

SUBPRODUCTOS, COPRODUCTOS Y DERIVADOS DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA

BYPRODUCTS, COPRODUCTS AND DERIVATIVES OF THE SUGAR AGROINDUSTRY

Aguilar-Rivera, N.^{1*}; Debernardi-Vázquez, T.J.¹; Herrera-Paz, H.D.¹

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Carretera Peñuela Amatlán de los Reyes km 1. Amatlán de los Reyes, Veracruz México. C. P. 94945.

*Autor de correspondencia: naguilar@uv.mx

RESUMEN

El uso de coproductos y subproductos para obtener derivados de la agroindustria azucarera son elementos emergentes que están acelerando la competitividad del sector. En la literatura especializada la diversificación puede apreciarse en numerosos estudios, considerándolo como eje estratégico dentro del paradigma tecno-económico. Sin embargo, los hallazgos continúan siendo fragmentados y sujetos a controversias, y no existe consenso respecto al concepto, definición y forma de establecer una estrategia adecuada para implementarla. En este trabajo se hace una revisión de los usos de la caña, subproductos, coproductos y derivados, innovaciones tecnológicas desde un contexto histórico, socioeconómico y tecnológico, y se analizan las perspectivas del sector cañero-azucarero dentro del paradigma de la bioeconomía, los bioproductos y las biorefinerías.

Palabras clave: *Saccharum* spp., competitividad, bioeconomía.

ABSTRACT

The use of coproducts and byproducts to obtain derivatives from the sugar agroindustry are emerging elements that are accelerating the competitiveness of the sector. In the specialized literature diversification can be appreciated in numerous studies, considering it as a strategic axis within the techno-economic paradigm. However, the findings continue to be fragmented and subject to controversy, and there is no consensus with regard to the concept, definition and way of establishing an adequate strategy to implement it. A review is presented in this study of the uses, byproducts, coproducts and derivatives of sugar cane, as well as the technological innovations from a historical, socioeconomic and technological context; and the perspectives of the sugar cane sector are analyzed within the paradigm of bioeconomy, bioproducts and biorefineries.

Keywords: *Saccharum* spp., competitiveness, bioeconomy.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 11, noviembre. 2017. pp: 13-20.

Recibido: mayo, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

Los modelos de producción azucarera y derivados convencionales de la caña como el piloncillo, aguardiente, miel de trapiche, azúcar estándar, mascabado, blanco popular, refinado, melazas, etanol de 96° G. L. y 99.6° G. L., abonos orgánicos, cenizas de calderas y vinazas de destilería para fertirrigación han sido materias primas o insumos, desde el siglo XX, para empresas convencionales, tales como celulosa, papel, alimentos y bebidas, ácidos orgánicos y compostas, entre otros. Su uso surgió en la llamada "Revolución del azúcar" y triángulos de comercio (azúcar, ron y esclavos) en los siglos XVI y XVII como una de las industrias más antiguas del mundo, pionera en la revolución industrial, en la variedad de productos y la administración de la producción. Un paso decisivo en la tecnología del azúcar se produjo con la invención del trapiche vertical de tres rodillos, *trapetto* (se atribuyen su invención a Pietro Speciale, prefecto de Sicilia en 1449, y al saber agronómico arábigo-andaluz, que era impulsado por agua o tracción animal) (Deerr y Brooks, 1940). Este trapiche podía ser operado por dos o tres personas que pasaban la caña por los rodillos de ida y de regreso. Por otra parte, ingenio, engenho, es el modo de sacar el azúcar de las cañas o ingenio de azúcar. Von Wobeser (1990) mencionó que se llamaba ingenio a las haciendas cuyo equipo de molienda utilizaba como fuerza motriz el agua y producían azúcar; por otra parte, se le llamaba trapiches a los que empleaban fuerza animal y producían piloncillo. El trapiche era un molino de dos o tres rodillos de tamaño minúsculo y con bajos costos de producción, siendo su objetivo principal la panela, mientras que el ingenio constituía una verdadera fábrica, con grandes inversiones e infraestructura, y trabajadores bajo algún régimen laboral, destinado a la producción de azúcar blanca.

