

# ¿Diversificación o economía circular, un nuevo paradigma?

Manuel Díaz-de los Ríos

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)

Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

[manuel.diaz@icidca.azcuba.cu](mailto:manuel.diaz@icidca.azcuba.cu)

## RESUMEN

En el presente trabajo se pretende mostrar que la industria de la caña de azúcar en Cuba y la internacional se han diversificado y desarrollado bajo los fundamentos y principios de la Economía circular, aun cuando dicha política no había sido concebida como tal. Se ilustra como la reutilización de la energía, el agua y el aprovechamiento de residuos siguen esta filosofía y cómo el desarrollo de nuevas tecnologías se sustenta en los fundamentos de la Economía circular. De igual forma, se expone la visión de varios investigadores del sector sobre el tema y las barreras que hoy limitan su extensión aún más, en la industria de la caña de azúcar.

**Palabras clave:** diversificación, industria azucarera, Economía circular.

## ABSTRACT

This paper aims to show that the sugarcane industry in Cuba and internationally has diversified and developed under the foundations and principles of the circular economy, even when the said policy had not been conceived as such. It illustrates how the reuse of energy, water, and waste follows this philosophy and how the development of new technologies is based on the foundations of the circular economy. Similarly, the vision of various researchers in the sector on the subject and the barriers that today limit the extension, even more, of the circular economy in the sugar cane industry are exposed.

**Key words:** diversification, sugar industry, circular economy.

## INTRODUCCIÓN

Un nuevo concepto se ha puesto de moda, Economía circular (EC); está en boca de periodistas, científicos, empresarios y estadistas, pero es preciso preguntarse: ¿Es una nueva filosofía de manejo de la producción, el comercio y los negocios?, ¿Conoce la industria azucarera internacional cómo introducir en el sector esta “nueva” forma de proceder? Para responder a estas interrogantes es imprescindible profundizar en los fundamentos de este concepto.

El concepto de Economía circular no es nuevo, el sitio web de Wikipedia le ha dedicado una amplia explicación al tema y alude a más 200 referencias bibliográficas. Se señalan sus antecedentes en el libro de Kenneth E. Boulding, 1966, quien apunta que el flujo de materiales y energía debe establecerse en un sistema de producción cíclico; pero el término en sí, aparece en 1988 en un artículo titulado “The economic of natural resources” (1). Sin embargo, el concepto adquiere importancia política con el nombrado European Circular Economy package, 2015, de la Comisión Económica Europea y la promoción de la ley de Economía circular de China. Una amplia y excelente revisión bibliográfica sobre el tema puede ser consultada en el trabajo de M. Geissdoerfer *et al.* (2).

## FUNDAMENTOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

Pero, ¿cuáles son los fundamentos básicos de una política de Economía circular? Ello aparece expresado en diversas fuentes como un esquema básico simple que se ilustra en la figura 1. A diferencia de un proceso lineal, consistente en tomar, hacer, usar, disponer y contaminar, los modelos de Economía circular establecen como política compartir, arrendar, reusar, reparar, remodelar y reciclar los materiales, tanto como sea posible y establece que los tres principios básicos de la Economía circular son:

- Eliminar los residuos y la contaminación
- Recircular los productos y materiales
- Regenerar la naturaleza



Figura 1. Filosofía de la Economía circular.

*La Economía circular llama a mantener los productos, materiales e infraestructura en el tiempo, mejorando la productividad de esos recursos; Residuos y energías deben convertirse en entrada de otros procesos, mediante la revalorización de los propios residuos (3).*

Filosofar sobre cualquier tema es complejo y en lo que a Economía circular respecta, se reportan más de 100 definiciones diferentes, por lo que nos limitaremos a mostrar la más reciente, brindada por Geissdoerfer et al. (2), quienes la definen como:

