

04-048

REVIEW OF THE APPLICATION OF THE LIFE CYCLE ASSESSMENT AT SUGAR INDUSTRY

Cedano-de-León, Diana C. ⁽¹⁾; *Bastante-Ceca, M^a José* ⁽²⁾; *Viñoles-Cebolla, Rosario* ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ingenierías. Universidad Central del Este, ⁽²⁾ GIDDP. Universitat Politècnica de València.

Life Cycle Assessment (LCA) is a methodology used to study, analyze and determine the environmental aspects and impacts that could affect the environment and cause harmful effects on the human beings associated to the life cycle of a product or process. Due to the interest of the sugar industry and its importance for the economy of the producer countries (since it represents a dynamic source based on a social, economic and political nature), it appears logical and even a justifiable trend from the point of view of strategy, the development and application of environmental improvement techniques in the transformation of sugarcane process and its production processes. This will allow to improve the efficiency in the use of natural resources and will increase their economic impact. This paper presents a review of the application of the LCA to the sugar industry. This implementation will allow obtaining data; its subsequent analysis will determine the environmental problems of the industry at all stages of the process by identifying opportunities to improve the environmental performance of products in the different stages of their life cycle and then proceed to propose sustainable improvements.

Keywords: life cycle assessment; LCA; sugar industry; sugar cane

REVISIÓN DE LA APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA A LA INDUSTRIA AZUCARERA

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología que se utiliza para estudiar, analizar y determinar los aspectos e impactos ambientales que pudieran afectar al medio ambiente y provocar efectos nocivos en el ser humano asociados al ciclo de vida de un producto o un proceso. Debido al interés que tiene la industria azucarera y su importancia para la economía de los países productores (ya que representa una fuente dinámica basada en carácter social, económico y político), resulta una tendencia lógica y hasta justificable desde el punto de vista de estrategia, el desarrollo y la aplicación de técnicas de mejoras ambientales en la transformación de la caña de azúcar y sus procesos productivos para lograr una mayor eficiencia en la utilización de los recursos naturales e incrementar el impacto económico. Esta ponencia presenta una revisión de la aplicación de las técnicas del ACV a la industria azucarera, cuya ejecución permitirá la obtención de datos y su posterior análisis determinando los problemas ambientales de la industria en todas las etapas del proceso, identificando oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de los productos en las distintas etapas del ciclo de vida de cara a proponer mejoras sostenibles.

Palabras clave: análisis de ciclo de vida; ACV; sector azucarero; caña de azúcar

Correspondencia: María José Bastante Ceca mabasce1@dpi.upv.es



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

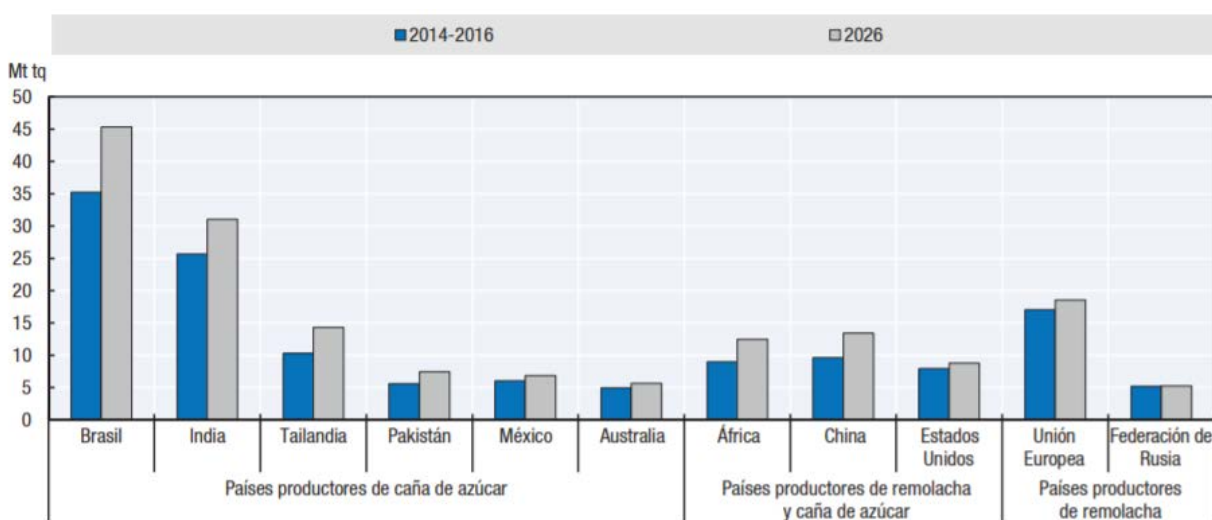
La industria azucarera es un sector económico productivo que se dedica a la plantación, cosecha y procesamiento de la caña de azúcar siendo este de suma importancia para el desarrollo y la economía mundial por ser el azúcar uno de los productos más usados y con más aplicaciones en los diferentes entornos en que se desenvuelve la vida.