Entonces, la diferenciación de la producción azucarera surgía a partir de la relación existente entre la población trabajadora, la superficie cultivada y el tipo de derivado de la caña de azúcar producido (Sánchez-Santiró, 2006). Como resultado de casi 500 años de producción de caña en México, el impacto ambiental y los usos de los subproductos no solo han modelado gran parte de los paisajes sociales en México (las estructuras sociales, la organización del territorio, la dinámica demográfica, las características del mercado de trabajo, etcétera); también ha incidido en la cultura y cosmovisión hacia el monocultivo de caña de azúcar y la mono producción de azúcar. Esto se debe en gran parte a la relación entre la producción del azúcar y su consumo, que cambió con el tiempo, y los usos que se le atribuyeron al producto, primeramente como artículo de lujo o especia, inclusive medicina, y posteriormente como integrante de la canasta básica de la población. Desde su introducción en el siglo XVI hasta el día de hoy, el azúcar alteró su relación con otros alimentos con los que se combinó (café, chocolate, conservas) y otros a los que finalmente llegó a reemplazar, tales como piloncillo, miel de trapiche, miel de abeja, principalmente (Mintz, 1996). La tradicional agroindustria azucarera o cadena del azúcar consta de siete grandes eslabones en relación con el producto final, azúcar: 1) El cultivo y la cosecha de caña; 2) El transporte de la caña cortada a la fábrica o al ingenio; 3) La comercialización del producto mediante los intermediarios o de manera directa; 4) El transporte del producto terminado; 5) La comercialización para el consumo

directo; 6) El uso en industrias como el pan, la confitería y las bebidas y 7) El consumidor final.

Diversificación o reconversión de la agroindustria azucarera

De acuerdo con Bhatnagar *et al.* (2016), el aumento en la producción de caña de azúcar para azúcar, etanol y energía implica un incremento de subproductos de la agroindustria azucarera; sin embargo, trae como consecuencia graves problemas debido a la falta de soluciones sostenibles para su gestión como materia prima en biorefinerías. De acuerdo con Aguilar-Rivera *et al.* (2014) se requiere atención de forma multidisciplinaria para transformarlos en materias primas y reducir al mínimo la contaminación ambiental y riesgos de salud. Es decir, utilizando criterios de ahorro de energía y potencial de emisiones de CO₂ con opciones tecnológicas básicas, como (1) utilización de exceso de aguas residuales para mayor imbibición; (2) aprovechamiento del calor residual para el enfriamiento térmico; (3) utilización del bagazo en exceso para pellets; y (4) modificación de la unidad de cogeneración para generación de energía eléctrica (Birru *et al.*, 2016). Para la diversificación de la agroindustria azucarera están involucrados múltiples actores con diferentes objetivos, estrategias y percepciones. Desde los inicios de esta actividad, en lo que fue el Virreinato de la Nueva España, se han empleado indistintamente los términos diversificación, reconversión, reingeniería, reestructuración, producciones colaterales y otros para definir a los procesos, estrategias, políticas, tendencias y alternativas que tengan como fin generar nuevas producciones de la tradicional agroindustria azucarera, obteniendo derivados de los subproductos

de mayor valor agregado y acceso a diversos mercados; es decir, una agroindustria o biorefinería de la caña de azúcar multipropósito y multiproductiva. En este sentido, bagazo, melazas, torta de filtro o cachaza, cenizas de calderas, paja y cogollo, gases de combustión, vinazas y aguas residuales son productos colaterales a la producción azucarera y constituyen los *subproductos* de esta agroindustria. En cuanto a la melaza y etanol son coproductos de la producción de sacarosa y se denominan *derivados* de la caña de azúcar, definidos como bienes obtenidos industrialmente a partir de los subproductos y coproductos de la agroindustria azucarera (Gálvez, 1990). Esto se deriva del hecho de que desde sus inicios la agroindustria azucarera mexicana se organizó sobre la base de un modelo integrado "verticalmente", en el sentido de que la hacienda (explotación agraria) agrupaba a las áreas agrícolas productoras de los insumos básicos para la fabricación de azúcar y otros derivados, tales como aguardiente, panocha, piloncillo y mieles, en tanto que las instalaciones fabriles (ingenios o trapiches) absorbían la totalidad de la producción cañera generada por una gran cantidad de pequeños y medianos productores agrícolas y no existían empresas que utilizaran subproductos de la agroindustria azucarera, a excepción del aguardiente (Sanchez-Santiró, 2006).

De acuerdo con Crespo *et al.* (1988), la primera información precisa de la utilización de bagazo como subproducto en amplia escala como combustible data de 1827, a raíz de la necesidad de aprovisionamiento de combustible y la sobreexplotación de los montes cercanos al ingenio para proveer leña. Los subproductos resultantes del proceso de trapiche (bagacillo, cenizas y el tlazol) eran empleados en el campo, ya que al abrir terrenos vírgenes al cultivo se procedía a eliminar la selva mediana y la maleza. En terrenos ya cultivados, la plantación se iniciaba con la quema de rastrojos sobrantes del ciclo anterior que no habían sido empleados como forraje, y las cenizas resultantes se esparcían a manera de abono al trapiche. Las cenizas provenientes de la quema de bagazo en la hornalla mezclada con estiércol completaban el abono del terreno. Las socas y resocas (rebrotos de la planta de caña) eran empleadas para alimentación de ganado. A finales del siglo XIX, la Revolución Industrial sustituyó la tecnología simple de los primitivos trapiches por plantas industriales de alta complejidad, ingenios modernos, centrales o el nuevo ingenio mecanizado, con todos los cambios tecnológicos, desde la entrada de la caña al batey, hasta el envase del producto final. Esta época marcó el desarrollo concreto de la moderni-