*“Un sistema económico en el que la entrada, el mal manejo de los recursos, las emisiones y las fugas de energía se minimizan reciclando, extendiendo, intensificando y desmaterializando los ciclos de materiales y energía. Esto se puede lograr a través de la digitalización, la prestación de servicios, el intercambio de soluciones, el diseño de productos duraderos, el mantenimiento, la reparación, la reutilización, la re-elaboración, la restauración y el reciclaje”.*

## ECONOMÍA CIRCULAR Y AGROINDUSTRIA AZUCARERA

Con certeza, al escuchar estos conceptos, muchos pensarán que eso es lo que ha hecho la industria de la caña de azúcar a lo largo del tiempo en el mundo y, efectivamente es así; la industria azucarera nuestra, al margen del contexto desfavorable por el que hoy atraviesa, agudizado por el bloqueo y la inflación internacional, ha sido una agroindustria en la que se han aplicado históricamente los principios de la EC, en la propia producción de azúcar y en el desarrollo de coproductos o diversificación, este último término ha denominado los congresos internacionales del ICIDCA, desde 1996.

Desde el punto de vista del aprovechamiento de la maquinaria y la extensión de su tiempo de vida útil, la industria azucarera deviene paradigma; con ciclos anuales de mantenimiento y reparación; los tandem y molinos son continuamente remodelados y modernizados con nuevos tipos de accionamiento más eficientes y sistemas automáticos que regulan su velocidad y, no es exagerado decir, que muchos de ellos alcanzan casi el siglo de existencia en su constitución básica. De igual forma se minimiza la estructura disponible para la producción, con el alquiler de los recursos necesarios para la cosecha y el transporte de la materia prima (caña de azúcar). Todas ellas constituyen estrategias básicas de la EC.

Tal vez el manejo de la energía en la industria azucarera constituya el ejemplo más elocuente y extendido de la EC, en este sector. Generar vapor en las caldera (*Hacer*) para *Usar* en la cogeneración de vapor y electricidad en las turbinas y *Reutilizar- Rehacer* el vapor de baja, proveniente de los evaporadores para diversas operaciones de calentamiento y, por último, *Reciclar* el agua condensada

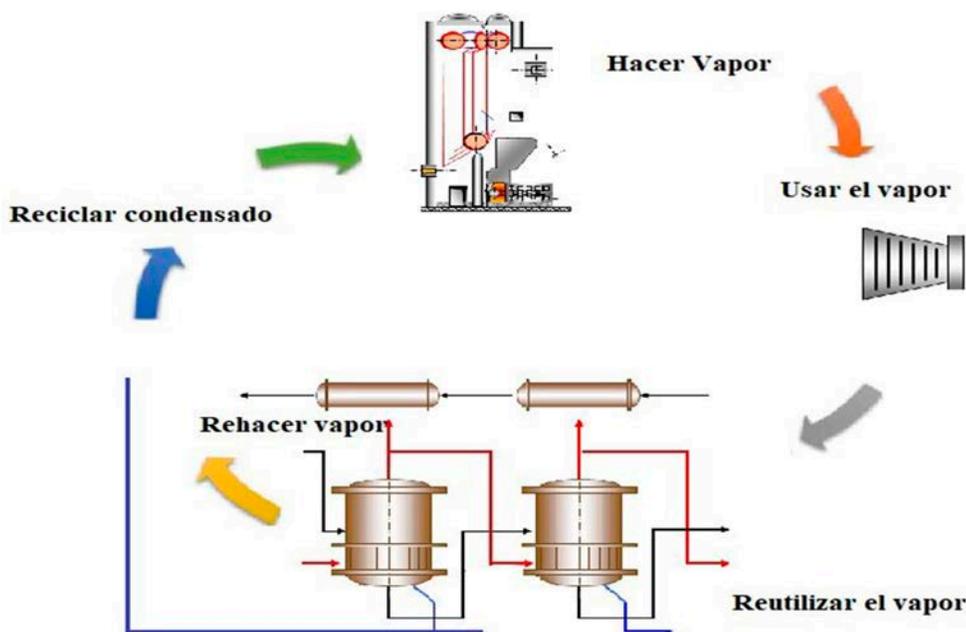


Figura 2. Ciclo del uso del vapor en la industria azucarera.

para la generación de vapor, confirma el ciclo clásico de la EC, que se representa en la figura 1 y que se ilustra en la figura 2.