Según la International Sugar Organization (ISO) en promedio, la caña de azúcar representa el origen de casi el 80% de la producción mundial de azúcar. Los 10 principales países productores de caña de azúcar (India, Brasil, Tailandia, China, Estados Unidos, México, Rusia, Pakistán, Francia y Australia) representaron casi el 70% de la producción mundial del 2018 (International Sugar Organization, 2018).

Entre 2001 y 2018, el consumo mundial de azúcar aumentó de 123.454 millones de toneladas a 172.441 millones de toneladas, lo que equivale a un crecimiento anual medio del 2,01% (ISO, 2018). Sin embargo, la segunda mitad de la década actual ha visto una desaceleración considerable en el crecimiento del consumo mundial de azúcar a menos del 0,84% anual (promedio para 2016-2018), mientras que en 2018 no ha habido ningún crecimiento (International Sugar Organization, 2018).

En la figura 1 se puede visualizar una proyección realizada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) donde se estima que la producción mundial de azúcar crecerá 1,7% al año para llegar a 210Mt en 2026, lo que representa un aumento de alrededor de 41Mt, un 24% por encima del promedio del periodo base (2014-2016). Se espera que ocurran mayores incrementos en los países en desarrollo (79% de la producción mundial de azúcar en 2026 en comparación con 76% durante el periodo base) (OCDE/FAO, 2017).

Figura 1: Producción Mundial del azúcar. Fuente: OCDE/FAO 2017.



Los cambios demográficos, los ingresos y el crecimiento de la población urbana generaron un creciente consumo de productos procesados, productos de confitería ricos en azúcar y refrescos a costa del uso directo de azúcar esperando que el nivel promedio mundial de consumo per cápita aumente de 22,9 kg/cap durante el periodo base a 24,8 kg/cap (OCDE/FAO, 2017).

En la actualidad la industria azucarera es uno de los pilares de la economía de República Dominicana representado el 0,2 % del PIB nominal por ser el azúcar uno de los productos más consumido del país (Banco Central de la Republica Dominicana, 2018).

En la República Dominicana la producción de azúcar en 2018 decreció en unas 70.459 toneladas métricas, un 13%, al producir 545.515 toneladas métricas, en comparación con la cifra anterior de 615.974 toneladas métricas (INAZUCAR, 2018).

De la cantidad producida en esta molienda 395,305 toneladas corresponden al tipo crema o crudo, mientras que las 150.210 toneladas restantes corresponden al tipo refino (INAZUCAR, 2018).

En la República Dominicana a las diferentes industrias del sector azucarero se le conocen como ingenios y actualmente existen 4 activas en el país: Central Romana, Cristóbal Colon, Barahona y Porvenir. En la tabla 1 se puede visualizar que, del total de azúcar recolectada en el periodo 2018-2019, el ingenio Central Romana obtuvo 319.440 toneladas (58%) de las cuáles 145.589 toneladas son de azúcar refino seguida por el Ingenio Cristóbal Colón con 142.893 toneladas (26%), incluyendo 4.621 toneladas de azúcar refino; Barahona participó con 63.604 toneladas (12%) y por último el Ingenio Porvenir con 19.578 toneladas, suponiendo el 4%, en su producción (INAZUCAR, 2018).

Tabla 1: Producción de azúcar por ingenios en la República Dominicana. Fuente: INAZUCAR 2018.

INGENIOS	PRODUCCIÓN DE AZUCAR								
	2018-2019			2017-2018			Diferencia		
	Crema	Refino	Total	Crema	Refino	Total	Crema	Refino	Total
Central Romana	173.851	145,589	319.440	218.566	170.918	389.484	-44.715	-25.329	-70.044
Cristóbal Colon	138.272	4621	142.893	147.784	809	148.593	-9.512	3.812	-5.700
Barahona	63.604	----	63.604	48.946	----	48.946	14.658	0	14.658
Porvenir	19.578	----	19.578	28.951	----	28.951	-9.373	0	-9.373
Totales:	395.305	150.210	545.515	444.247	171.727	589.974	-48.942	-21.517	-70.459

La creciente preocupación por los efectos del consumo excesivo de azúcar para la salud ha ocasionado que algunos países apliquen impuestos a las bebidas azucaradas, con miras a reducir su consumo (OCDE-FAO, 2017).