zación del aparato productivo de las haciendas azucareras de México y se dio en cuatro periodos para la generación de valor a partir de hornos abastecidos con leña, bagazo, carbón mineral y, posteriormente, petróleo. Cada uno de estos periodos estaría caracterizado por la incorporación de nueva maquinaria en la industria. El primero sería el de la aplicación del vapor y centrifugas a la producción de mascabado; el segundo, la adaptación de serpentines para calentar hornillas; el tercero, la introducción de motores y aparatos de vacío; y, finalmente, el nuevo sistema de molienda (Pucci, 2001).

En 1924, *The International Society of Sugar Cane Technologists* (ISSCT) se estableció como una asociación de científicos, tecnólogos, instituciones y compañías relacionadas con el avance tecnológico de la industria de la caña de azúcar y sus coproductos. En las primeras etapas de la diversificación, las materias primas utilizadas eran los residuos industriales y los de la cosecha; luego fueron los productos intermedios del proceso azucarero y en la segunda etapa (segunda mitad del siglo XX), propiamente el azúcar, que generó opciones productivas. Con la creación de plantas industriales de importancia, el inicio del desarrollo de los derivados inició en la década de 1930, y empezaron a realizarse esfuerzos tecnológicos significativos para hacer de los residuos de la fabricación de azúcar una fuente de materias primas competitiva para las industrias de pulpa y papel, fermentaciones y tableros (Paturau, 1969). El estudio de las reacciones químicas y las propiedades de la sacarosa, tales como la materia prima (sacroquímica), iniciaron en 1943 al organizarse *The Sugar Research Foundation*. A pesar de que la molécula de sacarosa se ha estudiado exhaustivamente desde principios del siglo XX, realizándose infinidad de investigaciones y obteniéndose numerosos productos a escala de laboratorio, el desarrollo industrial de sus derivados ha sido poco, registrando un desarrollo potencial a principios del siglo XXI (Höfer, 2015). A estos antecedentes se agrega la situación geopolítica del país de Cuba y la creación del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) en 1963, cuyo objetivo es brindar el soporte científico al desarrollo de las tecnologías que permitan el aprovechamiento integral y diversificado de la caña de azúcar. El concepto de diversificación en la industria azucarera ha ido evolucionando, desde producciones con tecnologías simples hasta las más recientes, basadas en la química sintética, la biotecnología y en los procesos de obtención de nuevos materiales (Almazan, 1998). En 1974 se estableció en México la creación de

un organismo regional azucarero, el Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar, GEPLACEA, con 23 miembros, el cual alcanzó una considerable importancia en el mundo azucarero por sus acciones en entrenamiento e investigación, así como en la difusión de trabajos y estudios sobre la misma a nivel mundial en el campo de los derivados de la caña de azúcar (Cerro, 2006). De acuerdo con Rivera de Castillo (1980), los subproductos de la industria azucarera comienzan a tener importancia en los países productores en el siglo XX, debido a la crisis energética, el precio del petróleo y sus derivados. Se establecen diversos centros de investigación en caña de azúcar en los cinco continentes, se desarrolla el *Know How* de los usos de los subproductos de la industria azucarera, se organizan congresos de diversificación, generan patentes, publicaciones científicas y libros sobre los derivados de la caña a nivel mundial (Figura 1).

Los trabajos de Aguilar-Rivera (2010; 2012; 2013; 2014a; 2014b; 2014c) han demostrado el desarrollo agroindustrial, estudios de potenciación, propiedades fisicoquímicas y disponibilidad de subproductos, así como los factores limitantes hacia la transición a una biorefinería y utilización sostenible de los subproductos, tales como materia prima en lugar de residuos a tratar. Sin embargo, pocos estudios se han focalizado en evaluar cómo este potencial podría lograr transformar un ingenio azucarero convencional, donde el producto principal es el azúcar para alimento, en una planta diversificada eficiente que contribuya a reducir el consumo de energía fósil y alcanzar la competitividad. Anteriormente, los usos más generalizados que se



Figura 1. Publicaciones básicas de la diversificación de la agroindustria azucarera.

daban al bagazo y residuos de cosecha eran como combustible, a las melazas exclusivamente en la fabricación de aguardiente y como alimentación al ganado. Sin embargo, el término diversificación es el más empleado en la literatura científica como "Keyword" y parte del "Know How" para definir producciones colaterales o secundarias de la materia prima: caña de azúcar, diferentes a la sacarosa y a la reconversión industrial, para aquellas transformaciones en el sector fabril que tengan como fin la minimización y el uso de subproductos y residuos en otras producciones, a la par de las tradicionales, que genere una rentabilidad económica y la creación de ventajas competitivas. Sin embargo, los factores que han restringido o fomentado la diversificación de la industria azucarera (precios del azúcar y petróleo, tecnología, materias primas, costos de producción, impacto ambiental, etcétera), se han traslapado cíclicamente a través de la historia del edulcorante.

