estudios, que todavía hoy se encuentra vigente, tendientes a lograr el análisis de sustentabilidad integral de la producción actual de biocombustibles argentinos.

Materiales y métodos

Para plasmar las variables presentadas en la introducción, nos remitiremos a aquellas decisiones en la conformación del calculador global de la operación de la biorrefinería, en las que se involucran los co-productos, entre ellos la captura de la emisión de CO₂ y su posterior tratamiento para valorizarse como insumo de la industria alimenticia.

El modelo base fue desarrollado mediante una serie de hojas de cálculo en planilla Excel, con tablas dinámicas. En el mismo se consideraron todos los insumos materiales y energéticos del proceso central de la planta (la producción de bioetanol de maíz) identificado claramente cuando y como se alcanza la instancia de separación de cada subproducto de interés, constituyendo la familia de co-productos del mix de salidas de la biorrefinación del maíz. En particular para representar las particularidades de este proceso, se realizó el cálculo de los porcentajes de asignación de entradas por co-productos según los criterios de masa, energía y económicos. De esta forma, logra sobreponerse a un posible sesgo o distorsión de la asignación de cargas ambientales, sea por las relaciones de masa, sus propiedades energéticas o la inestabilidad de precios de mercado de nutrición animal. Si bien el estudio no prioriza un tipo especial de asignación (cumpliendo con las principales recomendaciones de la literatura científica y normativa al respecto), presentando los resultados en los diversos tipos de asignación permite una perspectiva integral de su variabilidad en cada criterio.

El proceso evaluado comprende una planta anexa, de recuperación y purificación del dióxido de carbono neutro proveniente de los procesos de fermentación. El CO₂ gaseoso o gas bruto proveniente del lavador de ACABIO ingresa en un pre-enfriador donde se enfría y reduce su contenido de agua antes de la compresión. Para el enfriamiento en el pre-enfriador se utiliza amoníaco líquido (NH₃) que luego de enfriar los gases se evapora y vuelve al circuito de refrigeración. El gas CO₂ se comprime, luego se enfría, se deshidrata, se seca y elimina cualquier rastro potencial de compuestos oxigenados como los aldehídos.

Después de atravesar el deshidratador el gas CO₂ ingresa en un intercambiador de calor, luego se lava la corriente de CO₂ gaseoso con CO₂ líquido puro y se eliminan todas las impurezas. Luego de atravesar el Lavador, la corriente atraviesa un filtro de carbón activado regenerable que elimina los restantes compuestos oxigenados, como también acetaldehídos, DMS, hidrocarburos aromáticos, H₂S, COS y CS₂. Esta corriente de CO₂ gaseoso de Producción ingresa a un condensador, donde se lo enfría a -25°C, produciéndose el cambio de fase, es decir el CO₂ gaseoso se licua y se transforma en CO₂ líquido.

De esta forma, el CO₂ se acondiciona a grado alimenticio para ser utilizado como insumo de la industria de bebidas gaseosas, como gas carbónico.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el análisis integral de la potencialidad real de mitigación de impactos ambientales negativos en la biorrefinación de maíz, debe incluir una evaluación sistémica que involucre las cargas ambientales de los co-productos del proceso y sus funciones, desplazando los productos convencionales cuyas funciones reemplaza.

