

IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) COMO ESTRATEGIA PARA EVALUAR IMPACTOS AMBIENTALES EN LA INGENIERÍA

Lerma Avalos, Carlos Daniel (1), Vázquez Núñez, Édgar (2)

1 Licenciatura en Ingeniería Química Sustentable, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico:
lermaac2014@licifug.ugto.mx

2 Departamento de Ingenierías Química, Electrónica y Biomédica; División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: ed.vazquezn@gmail.com

Resumen

Se realizó el análisis de ciclo de vida (ACV) para la producción de bioetanol a partir de biomasa de pino, eucalipto, residuos de madera o bosque, maleza y melaza de sorgo, involucrando el mismo proceso de fabricación en todas. Para ello, se utilizó el software libre OpenLCA 1.7, la base de datos Agribalyse 1.2 y datos de diferentes referencias. Los resultados del análisis arrojaron que el eucalipto es la materia prima que mayor impacto genera durante su extracción, mientras que en segundo lugar se encuentra la melaza de sorgo. Las demás materias primas presentan un impacto no significativo comparado con las anteriormente mencionadas. En el proceso de producción, el mayor impacto registrado se tiene en la categoría de ecotoxicidad marina, mientras que presenta impactos positivos en otros aspectos como acidificación y eutrofización.

Abstract

A life cycle assessment was carried out for the production of bioethanol by using biomass from different raw materials: pine, eucalyptus, unmanaged hardwood, forest residues, switchgrass and sweet sorghum, including the same manufacturing process for all. It was used the free software OpenLCA 1.7, the database Agribalyse 1.2 and data from different references. The results obtained from the assesment confirm that the eucalyptus' biomass is the raw material with the highest environmental impact in all the analyzed categories. Another raw materials have no significant impact compared with the materials above. In the manufacturing process, the highest impact is produced for the category of marine ecotoxicity, as well, the process presented positive impacts on acidification and eutrophication.

Palabras Clave

Análisis de ciclo de vida; contaminación; calentamiento global; procesos industriales.

INTRODUCCIÓN

En los últimos ciento cincuenta años, la industria química ha tomado un papel muy importante en la historia de la sociedad humana ya que en ella se ha basado el desarrollo de la satisfacción de las necesidades básicas, tales como la producción a gran escala de alimentos, vestido y tecnología [1]. El conjunto de todas estas actividades industriales ha resultado en la introducción de cientos de contaminantes en el ambiente; el uso de energía se ha incrementado 16 veces en el siglo XX, provocando la emisión de 160 millones de toneladas de dióxido de azufre anualmente; la mayor contribución de nitrógeno fijado al suelo corresponde a los fertilizantes agrícolas; la quema de combustibles fósiles y la agricultura han causado aumentos sustanciales en las emisiones de gases de efecto invernadero, alcanzando sus niveles más altos en los últimos 400 milenios [2].

En vista de mitigar el impacto producido por los factores anteriormente mencionados, a partir de la mitad del siglo XX se comenzaron a desarrollar herramientas para el cálculo de los impactos ambientales generados por las diferentes actividades relacionadas a la industria; una de ellas es el análisis de ciclo de vida (ACV o LCA, por sus siglas en inglés). De acuerdo con la norma ISO 14040 [3], el ACV es la compilación y evaluación de las entradas, salidas y potenciales impactos ambientales de un sistema de producto a través de su ciclo de vida. El término “ciclo de vida” se refiere a las actividades principales involucradas en la duración de vida de un producto, que abarca desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final. En otras palabras, el ACV permite identificar las oportunidades de mejora de algún producto o proceso desde la perspectiva del menor impacto ambiental y el uso reducido de recursos a lo largo del ciclo de vida del producto evitando el desplazamiento de cargas ambientales a otras etapas del ciclo [4].

En este documento, se realiza el análisis de ciclo de vida de la producción de bioetanol a partir de diferentes materias primas, con el fin de tener una primera aproximación sobre qué proceso es el que genera mayor impacto hacia el ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ACV se llevó a cabo conforme al procedimiento marcado por las normas ISO 14040 y 14044, que establece los siguientes puntos para su ejecución:

Objetivo y Alcance

El objetivo del ACV realizado es la determinación del impacto ambiental debido a la producción de bioetanol, utilizando como posibles materias primas pino, eucalipto, residuos de bosque, residuos de madera, maleza y melaza de sorgo. La unidad funcional a analizar es la producción de una tonelada de bioetanol; los límites del sistema incluyen el cultivo de las materias primas y las actividades relacionadas al cultivo, y la producción del combustible (Imagen 1).