Desde una perspectiva más amplia, en relación con los factores determinantes de la diversificación del sector, el mercado no se limita al azúcar sino que existen los productos secundarios tradicionales

derivados del jugo de la caña, tales como vinaza, alcohol y aminoácidos. Adicionalmente, los productos derivados de la fibra de la caña representan insumos para aminoácidos, alimento animal, papel, combustible, detergentes, aceites lubricantes y pinturas. Son mercados a los que se ha dado poca importancia hasta la fecha y donde hay oportunidades no explotadas. A lo anterior se suma el mercado de los productos energéticos, conformados por la cogeneración de energía eléctrica, etanol, biodiesel y gas sintético. Esta área de oportunidad se puede calificar como totalmente no explotada en términos económicos por la industria, por razones diversas, ya sea por las regulaciones limitativas en torno a la generación de la energía, por la ausencia de una visión estratégica hacia el sector, o por las visiones empresariales poco emprendedoras (Mertens, 2008). Se trata de combinar el aprovechamiento de la caña y la utilización de los subproductos de la agroindustria azucarera. La diversificación equivale al uso integral de la caña de azúcar, la optimización del uso de los subproductos de la fabricación de azúcar y el uso del azúcar en sí como materias primas para su transformación en otros productos

valiosos desde el punto de vista de su repercusión económica y social, como etanol (99.6° G. L.), para mezclarlo con gasolina, biodiesel, cogeneración de energía, productos orgánicos o rústicos en su apariencia (panela en trozo, pulverizado, azúcar mascabado, azúcar saborizada, entre otros). También equivale al uso óptimo de la tierra dedicada a este cultivo; por ejemplo, mediante la introducción de cultivos intercalados o en rotación. En ningún caso se debe entender que la diversificación significa la sustitución de la caña de azúcar por otros cultivos (Silalertruksa *et al.*, 2015; Sabatier *et al.*, 2015; Lora *et al.*, 2014a; 2014b; Zamora *et al.*, 2013; de Jong *et al.*, 2012). La agroindustria azucarera puede ser el instrumento decisivo en el desarrollo industrial y agrícola de los países productores en las décadas por venir y, por lo mismo, con la diversificación se satisfacen renglones de consumo vital de las industrias de alimentación, farmacéutica, papelería y productos químicos (Cuadro 1).

A pesar de las ventajas de tipo económico, social y ambiental que ocasionaría el aprovechamiento de los residuos de la industrialización de la caña de azúcar y de que existe un marco legal estructurado sobre bases históricas y coordinado con lo realizado en otros países productores de caña, y que en varias universidades y centros de investigación no corresponden aún con el nivel de utilización en las regiones cañeras. Los desafíos económicos de la agroindustria azucarera se focalizan en dos frentes. En primer lugar, la inestabilidad de los precios del azúcar en el mercado mundial y la competencia con diversos edulcorantes de alta intensidad. En segundo lugar, la diversificación de la estructura productiva del monocultivo de caña de azúcar y de los subproductos del ingenio (bagazo, melaza, vinaza, lodo de filtros y

cenizas de caldera), como opción para mejorar la productividad y, en definitiva, la competitividad regional, utilizando los equipos existentes, infraestructura y la creciente especialización, consecuencia de la posible demanda que tendrán los derivados de la caña en el mundo en los que se han propuesto esquemas de diversificación que van desde el menor hasta el mayor valor agregado en una biorefinería. Por lo tanto, los proyectos de diversificación deben partir del conocimiento científico de los coproductos, subproductos y derivados, del balance energético y de materiales en los ingenios azucareros y de los mercados de derivados de la caña de azúcar, en la premisa de la complejidad y en la necesidad de explorar y entender un tejido de relaciones complejas para establecer alternativas productivas en los ingenios azucareros y empresas derivadas al incorporar variables agroindustriales, de forma integradora y no individual bajo el concepto de biorefinería. Existen otros modelos de diversificación de la agroindustria azucarera mundial que se encuentran ampliamente documentados y probados (Eggleston y Lima, 2015), mismos que han planteado que la producción de derivados de la caña es una opción que debe considerarse, en especial en el contexto actual en que ha disminuido drásticamente la productividad del negocio que sirve como soporte principal de la monoproducción de azúcar y a que en México se requieren en promedio 9.1 t de caña, equivalentes a 0.133 hectáreas cosechadas (con un valor extremo de 12.16 y 0.186 respectivamente) para producir una tonelada de azúcar base estándar (Figura 2) y para la diversificación, una productividad sostenible y competitiva de materia prima y, por lo tanto, de

Cuadro 1. Derivados de la agroindustria azucarera.