El ciclo del agua es otro ejemplo elocuente de la EC en el sector, gracias al potencial de agua presente en la caña de azúcar. Además del retorno de los condensados a las calderas, los condensados menos puros, como los llamados condensados vegetales, son empleados como agua de imbibición en los molinos en la limpieza y, en última instancia, transformados en residuos, son empleados como agua de riego en la caña.

La obtención de etanol anhidro, mediante tamices moleculares, constituye otra tecnología en la que la industria azucarera ha puesto en práctica el ciclo básico que define la Economía circular. El etanol hidratado, producido mediante fermentación de los azúcares (*Hacer*), es *usado* en el proceso de deshidratación para obtener un etanol anhidro el cual es *reutilizado* en la regeneración de las columnas de tamices moleculares, para *rehacer* etanol hidratado, que es *reciclado* a la columna rectificadora. Ello se ilustra en la figura 3. El diseño de nuevas tecnologías para el sector se ha realizado siguiendo los principios de la EC.

Además, la producción de etanol hidratado permite obtener una gran diversidad de co-productos presentes, en el aceite fusel y fracción volátil de la destilación del etanol, así como la producción de bebidas alcohólicas; mientras los residuos, tales como vinazas, se incorporan a otros usos.



Figura 3. Economía circular de la producción de etanol anhidro con tamices moleculares.

Sin embargo, el ciclo más extendido y asociado a la diversificación de la industria se pone de manifiesto en la interrelación industria-agricultura, con el aprovechamiento de sus residuos en la fertilización y riego de la caña de azúcar. La figura 4 representa los balances ambientales de las plantas molidoras que se diseñaron para la producción de etanol en la República Bolivariana de

Venezuela; en ella se muestra un balance positivo, ya que el CO<sub>2</sub> absorbido por la caña es superior al generado por las calderas y procesos agroindustriales, además de proveer a esta con materia orgánica, mediante el composteo de la cachaza y el retorno de una parte importante de la fertilización N:P:K requerida para el cultivo de la gramínea. Por tanto, la industria azucarera tiene todas las condiciones para cumplir los tres principios básicos de la EC; eliminar residuos, recircular productos y regenerar el medioambiente.

