

Retrospectiva del biodiesel y subproductos en Costa Rica: su integración con la Estrategia Nacional de Bioeconomía 2020-2030

Retrospective of biodiesel and byproducts in Costa Rica: their integration with the National Bioeconomy Strategy 2020-2030

Pablo Corrales Aguilera¹, Rodolfo Hernández Chaverri², Bárbara Miranda Morales³ & Gerson Méndez Rodríguez⁴

1. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Química, Montes de Oca, San José, Costa Rica; pablo.corralesaguilera@ucr.ac.cr
2. Universidad Estatal a Distancia, Unidad de Investigaciones Bioenergéticas y Ambientales, 2050 Sabanilla, San José, Costa Rica; rohernandez@uned.ac.cr
3. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Química, Montes de Oca, San José, Costa Rica; barbara.mirandamoraless@ucr.ac.cr
4. Refinadora Costarricense de Petróleo, Dirección de Aseguramiento de la Calidad, Ochoмого, Cartago, Costa Rica; cseas@uned.ac.cr

ABSTRACT: As global biodiesel production increases, there is an urgent need to find new applications for consuming glycerin. Biodiesel production in Costa Rica was around 4,5 million liters for 2019, while the installed capacity is 104,4 million liters per year. It is estimated that the potential to generate glycerin as a by-product in Costa Rica is 38 280 - 51 480 kg per month, which is equivalent to 460 - 620 thousand kg of glycerin per year. In other words, only about 4,31% of the installed capacity is being used. Companies do not follow production models that enhance the value of glycerin within their production processes. Therefore, the study of alternatives for the synthesis of compounds of interest from glycerin are an opportunity to boost the Costa Rican chemical industry and the production of biofuels.

Key words: biodiesel, glycerin, fuels, synthesis.

RESUMEN: A medida que la producción mundial del biodiesel aumente, surge la necesidad urgente de encontrar nuevas aplicaciones para consumir el glicerol. La producción de biodiesel en Costa Rica fue de alrededor de 4,5 millones de litros para el 2019, mientras que la capacidad instalada es de 104.4 millones de litros por año. Se estima que el potencial de generación de glicerol como subproducto en Costa Rica es de 38 280 - 51 480 kg mensuales, lo que equivale a 460 - 620 mil kg de glicerol por año. Es decir, únicamente se está aprovechando alrededor del 4,31% de la capacidad instalada. Las empresas no siguen modelos de producción que potencien el valor del glicerol dentro de sus procesos productivos. Por lo tanto, el estudio de alternativas para la síntesis de compuestos de interés a partir del glicerol son una oportunidad para impulsar la industria química de Costa Rica y la producción de biocombustibles.

Palabras clave: biodiesel, glicerina, combustibles, síntesis.

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (Food and Agriculture Organization) plantea en diversas publicaciones, que se está utilizando el biodiesel como una opción real para disminuir la dependencia de los derivados del petróleo, favoreciendo la reactivación del sector agroindustrial (OCDE/FAO, 2017, 2019). El subproducto principal en la síntesis de biodiesel es el glicerol. Por cada 100 kg de combustible se generan 10 kg del subproducto (Gatti, 2019). Una vez refinado, el glicerol es empleado en distintas industrias, como la farmacéutica y la alimenticia (Lafuente, 2017). El glicerol también se obtiene en altas cantidades en la industria de jabones y detergentes, por lo que el incremento en su disponibilidad conlleva una saturación en el mercado y se reduce su valor (Katryniok, Paul, & Dumeignil, 2011). En 2018, la producción mundial de biocombustibles aumentó en todas las principales regiones productoras, con excepción de Argentina, donde la producción de biodiesel disminuyó debido principalmente a condiciones de exportación menos favorables (OECD/FAO, 2019). A medida que la producción mundial del biodiesel aumente, surge la necesidad urgente de encontrar nuevas aplicaciones para consumir el glicerol.

El glicerol producido a través de la industria del biodiesel presenta un valor económico muy bajo como consecuencia de la presencia de impurezas, tales como cenizas, jabón, cloruros, un pH muy ácido e intensidad de color (Brady et al, 2010). La purificación del glicerol crudo que se genera en la producción de biodiesel es en muchos casos costosa, de modo que la caída de su precio se convierte en un problema importante al reducir la rentabilidad de las plantas de biodiesel (Ardi, Aroua, & Hashim, 2015). Aun así, el glicerol es una molécula sumamente versátil con la capacidad de participar en un gran número de reacciones químicas y generar productos de todo tipo, tales como propilenglicol, hidrógeno, acroleína, dihidroxiacetona, entre otros (Katryniok, Paul, & Dumeignil, 2011).

Actualmente, en Costa Rica existen empresas que a través de los años han logrado consolidarse fuertemente y poseen suficiente capacidad instalada en la producción de biodiesel como lo son: Energías Biodegradables S.A., Biodiesel H&M y CoopeVictoria. Es importante destacar que, a excepción de Energías Biodegradables S.A., la producción de biodiesel es paralela con otras actividades del negocio. Por ejemplo, CoopeVictoria se enfoca principalmente en la industria del azúcar y café; en el caso de Biodiesel H&M es una subsidiaria de H&M Constructora.