Material	Producción comercial
Residuos de cosecha, bagazo y médula (Subproductos)	Energía y vapor, pulpa y papel, tableros de partículas, fibras y cemento cartón, furfural y derivados, alfa-celulosa, bagazo hidrolizado y pre-digerido, carboximetil celulosa y derivados, productos moldeados, Syngas (CO+H ₂), ligninas sulfonadas, fenoles, carbón activado, etanol de segunda generación, azúcares fermentables, xilosa, xilitol, hongos comestibles, alimento animal, compostas, materiales compuestos (composites), pellets, lignina, biogás, BioOil, entre otros.
Melazas y sacarosa (Coproductos)	Etanol combustible y alcohólica, alcoholes de diverso peso molecular, ron y aguardiente, acetona, butanol, levadura para el consumo humano y panadería, autolizados de levadura, torula, invertasa, melaza de alta proteína, alfa-amilasa, <i>Azotobacter</i> , <i>Rhizobium</i> , CO ₂ , biopesticidas, L-lisina, levadura hidrolizada. Giberelinas, goma xantana, concentrado de proteínas, glucomananos, betaglucanos, <i>Beauveria bassiana</i> , penicilinas, <i>Trichoderma</i> , <i>Azospirillum</i> , dextranasa, celulasa, inoculante láctico, citocinina, fitohormonas, ferridextrano, glucosa, sorbitol, ácidos (acético, jasmónico, cítrico, indolacético, glutámico, succínico, itacónico, adipico, aspártico, levulínico, láctico), sucroquímica, bioplásticos, 5-hidroximetil furfural, glutamato monosódico, entre otros.
Cachaza (lodo de filtros) (Subproducto)	Compostas, alimento pecuario, ceras, fitosteroles, entre otros.

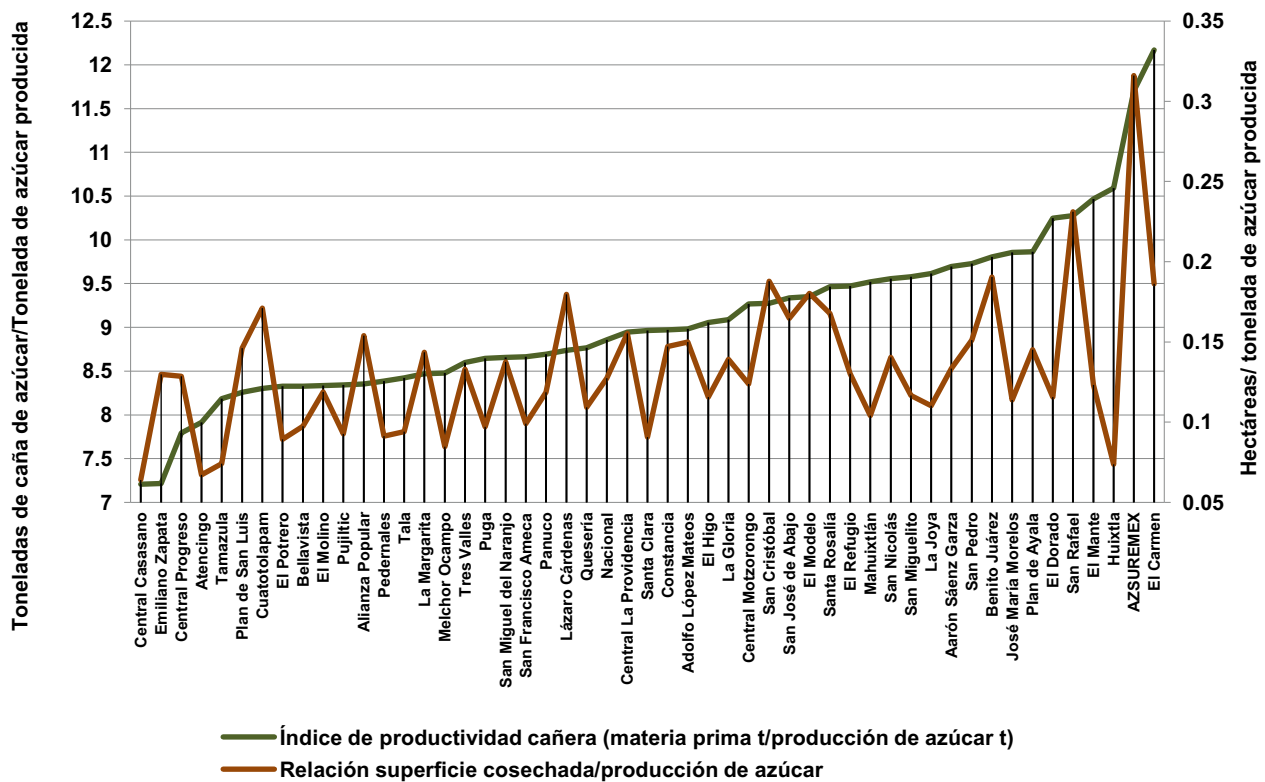


Figura 2. Productividad de la agroindustria azucarera (CONADESUCA, 2016).

subproductos es una condición indispensable.