La industria azucarera genera diferentes subproductos en la fabricación del azúcar y algunos de estos en menor cantidad se utilizan como recurso de entradas en otras industrias. En esta también se pueden encontrar una serie de problemas como son: generación de efluentes líquidos, desechos sólidos no peligrosos, manejo de materiales peligrosos, emisiones atmosférica, generación de ruido y polvo que están relacionados con las diferentes etapas de la fabricación del azúcar como son: la cosecha, el cultivo, los molinos, evaporación, clarificación, entre otros y estos generan residuos (INAZUCAR, 2018).

En los últimos años, y debido a los diferentes usos que ha tenido el azúcar como producto terminado del sector azucarero se ha visto necesaria la aplicación de diferentes herramientas, métodos, técnicas de gestión y valorización de residuos para lograr minimizar los impactos ambientales y lograr la mayor eficiencia en los ingenios azucareros.

Una de estas herramientas que puede ser de uso vital e importante en los ingenios azucareros es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), utilizado como un método importante e integral que

evalúa de forma sistemática los aspectos e impactos ambientales de los sistemas del producto, desde la adquisición de la materia prima hasta la disposición final siempre y cuando esté definido en el alcance y de acuerdo con el objetivo establecido (AENOR, 2006a).

En el ingenio azucarero, el análisis de ciclo de vida (ACV) puede tener diferentes enfoques o aplicaciones en el ámbito interno y externo que pueden ayudar a mejorar los problemas ambientales.

Este artículo tiene como propósito analizar la viabilidad de la aplicación de la técnica de ACV al sector azucarero, haciendo una revisión bibliográfica de la literatura científica existente sobre la aplicación de esta herramienta al sector azucarero.

2. Objetivos

Para alcanzar el objetivo principal, se proponen una serie de objetivos parciales, los cuáles se describen a continuación:

- Revisar la aplicación de las técnicas del análisis del ciclo de vida en sector azucarero.
- Analizar las diferentes fuentes bibliográficas del análisis del ciclo de vida en el sector azucarero.

3. Marco Teórico

La definición de ACV provista por Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) es la siguiente: “Es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural” (Iglesias, 2005).

La norma UNE-EN ISO 14040 (Gestión Ambiental, Análisis del Ciclo de Vida, Principios y marco de referencia) define el Análisis de Ciclo de Vida como una técnica que trata los aspectos medioambientales y los impactos ambientales potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto mediante:

- La recopilación de un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema del producto (producto/proceso en estudio).
- La evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con las entradas y salidas identificadas en el inventario.
- La interpretación de los resultados de las fases de análisis de inventario y evaluación.

La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final (AENOR, 2006b).

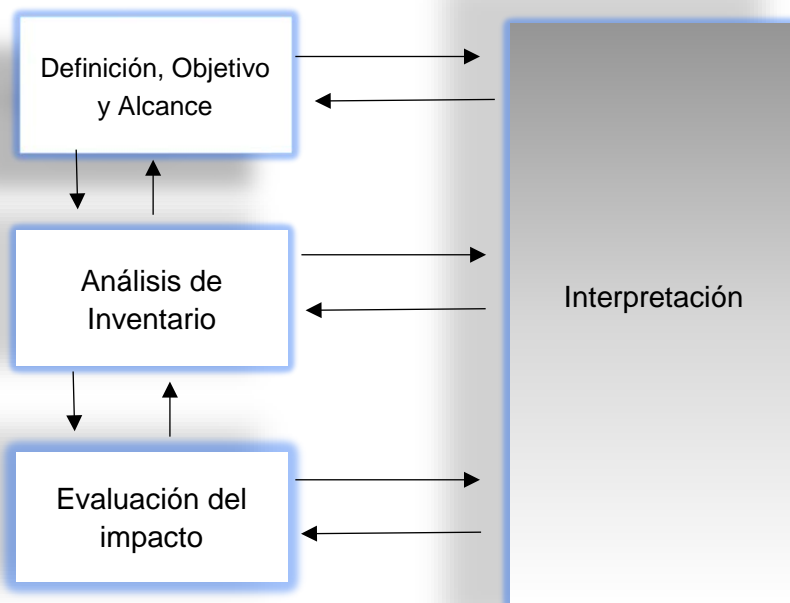
Según el World Wildlife Fund for Nature (2011), “el ACV tiene como propósito identificar, cualificar y cuantificar los impactos que se generan en el medio ambiente durante todas las fases de existencia de un elemento y de esta manera obtener información lo más transparente y veraz posible sobre la calidad ambiental, para no dañarlo o perjudicarlo lo menos posible.”

El ACV de un producto o proceso consta de cuatro etapas interrelacionadas (AENOR, 2006a):

1. La definición de objetivos y alcance, donde se establecen la finalidad del estudio, los límites del sistema, los datos necesarios, las hipótesis y los límites del análisis.