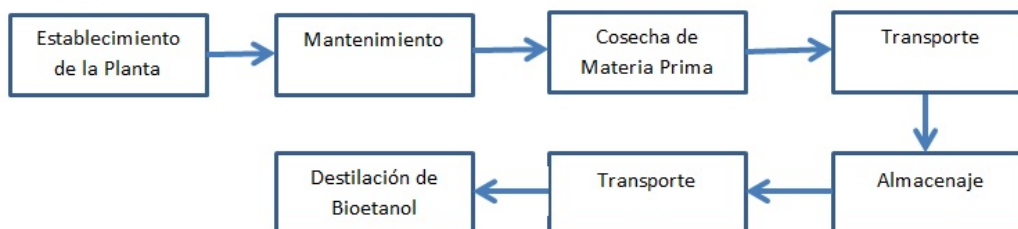


IMAGEN 1. Etapas del proceso y límites del sistema analizado (basado en [5]).

Análisis de Inventario y Condiciones de Ejecución de Análisis

Los datos de entrada al sistema se obtuvieron de [5] y [6]. Debido a las condiciones de las herramientas utilizadas, algunos datos registrados en las referencias fueron omitidos.

TABLA 1. Datos de entrada al sistema analizado.

	Pino	Eucalipto	Residuos de Madera	Residuos de Bosque	Maleza	Melaza de sorgo
Nivel de Producción de Materia Prima						
Recolección (lt Diesel/ton)	0	0	0	0.04	0	0
Establecimiento de la plantación (lt Diesel/ton)	0.65	1.85	0	0.45	0	0
Establecimiento de la plantación (lt Gasolina/ton)	0.03	0.09	0	6	2.95	0
Cosecha (lt Diesel/ton)	7.58	7.58	7.6	0	4.51	3.1
Almacenamiento (lt Diesel/ton)	0	0	0	0	0.6	0.84
Transporte del Bosque al Proceso (ton/km)	69	67	190	283	0	0
Transporte de la Granja al Almacenamiento (ton/km)	0	0	0	0	44	152
Transporte del Almacenamiento al Proceso (ton/km)	0	0	0	0	9.5	31
Fertilizante (kg/ton)	1.6	2.2	0	0.1	0	0
Urea (kg/ton)	0	0	0	0	1.2	2.57
Fósforo (kg/ton)	0	0	0	0	11.88	1.27
Abono con cal (kg/ton)	0	0	0	0	46.71	0
Nitrógeno (kg/ton)	0	0	0	0	6.36	0
Herbicida (kg/ton)	0.01	0.04	0	0.001	0	0
Glifosato (kg/ton)	0	0	0	0	1.77	0
Atrazina (kg/ton)	0	0	0	0	0.85	0.14
Dipel ES (kg/ton)	0	0	0	0	0	0.15
Nivel de Producción de Bioetanol						
Amoniaco (kg/ton)	18.197					
Concreto en planta (m ³ /ton)	0.0176					
Diesel [Uso General] (kg/ton)	6.5236					
Electricidad (MJ/ton)	1223.176					

Carbón (MJ/ton)	60.515
Cal (kg/ton)	4.764
Oxígeno p/Combustión (kg/ton)	21.244
Cloruro de Sodio (kg/ton)	2.373
Acero en planta (kg/ton)	27.682
Agua (m ³ /ton)	8.154

El software utilizado para realizar el análisis fue OpenLCA 1.7, la base de datos utilizada fue Agribalyse 1.2 y la metodología para la evaluación de los impactos fue *CML (baseline) [v4.4]*. Las categorías principales a analizar fueron:

- Acidificación (medido en equivalentes de kg de SO_2)
- Eutrofización (medido en equivalentes de kg de PO_4^{3-})
- Cambio climático (medido en equivalentes de kg de CO_2)
- Ecotoxicidad (terrestre, marina y acuática) [medidos en equivalentes de kg de 1,4-diclorobenceno (1,4-DCB)]
- Toxicidad en humanos (medido en equivalentes de kg de 1,4-DCB)
- Oxidación fotoquímica (medido en equivalentes de kg de etileno)

El cálculo de los impactos ambientales se realizó basado en aproximaciones hechas en Francia y el resto de Europa, debido a la falta de bases de datos con información sobre México [7]. Para el análisis, se considera que la fase de destilación para la obtención del bioetanol es la misma para todas las materias primas; en los cálculos no se consideran implicaciones económicas ni sociales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