Esta investigación tiene como objetivo diagnosticar el entorno de la producción nacional de biodiesel y estimar la generación de glicerol como residuo del proceso de producción de biodiesel; así como, presentar una recopilación del panorama que se ha presentado en Costa Rica durante los últimos años en materia de legislación, acciones y metas trazadas a nivel de Gobierno Central con respecto a biocombustibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Revisión de legislación

Se realizó una revisión de la legislación nacional asociada con Decretos Ejecutivos, Planes Nacionales y Leyes durante los últimos 20 años en materia de producción de biodiesel, analizando las acciones ejecutadas por el Gobierno Central. La revisión se hizo sobre distintas fuentes primarias y secundarias de información como lo son sitios web de entidades gubernamentales, empresas del sector producción biodiesel, noticias o artículos publicados, entre otras.

Entrevistas no estructuradas

Se llevaron a cabo entrevistas no estructuradas a empresas productoras de biodiesel a nivel nacional. Estas fueron realizadas mediante llamadas telefónicas entre los meses de diciembre 2019 y enero 2020, o por medio de correo electrónico. Se contó con la respuesta de los representantes de las siguientes empresas: Energías Biodegradables, Biodiesel H&M, CoopeVictoria, Quivel S.A., Compañía Coto 54 y Hernán Yglesias (productor independiente). Así como, de la planta piloto de producción de biodiesel ubicada en la Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata de la UCR. Cabe resaltar que en algunas ocasiones las empresas no disponían de toda la información solicitada en la entrevista, por lo que en algunos casos se abstuvieron a responder algunas de las preguntas.

Síntesis de la información

Para sistematizar la información se desarrolló una matriz de registro, donde se anotó la información de las distintas empresas productoras de biodiesel. En la matriz se registró capacidad total de la planta, capacidad actual de producción, uso y precio de biodiesel, materia prima empleada, entre otros. Además, se sistematizó la información de los distintos reglamentos y acciones ejecutadas por el Gobierno Central de Costa Rica de manera cronológica.

Estimación de producción de biodiesel y subproductos

A partir de los datos de producción de las diferentes empresas productoras de biodiesel a nivel nacional y su capacidad instalada, se procedió a comparar estos valores con lo proyectado para el 2019, con respecto a los estudios encontrados en la revisión literaria a cargo de las instituciones encargadas, como es el caso de la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE). Además, de acuerdo con los datos oficiales de importación de diésel por parte de RECOPE durante el 2019, se procedió a evaluar la demanda de biodiesel requerida en Costa Rica bajo seis distintos escenarios de mezcla de biodiesel en diésel. A su vez, se comparó la capacidad instalada actual con respecto a la requerida bajo cada uno de los seis escenarios propuestos de mezcla. Seguidamente, con los datos de generación de glicerol como subproducto en las distintas empresas productoras de biodiesel a nivel nacional, se realizó su estimación anual para el 2019. Por último, se procedió a proyectar la generación de glicerol bajo los seis distintos escenarios de mezcla del biodiesel en diésel.

RESULTADOS

Acciones desde el Gobierno Central

Mediante el Decreto N° 31087-MAG-MINAE, en 2003 se creó la Comisión Técnica de Trabajo de Bioetanol, con la finalidad de formular, identificar y diseñar estrategias para el desarrollo del etanol anhidro, destilado nacionalmente y producido utilizando materias primas locales. El plan contemplaba su uso como sustituto del metil terbutil eter (MTBE) en la gasolina, promoviendo la vinculación del ambiente con los sectores de energía y agropecuario. En el 2004 se publicó el Decreto N° 31818-MAG-MINAE, donde se creó la Comisión Técnica de Trabajo del Estudio del Biodiesel, con la finalidad de formular, identificar, diseñar y recomendar estrategias para el desarrollo del biodiesel producido nacionalmente, utilizando materias primas locales, promoviendo la vinculación del ambiente con los sectores de energía y agropecuarios nacionales.

En el 2006 se publicó el Decreto N° 33357-MAG-MINAE, con el principal objetivo de derogar la Comisión Técnica de Trabajo de Bioetanol y la Comisión Técnica de trabajo del Estudio del Biodiesel (creadas bajo los decretos N° 31087-MAG-MINAE y N° 31818-MAG-MINAE). Además, se creaba la Comisión Nacional de Biocombustibles. Mediante este decreto, se le asignaron cuatro principales funciones a esta comisión:

1. Proponer a los ministros de Ambiente y Energía, de Agricultura y Ganadería, un plan de acción que presentara las estrategias de corto, mediano y largo plazo para la implementación en Costa Rica del uso de biocombustibles; así como, las acciones de seguimiento y control, responsables y plazos.
2. Señalar y fundamentar las reformas legales o instrumentos jurídicos que se requerirían para implementar la producción y el uso de biocombustibles.
3. Proponer mecanismos de valoración de los productos de origen vegetal o animal que pudieran utilizarse para la producción de biocombustibles.
4. Cualquier otra tarea que de forma coordinada le asignen los ministros.