2. El inventario, una cuantificación de todos los flujos de materiales y de energía que alimentan el sistema productivo, y todos los flujos salientes (productos, subproductos, emisiones gaseosas, líquidas y sólidas).
3. La evaluación de impactos transforma los resultados del inventario en impactos ambientales.
4. La interpretación es un análisis crítico del estudio que permite establecer las conclusiones y recomendaciones para reducir los impactos detectados, así como la confiabilidad del estudio, los aspectos que deben mejorarse, etc.

Figura 2: Etapas de un ACV. Fuente: ISO 14040:2006.



4. Metodología

Para llevar a cabo la revisión bibliográfica se ha realizado una búsqueda tanto en bases de datos electrónicas de contenido científico relacionado con la gestión ambiental, como de informes estadísticos relacionados con el azúcar. En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda dentro de las principales bases de datos de literatura científica. Las palabras clave empleadas para la búsqueda fueron las siguientes: “LCA”, “environmental problems”, “sugar industry”. La búsqueda que se realizó no incluyó en un rango de años determinado, con el objetivo de tener un panorama genérico de este sector.

La búsqueda estuvo limitada a las siguientes revistas:

- *International Journal of Life Cycle Assessment.*
- *Journal of Cleaner Production.*
- *Journal of Industrial Ecology.*
- *Journal of Environmental Management.*
- *Journal of Resources conservation and recycling.*

A continuación se realizó una búsqueda de datos en diferentes bases de datos estadísticas para conocer de antemano el comportamiento de las diferentes variables, así como la incidencia en el costo de producción del azúcar; elementos importantes para la toma de decisiones.

La búsqueda estuvo limitada a los siguientes organismos:

- INAZUCAR.
- International Sugar Organization.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

En una segunda fase, se realizó una segunda revisión mediante una búsqueda manual.

La búsqueda en base de datos electrónicas se complementó con una búsqueda manual, consultando la bibliografía de artículos seleccionados y las normas relacionadas con ACV tales como: la ISO 14040 y la ISO 14044.

Los registros identificados en las diferentes búsquedas se introdujeron de forma secuencial en el gestor de referencia bibliográficas Mendeley, identificando y eliminando duplicados.

Los criterios de inclusión para la investigación fueron: estudios analíticos que analizaban casos de la técnica del ACV en el sector azucarero, se realizó sin establecer ninguna limitación con respecto al idioma. Se excluyó el año en las búsquedas de las bases de datos electrónicas con carácter científico para poder tener un panorama genérico del sector.

Una vez realizada la búsqueda, se construyó una tabla en Excel para la clasificación de los datos obtenidos; dicha tabla incluía: recopilación de información del sector azucarero, recopilación de información de la técnica del análisis del ciclo de vida, clasificación de las búsquedas en base de datos electrónicas, revista, informaciones bibliográficas que incluían el autor, año de publicación e idioma, y principales resultados. La tabla 2 muestra un ejemplo de la información recogida, para uno de los resultados obtenidos.

Tabla 2: Clasificación de la información obtenida. Fuente: Elaboración propia.

Autores	Moya et al.
Año	2013
Idioma	Inglés
Título	Exergetic analysis in cane sugar production in combination with Life Cycle Assessment
Tipo de base de datos	Científica
Revista	Journal of Cleaner Production
Etapas incluidas	Se analizan todas las etapas del proceso, la cuantificación del consumo de recursos, incluida su renovabilidad, y por lo tanto la sostenibilidad del mismo
Tipo de análisis	Se realizó un ACV completo al producto; la evaluación del ciclo de vida se realizó comparando un proceso tradicional de producción de azúcar de caña, con cuatro alternativas para la valorización de subproductos obtenidos en el proceso de obtención de azúcar
Resultados principales	La aplicación de esta combinación valida los resultados relacionados con la categoría de recursos y la contribución de la etapa agrícola al impacto general del proceso. Se corroboraron los beneficios ambientales de producir alcohol, biogás, alimentos para animales y fertilizantes a partir de los subproductos de producción del azúcar

5. Resultados

Tras llevar a cabo la búsqueda de la revisión bibliográfica con los parámetros indicados en la sección de metodología se han obtenido un total de 46 artículos que se han clasificado por el tipo de revista y la cantidad de artículos encontrados.

Como se puede visualizar en la tabla 3, clasificación de los artículos por revista, las revistas donde más artículos se encontraron fueron International JLCA y JCP (*International Journal of Life Cycle Assessment* y *Journal of Cleaner Production*).