De acuerdo con Cimoli (2005) e Imbs y Wacziarg (2003), dentro de este paradigma tecno-económico la diversificación de la agroindustria azucarera nacional presenta una ruptura en el proceso que va de la especialización mono productiva (caña y sacarosa) a la diversificación productiva (en campo, fábrica y mercados). Los empresarios no pueden apropiarse de todos los aspectos que generan valor registrados en la literatura científica, patentes y desarrollos tecnológicos de países líderes, debido a que invierten poco en la experimentación e investigación necesaria para descubrir nuevas oportunidades de diferenciación durante la creación de un nuevo producto derivado de la caña de azúcar vía la imitación y, en consecuencia, el proceso de diversificación productiva y el desarro-

llo del sector se estancan al no transitar a la generación de conocimiento propio después de la adaptación y no determina la dirección del desarrollo económico y social de la zonas cañeras que se espera hasta el día de hoy. La literatura reciente sobre la diversificación o biorefinerías de la caña de azúcar se refiere a bioprocesos, bioproductos y bioeconomía, conceptos enmarcados en la llamada Revolución "6BIO": bioazúcar, bioelectricidad, biocombustibles, bioproductos, bioagua y biofertilizante, por razones de sostenibilidad. Esta situación cambió la perspectiva de la caña de azúcar: permitió a este cultivo alcanzar una dimensión nueva, superior, y generar un ciclo de nuevas empresas, derivadas de productos tradicionales y nuevos (Olivério et al., 2010). El procesamiento de jugo o melaza en etanol es el primer paso hacia una biorefinería de caña de azúcar (Gheewala et al., 2016), aunque una mejor inversión estratégica con los avances en tecnología sería el aumento de la producción de electricidad con nuevos sistemas de cogeneración, procesos de primera y segunda generación de etanol; a la par de la producción de azúcar, esto tendría el impacto positivo de la diversificación, lo que representa, entre otros factores, que la biorefinaría de la caña de azúcar puede aumentar las rentabilidad con un atractivo ecológico (Albarelli et al., 2014). Diversos autores (Martínez-Guido et al., 2016; Cristóbal et al., 2016; de Souza Dias et al., 2015; Ahmed et al., 2014) establecen que la nueva fábrica integrada de caña de azúcar o biorefinería con las más avanzadas innovaciones se está llevando a cabo, considerando las jerarquías tecnológicas de primera, segunda y tercera generaciones en bioelectricidad, bioetanol y producción de biodiesel integrado. Sindhu et al. (2016) y Santos et al. (2016) analizaron los últimos avances en investigación básica, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i) sobre la bioconversión de residuos de la cosecha de caña

de azúcar y bagazo para productos de valor agregado. También, la sostenibilidad está incorporada en el concepto de la fábrica, resultando en una solución actualizada para un diseño óptimo para la máxima eficiencia y sostenibilidad. De acuerdo con Sarker *et al.* (2016), los sistemas fisicoquímicos y convencionales de conversión de los subproductos cañeros son de capital intensivo, pero no respetuosos con el ambiente. En contraste, los tratamientos biológicos son ecológicos, pero extremadamente lentos. Todavía existen importantes desafíos económicos que deben ser abordados, tales como los microorganismos genéticamente modificados, mejoras en procesos de clonación y secuenciación de genes, y rendimientos a gran escala, entre otros. Al analizar la literatura clásica y reciente sobre el tema se establece que los productos de mayor valor añadido procedentes de la caña de azúcar incluyen biocombustibles, enzimas, ácidos orgánicos y productos de base biológica, donde la nano-biotecnología e ingeniería genética podrían ser tendencias futuras a procesos y productos mejorados. Por lo tanto, ante los avances en *I+D+i* y el desarrollo histórico de los usos de los subproductos de caña de azúcar en derivados es necesario planear varias preguntas: ¿qué caminos tiene la agroindustria azucarera para ser competitiva?, ¿de qué manera podemos incrementar el uso del azúcar, coproductos y subproductos del proceso para la obtención de derivados?, ¿cómo dar a estos un valor añadido?, ¿cuáles son entonces las posibilidades de convertir el azúcar, coproductos y subproductos en derivados?, ¿en productos con valor agregado?