Posteriormente, en el 2007 se publicó el Decreto N° 34128-COMEX-MINAE-MEIC, en el cual se aprueba el *Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.43:07 Biocombustible. Biodiesel (B100) y sus Mezclas con Aceite Combustible Diésel*. Se especifica que, el producto de la relación de mezcla de hasta un 0.05 de fracción de volumen (5 % volumen) de biodiesel (B100) con aceite combustible diésel, debe cumplir con las especificaciones del RTCA 75,02,1 7:06 “Productos de Petróleo. Aceite Combustible Diésel, Especificaciones”. En caso de mezclas con porcentajes superiores al 0.05 de fracción de volumen (5 % volumen) de Biodiesel (B100) con aceite combustible diésel, deben cumplir con las especificaciones establecidas por el ente nacional competente de cada país miembro de la Región Centroamericana. Adicionalmente, se especifican las características fisicoquímicas exigidas para el Biodiesel (B100); a la vez que se menciona las normas que se debe seguir para su muestreo y para los distintos métodos de ensayo.

En el 2008, se realizó la publicación del *Programa Nacional de Biocombustibles*, desarrollado en conjunto por el MINAE y el MAG. La base utilizada por el gobierno para introducir los biocombustibles en la matriz energética nacional fue el potencial de explotación de tierras para la

producción agraria en el momento, sin la sustitución de los cultivos existentes. Por lo tanto, se valoraron las características de diferentes cultivos para producir biocombustibles. Para la elaboración del programa se consideraron: la higuera, el tempate, la caña de azúcar, la yuca, el sorgo y la palma aceitera. De estos, el cultivo de palma aceitera era el que presentaba las mejores condiciones para la producción de biodiesel, dado que para el 2008 se contaban con más de 52 000 hectáreas sembradas.

En ese momento se identificaron las siguientes empresas productoras:

- Energías Biodegradables: capital costarricense, capacidad de producción de 36 millones de litros anuales a partir de aceite de palma, de soya, de aceite usado de restaurantes y casas de habitación y de cualquier otra oleaginosa que el mercado tenga disponible. Entró en operación a partir del mes de septiembre de 2006, produciendo entre 2.4 y 3.0 millones de litros anuales.
- Biodiesel de Andalucía (BIDA): capital español, con intención de invertir en una planta de producción de biodiesel en Limón, valorada en \$11 millones y que entraría en operación en diciembre del 2008. Se estimó una producción de 133 millones de litros de biocombustible al año que se vendería en el mercado nacional.
- Compañía Coto 54 S.A.: con una producción estimada de 34.8 millones de litros anuales, se esperaba su entrada en operación en el último trimestre del año 2007 y su mercado era el de la exportación.
- Dieselloverde S.A.: con una producción estimada de 1.9 millones de litros anuales, empezó operaciones meses antes de la publicación del Programa Nacional de Biocombustibles y al momento se encontraba en proceso de prueba.
- Quivel S.A.: adquirida con capital de los asociados de la Cooperativa de Agricultores de Palma Aceitera (CoopeAgropal, R.L), era una Planta oleoquímica instalada en el país con una capacidad de 34.8 millones de litros al año, y con intención de entrar a operar a finales del mes de marzo de 2007, orientada al mercado nacional y de la exportación.
- Central Biodiesel: empresa enfocada en el desarrollo y venta de equipos para la industria de los biocombustibles, tanto en la etapa de extracción de aceite como para el proceso de transesterificación

En total, el conjunto de estas plantas podría producir 240 millones de litros de biodiesel al año, o sea, el 24.3 % del consumo proyectado de diésel para el año 2007 (RECOPE, 2007). Sin embargo, en la actualidad sólo Energías Biodegradables aún mantiene en funcionamiento su planta de producción de biodiesel, junto con Biodiesel H&M que se ingresó al mercado años después. En 2009 se publicó el Decreto N° 35091-MAG-MINAET (Reglamento de Biocombustibles) cuyo objetivo principal consistió en propiciar el desarrollo de una industria nacional de biocombustibles y un régimen equitativo de relaciones entre los diferentes agentes vinculados con la actividad de biocombustibles, incluyendo la producción, el transporte, el almacenamiento, la distribución, y la comercialización tanto mayorista como de detalle. En el Artículo 3 se declara de interés público las actividades relacionadas con la producción de biocombustibles, incluyendo: investigación y desarrollo, la provisión y producción de materia prima e insumos para la producción, industrialización y transformación de biocombustibles, la comercialización y el consumo; así como la sustitución de combustibles de origen fósiles. Para ello, en el Artículo 6 se detallan las competencias legales determinadas del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), del MAG y de RECOPE como encargados de promover, organizar, implementar, asegurar y fiscalizar el desarrollo

y seguimiento del Programa Nacional de Biocombustibles. Posteriormente, en el 2016 se publicó el Decreto N° 40050-MINAE-MAG—Reglamento de biocombustibles líquidos y sus mezclas, revocando así el Decreto N° 35091. El objetivo principal de este nuevo decreto consistió en regular las funciones de los actores que participan a lo largo de la cadena de valor de los biocombustibles y los requisitos para el almacenamiento, el transporte y la distribución. Cabe resaltar que este reglamento es de aplicación obligatoria para toda persona física o jurídica que participe de la actividad de biocombustibles a lo largo de su cadena de valor, la cual incluye la producción, el transporte, el almacenamiento, la distribución y la comercialización. Entre los capítulos II y V de este decreto se establecen las funciones del MINAE, MAG y RECOPE en relación con el desarrollo de biocombustibles en el país (ver Cuadro 1).