Tabla 3: Clasificación de Artículos por revistas, Fuente: Elaboración Propia

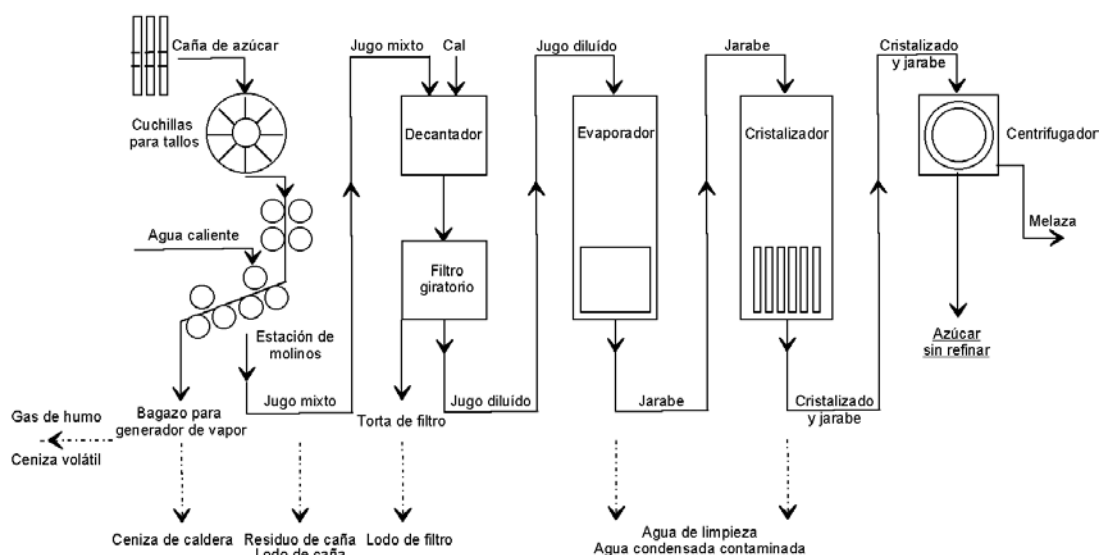
Revisión Bibliográfica	Número de Artículo
International Journal of Life Cycle Assessment	13
Journal of Cleaner Production	11
Journal of Industrial Ecology	6
Journal of Environmental Management	7
Journal of Resources Conservation and Recycling	9
TOTAL	46

Después de clasificar los artículos se procedió a verificar las diferentes aplicaciones de la técnica del ACV en el sector azucarero donde se demuestra que su principal uso o aplicación es en la estimación de energía (generación de electricidad, vapor para calentar jugos, etc.) y la carga ambiental del producto.

Esta técnica es utilizada en los diferentes procesos de la producción del azúcar aprovechando los subproductos generados por su alta eficiencia energética y así reducir efectos ambientales destacando que en el cultivo y la cosecha de la caña de azúcar es donde se encuentra el mayor impacto ambiental junto con la generación de electricidad.

La mayoría de artículos publicados sobre ACV aplicado al sector azucarero se centran en su aplicación al proceso de fabricación, incluyendo tanto el cultivo como la cosecha de la caña de azúcar.

Figura 3: Diagrama del Proceso de Producción de la caña de azúcar, Fuente INAZUCAR 2018.



En el diagrama de la figura 3 se pueden apreciar las diferentes etapas del proceso de producción para la fabricación del azúcar, comenzando con el cultivo y la cosecha de la caña de azúcar una vez ha madurado, para pasar a la etapa de la recogida y transporte a la planta de procesado.

A la entrada, se determinan las características de la materia prima recibida (contenido en sacarosa, fibra, e impurezas) para iniciar posteriormente el triturado y la extracción del jugo en los molinos. La fibra de caña obtenida como residuo (bagazo) se valoriza como combustible para alimentar un grupo de cogeneración o solo generar electricidad (INAZUCAR, 2018).

Del procesado del jugo, se obtienen azúcar, melaza y alcohol, que se siguen tratando con vapor de azufre y cal para eliminar la acidez. Tras la clarificación, los sólidos de azúcares quedan en la parte superior y el resto sedimenta. El jugo clarificado pasa a la fermentación, donde se mezcla con un floculante para separar los sólidos o cachaza restantes del jugo, estos sólidos pasarán por un filtro y se emplearán como abono (INAZUCAR, 2018).

Por último, se hará hervir este jugo para reducirlo y obtener uno más espeso, comúnmente llamado meladura. Posteriormente se calienta en los tachos donde se forman los cristales de azúcar por su alto contenido en sacarosa. Una vez obtenidos estos cristales se separan mediante centrifugación del jugo espeso que se le denomina “miel”, la cual se emplea como alimento para el ganado o bien producción de alcohol. Finalmente, los cristales de azúcar pasan por un proceso de secado y empaquetado, con lo que el producto queda listo para su expedición y comercialización (INAZUCAR, 2018).

