



Revista de Ingeniería

ISSN: 0121-4993

reingeri@uniandes.edu.co

Universidad de Los Andes

Colombia

Cardona Alzate, Carlos Ariel

Perspectivas de la producción de biocombustibles en Colombia: contextos latinoamericano y mundial

Revista de Ingeniería, núm. 29, mayo, 2009, pp. 109-120

Universidad de Los Andes

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121013257014>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Perspectivas de la producción de biocombustibles en Colombia: contextos latinoamericano y mundial

Perspectives of Biofuels Production in Colombia: Latinamerican and World Contexts

Recibido 23 de abril de 2009, modificado 13 de junio de 2009, aprobado 20 de junio de 2009.

Carlos Ariel Cardona Alzate

Ph.D. Profesor Asociado. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Manizales, Colombia.

ccardonaal@unal.edu.co

PALABRAS CLAVES

Alcohol carburante, biodiesel, impacto ambiental, seguridad alimentaria.

KEY WORDS

Biodiesel, environmental impact, food security, fuel ethanol.

RESUMEN

Se discuten los aspectos básicos de la producción de biocombustibles, como alcohol carburante y biodiesel, incluyendo sus principales ventajas y desventajas, materias primas, tecnologías, perspectivas de desarrollo y retos, para su correcta implementación en el contexto nacional e internacional. Adicionalmente, se analiza de manera resumida los impactos de los biocombustibles en el medio ambiente como principal aporte a la movilidad sostenible. Se plantea también una estrategia diseñada con la FAO para evaluar el impacto de los biocombustibles en la seguridad alimentaria de un país.

ABSTRACT

The basic aspects of liquid biofuels (biodiesel and fuel ethanol) production are discussed, including advantages and disadvantages, raw materials, technologies, prospects of development and challenges for their successful implementation in the national and international context. The article also provides a brief analysis of the biofuels impact on the environment as the main contribution to sustainable mobility. This work additionally describes a strategy designed together with FAO to assess the impact of biofuels on food security.

INTRODUCCIÓN

Hasta el inicio de la revolución industrial, la biomasa era la fuente más importante de energía para la humanidad. Sin embargo, a medida que se masificó el uso de combustibles fósiles, el aprovechamiento del potencial energético de la biomasa fue disminuyendo progresivamente. Hoy en día, no obstante, son cada vez más evidentes los daños que causan al planeta las emisiones producto del consumo masivo de combustibles derivados del petróleo, como la gasolina y el diesel, en los vehículos de transporte.

Diferentes problemas relacionados con la seguridad energética, el medio ambiente o la baja calidad de vida en el campo han obligado a la humanidad a buscar alternativas reales a los combustibles fósiles. El consumo de energía crece a tasas cada vez más altas, impulsado por el consumo de Estados Unidos, lo mismo que por el espectacular crecimiento económico de China. No obstante, el panorama en el mercado mundial del petróleo está lejos de ser estable a pesar de cierta disminución en los precios del barril de petróleo. Estos precios tan altos pueden conducir a una desaceleración de la economía mundial. En este contexto, los países en vías de desarrollo experimentarán una mayor dependencia del petróleo que aún los propios países desarrollados, debido a su baja capacidad para desarrollar nuevas tecnologías y al aumento de su población [1].

Pero al mismo tiempo, los combustibles fósiles requeridos por la economía mundial generan cantidades ingentes de gases contaminantes, como monóxido y dióxido de carbono, NOx y SOx, que al ser liberados por los motores de combustión han causado cambios en el clima del planeta. Lo anterior se ha convertido en una de las mayores preocupaciones de la humanidad.

Además de las consideraciones ambientales, los gobiernos han promovido la producción y utilización de productos de mayor valor agregado a partir de las materias primas producidas en el campo, atendiendo a criterios socio-económicos como el impulso a

la economía rural en busca del aumento del nivel de vida de los campesinos.

Una solución renovable la constituye el uso de la energía solar en forma de biomasa (bioenergía), la cual está representada por los materiales lignocelulósicos y los cultivos ricos en energía.

Todas las consideraciones citadas anteriormente se han constituido en mayor o menor medida en el motivo de la creación o generación de nuevos proyectos o políticas basadas en la producción de biocombustibles. De esta manera, aparece en el escenario la alternativa de producir biocombustibles, que constituyen una alternativa para los combustibles de transporte "tradicionales". Una de las principales características de los biocombustibles, que los diferencia enormemente de los combustibles derivados del petróleo, es que además de ser renovables se pueden convertir en una fuente "inagotable" de energía. Esta característica permite que, en países con un nivel de desarrollo bajo y una gran biodiversidad, los biocombustibles se puedan observar como una fuente de progreso que contribuya a la seguridad energética de un país.