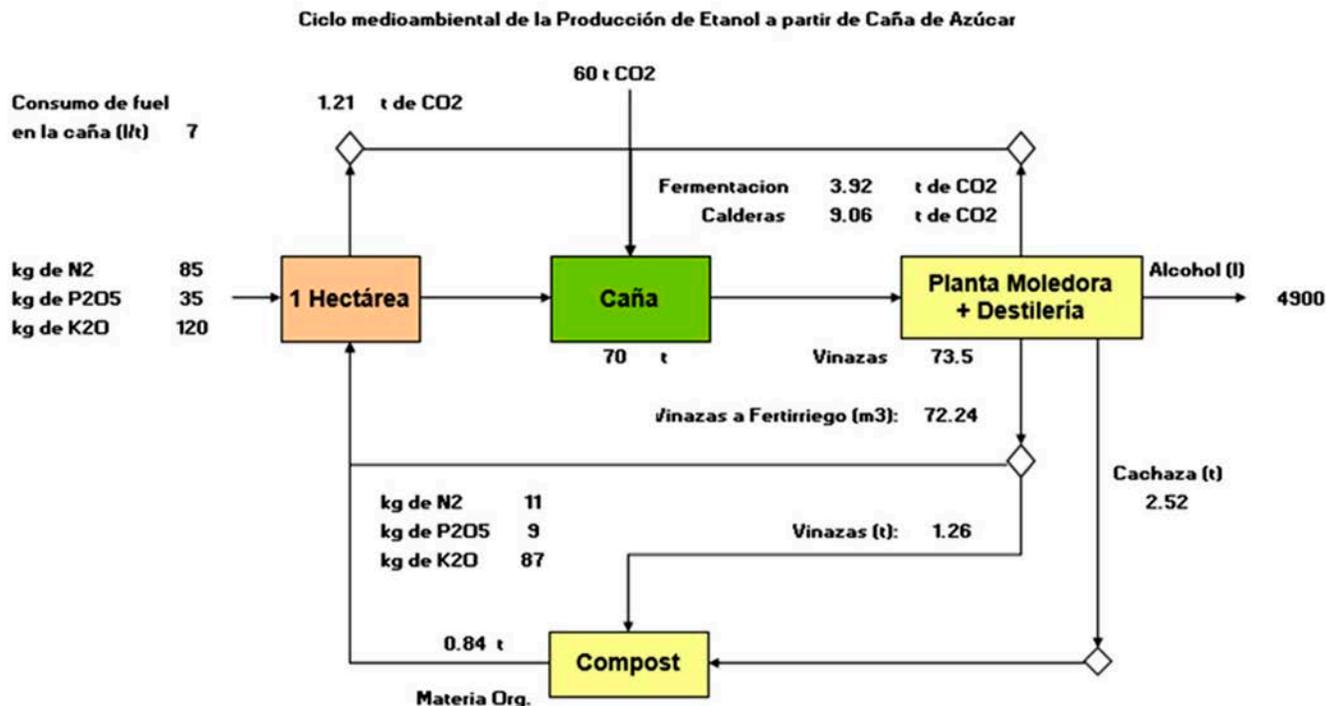


Figura 4. Ciclo medioambiental para destilerías autónomas.

Nawapanan *et al* (4) han enfatizado en la importancia de la protección medioambiental en la economía del proceso azucarero en Tailandia, ellos consideran el producto bruto doméstico o interno. (GPD, por sus siglas en inglés) y le han sustraído el costo de los recursos naturales y medioambientales, al que denominan GPD verde (GGDP, por sus siglas en inglés). Ellos en su estudio aplican la metodología de evaluación del ciclo de vida para conocer el impacto de la industria en el consumo material, distribución, producción y manejo de residuos; señalan que la diferencia entre el GDP y el GGDP es de entre 6 y 12 % y concluyen que la generación de partículas sólidas es el elemento adverso fundamental, que puede ser resuelta a través de una estrategia de EC.

La producción de biogás integra, de forma armónica, los ciclos energéticos y medioambientales si se seleccionan tecnologías adecuadas para el tratamiento simultáneo de residuos orgánicos, como las vinazas, paja de caña, torta de los filtros y bagazo, según el desarrollo propuesto por la compañía alemana Kiepenkerl GMBH, donde se obtiene fertilizante orgánico, como coproducto.

La producción de biogás, además de permitir la disponibilidad de otra fuente de energía para procesos anexos a la producción de azúcar o entrega de electricidad a la red y contribuir a la protección ambiental, permite generar hidrógeno, producir gas de síntesis y, con este, metanol y dimetil éter, combustibles sustitutos del diésel, para introducir así la industria azucarera en un ciclo de productos de alto valor agregado.