5.1. Publicaciones sobre ACV aplicado en el sector azucarero

Existe un número muy importante de publicaciones específicas sobre el concepto, aplicación, alcance, casos prácticos del ACV, tanto en libros como periódicos (revistas, actas de congresos, etc.).

En la tabla 4 se puede visualizar las revistas con mayor densidad de artículos sobre la temática del ACV y las informaciones relevantes del sector azucarero en el mundo y República Dominicana.

Tabla 4: Datos sobre ACV y el Sector Azucarero., Fuente: Elaboración Propia.

Revistas científicas para informaciones del ACV	Informaciones del Sector Azucarero
International Journal of Life Cycle Assessment	Organización Mundial del Azúcar
Journal of Cleaner Production	Sugarcane Crop
Journal of Industrial Ecology	INAZUCAR
Journal of Environmental Management	OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028
Journal of Resources Conservation and Recycling	

Dentro de las publicaciones sobre la aplicación del ACV a productos del sector agroindustrial en forma general se pueden encontrar muchísimos documentos, artículos y guía sobre ACV.

En las informaciones generales del sector azucarero como producción, consumo, exportación se cuenta con información actualizada y disponible en las diferentes páginas de los organismos internacionales como la Organización Mundial del Azúcar que muestra los datos de los diferentes años incluyendo el 2018-2019 (International Sugar Organization, 2018).

5.2. Revisión de la aplicación de las técnicas del ACV

En las diferentes aplicaciones del análisis del ciclo de vida (ACV) al sector azucarero se pueden encontrar las que son más utilizadas y diferenciadas por sus resultados, entre ellas:

- (Kim, 2002): La industria azucarera tradicional enfrenta varios problemas debido a residuos que contienen materiales orgánicos por los productos químicos que son usados en los diferentes procesos para la producción de azúcar. En la industria azucarera, los métodos tradicionales no se han utilizado para eliminar sustancias como ceras, almidón, dextrano, bacterias y sacarosa.
- (Renouf, 2002): Presenta un ACV preliminar de la electricidad generada de la combustión del bagazo de caña de azúcar y logró identificar la necesidad de metodologías para comparar alternativas con argumentos ambientales.
- (Tekin et al. 2001): Describieron las mejoras en el balance energético explicando diferentes sugerencias relacionadas con su análisis, con el aumento de la cantidad de efectos del evaporador, la minimización de la cantidad de agua utilizada, el uso de vapor para calentar jugos, la generación de electricidad excedente a partir del bagazo y la necesidad de energía térmica que se ha realizado mediante el uso de vapor.
- (Ramjeawon, 2004): Evaluó siete categorías de impacto, para las cuales, el cultivo y cosecha de la caña aportaban el mayor impacto ambiental y logró demostrar que el ACV es una herramienta útil para evaluar el impacto ambiental en la producción del azúcar.
- (Von Blottnitz et al. 2006): En el cultivo de la caña de azúcar en regiones tropicales resulta ser más eficiente con respecto al uso de la tierra y reemplazo de combustibles fósiles.
- (Contreras, 2007): Logró identificar y cuantificar los impactos ambientales del ciclo de vida del producto, lo que permitió establecer las mejoras necesarias para alcanzar un comportamiento ambiental.
- (Contreras, 2009): Realizó un estudio comparativo del uso de los subproductos de la caña de azúcar demostrando la ventaja ambiental de la valorización de residuos y subproductos de esta industria.
- (Pérez, 2009): Realizó la evaluación de impacto mediante análisis de ciclo de vida donde se evidenciaron beneficios ambientales por la alta eficiencia energética.
- (Ramjeawon, 2008): Comparó los datos de producción de electricidad de bagazo y carbón en la industria azucarera.
- (Moya et al. 2013): Realizó un ciclo de vida completo al producto, esta evaluación de se combinó con un proceso tradicional de producción de azúcar para evaluar cuatro alternativas diferentes para la valorización de subproductos del proceso.

Otros enfoques del análisis del ciclo de vida están basados en los diferentes usos y aplicaciones en modelos cuantitativos como son: la evaluación del ciclo de vida, contabilidad de flujo de materiales y la evaluación ambiental estratégica.

6. Conclusiones

Al analizar las diferentes fuentes bibliográficas del análisis del ciclo de vida en el sector azucarero se muestra que esta técnica ha sido muy utilizada y efectiva en la reducción de efectos ambientales, pero carece de documentación actualizada relevante para la recopilación de datos, procesos actualizados, y maquinarias influyendo esto en la interpretación de resultados y la toma de decisiones.