CUADRO 1

Funciones del MINAE, del MAG y de RECOPE en relación con el desarrollo de biocombustibles en el país (Decreto N° 40050-MINAE-MAG, 2017).

Institución	Funciones
MINAE	<p>Promover, organizar, implementar, dar seguimiento y fiscalizar el <i>Programa Nacional de Biocombustibles</i>.</p> <p>Le corresponderá la coordinación del <i>Programa Nacional de Biocombustibles</i>, el Registro de Productores de Biocombustibles y el establecimiento de la proporción de mezcla de cada uno de los biocombustibles líquidos con combustibles fósiles a implementar por RECOPE.</p>
MAG	<p>Promover, organizar, implementar, dar seguimiento y fiscalizar el <i>Programa Nacional de Biocombustibles</i>.</p> <p>Velar por la promoción de la producción agroindustrial de materias primas para la elaboración de biocombustibles, bajo el esquema de sostenibilidad energética y agrícola. Esto es, supliendo la oferta de materia prima sin comprometer los recursos necesarios para garantizar la seguridad alimentaria, así como la integración del sector productivo con la industria de biocombustibles líquidos. Además, establecer el registro de productores agrícolas de biomasa y como ente rector del sector agropecuario, será el responsable del registro de áreas cultivadas, la producción y el volumen del producto no procesado existente en el país.</p>
RECOPE	<p>Realizar la mezcla de combustibles fósiles con biocombustibles de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 7356 “Monopolio en favor del Estado para la importación, refinación y distribución al mayoreo de petróleo crudo, sus combustibles derivados, asfaltos y naftas” y la Ley N° 7593 “Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos”. Ejecutará las tareas, actividades e inversiones necesarias para este fin.</p> <p>Además, adquirir los biocombustibles que cumplan con los Reglamentos Técnicos Centroamericanos RTCA 75.02.46:07 (Etanol carburante anhidro y etanol carburante anhidro desnaturalizado y sus mezclas con gasolina) y RTCA 75.02.43:07 (Biodiesel (B-100) y sus mezclas con aceite combustible diésel) o los reglamentos técnicos nacionales que apliquen.</p> <p>Llevar a cabo la mezcla de los combustibles fósiles con los biocombustibles para su comercialización mayorista o a granel, y será el encargado de la venta de los combustibles fósiles mezclados con biocombustibles a los distribuidores autorizados para su comercialización y a sus clientes para autoconsumo.</p>

Durante el 2015, el Poder Ejecutivo de Costa Rica publicó el *VII Plan Nacional de Energía 2015-2030*, en el que orientan las acciones nacionales en materia energética en los próximos años para Costa Rica. Este plan integra a los sectores de electricidad y transporte en una perspectiva estratégica unificada, dado que estos son los dos sectores claves que determinan los procesos de producción y consumo de energía en el país. Específicamente en relación con el sector transporte, se planteó el objetivo de promover el uso de combustibles alternativos en el sistema de transporte para disminuir la dependencia de los hidrocarburos y la emisión de gases contaminantes.

En el 2019 se publicó el *Plan de Descarbonización Compromiso del Gobierno del Bicentenario*, el cual involucra acciones a ejecutar en el período 2018-2050 y declarado de interés público por el Gobierno Central de Costa Rica. Mediante este documento, se busca sentar las bases de una nueva economía costarricense para el siglo XXI, respondiendo a los cambios del contexto mundial, transitando hacia una economía verde y promoviendo el uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Las acciones se presentaron en 10 ejes sectoriales, con paquetes de políticas en tres periodos definidos: inicial (2018-2022), de inflexión (2023-2030) y de despliegue masivo (2031-2030). De esta manera, se busca establecer la ruta congruente con el cumplimiento de los objetivos de la *Agenda 2030* y del *Acuerdo de París*. Los distintos ejes sectoriales van dirigidos desde el sector Transporte y Movilidad Sostenible, hasta el sector de Agricultura de Cambio y usos de suelos basadas en la Naturaleza, pasando por el sector de Energía, Construcción Sostenible e Industria y el sector de Gestión Integral de Residuos.

En agosto de 2020 se presentó a nivel nacional la *Estrategia Nacional de Bioeconomía Costa Rica 2020-2030*, enfocada en una economía con descarbonización fósil, competitividad, sostenibilidad e inclusión. Se trazaron 3 objetivos estratégicos:

1. Convertir a Costa Rica en un país modelo en desarrollo sostenible, aprovechando sus recursos biológicos para promover la inclusión social y la equidad, el desarrollo territorial balanceado, la conservación, el conocimiento y uso sostenible de su biodiversidad, y la competitividad nacional.
2. Hacer de la bioeconomía uno de los pilares de la transformación productiva de Costa Rica, promoviendo la innovación, la agregación de valor, la diversificación y la sofisticación de su economía, aplicando los principios de la bioeconomía circular y buscando la descarbonización fósil de los procesos de producción y consumo.
3. Promover la convergencia entre la riqueza del país en recursos biológicos y el uso de capacidades nacionales en el ámbito de las ciencias biológicas para su valorización.