La utilización de biocombustibles líquidos como combustibles de sustitución no es una idea nueva. En 1936 ya se consumían biocombustibles en Francia. El programa Proalcool, como alternativa a la crisis energética, fue lanzado en Brasil en 1975 con la mezcla *gasohol* (10 % de etanol y 90 % gasolina). La producción de biocombustibles en Europa ha aumentado considerablemente después de los años 90; miles de estaciones de servicio suministran biodiesel en Alemania, donde la producción de aceite de colza-carburante se ha incrementado dramáticamente en los últimos años.

Cuando se analizan los programas de biocombustibles que se generaron en todo el mundo a la fecha, se observa que el programa de alcohol a partir de caña de azúcar se basó en la deficiencia del balance energético de algunos países en los años 70. En Estados Unidos, se presentó un caso interesante porque la parte energética no era el principal problema, sino el sector

agrícola que hoy es subsidiado por el gobierno y le permite su conservación. Si los subsidios al productor no existiesen, el programa de alcohol carburante a partir de maíz no sería válido [2].

Canadá tiene también ciertos incentivos, pero lo hace pensando verdaderamente en el medio ambiente. En Colombia, habría que dejar la pregunta abierta ¿por qué creamos un programa de biocombustibles? Como posible respuesta surgen tres panoramas: el balance del consumo energético, la presión de grupos económicos frente a un negocio de gran magnitud y aliviar problemas rurales o solucionar problemas ambientales. En el marco del presente artículo, la discusión que conduzca a la respuesta a esta pregunta se deja abierta.

Acorde con lo anterior, es de vital importancia recordar que en el caso colombiano se debe tener en cuenta que la búsqueda de una salida a la producción agrícola nacional mediante los programas de producción de biocombustibles puede representar la tabla de salvamento para muchas comunidades rurales amenazadas por los actores armados y deprimidas por los bajos precios de los productos básicos. A la luz de los diferentes tratados de libre comercio firmados o en proceso de suscripción que tiene el país, estos productos tienen que competir con los productos básicos importados de países que como Estados Unidos, disponen de subsidios colosales para al sector agrícola lo que supone un motivo de gran preocupación para el agro colombiano [3].

MATERIAS PRIMAS

ALCOHOL CARBURANTE

Para producir alcohol carburante se puede hablar de tres tipos de materias primas: azúcares (siendo la caña de azúcar la fuente más representativa en Colombia, Brasil e India), almidones provenientes de la Yuca y maíz (principalmente en todo el mundo) y los residuos lignocelulósicos (lo que se denomina alcohol carburante de segunda generación).

En Colombia a 31 de diciembre de 2005, había un total de 200.218 Ha sembradas con caña para la producción de azúcar, de las cuales se cosechó un 88% para una producción total de 21.665.748 toneladas de caña molida (no incluye caña panelera) [4]. Sin embargo esta situación no ha cambiado sustancialmente al 2009. Los rendimientos alcanzados en 2004 fueron de 126,7 toneladas de caña por hectárea [4] y de 122,85 ton/Ha en 2005 [5]. Estos rendimientos están entre los más altos del mundo y se han alcanzado gracias a un trabajo conjunto entre los productores, los ingenieros y las asociaciones gremiales. Este trabajo se ha orientado a desarrollar cultivos altamente tecnificados y nuevas variedades de caña altamente productivas, y a la utilización del riego para superar los problemas generados con la disponibilidad de agua. Además, las condiciones agroecológicas del valle del río Cauca (terrenos aluviales fértils localizados a una altura promedio de 1.000 m.s.n.m. en latitudes tropicales) favorecen una alta productividad. La FAO confirma que Colombia tiene uno de los mayores rendimientos promedio de caña en el mundo (Tabla 1).

No.	País	Rendimiento, ton/Ha		Variación
		2005	2004	
1	Guatemala	97,37	96,77	0,61%
2	Colombia	92,29	92,70	-0,44%
3	Australia	85,00	82,57	2,94%
4	Filipinas	81,58	82,28	-0,85%
5	Indonesia	81,39	77,54	4,97%
6	Brasil	72,85	73,91	-1,44%

Tabla 1. Rendimientos mundiales del cultivo de caña de azúcar. Fuente: FAO [6].

El maíz es el cereal más cultivado en el mundo por encima del trigo y el arroz. El mayor productor mundial de maíz es Estados Unidos, seguido de China y Brasil [14]. Colombia ocupó el puesto 41 entre los países productores de maíz con un total de 1'398.723 toneladas en 2004 [8, 9] con una tendencia a la baja en los años 2007-2008. En cuanto a área sembrada, Estados Unidos reportó 29,80 millones Ha en 2004, seguido de China con 25,47 millones de Ha y Brasil con 12,41 millones de Ha. Colombia tuvo sembradas en ese año cerca de 614.510 Ha. Los rendimientos del cultivo de maíz en nuestro país (2,28 ton/Ha) son muy bajos comparados con los rendimientos del cultivo en Estados Unidos (10,07 ton /Ha). El mayor rendimiento reportado de maíz en el mundo corresponde a Kuwait con 20,0 ton/Ha pero para una producción muy pequeña de 800 ton en el año 2004 [10]. Estas ventajas y los subsidios son la razón de la competitividad de los Estados Unidos para producir alcohol carburante a partir de maíz.