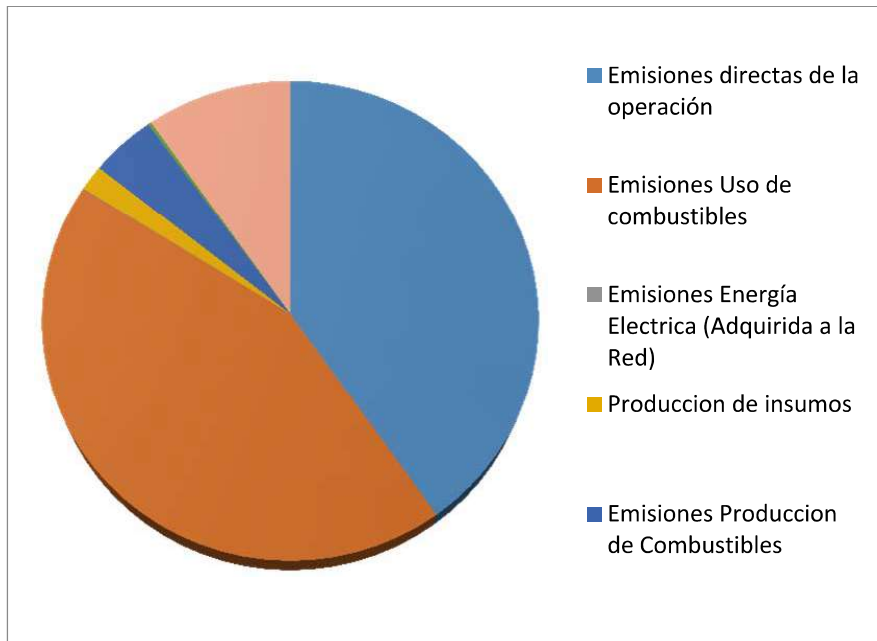
En el caso del CO₂, el análisis se basa en el reemplazo del CO₂ purificado en la planta y proveniente de biomasa, respecto de la producción de CO₂ a partir de la combustión de gas natural. Se asume que todo el CO₂ se libera pero, en el caso de la combustión del gas natural (método habitual para la obtención de CO₂), es una emisión neta a la atmosfera, y en el caso de la fermentación del maíz, al provenir de una fuente renovable no se consideran emisiones de GEIs, excepto las utilizadas para purificar el CO₂.

Para estimar las emisiones de la producción convencional de CO₂, a través de la combustión de Gas Natural, se han utilizado las producciones anuales, y los consumos de gas natural y energía eléctrica. En el caso de la electricidad generada por la turbina, no se han contemplado emisiones, ya que las mismas se encuentran calculadas en la quema del gas natural, y en el caso de la energía eléctrica comprada a la red se contempla el factor de emisión correspondiente. Respecto a los insumos utilizados para purificar el CO₂, en la primera instancia de realización del modelo, no se han identificado factores de emisión para la producción de los mismos, por lo cual se consideraron nulas. Actualmente, el equipo de trabajo se encuentra desarrollando esta misma comparación involucrando bases de datos de ciclo de vida, con el objetivo de realizar una comparación más integral y en múltiples categorías de impacto, para la que sí existen factores. Igualmente, el orden de magnitud de la producción de los insumos sería sensiblemente bajo respecto a la quema del gas natural (0,3 %). Por su parte, la planta de tratamiento se consideró "aeróbica" con lo cual no tiene emisiones de GEIs. Con los datos de operación se calculó la emisión de GEIs por unidad de CO₂ producido en la planta de Gas Natural.

Resultados y Discusión

Para el periodo julio 2015 a junio 2016, se produjeron 5.000 tn de CO₂ con una emisión estimada de 6.792 tn CO₂eq, lo cual da un promedio de 1,36 kgCO₂eq/kgCO₂ producido. Luego se procedió a estimar las emisiones de la planta de purificación del CO₂ proveniente de la fermentación del maíz. Dado que la planta ya está en operación se utilizaron los consumos provistos por la empresa. Se consideró que la energía eléctrica se genera en ACABIO a partir de la misma planta de Co-generación. La planta produjo 11.442 tn CO₂ purificado con una emisión estimada de 1.956 tn CO₂eq, lo cual da un promedio de 0,17 kgsCO₂eq/kgCO₂ purificado. Finalmente las emisiones “evitadas” por no producir CO₂ a partir de Gas Natural y reemplazarlo con el CO₂ proveniente de la fermentación de maíz son de 1,19 kgCO₂eq/Kg CO₂ purificado, lo cual multiplicado por la producción del periodo considerado de 11.442 Tn CO₂ purificado, da un “ahorro” estimado de 13.588 tnCO₂eq. Como puede observarse en la figura, esto representa aproximadamente el 12% de las emisiones estimadas para todas las operaciones de ACABio.