A la vez, con el fin de lograr los objetivos planteados, se estructuran 5 ejes estratégicos: bioeconomía para el desarrollo rural, biodiversidad y desarrollo, biorrefinería de biomasa residual, bioeconomía avanzada y bioeconomía urbana y ciudades verdes. Dentro de esta estrategia, se resalta varias veces la existencia en el país de un amplio margen de crecimiento para que la ciencia, tecnología e innovación sean los propulsores de una nueva etapa de desarrollo, caracterizada por la convergencia de las ciencias y tecnologías biológicas, y las tecnologías digitales.

CUADRO 2

Empresas con suficiente capacidad instalada vacante para soportar aumentos importantes de producción demandada por el país.

Empresa	Capacidad total de la Planta (100 %)	Capacidad actual de producción	Usos	Ubicación
HYM	80 mil litros/mes Aprox.	Aprox. 60 mil litros/mes.	Vehículos propios, maquinaria del quebrador (75 %), venta al público.	Santa Clara de San Carlos. 1 km al Sur Bajo los Rodríguez.
Energías Biodegradables	100 mil litros/día (Aprox. 3 millones de litros/mes).	10 mil litros/día (Aprox. 300 mil litros/mes).	Venta directa, transporte público (buses y taxis) 85 %, construcción, industrias y hoteles 15 %.	El Alto de Ochomogo. (Frente a Plantel de RECOPE).
Cooperativa Agrícola Industrial Victoria RL	20 mil litros/mes.	15 mil litros/mes aprox. (Dependiendo de la materia prima).	Autoconsumo, maquinaria propia y excedente para los socios de la cooperativa.	3 km al norte del parque de Grecia, carretera a San Pedro de Poás, Alajuela.

Inconsistencias a nivel de Gobierno Central

Al analizar el mercado nacional de biocombustibles, se pueden establecer dos motivos principales por los cuales muchos proyectos no concretaron operaciones a lo largo de los años, como lo son:

1. La falta de estímulos o acciones concretas por parte del Gobierno Central, que no han logrado impulsar realmente el uso de biocombustibles. Por ejemplo, la eliminación o disminución parcial de impuestos al uso o mezcla de los biocombustibles. Esto podría presentar un escenario más atractivo para diversos sectores, generando la reapertura de algunos proyectos y la respectiva entrada al mercado.
2. La complejidad en los trámites que involucran los permisos para la producción y comercialización de biocombustibles, desestimulando así la inversión y la investigación en biocombustibles.

Capacidad actual de producción de biodiesel y generación de glicerol

Actualmente en Costa Rica existen tres empresas que a través de los años han logrado consolidarse fuertemente y aun poseen suficiente capacidad instalada de producción de biodiesel como lo son: Energías Biodegradables S.A., Biodiesel H&M, y CoopeVictoria (ver Cuadro 2). Adicional a éstas,

se encuentran cuatro empresas que poseen planta para la producción de biodiesel, pero que por distintas razones están fuera de servicio (ver Cuadro 3). Al analizar los datos en los Cuadros 2 y 3, se obtiene que la producción de biodiesel en Costa Rica fue de alrededor de 4.5 millones de litros de biodiesel para el 2019, mientras que la capacidad instalada es de 104.4 millones de litros por año. Es decir, únicamente se está aprovechando alrededor del 4.31 % de la capacidad instalada. El volumen de biodiesel producido a nivel nacional dista mucho de lo proyectado por RECOPE en 2007, donde se proyectaba que a partir del 2013 se emplearía una mezcla de 10 % de biodiesel en el diésel de venta (RECOPE, 2007). Esta proyección indicaba que, para 2019, la demanda de biodiesel en Costa Rica sería de 177.8 millones de litros, es decir, 23.2 veces la producción real del 2019.

CUADRO 3

Empresas actuales que poseen planta para la producción de biodiesel, pero que por distintas razones se encuentran fuera de servicio.

Nombre	Capacidad total de la Planta (100 %)	Capacidad actual de producción (% utilización)	Ubicación
Quivel	95 mil litros/día (Aprox. 2.8 millones de litros/mes)	Fuera de servicio (se le da mantenimiento, pero no se opera por rentabilidad)	El Coyol de Alajuela
Compañía Coto 54 S.A.	95 mil litros/día (Aprox. 2.8 millones de litros/mes)	Fuera de servicio por rentabilidad. La planta nunca se completó. Hizo falta una inversión de aprox de US\$ 500mil	Laurel de Corredores, Puntarenas
Cooperativa de Autogestión Agropecuaria y de Servicios Múltiples de La Vaquita R.L (Coopevaquita)	No indica	Fuera de servicio	Puntarenas, Laurel de Corredores
Coopetalamanca Sostenible	110 litros/batch	Fuera de servicio temporalmente por proceso de ampliación	Paraíso de Sixaola

La capacidad instalada en el país para producir biodiesel (104.4 millones de litros por año) sería suficiente para suplir la demanda requerida en varios de los escenarios de mezcla biodiesel-diésel planteados por RECOPE. En el Cuadro 4 se muestra una comparación del porcentaje requerido de la capacidad instalada en Costa Rica para el 2019 en relación con la mezcla de biodiesel-diésel propuesta por RECOPE.