CONCLUSIONES

Los estudios actuales, y especialmente para el caso de México, apuntan hacia la urgente necesidad de diversificar el sector y aprovechar los grandes avances que ya se tienen.

LITERATURA CITADA

Aguilar-Rivera N. 2012. Paradigma de la diversificación de la agroindustria azucarera de México. *Convergencia* 19: 187-213.

Aguilar-Rivera N. 2013. La industrialización de los derivados de la caña de azúcar en México. *Quiipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología* 15: 237-270.

Aguilar-Rivera N. 2014a. Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz México. *Nova Scientia* 6: 125-161.

Aguilar-Rivera N. 2014b. Índice de diversificación de la agroindustria azucarera en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 11: 441-462.

Aguilar-Rivera N. 2014c. Gestión de factores limitantes para la diversificación de la agroindustria azucarera. *Revista Venezolana de Gerencia* 19: 66-91.

Aguilar-Rivera N., Herrera-Solano A., Enríquez-Ruvalcaba V., Rodríguez-Lagunes D.A., Castillo-Moran A. 2014. Multidisciplinary Approaches for Analysis of Socio-Economic and Ecological Constraints for Diversification Projects and Sugarcane Biorefineries. *In: P. Gorawala, S. Mandhatri (Eds.). Sugarcane: Production, Consumption and Agricultural Management Systems*. pp. 193-236.

Aguilar Rivera N. 2010. La caña de azúcar y sus derivados en la Huasteca San Luis Potosí México. *Diálogos Revista Electrónica de Historia* 11: 81-110.

Ahmed T., Souad A., Tijani B. 2014. Energetic byproducts of sugar industry. *In: Proceedings of the 2014 International Conference on Composite Materials and Renewable Energy Applications (ICCMREA)*. pp. 1-6. doi: 10.1109/ICCMREA.2014.6843787

Albarelli J.Q., Ensinas A.V., Silva M. A. 2014. Product diversification to enhance economic viability of second generation ethanol production in Brazil: The case of the sugar and ethanol joint production. *Chemical Engineering Research and Design* 92: 1470-1481.

Almazan O.O. 1998. The sugar cane, its by-products and co-products. AMAS 1998. Food and Agricultural Research Council, Réduit, Mauritius, p. XIII-XXV. *In: http://www.gov.mu/portal/sites/ncb/moa/farc/amas98/keynote.pdf*.

Bhatnagar A., Kesari K.K. Shurpali N. 2016. Multidisciplinary approaches to handling wastes in sugar industries. *Water, Air and Soil Pollution* 227: 11. doi:10.1007/s11270-015-2705-y

Birru E., Erlich C., Herrera I., Martin A., Feychting S., Vitez M., Abdulhadi E.B., Larsson A., Onoszko E., Hallersbo M., Weilenmann L., Puskoriute L. 2016. A Comparison of Various Technological Options for Improving Energy and Water Use Efficiency in a Traditional Sugar Mill. *Sustainability* 8: 1227. doi:10.3390/su8121227

Cerro J.A. 2006. Acuerdos especiales. GEPLACEA y la integración Latinoamericana *In: XIV International Economic History Congress, Helsinki, 2006, Session 109*. 13 p.

Cimoli M., Ferraz J.C., Primi A. 2005. Science and technology policies in open economies: the case of Latin America and the Caribbean (Vol. 165). CEPAL - SERIE Desarrollo productivo United Nations Publications. Santiago de Chile. 57 p.

Crespo H. 1988. Historia del azúcar en México. Fondo de Cultura Económica. 2 Tomos. 2da edición México D.F. 1029 p.

Cristóbal J., Matos C.T., Aurambout J.P., Manfredi S., Kavalov B. 2016. Environmental sustainability assessment of bioeconomy value chains. *Biomass and Bioenergy* 89: 159-171.

CONADESUCA. 2016. Infocaña. <http://www.gob.mx/conadesuca>

Deerr N., Brooks A. 1940. The evolution of the sugar cane mill. *Transactions of the Newcomen Society* 21: 1-9.

de Jong E., Higson A., Walsh P., Wellisch M. 2012. Bio-based chemicals value added products from biorefineries. IEA Bioenergy, Task42 Biorefinery. 36 p. <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Task-42-Biobased-Chemicals-value-added-products-from-biorefineries.pdf>

de Souza Dias M.O., Maciel Filho R., Mantelatto P.E., Cavalett O., Rossell C.E.V., Bonomi A., Leal M.R.L.V. 2015. Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. *Environmental Development* 15: 35-51.

Eggleston, G., Lima, I. 2015. Sustainability issues and opportunities in the sugar and sugar-bioprodut industries. *Sustainability* 7: 12209-12235.