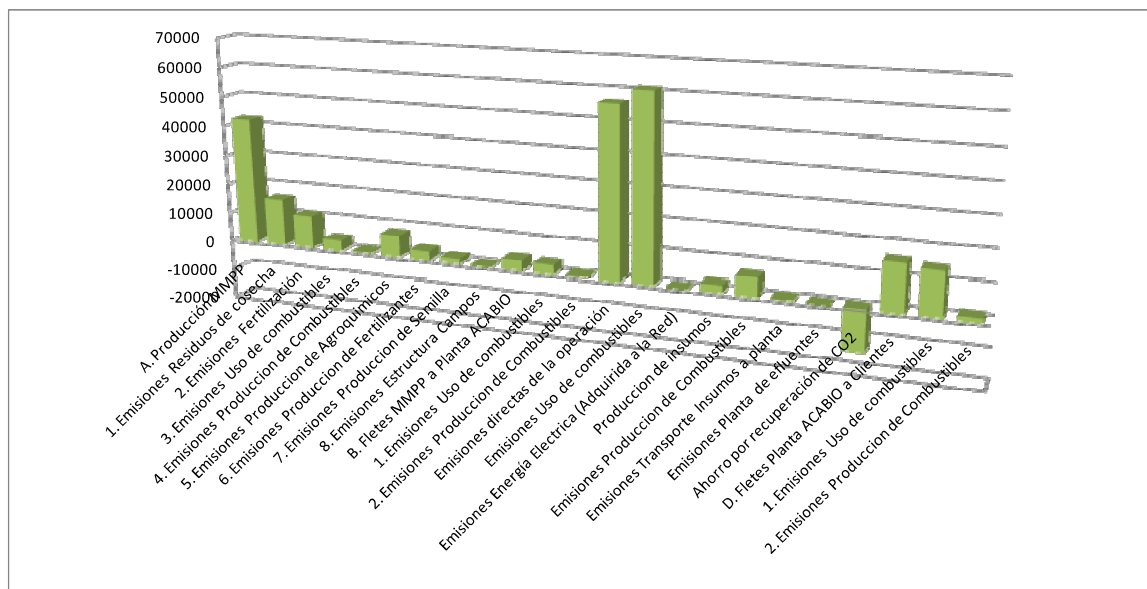
Figura 1: Distribución de la huella de carbono de la operación de la planta integrada ACABIO, período 2015/2016



El gráfico muestra la distribución de las emisiones de carbono asociadas a la obtención de bioetanol de la refinería, constituyendo, desde la perspectiva de ciclo de vida, un enfoque atribucional, que refleja las condiciones operativas reales del período considerado.

Más allá de las proporciones y en un plano más global, de la huella integral del bioetanol producido por ACABIO en el período 2015/2016, de la cuna al portal de distribución (puerto destino) el impacto de la recuperación de CO₂ se observa con claridad:

Figura 2: Valores totales de la huella de carbono de la operación de la planta integrada ACABIO, período 2015/2016, de la cuna al portal, expresados en KgCO₂eq



Se observa que el ahorro de emisiones por captura y revalorización de CO₂ es el único ítem con valor negativo, representando el único ahorro neto de emisiones. Asimismo se destaca que su magnitud supera los valores del 70% de las etapas del ciclo de vida.

Restaría evaluar un escenario, sin el supuesto de la compensación de emisiones GEI por carbono biogénico y observar diferencias puesto que es un criterio arbitrario y muy distorsionante, cuya reconsideración puede impactar notablemente en los resultados obtenidos.