Al revisar la aplicación de las técnicas del análisis del ciclo de vida en el sector azucarero a través de los documentos encontrados, se identifica que la mayor aplicación de la técnica está

enfocada en la estimación de energía y en la valorización de subproductos para tener una mayor eficiencia energética logrando así una disminución de los efectos e impactos ambientales, pero se deben involucrar otros tipos de recursos y procesos que puedan contribuir de forma decisiva a la mejora de la competitividad del sector y el desarrollo sostenible del mismo.

Es interesante ver el hecho de que esta técnica es aplicada en el sector azucarero, pero no todos los países que producen azúcar utilizan el ACV como una herramienta para lograr mejorar el desempeño ambiental de los procesos o producto.

Referencias

- Antón Vallejo, M. A. (2004). Metodología del análisis de ciclo de vida en utilización del análisis de ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Aguilar Rivera, N., Mendoza, Galindo, Fontanela Martínez, J., & Contreras Servín, C. (2010). Competitividad internacional de la industria azucarera de México. *Internacional competitiveness of Mexico's sugar industry*. In *Theoria* (Vol. 19).
- Azucarera, I. Z. (2018). Instituto azucarero dominicano -inazucar-. 2009, 1–5.
- Banco Central (2018). Informe económico MICM, Santo Domingo, República Dominicana.
- Bayrak M, Midilli A, Nurveren K. (2003). Energy and exergy analyses of sugar production stages. *International Journal of Energy Research* 27: 989–1001.
- Bautista Rodriguez, (2019). Guía para el análisis del ciclo de vida en el sector industrial, comité editorial de la Facultad de Ingeniería y ciencias básicas.
- Benquet, F. M. (2000). Globalización, crisis azucarera y luchas cañeras en los años noventa. *Sociológica*, 15(44), 41–68.
- Cederberg, C. & Mattsson, B. (2000). Life Cycle Assessment of Milk Production - A Comparison of Conventional and Organic Farming. *Journal of Cleaner Production*, 8, 49-60.
- Centro Nacional de Producción Más Limpia, (2001). Análisis de ciclo de vida (ACV). Seminario sobre perspectivas del sector industrial en los mercados verdes; una oportunidad para la industria nacional. Medellín, Colombia, CNMP.
- Colon Jorda, (2016). Guías metodológicas: análisis de ciclo de vida y huella hídrica. Proyecto: Mejora de las economías regionales y desarrollo local. Cuaderno tecnológico N°32.
- Contreras AM, Elena Rosa, Maylier Pérez, Langenhove HV, Dewulf J. (2009) Comparative life cycle assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production. *Journal of Cleaner Production* 17: 772–779.
- Contreras, A. M. (2007). Metodología para el análisis del ciclo de vida combinado con el análisis energético en la industria azucarera cubana”. Cuba, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Contreras, A. M. and col. (2003c). Metodología para el ACV en la producción de azúcar ecológica en Cuba. *Memorias del Evento MAS XXI*. ISBN: 959-250- 108-4.
- Chauhan, M. K., Varun, Chaudhary, S., Kumar, S., & Samar. (2011). Life cycle assessment of sugar industry: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7), 3445–3453. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.033>
- Dewulf, J. and H. Van Langenhove, (2002). Assessment of the Sustainability of Technology by Means of a Thermodynamically Based Life Cycle Analysis.
- Ekvall T, Weidema BP. System boundaries and input data in consequential life cycle inventory analysis. *International Journal of Life Cycle Assessment* 2004; 9 (3):161-171