Con respecto a la generación de glicerol como subproducto, se presentan distintos escenarios, de acuerdo con la empresa productora. En el caso de CoopeVictoria, generan alrededor de 30 kg de glicerol por cada 100 kg de biodiesel producido, para una proyección mensual de 3 960 kg y lo almacenan sin ningún tratamiento de purificación. Caso contrario ocurre en la empresa Energías Biodegradables; en ésta, la generación de glicerol es menor (entre 10-15 kg por cada 100 kg de biodiesel), para una proyección de 26 400 a 39 600 kg al mes. Esta empresa la procesa para producir distintos productos industriales que luego comercializan como: jabones, grasas y lubricantes. Biodiesel H&M, genera alrededor de 15 kg de glicerol por cada 100 kg de biodiesel, para una proyección mensual de 7 920 kg. Entre estas 3 empresas, la generación mensual de glicerol es de 38 280 a 51 480 kg mensuales, lo que equivale a entre 440-592 mil kg de glicerol por año (considerando un aproximado de 11,5 meses productivos al año).

CUADRO 4

Porcentaje de mezcla de biodiesel en diésel y la correspondiente demanda de biodiesel según el porcentaje a usar de la capacidad instalada en Costa Rica para la producción de biodiesel en 2019 propuesta por RECOPE.

Mezcla de biodiesel	Demanda de biodiesel (litros)	Porcentaje de capacidad instalada requerida
2 %	24 409 640	23.38 %
5 %	61 024 100	58.45 %
7 %	85 433 740	81.83 %
8 %	97 638 560	93.52 %
9 %	109 843 380	105.21 %
10 %	122 048 200	116.90 %

CUADRO 5

Proyección de glicerol generado como subproducto de la producción de biodiesel bajo diferentes escenarios, a partir de la demanda de diésel en Costa Rica durante el 2019.

Mezcla de biodiesel	Demanda de biodiesel proyectada según % de mezcla (litros)	Proyección en la generación de glicerol como subproducto en producción de biodiesel (millones de kg)
2 %	24 409 640	2.099 - 2.196
5 %	61 024 100	5.248 – 5.492
7 %	85 433 740	7.347 – 7.689
8 %	97 638 560	8.396 – 8.787
9 %	109 843 380	9.446 – 9.885
10 %	122 048 200	10.496 – 10.984

DISCUSIÓN

Dentro del *Plan Nacional de Energías 2015-2030*, se contextualiza que, en el 2014 se presentaron al menos diez iniciativas privadas dedicadas a la producción de biodiesel, donde se destinaba mayormente al autoconsumo (en fincas, uso de maquinaria agrícola, entre otros) y ventas al por menor (es decir, aquellas ventas a vecinos o empleados de las plantas de producción). La producción total de biodiesel en 2014 era de aproximadamente 3 193 165 litros. En ese momento, la producción de biocombustibles no contaba con el respaldo jurídico suficiente que permitiera su incorporación de manera más activa en la matriz energética nacional. Por esto, se consideró al gas natural como una posibilidad más viable para la diversificación de la matriz energética. De acuerdo con este plan, en 2014 la energía comprada por parte del ICE provenía del bagazo de caña durante la estación seca, ayudando así a evitar parcialmente la generación con derivados de petróleo. Sin embargo, la tarifa para generación de electricidad con bagazo no había resultado suficientemente atractiva para que se desarrollara todo el potencial de esta fuente. Con este panorama, se buscaron otras alternativas, donde se encontró que una posible fuente de energía era la contenida en los residuos sólidos municipales, los cuales pueden ser procesados mediante tecnologías limpias para su tratamiento y disposición final, teniendo como subproducto la generación eléctrica, hoy en día, aún no se ha desarrollado a nivel nacional un proyecto.

Con la publicación en el 2019 del *Plan de Descarbonización Compromiso del Gobierno del Bicentenario*, no se menciona ninguna acción en relación con el uso o producción de biocombustibles en el país, lo cual deja en entredicho la descarbonización que este plan promueve. De igual manera, en 2019, se publicó el *Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública del Bicentenario 2019-2022*, donde se presenta un contexto ambiental en el que Costa Rica busca ser pionero en la descarbonización de la economía (Ministerio de Planificación [MIDEPLAN], 2019). En dicho plan se expone que el país en los últimos años se ha visto afectado por diferentes fenómenos naturales que han perjudicado la producción nacional del sector agrícola; además, la infraestructura del territorio nacional también se ha deteriorado por varios eventos climatológicos. En todo el plan no se menciona la palabra biodiesel ni biocombustible, ni ninguna acción asociada al impulso del desarrollo de éstos. Más recientemente, con la publicación por parte del Poder Ejecutivo de la *Estrategia Nacional de Bioeconomía 2020-2030*, se menciona la biomasa residual como una fuente potencial importante de energía renovable. Esto lo resalta dentro del tercer eje estratégico (biorrefinería de biomasa residual), donde a pesar de su objetivo planteado de fomentar el desarrollo de nuevas actividades productivas basadas en el aprovechamiento y la valorización de la biomasa residual de distintos procesos, no plantea acciones concretas que permitan verdaderamente su aprovechamiento. Incluso, las líneas de acción en este punto son muy generales y no detalla verdaderas acciones a ejecutar. Entre éstas, se citan:

1. Facilitar la producción de energía a partir de actividades agropecuarias y agroindustriales para ser utilizada en la sustitución de combustibles fósiles.
2. Actualizar la normativa e institucionalidad nacionales para potenciar la producción de energía a partir de residuos agropecuarios, agroindustriales y forestales, y permitir la venta de excedentes a la red de distribución nacional.
3. Diversificar el tejido económico de las zonas periféricas del país.
4. Contribuir con el Plan Nacional de Descarbonización.