No obstante, en Yuca el panorama es diferente para Colombia. El primer productor mundial de Yuca es Nigeria, seguido de Brasil, Indonesia y Tailandia [18]. Como se puede apreciar en la Tabla 2, los mayores productores se concentran en África, el Sureste Asiático y Sur América. Colombia ocupó el puesto 18 entre los mayores productores de Yuca en 2005 con una producción de 2'125.163 ton y una tendencia al aumento en el 2007-2008. En 2004 el área sembrada con Yuca en Nigeria y Brasil fue de 4,12 y 1,75 millones Ha respectivamente. Por su parte Colombia reportó un área cultivada de 176.810 Ha en 2004. Los rendimientos de Yuca por hectárea en Colombia (10,99 ton/Ha) son mayores que los del primer productor mundial, aunque menores a los de Brasil (13,63 ton/Ha) y cerca de la mitad de los de Tailandia (20,28 ton/Ha). Los mayores rendimientos los reporta Barbados con 31,70 ton/Ha para una producción total en 2004 de 320 ton [11].

De frente al potencial y la no competición con los alimentos, los residuos son la mejor alternativa para alcohol con la que cuenta hoy en día el país, pero

No.	País	Producción
1	Nigeria	38.179.000
2	Brasil	26.644.700
3	Indonesia	19.459.400
4	Tailandia	16.938.000
5	Congo	14.974.470
6	Ghana	9.738.812
7	Angola	8.606.210
8	Tanzania	7.000.000

Tabla 2. Producción mundial de Yuca en 2005 (Ton). Fuente: FAO [7].

estos residuos en su mayoría lignocelulósicos traen consigo muchos retos. Por tanto, nuestra tarea es lograr hacerlos materias primas sostenibles, con efectos económicos y sociales importantes. Hoy en día existen limitantes técnico-económicas para la implementación masiva a nivel industrial de estas materias primas y es por esto que el tema sigue siendo de alta demanda para la investigación a nivel mundial. Más aún, cuando se ha percibido la influencia sobre el incremento en los precios de los alimentos, que conlleva el uso de materias primas comúnmente usadas en la alimentación humana. Los principales desarrollos tecnológicos de los últimos años en la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica se han enfocado principalmente en el desarrollo de sistemas de acondicionamiento y pretratamiento de ésta, para disponer de los azúcares fermentables a menor consumo energético, costo de capital y mayor eficiencia en el aprovechamiento de la materia prima. Igualmente, se han hecho grandes esfuerzos en el desarrollo de microorganismos que dispongan de la biomasa con el menor pretatamiento posible o que metabolicen los diferentes azúcares (hexosas y pentosas), comúnmente producidos en pretratamiento de la materia prima.

BIODIESEL

El Biodiesel es un éster metílico o etílico que puede producirse a partir de la transesterificación de diferentes tipos de aceites: soya, colza, palma, girasol; y grasas animales o vegetales. Estos aceites se hacen reaccionar con un alcohol (metanol o etanol) alterándose químicamente para formar ésteres de los ácidos gra-

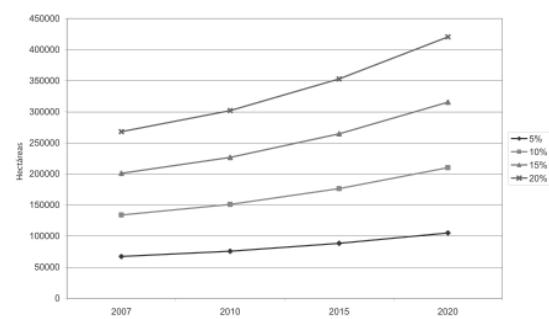
sos predominantes en el aceite, los cuales pueden ser mezclados con combustibles convencionales o usados como combustible puro (100% biodiesel) [12].

Los triglicéridos y ácidos grasos libres de cadenas largas que están presentes en aceites vegetales y grasas animales constituyen la materia prima para la producción de biodiesel. Aparte de estas sustancias, los aceites y grasas también contienen, aunque en muy baja proporción, fosfolípidos, esteroles, agua y otras impurezas. En la Tabla 3 se muestran los ácidos grasos más comunes en los aceites vegetales.