Conclusiones

La existencia y funcionamiento operativo de plantas integradas como la evaluada, da cuenta del enorme potencial de las tecnologías y concepto productivo de la biorrefinería para la mitigación de impactos ambientales a partir del aprovechamiento y valorización de co-productos recuperados de residuos o emisiones del proceso.

Las mejoras en las tecnologías ligadas a la bioenergía en toda la cadena de producción y transformación están produciendo impactos económicos, ambientales y sociales positivos. Los mismos, como en todos los sistemas productivos, deben ser medidos y monitoreados en el tiempo, para identificar las variaciones dinámicas del sistema productivo y las alternativas eventualmente desplazadas, para asegurar la consistencia temporal de los impactos cuantificados.

En un mismo nivel de reflexión metodológica, es necesario realizar estudios de carácter sistémico pero con consideraciones sitio-específicas de manera de poder contemplar la afectación de pluriproducidos, plurimercados y multirequerimientos, y su comportamiento espacial.

La asignación de cargas por expansión de sistema, representando un enfoque consecuencial para valorización energética, material y, eventualmente, económica de co-productos en biorrefinerías, resulta adecuado para reflejar la complejidad del sistema evaluado. Asimismo, no se contrapone al manejo habitual de datos con una perspectiva atribucional.

Si bien los resultados obtenidos permiten corroborar el efecto positivo de la mejora del desempeño ambiental del sistema de producción integrado, es necesario desarrollar escenarios alternativos teniendo en cuenta la sensibilidad de los datos ingresados al sistema, su representatividad territorial y consistencia temporal, para contextualizar y comprender el impacto real de los resultados obtenidos.

Bibliografía:

Bare, J., Pennington, D., Udo de Haes, H. (1999). Life Cycle Impact Assessment Sophistication. International Workshop. Int. Journal of LCA, Vol 4, N° 5, pag. 299-306.

Bengtsson, G., Berglund, R. (1996). Life Cycle Assessments including the Working environment. Summary of methods and case studies. Molndal: IVF Swedish Institute of Production Engineering Research. (IVF Research Publication N° 95859). Boustead, J., Hanckock, (1979). Handbook of industrial analysis.

Brander, M. et al. Technical Paper | Consequential and Attributional Approaches to LCA: a Guide to Policy Makers with Specific Reference to Greenhouse Gas LCA of Biofuel- in Econometrica press 2008.

Elliot, M. et al Attributional and Consequential Life-cycle Assessment in Biofuels: a Review of Recent Literature in the Context of System Boundaries. Sustainable Renewable Energy Rep (2015) 2:82–89 DOI 10.1007/s40518-015-0034-9

Finnveden, G., Andersson-Skold, Y., Samuelsson, M-O, Zetterberg, L., Lindfors L-G (1992). Classification (impact analysis) in connection with life cycle assessments – preliminary study. In Product life cycle assessment – principles and methodology. Nord1992:9. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.

Flugge, M., J. Lewandrowski, J. Rosenfeld, C. Boland, T. Hendrickson, K. Jaglo, S. Kolansky, K. Moffroid, M. Riley-Gilbert, and D. Pape, 2017. A Life-Cycle Analysis of the Greenhouse Gas Emissions of CornBased Ethanol. Report prepared by ICF under USDA Contract No. AG-3142-D-16-0243. January 30, 2017.

Gallagher, P., G. Schamel, H. Shapouri and H. Brubaker, “The International Competitiveness of the U.S. Corn-Ethanol Industry,” *Agribusiness: An International Journal* 22(2006): 1-26.

LongwenO, Tristan R. Brown, Rajeeva Thilakarathne, Guiping Hu, R. Brow Techno-economic analysis of co-located corn grain and corn stover ethanol plants Biofuels bioproductos and biorefining Volume 8, Issue 3 May/June 2014 Pages 412–422

Panichelli Análisis de Ciclo de vida (ACV) de la producción de Bioetanol (B100) en Argentina — Año 2006.

<http://www.inta.gov.ar/iir/info/documentos/energia/panichelli2006.pdf>