Se observa que la capacidad actual instalada para la producción de biodiesel permitiría suministrar los escenarios de una mezcla de 2 %, 5 %, 7 % y 8%, planteados por RECOPE en el Plan de descarbonización del sector transporte terrestre (RECOPE, 2018). Sin embargo, para el escenario de una mezcla del 10 %, también planteado por RECOPE, la capacidad actual instalada no sería suficiente, ya que se requeriría ampliar la instalación en al menos un 17 %. Cabe resaltar que este análisis es con relación a las ventas de diésel por parte de RECOPE durante el 2019. Sin embargo, la tendencia de las ventas en la última década fue principalmente hacia el alza, donde únicamente en los años 2012 y 2019 hubo una disminución en las ventas con respecto al año anterior (0.31 % y 1.03 % respectivamente), de acuerdo con los datos obtenidos de las estadísticas de ventas de la Dirección de Ventas de RECOPE, en su página web oficial.

Estos datos muestran la existencia de un mercado importante para la introducción de los biocombustibles en la matriz energética nacional, como sustitutos de los combustibles fósiles. Al analizar la materia prima de los distintos proyectos productores de biodiesel (tanto vigentes como los que se encuentran fuera de servicio), se pueden clasificar en aquellos que utilizan aceites usados y los que emplean aceite sin usar. Los 3 proyectos que actualmente se encuentran operando pertenecen al primer grupo. Esto es una muestra clara de que el alto precio de algunos aceites sin usar (como en el caso del aceite de palma) genera que algunos de estos proyectos acuerden detener sus operaciones, como en el caso de la Compañía Coto 54 S.A.

Además, el empleo de aceites comestibles usados también trae consigo distintos beneficios asociados, como lo son la disminución de emisiones a la atmósfera (gases de efecto invernadero), reducción de desechos líquidos y se evita la contaminación de los mantos acuíferos por el vertido del aceite, así como otros beneficios sociales como el empleo a colaboradores independientes en distintas zonas del país como colectores de aceite (caso de H&M y de CoopeVictoria). Otro aspecto que tienen en común las empresas H&M y de CoopeVictoria es que gran parte del biodiesel es de autoconsumo en diferentes aplicaciones (como, por ejemplo, en maquinaria pesada), generando así una reducción de la factura en la compra de diésel. En el caso de Energías Biodegradables, éstos venden el biodiesel por contrato a empresas de transporte público.

De acuerdo con Alptekin y Canakci (2008), la densidad del biodiesel normalmente varía entre 0.86-0.90 kg/L. Con esta información se puede estimar la generación de glicerol como subproducto de la producción de biodiesel, bajo los seis distintos escenarios de mezcla del biodiesel en el diésel anteriormente planteados (ver Cuadro 5). El considerar una generación de glicerol dentro de este rango, hace atractivo la investigación para establecer rutas de valorización y usarla como materia prima en procesos de síntesis de productos de mayor valor agregado como el 1,2-propanodiol (Gatti, 2019), poligliceroles y ésteres de poligliceroles (Bardelli, 2016), ácido fórmico (Farnetti & Crotti, 2016), entre otros. Esto permite tener opciones para los productores actuales y futuros de biodiesel y diversificación para la industria alrededor de la producción de biocombustibles.

Como ya se mencionó en secciones anteriores, desde el 2003 no se logran identificar acciones concretas por parte del Gobierno Central de Costa Rica para promover la producción y consumo de biocombustibles. Sin embargo, dentro de Latinoamérica se tiene un claro ejemplo de un país que para

el 2017 ocupaba los primeros lugares a nivel mundial en la utilización de biocombustibles (Rodríguez, 2017). La República Oriental del Uruguay, con una población estimada de 3 505 985 habitantes para el 2018 (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2020) y una superficie territorial 3.5 veces mayor a la de Costa Rica, ha realizado una apuesta fuerte a las energías renovables, con el objetivo de diversificar la matriz energética, imponiendo importantes metas de incorporación en el corto y mediano plazo, y estableciendo algunas ventajas impositivas.

Uno de sus mayores avances se dio en 2007, año en que se promulgó la *Ley de Agrocombustibles N°18.195*, cuyo objetivo es el fomento y la regulación de la producción, la comercialización y la utilización de los agrocombustibles, definidos como todo combustible líquido renovable de origen agropecuario o agroindustrial, que incluyen el alcohol carburante y el biodiesel, entre otros. La matriz de energías primarias, hasta el 2005 fue mayoritariamente fósil (61 % de participación de los fósiles en promedio del quinquenio 2000-2005), mientras que la participación en el año 2016 fue de 38 % (Administración Nacional de Combustibles Alcohol y Portland [ANCAP], 2020). Más recientemente, el Gobierno de Uruguay presentó en 2019 un documento titulado *Presente y futuro de las energías renovables en Uruguay: Uruguay 2050*, donde menciona que la participación de la biomasa en el abastecimiento de energía tuvo un incremento de casi un 350 %, aumentando de casi 650 ktep (miles de toneladas equivalentes de petróleo) en el 2007 a cerca de 2 200 ktep en el 2017.