Entre los aceites más investigados se encuentran el aceite de girasol, soya, colza, palma, higuerilla y grasas animales, siendo las tres primeras las más usadas para la producción de biodiesel en Europa y Norte América. El aceite usado o de fritura también es una fuente importante de triglicéridos y, dado que su disposición constituye un problema económico y ambiental, se ha visto en él una materia prima económica para la producción de biodiesel. El aceite usado tiene propiedades diferentes a las del aceite crudo y refinado, la viscosidad aumenta debido a la formación de ácidos diméricos y poliméricos, mientras la exposición al calor y al agua acelera la hidrólisis de los triglicéridos y aumenta el contenido de ácidos grasos libres. Sin

embargo, sus bajos costos, alta disponibilidad y la posibilidad de aprovechar este residuo, han hecho del estudio de la transesterificación de estos aceites un tema de interés.

Con las plantaciones actuales de palma africana en Colombia, sería posible cubrir la demanda para porcentajes de mezcla del 5% (Tabla 4). Pero, un aumento en el porcentaje de mezcla pone en riesgo el suministro de aceite, tal como se observa en la Figura 1: para un porcentaje de mezcla de 15% se necesitan más hectáreas en producción de las que hay en este momento.



11 l diesel equivale a 1,07 l biodiesel

21,1 l biodiesel/kg de aceite [14].

34 ton aceite/Ha

Figura 1. Requerimiento de hectáreas de palma en producción por año y porcentaje de mezcla.

Aceite	Composición de ácidos grasos, % peso								
	16:0	18:0	20:0	22:0	24:0	18:1	22:1	18:2	18:3
Maíz	11.67	1.85	0.24	0.00	0.00	25.16	0.00	60.60	0.48
Algodón	28.33	0.89	0.00	0.00	0.00	13.27	0.00	57.51	0.00
Maní	11.38	2.39	1.32	2.52	1.23	48.28	0.00	31.95	0.93
Colza	3.49	0.85	0.00	0.00	0.00	64.40	0.00	22.30	8.23
Soya	11.75	3.15	0.00	0.00	0.00	23.26	0.00	55.53	6.31
Girasol	6.08	3.26	0.00	0.00	0.00	16.93	0.00	73.73	0.00

Tabla 3. Propiedades químicas de algunos aceites vegetales. Adaptado de [13].

Año	2007	2010	2015	2020
Consumo de diesel (Barriles día)	95000	107000	125000	149000
Consumo de diesel (millones de l/año)	5512,63	6208,96	7253,46	8646,13
Biodiesel requerido (millones de litros año) ¹	294,93	332,18	388,06	462,57
Aceite crudo de Palma (ton) ²	268114,35	301981,43	352782,04	420516,19
Hectáreas de palma en producción requeridas ³	67028,59	75495,36	88195,51	105129,05

Tabla 4. Proyecciones de consumo de diesel y requerimientos de biodiesel para cubrir un 5% de mezcla.

En general, el rendimiento a biodiesel por Hectárea de palma en producción es de 4.400 l/Ha en el caso colombiano. Se reportan rendimientos hasta de 6.000 l/Ha en países como Indonesia y Malasia, los cuales son elevados en comparación con otros cultivos como la soya y el maíz que producen 446 y 172 l/Ha, respectivamente [15].

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Entre las ventajas de producir alcohol carburante (bioetanol) como aditivo a la gasolina se encuentra [1]:

- Alto número de octano, lo que reduce las emisiones de monóxido de carbono y no contamina las fuentes de agua superficiales.
- En comparación con el metanol, el etanol es menos higroscópico, tiene un calor de combustión mayor y un menor calor de vaporización, y, lo más importante, es mucho menos tóxico. Adicionalmente, el acetaldehído formado durante la oxidación de etanol es mucho menos peligroso que el formaldehído producido durante la combustión del metanol.
- El bioetanol contribuye a disminuir las importaciones de gasolina o petróleo, por lo que se reduce el impacto de las subidas recurrentes del precio del petróleo en un contexto de disminución de las reservas nacionales.
- Su empleo favorece el aprovechamiento de materias primas y recursos renovables nacionales como la caña de azúcar, la yuca, el sorgo, etc., incluyendo, además, la gran cantidad de residuos lignocelulósicos que tienen posibilidad de transformarse en alcohol etílico.
- Puede posibilitar que se fomente el comercio y el empleo en las zonas rurales deprimidas, pues se contrarresta la migración hacia los centros urbanos. Una de las principales consecuencias es el aumento en el valor que reciben los productores

de bienes básicos agrícolas por su producción, lo cual también tiene efectos sobre el costo vida.