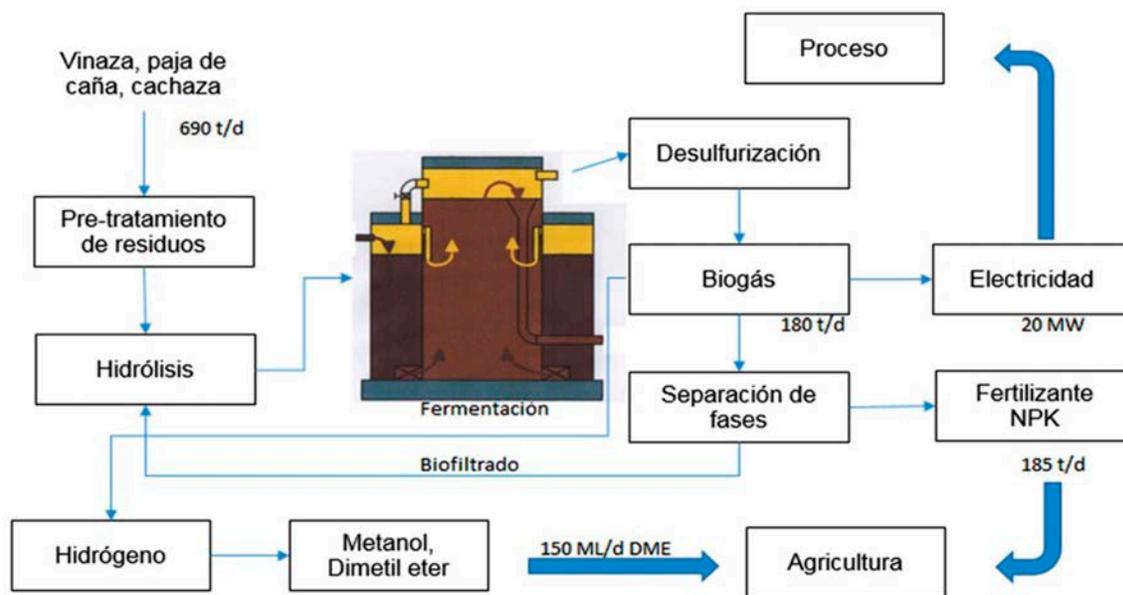


Figura 5. Producción de biogás y fertilizante a partir de residuos.

Pero la ruta biotecnológica de la energía no es la única de esta disciplina; la biotecnología abre una inmensa diversidad de caminos para la obtención de nuevos productos de alto valor agregado, más allá de la producción de etanol y levaduras para la alimentación animal, que ha sido expuesto por Díaz y Michelena (5).

Hamawand *et al.* (6), quienes presentan un análisis económico sobre los posibles destinos de los coproductos de la producción de azúcar de caña, incluidas las mieles, concluyen que los mayores beneficios de la industria siguen siendo las producciones de etanol/biogás y la generación de energía, mediante la quema del bagazo, por lo que se deben continuar los estudios sobre nuevas rutas. De otro lado, Meghana y Shastri (7) consideran que, si bien las tecnologías asociadas a la generación de energía con los residuos de la industria azucarera han madurado y están consolidadas, aún existen brechas para el desarrollo de productos químicos y es necesario profundizar en los métodos de separación y purificación.