- Ensinas AV, Nebra SA, Lozano MA, Serra LM. Optimization of thermal energy consumption in sugarcane factories. In: ECOS 2006, 19th international conference on efficiency, cost, optimization, simulation and environmental impact of energy systems. p. 569–576.
- Ensinas AV, Modesto M, Nebra SA, Serra L. (2007). Exergy loss minimization in sugar-cane industries with integrated sugar, ethanol and electricity production. In: 4th Dubrovnik conference on sustainable development of energy, water and environment environment system.
- Fundación Forum Ambiental (2003). Análisis del Ciclo de Vida (ACV). www.forumambiental.org/cast/archivos/eines12.htm
- Fullana, P. & Puig, R. (1997). Análisis de Ciclo de Vida. Ed. Rubes, Barcelona.
- Heller, M. & Keoleian, G. (2000) Life Cycle-Based Sustainability Indicators for Assessment of the U.S. Food System. 59 p.
- Hayashi, K., Gaillar, G. & Nemecek, T. (2011) Life Cycle Assessment of Agricultural Production Systems: Current Issues and Future Perspectives. Recuperado en junio del 2014, de http://agnet.org/htmlarea_file/library/20110721140039/bc54011.pdf
- Iglesias, Daniel H. (2005). Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario en Contribuciones a la Economía.
- Instituto Azucarero Dominicano (2018). Informes estadísticos del azúcar de República Dominicana. Obtenido el 25 de febrero del 2020. <http://www.inazucar.gov.do/>
- Internacional Sugar Organization (2018). Informes estadísticos internacionales del azúcar. Obtenido el 14 de marzo del 2020. <http://www.isosugar.org>
- ISO (2006a). Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. ISO 14040:2006
- ISO (2006b). Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices. ISO14044:2006.
- Kim S, Dale BE. (2002). Allocation procedure in ethanol production system from corn grain. I. System expansion. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 7(4):237–43.
- Lara, E., & Dac-ucla, Z. M. P. (2014). Organización de los grupos de investigación estudiantil Gestión Ambiental bajo el contexto de la norma ISO 14001. Caso de estudio: Industria Azucarera del Estado Lara. Zahira Moreno. Profesora DAC-UCLA.
- Lichts FO. International and sweetener report. *International Sugar Journal* 2007; 139 (12)
- Loarie, S. R., Lobell, D. B., Asner, G. P., Mu, Q., & Field, C. B. (2011). Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. *Nature Climate Change*, 1(2), 105–109. <https://doi.org/10.1038/nclimate1067>
- Ministerio de medio ambiente. Guía ambiental para el subsector de caña de azúcar. (n.d.).
- Moya, C., Domínguez, R., Van Langenhove, H., Herrero, S., Gil, P., Ledón, C., & Dewulf, J. (2013). Exergetic analysis in cane sugar production in combination with Life Cycle Assessment. *Journal of Cleaner Production*, 59, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.028>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017), OCDE-FAO PERSPECTIVAS AGRÍCOLAS 2017-2026.
- Perea, D. H., Manuel, J., Prado, A., De, U., Buenaventura, S., & Cali, S. (2018). (No Title). Retrieved from <http://revistas.usb.edu.co/>
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). Life Cycle Initiative. 2003.
- Ram JR, Banerjee R. (2003). Energy and cogeneration targeting for a sugar factory. *Applied Thermal Engineering*; 23: 1567–1575.
- Ramjeawon T, (2000). Cleaner Production in Mauritian Cane-Sugar Factories. *Journal of Cleaner Production*. 8, 503-510.

- Ramjeawon T. (2008) Life cycle assessment of electricity generation from bagasse in Mauritius. *Journal of Cleaner Production* 16: 1727–1734.
- Ramos, R. D., & Ramos, R. D. (2018). Portal Único de Solicitud de Acceso a la Información Pública (SAIP). 8696.
- Renouf MA, Wegener MK, Nielsen LK. (2008). An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars for fermentation. *Biomass and Bioenergy*; 32: 1144–1155.
- Ricardo, F., María, M., Moreno, A., Farías, A., Villegas, F., Mariela, J., & Baide, R. (n.d.). (No Title). <https://doi.org/10.2760/247719>
- Romero Díaz de Ávila, M. T. (2012). Análisis de ciclo de vida (ACV) Herramienta de Gestión ambiental. *Eoi Escuela de Negocios*, 3, 16.
- Saavedra D., Juan Felipe; Vargas V., Olga Rocío, (2000). Estimación del impacto ambiental del cultivo de caña de azúcar utilizando la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV). (n.d.). Retrieved November 3, 2019, from <https://www.virtualpro.co/biblioteca/estimacion-del-impacto-ambiental-del-cultivo-de-cana-de-azucar-utilizando-la-metodologia-del-analisis-del-ciclo-de-vida-acv->
- SGS ACADEMY. (2015). Aspectos e Impactos ambientales. *Aspectos e Impactos Ambientales*, 1–16.
- Tekin T, Bayramoglu M. (2001). Exergy and structural analysis of raw juice production and steam-power units of a sugar production plant. *Energy*; 26: 287–297.
- Trujillo Javier, M. (n.d.). Universidad Veracruzana Facultad de Ciencias Químicas Ingeniería Química “impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación” presenta.
- Untunen, M. A. I. J., Juntunen, M., & Forest, F. (2003). Environmental Impacts of Nurseries. 2(3), 64–73.
- Upadhiaya UC. Cogeneration of steam and electric power. *International Sugar Journal* 1992; 94: 11–17.
- Varun, Prakash R, Bhat IK. (2008). Life cycle analysis of run-of river small hydro power plants in India. *The Open Renewable Energy Journal*; 1: 11–16
- Vuelta, C.D.E.I.D.A.Y. (2006). Itinerario cultural del azúcar en España y en Latinoamérica Itinerario I. Las Islas La Hacienda de Argual. (13).World Wildlife Fund for Nature (WWF), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Universidad EAN (2011).

Paper aligned to Sustainable Development Goals