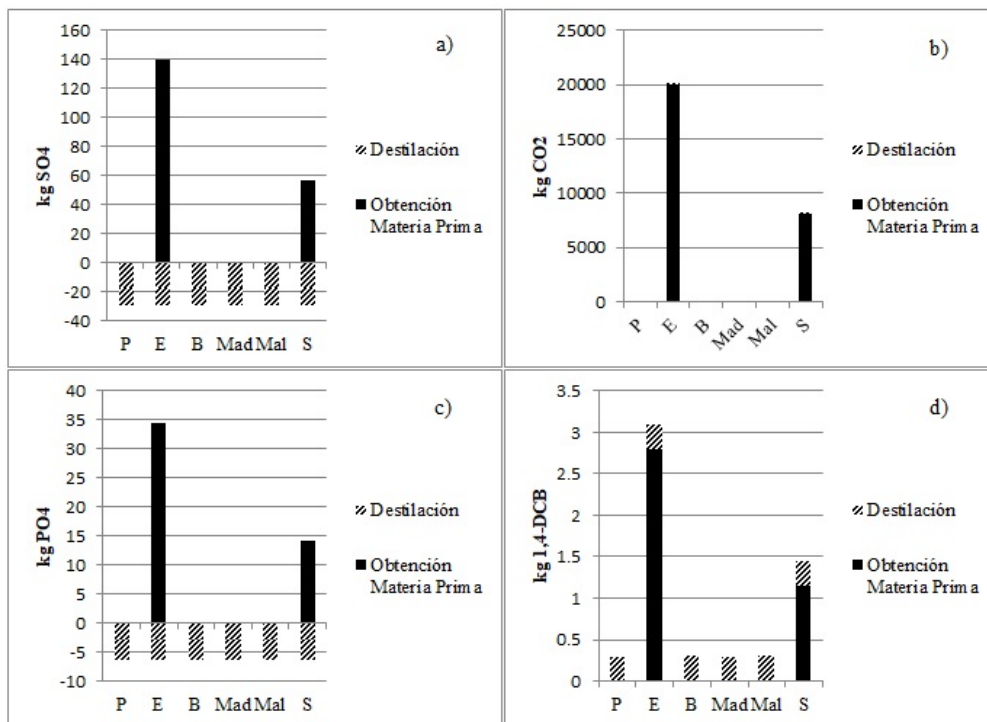
Los resultados obtenidos por la simulación se registraron en la Imagen 2. Es notorio que las materias primas que mayor impacto causan al ambiente, en todos los ámbitos estudiados, son el eucalipto y la melaza de sorgo y esto se da principalmente en el proceso de obtención de materia prima. Al analizar las entradas de estos dos sistemas, se observa que el eucalipto es la materia prima que mayor energía gasta en el establecimiento de la plantación, lo que nos lleva a suponer que el tratamiento que se le da al suelo es el principal causante de todos los impactos ambientales. Así también, la melaza de sorgo es la materia prima que más energía utiliza en el almacenamiento y la que más kilometraje recorre en el trayecto de la granja al almacenamiento y del almacenamiento al proceso. Por lo tanto, los impactos ambientales tienen una mayor influencia de los procesos que involucran combustibles. Esto se puede observar en las gráficas e) y f), donde el transporte de los residuos de bosque, y el establecimiento de la plantación y el almacenaje de la maleza generan leves impactos. Analizando las otras materias primas, la que genera el menor impacto al ambiente son los residuos de bosque, seguido por los residuos de madera, el pino y la maleza, respectivamente. Esto se debe a que los residuos de bosque no requieren un proceso de cosecha ni almacenamiento, por lo que sus impactos únicamente son provocados por efecto de la preparación del campo y el transporte. A pesar de ello, la diferencia del impacto entre estas materias primas no es tan considerable.

Analizando los impactos producidos por la destilación, se encuentra que tiene un impacto positivo en las categorías de acidificación y eutrofización, mientras que en la que se tuvo mayor impacto fue en la ecotoxicidad marina. Ulgiati menciona que se tiene que, por los procesos en conjunto, se emiten 2.15 g CO_2 por cada gramo de etanol producido (2.15 toneladas CO_2 por unidad funcional) [6]; esto es 10 veces menos a lo obtenido por la simulación en el peor de los casos considerados: el eucalipto. Esta diferencia se puede deber a que en el trabajo referenciado no se está realizando un ACV, por lo que las consideraciones en los cálculos pueden variar.

CONCLUSIONES

En este artículo, se presentó, con un ejemplo práctico, cómo el análisis de ciclo de vida es una herramienta de referencia en la comparación de impactos ambientales generados por procesos industriales y es una buena alternativa para complementar la toma de decisiones en un proyecto. Los resultados presentados mostraron que, para la fabricación de bioetanol, el uso de eucalipto como materia prima implica un enorme impacto en el ambiente, mayor incluso que el de un proceso completo de producción de biocombustible a partir de otras materias primas. Así también, se tiene como posibles alternativas a este proceso el uso de pino, maleza o residuos de madera o bosque como posibles materias primas para el proceso. Mientras tanto, el proceso de fabricación del bioetanol tiene impactos positivos o poco considerables en el ambiente.