Al mismo tiempo se discuten hoy día las siguientes desventajas:

- Su producción es más costosa que la obtención de gasolina a partir del petróleo.
- La gasolina mezclada con etanol conduce la electricidad y su presión de vapor de Reid (RVP) es más alta, lo que implica una mayor volatilización, que puede contribuir a la formación de ozono y de smog.
- La tendencia a que se formen dos fases líquidas en presencia de agua: una fase acuosa con presencia de etanol y otra fase orgánica que contiene los hidrocarburos que componen la gasolina.
- El etanol es altamente corrosivo, lo cual es función del contenido de agua.
- En el caso del etanol producido por el sector azucarero, existe el riesgo de que en dependencia de la coyuntura del mercado interno y externo del azúcar los ingenios azucareros puedan optar por la disminución de la producción de etanol cuando los precios del azúcar sean especialmente altos en el contexto internacional.
- Otro de los grandes temores cuando se implementa un programa de oxigenación de la gasolina con etanol es la presión que puede generar sobre los precios de los alimentos relacionados con las materias primas para la producción de etanol, como por ejemplo el azúcar, la panela y el maíz.
- Considerando los impactos ambientales, se ha expresado cierta preocupación por el hecho de que el uso de etanol en mezclas con combustibles aumenta los niveles de aldehídos en comparación con la combustión de la gasolina convencional. De ahí que sea necesario, de todas maneras, que

los vehículos dispongan de catalizadores que traten los gases de combustión

Para el caso específico del aditivo para el diesel, se considera que el uso del biodiesel ofrece las siguientes ventajas [12]:

- Debido a que no contiene azufre, no se producen sus óxidos durante la combustión. Su mezcla con el ACPM disminuye los niveles de azufre de este último y, en el caso Colombiano, podría evitar la necesidad de instalar plantas de desulfurización de alto costo para el diesel
- La emisión de material particulado se reduce con respecto al diesel.
- Mayor viscosidad que el diesel, lo cual alarga la vida del motor.
- El elevado contenido de ácido palmítico (saturado) en el éster de la palma hace prever un índice de yodo inferior a los demás ésteres (colza, girasol, soja, higuerilla), lo que reduce la tendencia a la formación de depósitos, aumenta su estabilidad y garantiza cumplimiento de normatividad más severas sobre biocombustibles.

Una sustitución del 30% de ACPM por biocombustible en Colombia requeriría de unas 270.000 nuevas hectáreas de aceite de palma cultivada, lo que implicaría cerca de 70.000 empleos directos. No obstante, se tiene cierto temor frente a la producción de biodiesel por las siguientes desventajas:

- Incremento en las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx).
- Problemas de fluidez a bajas temperaturas. Acentuadas si es de palma, lo que genera restricciones de exportación.
- Dependencia del metanol ya que el etanol a pesar de ser una opción válida no puede competir como materia prima y biocombustible a la vez.

- Vinculación de la Palma al desplazamiento y ataque de la selva.
- Incompatibilidad con algunos plásticos y cauchos.
- Poder calorífico inferior al del diesel

El tema de la producción de biodiesel de palma se está aprovechando por los europeos para tratar de negociar de una manera interesante con países como Colombia y Brasil en lo que tiene que ver con la vinculación de la palma con el desplazamiento y ataque de la selva. Las selvas amazónicas que tenemos en Colombia y Brasil ya son motivo para los europeos de nuevas reglamentaciones de certificación de origen en biodiesel y alcohol carburante en sus importaciones.

ESPECULACIONES Y NECESIDAD DE HERRAMIENTAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS

En el tema de los biocombustibles, es fácil encontrar grandes especulaciones relacionadas con la ausencia de sistemas o estructuras especializadas de investigación que, de una manera seria, investiguen y analicen la realidad de cada país o sector. Las especulaciones más conocidas son:

- Los biocombustibles son excelentes para el medio ambiente.
- Los biocombustibles afectan la seguridad alimentaria.
- Los biocombustibles son el mejor negocio.
- En Colombia todas las materias primas desde el maíz hasta el platano son factibles.
- En Colombia todos los desechos son Fuentes económicas de biocombustibles.
- Colombia tiene una posición privilegiada en el tema debido a su clima y ubicación geográfica.
- La tecnología hindú es la mejor.

- Las vinazas son fertilizantes adecuados para los mismos cultivos bioenergéticos.
- Las instalaciones de cualquier capacidad serán rentables.
- Los biocombustibles tienen sólo implicaciones sociales positivas.

En alguna época, el gobierno colombiano proponía que en regiones rurales donde existían los cultivos ilegales debía sembrarse maíz para producir alcohol y seguir el ejemplo de Estados Unidos. Argumentos técnicos demuestran que el maíz nunca va a servir en Colombia para producir alcohol carburante. Esa sería una utopía comparada con Estados Unidos, que tiene una productividad cuatro veces mayor y con unos subsidios increíbles. Tendríamos una hecatombe rural si especulaciones de ese tipo hubiesen tenido eco en las zonas rurales y la gente hubiese sembrado basada en unos precios de compra para alcohol. Éste es solo un ejemplo del manejo inadecuado de la información y de qué tan peligroso puede ser para el futuro del país.