- Gálvez L. 1990. La industria de los derivados de la caña de azúcar, ICIDCA/MINAZ / Editorial Científico Técnica. La Habana, Cuba. 576 p.
- Gheewala S.H., Bonnet S., Silalertruksa T. 2016. Environmental sustainability assessment of sugarcane bioenergy. *In: I. O' Hara, S. Mundree (Eds.). Sugarcane-Based Biofuels and Bioproducts* pp. 363-378. DOI: 10.1002/9781118719862.ch14
- Höfer R. 2015. Sugar-and Starch-Based Biorefineries. *Industrial Biorefineries and White Biotechnology. In: A. Pandey, R. Höfer, M. Taherzadeh, M. Nampoothiri, C. Larroche, C. (Eds.). Industrial biorefineries and white biotechnology. Elsevier. ISBN: 978-0-444-63453-5. pp. 157-236.*
- Imbs J., Wacziarg R. 2003. Stages of diversification. *American Economic Review* 93: 63-86.
- Lora E.E.S., Rocha M.H., Palacio J.C.E., Venturini O.J., Renó M.L.G., del Olmo O.A. 2014a. The sugar and alcohol industry in the biofuels and cogeneration era: a paradigm change (Part I). *Zucker Ind. (Sugar Ind.)* 139: 28-36.
- Lora E.E.S., Rocha M.H., Escobar J.C.P., Venturini O.J., Renó M.L.G., Almazán O.O. 2014b. The sugar and alcohol industry in the biofuels and cogeneration era: a paradigm change (Part II). *Zucker Ind. (Sugar Ind.)* 139: 97-104.
- Martínez-Guido S.I., González-Campos J. B., Ponce-Ortega J.M., Nápoles-Rivera F., El-Halwagi M.M. 2016. Optimal reconfiguration of a sugar cane industry to yield an integrated biorefinery. *Clean Technologies and Environmental Policy* 18: 553-562.
- Mertens L. 2008. Hacia el trabajo decente en el sector del azúcar, México Documento de trabajo núm. 259 Oficina Internacional del Trabajo Ginebra Suiza. 83 pp. http://natlex.ilo.ch/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/publication/wcms_160869.pdf
- Mintz S.W. 1996. Dulzura y poder, el lugar del azúcar en la historia moderna. Siglo XXI editores México D.F. 299 p.
- Olivério J.L., Carmo V.B., Gurgel M.A. 2010. The DSM-Dedini sustainable mill: a new concept in designing complete sugarcane mills. *In: Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* 27: 1-34.
- Paturau J.M. 1969. By-products of the Cane Sugar Industry an Introduction to Their Industrial Utilization. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, Netherlands, 274 p.
- Pucci R. 2001. La revolución industrial azucarera en Cuba, Brasil y Argentina. *Tecnología y cambio social (ca. 1870-1930). América Latina en la Historia Económica* 8: 123-149.
- Rivera de Castillo A. 1980. Subproductos y derivados de la industria azucarera, *Ciencia y Sociedad, Asociación de Tecnólogos Azucareros*. 5: 225-241. <https://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/369>
- Sabatier D., Martiné J.F., Chiroleu F., Roussel C., Letourmy P., Antwerpen R., Benoit G., Ney B. 2015. Optimization of sugarcane farming as a multipurpose crop for energy and food production. *GCB Bioenergy* 7: 40-56.
- Sánchez-Santiró E. 2006. Evolución productiva de la agroindustria azucarera de Morelos durante el siglo XIX: una propuesta de periodización. *América Latina en la Historia Económica* 26: 109-127.
- Santos V.E.N., Ely R.N., Szklo A.S., Magrini A. 2016. Chemicals, electricity and fuels from biorefineries processing Brazil's sugarcane bagasse: Production recipes and minimum selling prices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53: 1443-1458.
- Sarker T.C., Azam S.M.G.G., Bonanomi G. 2016. Recent Advances in Sugarcane Industry Solid By-Products Valorization. *Waste and Biomass Valorization* 8: 1-26. doi: 10.1007/s12649-016-9665-3
- Silalertruksa T., Gheewala S.H., Pongpat P. 2015. Sustainability assessment of sugarcane biorefinery and molasses ethanol production in Thailand using eco-efficiency indicator. *Applied Energy* 160: 603-609.
- Sindhu R., Gnansounou E., Binod P., Pandey A. 2016. Bioconversion of sugarcane crop residue for value added products-An overview. *Renewable Energy* 98: 203-215.
- von Wobeser G. 1990. La hacienda azucarera en la época colonial. *Historia Mexicana* 39: 1063-1067.
- Zamora M.M., Suárez E.G., Garriga L.M., Castro E. 2013. Revamping strategy of diversified industry of sugar cane for combined production of bioethanol and co-product. *Revista Facultad de Ingeniería* 66: 189-198.