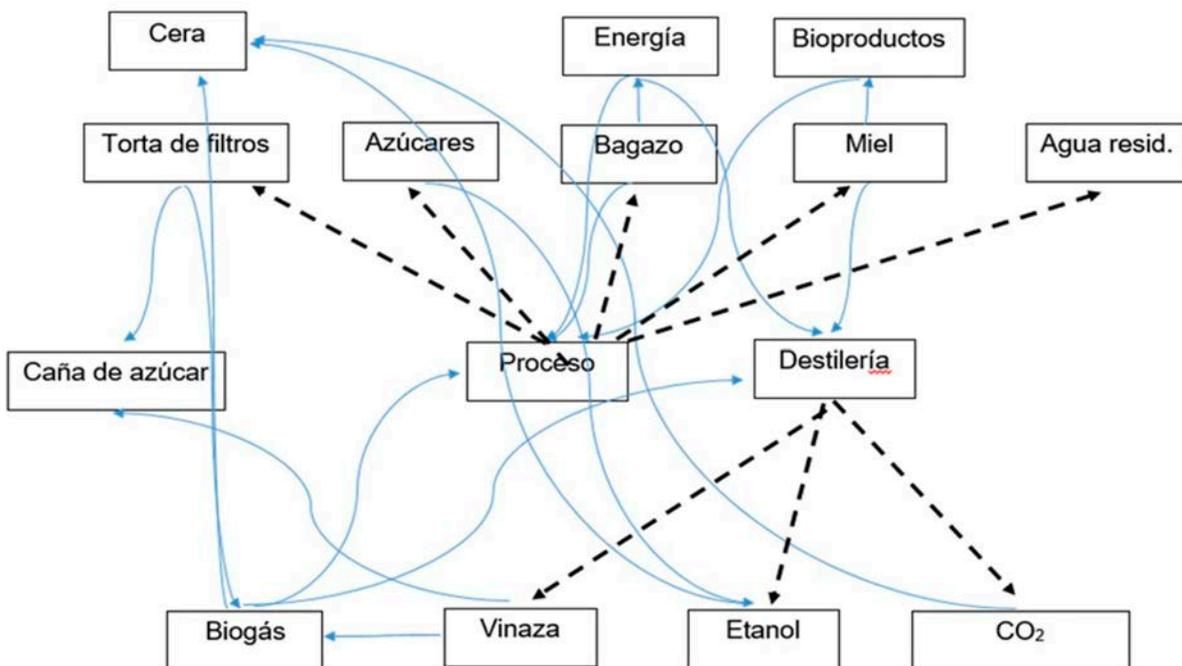
Forman *et al.* (8) enfatizan en que, más allá de las bien establecidas cadenas del azúcar y el etanol, el aprovechamiento de la paja de la caña quedada en los campos, la torta de los filtros, las vinazas de las destilerías y las cenizas resultantes de la quema del bagazo, constituyen una disponibilidad de recursos importantes para la diversificación y la implementación de biorefinerías. Su trabajo se enfoca en el potencial de residuos orgánicos para la obtención de carboxilatos, bioplásticos y biofertilizantes, el biogás, la recuperación del  $\text{CO}_2$  biológico y la obtención de silicio, a partir de las cenizas. En el caso de bioplásticos, se destaca la producción de ácido poliláctico (PLA), a partir de jugo de caña (producción comercial en Tailandia), lo cual también es reportado por Díaz y Michelena (5). En la actualidad, el PLA ha alcanzado una gran popularidad, por su empleo en las impresiones 3D. Otros materiales plásticos de interés son el polidroxibutirato (PHB) y polihidroxivalerato (PHV).

Aunque el mayor contenido de silicio biológico se observa en la paja de caña, también se encuentra en el bagazo, la cachaza y las vinazas, por lo que las cenizas provenientes de la combustión del bagazo poseen entre 41.9 y 52.3 % de  $\text{SiO}_2$ , que puede emplearse como catalizador en medicamentos, aditivo en la construcción y hormigones, entre otros (8). Estos autores también subrayan la importancia del empleo de otras fuentes de energía, como la fotovoltaica, muy interesante para países como el nuestro, en la generación de hidrógeno, mediante electrólisis del agua, pues como

se ha señalado, la caña es una gran generadora de agua, para producir combustibles líquidos; otra ruta para el metanol y dimetil éter.