Se concluye entonces que son necesarios elementos técnicos y analíticos para poder adaptarnos a esta nueva ola de los biocombustibles y tomar decisiones correctas. Estos mismos elementos son los que se requieren para poder diseñar e innovar acorde al

contexto colombiano e internacional. Siguiendo estas pautas, se desarrolló una nueva herramienta basada en Ingeniería de Procesos, que consiste en tomar información secundaria –reportes, documentos, investigaciones de todo el mundo y sobre todo del contexto colombiano o de cualquier país– y utilizarla para el diseño y evaluación de procesos biotecnológicos complejos como los biocombustibles [16-23]

En este caso, la Ingeniería de Procesos tiene como su objetivo principal seleccionar y definir una configuración del proceso que haga posible la conversión de las materias primas en el producto final, de tal manera que cumpla unas especificaciones dadas y que su desempeño sea superior a las configuraciones existentes, o inexistentes en el caso de un nuevo producto que se introduzca en el mercado. Para este fin, se utiliza software comercial como Aspen Plus, el cual es modificado y complementado con subrutinas específicas para poder evaluar procesos biotecnológicos complejos, en las que se presentan cientos de componentes y diversidad de fases. En la producción de etanol, existen una gran cantidad de alternativas tecnológicas según la materia prima y las etapas del proceso que, para el caso actual de Colombia, es diverso (Figura 2). El análisis o selección de las mejores alternativas a nivel experimental sería casi imposible si se tiene

Materias primas	Pretratamiento	Biotransformación	Separación	Tratamiento de efluentes
Jugo de remolacha	Molienda clarificación	Fermentación convencional	Destil por cambio de presión	Evaporación Incineración
Melazas de caña	Molienda en húmedo	Fermentación con células inmovilizadas	Destilación azeotrópica	Evaporación Fertilización
Jugo de caña	Hidrólisis ácida	Fermentación extractiva	Destilación extractiva	Irrigación
Yuca	Hidrólisis enzimática	SSF	Destilación ext. salina	Digestión Anaeróbica
	Molienda en seco		Destilación con membranas	Lodos activados
			Tamices moleculares	
			Pervap.	

Figura 2. Algunas posibilidades en materias primas y etapas de producción de alcohol carburante.

en cuenta las combinaciones posibles. Es ahí donde la Ingeniería de Procesos juega un papel crucial pero, sobre todo, científico y técnico, para poder tomar decisiones y convertir muchas de las especulaciones anteriormente citadas en análisis serios y bien sostenidos. Su complementación por parte del autor con un análisis de impactos en el sector de alimentos se ha convertido en la base del proyecto de Bioenergía y Seguridad Alimentaria de la FAO en el mundo [2].

ALGUNOS ASPECTOS DE LA PRODUCCIÓN COLOMBIANA DE BIOCOMBUSTIBLES EN EL CONTEXTO LATINOAMERICANO Y MUNDIAL

En el Tratado de Libre Comercio (TLC) se establece que los biocombustibles no pagarán aranceles. Además, Colombia cuenta con una legislación favorable, precios controlados y exención de impuestos. Sin embargo, la realidad es que la disminución de reservas de petróleo del país obligará a un mayor consumo de biocombustibles en los próximos años y una limitación al potencial exportador.

Existe una situación que poco ha sido estudiada pero que Colombia debe analizar desde ya: cómo a futuro la petroquímica será reemplazada por la alcoholquímica y la oleoquímica, lo que generará competencias internas con los biocombustibles.

A nivel internacional, vale la pena destacar que Estados Unidos impone a Brasil una tarifa de 54 centavos de dólar por litro de etanol exportado y varios productores vienen usando países del Caribe, que tienen exención de impuestos, para llegar al mercado estadounidense. Colombia, por su parte, incluyó a El Salvador entre los países de Centroamérica que serán beneficiados con la donación de plantas. Todo esto hace parte de una estrategia inocua y desplorable del país por fortalecerse como el segundo país productor de biocombustibles en América Latina que, se supone, es capaz de exportar tecnología. Pero, la realidad es otra, pues el potencial científico o tecnológico de Colombia en Biocombustibles existe solamente en las Universidades.

El diseño y montaje de equipos para producir alcohol y Biodiesel fue delegado oficialmente por el Gobierno a Corpórica, entidad que es fundamental en aspectos de cultivos y poscosecha pero nunca ha tenido experiencia en aspectos ingenieriles de análisis, diseño y montajes. Todos los equipos a nivel piloto o de producción baja que esta entidad ha implementado en el país o en el exterior, han sido adquiridos por invitación pública a proveedores nacionales. El problema es que dichas plantas se caracterizan por una baja eficiencia y ninguna innovación, aparte de haber tenido una interventoría criticable. Adicionalmente gran parte de esas plantas de baja productividad en la actualidad no operan. Todo esto va en detrimento de la imagen de Colombia en el exterior y la posibilidad, no muy difícil, de cementerios de plantas, lo que justifica aún más que las plataformas tecnológicas se desarrollen pronto y eficientemente a través de empresas incubadas en las Universidades, en asocio con industrias del sector.