Como posibles alcances de este tipo de investigaciones se encuentra realizar una aproximación a partir de datos y cálculos localizados en México, así como encontrar nuevas fuentes de materia prima a analizar y extender los límites de ciclo de vida del combustible analizado: realizar el estudio una vez que el combustible sea consumido.



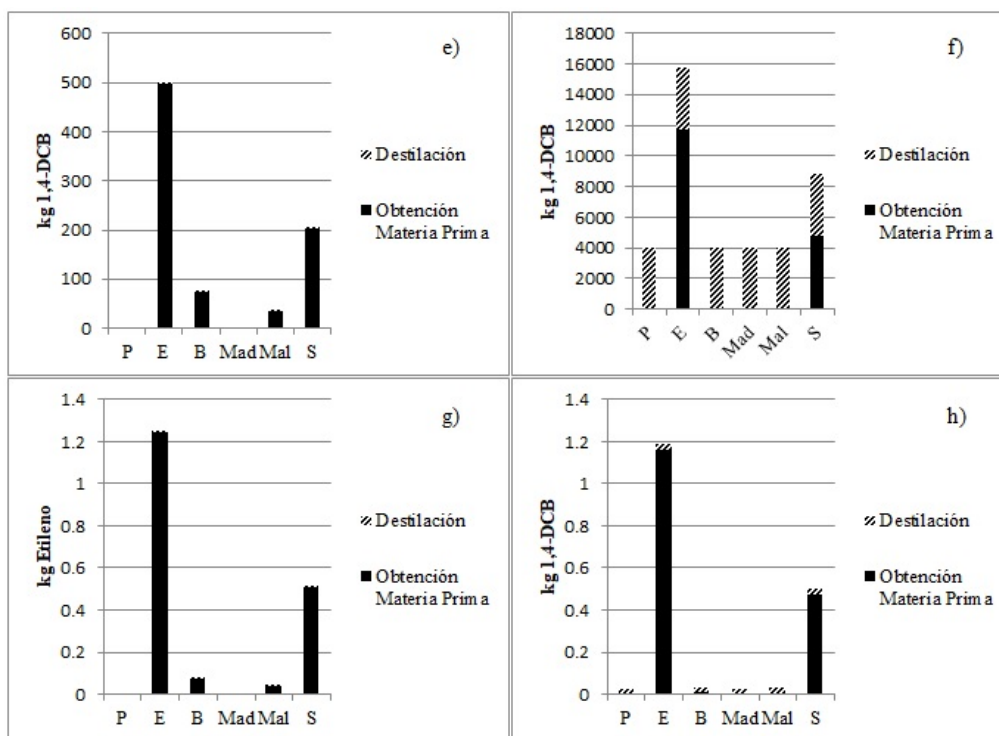


IMAGEN 2: Resultados de la evaluación del inventario de ciclo de vida para las siguientes categorías: a) Acidificación; b) Cambio Climático; c) Eutrofización; d) Ecotoxicidad Acuática; e) Toxicidad en Humanos; f) Ecotoxicidad Marina; g) Oxidación Fotocatalítica; h) Ecotoxicidad Terrestre. (P: Pino. E: Eucalipto. B: Residuos de Bosque. Mad: Residuos de Madera. Mal: Maleza. S: Melaza de Sorgo).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Coordinación de Veranos de Investigación de la Universidad de Guanajuato por el apoyo económico otorgado.

REFERENCIAS

- [1]. Bakshi, B. R. (2014). Methods and tools for sustainable process design. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 6, 69–74.
- [2]. Crutzen, P.J. (2002). Geology of mankind. *Nature*, 415, 23.
- [3]. International Organization for Standardization. (2006). ISO 14040-Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. International Organization for Standardization, 3, 20.
- [4]. Menoufi, K. A. I. (2011). Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: State of the art. Masters Thesis, 10. Recuperado el 20 de junio de 2018 de <http://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/45831/Ali.pdf?sequence=2>
- [5]. Daystar, J., Gonzalez, R., Reeb, C., Venditti, R., Treasure, T., Abt, R., & Kelley, S. (2014). Economics, environmental impacts, and supply chain analysis of cellulosic biomass for biofuels in the southern us: Pine, eucalyptus, unmanaged hardwoods, forest residues, switchgrass, and sweet sorghum, *BioResources*, 9(1), 393-444.
- [6]. Ulgiati, S. (2016). Critical Reviews in Plant Sciences. A Comprehensive Energy and Economic Assessment of Biofuels : When “ Green ” Is Not Enough A Comprehensive Energy and Economic Assessment of Biofuels : When “ Green ” Is Not Enough, 2689(June), 37–41.
- [7]. García, C. A., Fuentes, A., Hennecke, A., Riegelhaupt, E., Manzini, F., & Masera, O. (2011). Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico. *Applied Energy*, 88(6), 2088–2097.”