La torta de los filtros o cachaza es un residuo de la producción de azúcar, sus mayores aplicaciones internacionales se dirigen a la producción de fertilizante orgánico, mediante composteo, mezclado con vinazas, cenizas del ingenio y otros residuos o hacia la generación de biogás. Estas rutas se insertan económica y ambientalmente de forma efectiva, en un ciclo de economía circular que beneficia la agricultura y la industria. Sin embargo, la obtención de cera de caña resulta una ruta alternativa para una alta valorización de este residuo, con la obtención de policosanol y otras aplicaciones recientemente introducidas por el ICIDCA, como es la obtención de desmoldeante de hormigones, a partir de cera, o los estudios actuales de empleo del aceite de cachaza como antiespumante, en la industria fermentativa (9). Adicionalmente, Teixeira *et al.* (10) analizan el potencial de este residuo para la obtención de nuevos productos de alto valor agregado, como otros lípidos, triterpenoides, fitoesteroles y aldehídos de cadena larga, pues son productos de interés para la salud y otras aplicaciones interesantes para una economía circular de alto valor agregado. El reto de esta ruta es encontrar tecnologías verdes escalables, tecnológica y económicamente. La extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico y extracción acelerada con etanol, son ejemplos de estas tecnologías, en las que ambas cierran el ciclo con el propio proceso agroindustrial sucro/alcoholero.

La visión del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, es que la diversificación azucarera nunca ha estado alejada de lo que hoy llamamos EC; las investigaciones del ICIDCA e, incluso, del entorno científico cubano ajeno al Instituto, siempre se han dirigido al aprovechamiento de los residuos y coproductos de la agroindustria, en beneficio, en primer lugar, de la propia industria, para la solución de sus problemas, la reducción de los costos y la conservación del medioambiente. Valorizar los productos y elevar la resiliencia del sector ha sido el propósito de las investigaciones. La complejidad de los ciclos, que hoy maneja el sector, se evidencia en la figura 6, en la que se entrelazan soluciones conocidas e implementadas, a nivel nacional e internacional, con potencialidades aún por extender.



**Figura 6.** Interrelación entre coproductos y procesos, así como reutilización de los principales productos en los procesos.

En la actualidad, los Bioproductos para la agricultura en las instalaciones disponibles en Cuba 10 y la biofábrica de Dos Ríos, la producción del bioestimulante Fitomás, a partir de levadura forrajera y el desarrollo de una nueva cepa para la producción de dextranasa y reducir así el contenido de dextrana en el azúcar, son algunos de los resultados del ICIDCA, a favor de la diversificación y la Economía circular en el sector; por ello, no hay contradicciones, hace mucho tiempo se aplica este paradigma, solo que ahora con una nueva denominación: Economía circular.

## **BARRERAS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**

No obstante, los resultados mostrados por el sector, a nivel internacional, su inserción de forma más profunda en la EC presenta barreras, aún en los mayores productores de azúcar y etanol, a partir de la caña de azúcar. Mina *et al.* (11) analizan el caso de la industria Brasileña y valoran, mediante análisis de jerarquía de procesos, tres tipos de barreras para la inserción en un programa de EC: 1-Sociales y medioambientales, 2-económicas y financieras y 3-tecnológicas y operacionales. Ellos concluyen que las principales barreras en Brasil son económicas y financieras, aunque recalcan que existe una falta de legislación nacional respecto a la EC, tal como existe para la UE y China.

Meghana y Shastri (7) también analizan las barreras comerciales, tecnológicas y económicas asociadas a varias rutas para la valorización de los residuos de la agroindustria. Estos autores coinciden en que el desarrollo alcanzado por Brasil, en la producción combinada de azúcar/alcohol/electricidad, se inserta en la filosofía de Economía circular, pero para perfeccionar más esta estrategia es necesario identificar los cuellos de botella o barreras que usualmente se presentan, incluidos los aspectos económicos y ambientales.

Para el caso de Cuba, las barreras financieras y económicas también juegan un rol fundamental, aunque se entrelazan con barreras tecnológicas, debido a la obsolescencia de la industria. En el contexto ambiental es importante señalar que, aunque existen las legislaciones encaminadas a lograr una proyección del sector consecuente con la protección ambiental, aún persisten retos y no todas las empresas logran mostrar una política ambiental compatible con las legislaciones actuales.