A la par con Colombia, Argentina emitió una ley de biocombustibles que hace obligatorio la mezcla del 5% de biodiesel y alcohol en el 2010 [2]. El biodiesel empezó a adicionararse al diesel petrolero en Brasil en una proporción de 2%, y se elevará a 5% en 2013. Adicionalmente, el país también optó por el H-BIO, un proceso de hidroconversión desarrollado por Petrobras, que añade hasta 18% de cualquier aceite vegetal o animal en la refinación del petróleo para producir el diesel. Este programa fue diseñado para favorecer la agricultura familiar en la producción de higuerilla, palma y otras fuentes de aceite vegetal, con exenciones de impuestos especialmente en las regiones más pobres de Brasil (noroeste).

Un interés particular ha despertado las recientes reuniones de los gobiernos de Brasil y Estados Unidos pues se tiene la impresión de que estos países se asocian en un mercado hemisférico del etanol. Pero con condiciones diferentes, pues USA subsidia su alcohol a partir de maíz y Brasil es el más competitivo a partir de caña. Se anuncian también inversiones estratégicas en el sector en El Salvador, Haití y República Dominicana.

RETOS Y PERSPECTIVAS

Es indudable la necesidad de que la producción de biocombustibles cumpla de manera integral las siguientes expectativas para ser un éxito en cualquier país y, especialmente, en Colombia:

- No afectar la seguridad alimentaria por afección en los costos de las materias primas que compiten con alimentos o por desplazamiento de tierras.
- Fortalecer el campo de una manera equitativa y con una fuerte orientación hacia el pequeño productor.
- Contribuir positivamente al medio ambiente al evaluar desde la etapa de diseños los impactos en el ambiente y las estrategias de mitigación.
- Generar seguridad energética para el país al reemplazar importaciones y reducir las falencias en cuanto a capacidad instalada de refinación.

Las experiencias positivas y negativas de muchos países, al igual que un análisis apolítico y muy técnico de Colombia frente a su potencial y debilidad en el sector de los biocombustibles, permiten proponer las siguientes estrategias para lograr cumplir las expectativas planteadas

- Incluir políticas apropiadas y participativas que involucren la equidad y la justicia como ejes rectores en materia de precios de compra, venta y distribución.
- Excluir la formulación de estrategias para apoyar solamente a ciertos grupos económicos. Si bien el sector productivo de la caña y la palma deben ser apoyados, las leyes del mercado deben ser respetadas y no amarradas para favorecer o incrementar las ganancias económicas de ciertos sectores industriales en detrimento de la población rural que inicialmente se pretendía impactar.
- Es imperativo que se desarrolle una plataforma tecnológica propia en el país, que atienda positi-

vamente la solución de problemas de la capacidad ya instalada y genere desarrollos e innovación en el sector. Las plantas de alcohol, por ejemplo, son todas importadas y todas han identificado anomalías de diferente tipo.

- Se deben incluir a las zonas rurales y sus comunidades como principales actores del proceso para que sean las que primero se apropien de este tipo de proyectos y entiendan sus beneficios.
- Es necesario formular métodos técnicos y equilibrados para definir el precio interno del biocombustible.
- Se requiere desarrollar una estrategia agresiva para agrupar de alguna manera consumidores y productores con el fin de manejar precios justos de exportación. Se propone una especie de OPEP pero a nivel de biocombustibles, cuya premisa de desarrollo sea el comercio justo.

CONCLUSIONES

En lo referente a movilidad sostenible, Colombia se verá influenciada positivamente por el uso masivo del biodiesel y el alcohol al disminuir una gran cantidad de efluentes gaseosos contaminantes. No obstante, se debe tener en cuenta el posible aumento en la producción de NOx debido al uso del biodiesel y aldehídos de la combustión del etanol. Las emisiones de material particulado en el caso del biodiesel varían dependiendo el tipo de materia prima. Todo esto debe analizarse según la especificidad colombiana y las soluciones de tipo post combustión que se requieran.

En general, las posibilidades de producción de biocombustibles en Colombia hacia la exportación están limitadas, no solo por la velocidad de crecimiento o implantación de nuevos cultivos energéticos, sino también por restricciones que podrían ser impuestas en ciertos mercados. Si Colombia quiere exportar, debe trabajar profundamente en solucionar este tipo de problemas.

Adicionalmente, el país en un contexto internacional debe reformular su estrategia de fomento a proyectos rurales de biocombustibles, su apoyo a la investigación en el tema y el fortalecimiento de una imagen internacional. Se debe fomentar el desarrollo de spin-off a partir de los interesantes desarrollos de las Universidades y separar de funciones de diseño y montaje de procesos (que se hace a través de terceros) a entidades estatales que no acreditan experiencia en el tema.

REFERENCIAS

[1] O.J. Sánchez y C.A. Cardona.

Producción de alcohol carburante: una alternativa para el desarrollo agroindustrial. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2008. pp.272

[2] C. A. Cardona, E. Félix, A. Von Brandt.