## **CONCLUSIONES**

La agroindustria azucarera, a lo largo de su desarrollo, ha planificado su estrategia de conservación, desarrollo y diversificación bajo los principios de lo que hoy se ha definido como EC; por lo que, para nuestra agroindustria, este paradigma no es nuevo. El desarrollo de nuevas tecnologías, en su inmensa mayoría, ha cumplido con los principios básicos de la EC; eliminar los residuos y la contaminación, recircular los productos y materiales y regenerar la naturaleza. Las producciones de energía, etanol y el fertirriego/composteo constituyen ejemplos clásicos de EC. Otros aspectos, como la extracción de cera para la producción de medicamentos y productos nutracéuticos y el desarrollo de bioproductos se han sustentado en la química y la biotecnología para enlazar unos ciclos con otros, en los que unos productos se convierten en materia prima para tecnologías de otros productos de alto valor agregado

Según los estudios, los retos más importantes para el perfeccionamiento de la EC o diversificación, como la hemos llamado, son lo económicos y financieros, así como la ausencia de legislación política en muchos países en favor de una EC.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Boulding, K.E., 1966. The economics of the coming spaceship earth. *Environ. Qual. Grow. Eco. Essays from the Sixth RFF Forum* 3e14.
2. Geissdoerfer, M., Pieroni, M. P. P., Pigosso, D. C. A., & Soufani, K. (2020). Circular business models: A review. *Journal of cleaner production*, 277, [123741]. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>.
3. Economía Circular, [https://ast.wikipedia.org/wiki/Econom%C3%ADa\\_circular](https://ast.wikipedia.org/wiki/Econom%C3%ADa_circular)
4. Nawapanan, E.; Kongboon, R.; Sampattagul, S. Green GDP Indicator with Application to Life Cycle of Sugar Industry in Thailand. *Sustainability* 2022, 14, 918. <https://doi.org/10.3390/su14020918>
5. Díaz de los Ríos, M and Michelena, G., Biotechnological transformation of sugarcane co-products and wastes, Chapter XV of *Omics Approaches for Sugarcane Crop Improvement* (the “Work”), edited by Rajarchi Kumar Gaur, CRC, ISBN no. 9781032273723(PB) 9781032273686(HB) and 9781003292425(EB), in press.
6. Hamawand, I.; da Silva, W.; Seneweera, S.; Bundschuh, J. Value Proposition of Different Methods for Utilisation of Sugarcane Wastes. *Energies* 2021, 14, 5483. <https://doi.org/10.3390/en14175483>
7. Meghana, M., Shastri, Y., Sustainable Valorization of Sugar Industry Waste: Status, Opportunities, and Challenges, *Bioresource Technology* (2020), [doi: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122929](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122929)
8. Formann S, Hahn A, Janke L, Stinner W, Sträuber H, Logroño W and Nikolausz M (2020) Beyond Sugar and Ethanol Production: Value Generation Opportunities Through Sugarcane Residues. *Front. Energy Res.* 8:579577. [doi: 10.3389/fenrg.2020.579577](https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.579577).
9. Pérez, I., Cruz, A., Keyla Tortoló, K., Díaz, M. Miguel Angel Peña, M.A/. José Vela, J. Evaluation of Filter Cake Oil as Antifoam in Yeast Production: New Use for this By-Product of the Sugarcane Derivatives Industry, *Waste and Biomass Valorization* (2022) 13:977–987, <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01578-9>.
10. Teixeira, F.S.; Vidigal, S.S.M.P.; Pimentel, L.L.; Costa, P.T.; Pintado, M.E.; Rodríguez-Alcalá, L.M. Bioactive Sugarcane Lipids in a Circular Economy Context. *Foods* 2021, 10, 1125. <https://doi.org/10.3390/foods10051125>
11. Mina Kim Jesus, G., Jugend, D., Bertolucci Paes, L.A., Máximo Siqueira, R. and Artioli Leandro, M., Barriers to the adoption of the circular economy in the Brazilian sugarcane ethanol sector, *Clean Technologies and Environmental Policy*, <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02129-5>