“Bio-energy and food security: an environmental, technical and economic analysis for developing countries”. *Biofuels in Latin America: Ongoing Research, Experiences and Potential for the Region.* Heredia, Costa Rica. March 17-18, 2009

[3] M.W. Rosegrant.

“Biofuels and Grain Prices: Impacts and Policy Responses” Environment and Production Technology Division International Food Policy, Research Institute Testimony for the U.S. Senate Committee on Homeland Security and Governmental Affairs May 7, 2008.

[4] H. Martínez y L. Ortiz.

La cadena de azúcar en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005, Documento de trabajo No.30, Bogotá D.C.: Observatorio Agrocadenas, marzo 2005, pp. 56.

[5] R. Manrique, J. Ramírez, M. Rangel, A. Bayona.

*Buenas prácticas agrícolas para el manejo agronómico de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*), con destino a la producción de panela y otros usos alternativos como el alcohol carburante.* Editorial Corpcoica, ISBN 978-958-8311-79-12, 2008.

[6] FAO. Food and Agricultural Organization of the United Nations.

“Major food and agricultural commodities and producers”. November 2006. Disponible en: <http://fao.org>

[7] FAO. Food and Agricultural Organization of the United Nations

“Food Outlook, Global Market Analysis 2007”. *Economic and Social Development Department* FAO November 2007.

[8] Asocaña.

Aspectos generales del sector azucarero. Informe Anual 2003-2004. Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, 2004.

[9] Asocaña.

Aspectos generales del sector azucarero. Informe Anual 2004-2005. Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, 2005.

[10] M. Gulati, K. Kohlman, M.R. Ladish, R. Hespell and R.J. Bothast.

“Assessment of ethanol production options for corn products”. *Bioresource Technology*, Vol. 5, 1996, pp. 253-264.

[11] Observatorio Agrocadenas Colombia.

Agroindustria y competitividad. Estructura y dinámica en Colombia 1992-2005. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – IICA, 2006, pp 405-431.

[12] C. A. Cardona, J. S. Lee, M. I. Montoya, G. Tabor-da, M. J. Illán, F. E. López.

“Biodiesel Production” *Renewable Fuels. Developments in Bioethanol and Biodiesel Production.* Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2008, pp. 191 - 204.

[13] F. Ma and M. Hanna.

“Biodiesel production: a review”. *Bioresource Technology*, Vol. 70, No. 1, October 1999,pp. 1-15.

[14] Fedepalma.

“Estadísticas Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite”. 2005. Disponible en: <http://www.fedepalma.org/estadisticas.html>

- [15] R. Butler.**
“Eco-friendly palm oil could help alleviate poverty in Indonesia Palm oil is not a failure as a biofuel”. Mongabay.com editorial, part 1, April 4 2007. Disponible en: http://news.mongabay.com/2007/0403-oil_palm.html
- [16] C.A. Cardona, L.F. Gutiérrez and O.J. Sánchez.**
“Process integration: Base for energy saving”. In: D.M. Bergmann, Editor, *Energy Efficiency Research Advances*, Vol. 1, Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, USA, 2008, pp. 173–212.
- [17] O.J. Sánchez and C.A. Cardona.**
“Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks”. *Bioresource Technology*, Vol. 99, No. 13, 2007. pp. 5270-5295.
- [18] J.A. Quintero, M.I. Montoya, O.J. Sánchez, O.H. Giraldo and C.A. Cardona.**
“Fuel ethanol production from sugarcane and corn: Comparative analysis for a Colombian case”. *Energy*, Vol. 33, No.3, 2008, pp. 385-399.
- [19] C.A. Cardona and O.J. Sánchez.**
“Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities”. *Bioresource Technology*, Vol. 98, No. 12m 2007, pp. 2415-2457.
- [20] C.A. Cardona and O.J. Sánchez.**
“Energy consumption analysis of integrated flowsheets for production of fuel ethanol from lignocellulosic biomass”. *Energy*, Vol. 31, No. 13, 2006, pp. 2447-2459.
- [21] O.J. Sánchez and C.A. Cardona.**
“Producción biotecnológica de alcohol carburante I: Obtención a partir de diferentes materias primas”. *Interciencia*, Vol. 30 No. 11, 2005, pp. 671-678.
- [22] O.J. Sánchez and C.A. Cardona.**
“Producción biotecnológica de alcohol carburante II: Integración de procesos”. *Interciencia*, Vol. 30, No. 11, 2005, pp. 679-686.
- [23] O.J. Sánchez, L.F. Gutiérrez, C.A. Cardona and E.S. Fraga.**
“Analysis of extractive fermentation process for ethanol production using a rigorous model and a short-cut method”. In: Bogle I.D.L., Žilinskas J. (Eds.). *Computer Aided Methods in Optimal Design and Operations – Series on Computers and Operations Research*, Vol. 7. World Scientific Publishing Co.: Singapore, 2006, pp. 207-216.