La Ley 18.195 (República del Uruguay) estableció como obligatoria a partir de 2012 la incorporación de 5 % de biodiesel en gasoil, y de un 5 % de etanol en naftas a partir de 2015. Sin embargo, ya en 2009 el biodiesel y el bioetanol se mezclaban en todo el gas oíl y las gasolinas, respectivamente, que se comercializan a través de estaciones de servicio y otras formas de distribución para el uso en vehículos (ANCAP, 2020). Además, ya para 2019, la gasolina y el gasoil comercializados en Uruguay contenían niveles superiores de mezcla con etanol y biodiesel (alcanzando niveles de mezcla de 9 % de etanol y de 7 % de biodiesel) (Dirección de Planificación de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto [OPP], 2019). A pesar de todo esto, la capacidad instalada en Uruguay para la producción de biodiesel es de 83 millones de litros por año (OPP, 2019), incluso menor a la capacidad instalada en Costa Rica (104.4 millones de litros por año para el 2019).

Al analizar los motivos por los cuales Uruguay ha logrado potenciar su capacidad para la producción de biodiesel y Costa Rica no, se logran apreciar dos razones de peso. La primera de ellas es el hecho de que en Uruguay desde el 2012 entró en obligatoriedad el empleo de biodiesel y etanol en los combustibles utilizados, mientras que en Costa Rica la mezcla de gasolina con etanol continúa sin fecha definida tras fallido intento de implementación en el 2019. Otro punto para destacar es que el Gobierno de Uruguay sí ha logrado generar políticas que fomentan e impulsan la producción de agrocombustibles. Dos claros ejemplos se presentan en los artículos 21 y 23 de la Ley de Agrocombustibles 18.195.

En el primero de ellos, se faculta al Poder Ejecutivo a exonerar total o parcialmente a los agrocombustibles nacionales de los tributos que recaigan sobre los mismos, impulsando así la utilización de éstos. Con respecto al artículo 23, se detallan una serie de beneficios a los que pueden acceder las empresas productoras de biodiesel y alcohol carburante, entre los que se encuentran la

exoneración del Impuesto al Patrimonio de los bienes de activo fijo y la exoneración del 100 % del Impuesto a la Renta de Industria y Comercio (IRIC) por un período de 10 años.

CONCLUSIONES

A pesar de que durante los últimos 20 años se han realizado modificaciones en la legislación costarricense en relación con el aprovechamiento de fuentes alternativas de energía, no se logra identificar acciones concretas por parte del Gobierno Central para consolidar el uso de los biocombustibles, y de paso establecer una bioeconomía como modelo para la descarbonización fósil y el desarrollo sostenible en Costa Rica; y así, afianzar al país como un ejemplo en el desarrollo de la bioeconomía en contextos de su alta biodiversidad.

La producción de biodiesel en Costa Rica fue de alrededor de 4.5 millones de litros para el 2019, mientras que la capacidad instalada es de 104.4 millones de litros por año. Es decir, únicamente se está aprovechando alrededor del 4.31% de la capacidad instalada. Costa Rica posee tres empresas con suficiente capacidad instalada para soportar aumentos importantes en la demanda de producción de biocombustibles: Energías Biodegradables S.A., Biodiesel H & M y CoopeVictoria.

Se estima que el potencial de generación de glicerol como subproducto entre Energías Biodegradables S.A., Biodiesel H & M y CoopeVictoria, es de 38 280 – 51 480 kg mensuales, lo que equivale a 460 - 620 mil kg de glicerol por año. Las empresas no siguen modelos de producción que potencien el valor del glicerol dentro de sus procesos productivos. Por lo tanto, el estudio de alternativas para la síntesis de compuestos de interés a partir del glicerol son una oportunidad para impulsar la industria química de Costa Rica y la producción de biocombustibles.

REFERENCIAS

- Administración Nacional de Combustibles Alcohol y Pórtland (ANCAP). (2020). Preguntas Frecuentes. Montevideo: República Oriental del Uruguay. Recuperado de <https://www.ancap.com.uy/2148/1/preguntas-frecuentes.html>
- Alptekin, E., & Canakci, M. (2008). Determination of the density and the viscosities of biodiesel–diesel fuel blends. *Renewable Energy*, 33(12), 2623– 2630. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.02.020>
- Ardi, M., Aroua, M., & Hashim, N. A. (2015). Progress, prospect and challenges in glycerol purification process: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(42 (C)), 1164-1173. doi:10.1016/j.rser.2014.10.091
- Bardelli, M. L. (2016). *Reacciones en fase líquida para la obtención de hidrógeno y biopropilenglicol a partir de glicerol*. Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ingeniería. La Plata, Argentina. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/56293/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Brady, S., Tam, K., Leung, G., & Salam, C. (2010). Waste biodiesel: using glycerin and biomass to

créate renewable energy. California, Estados Unidos de América: University of California, Department of Chemical and Environmental Engineering. California: University of California.

Decreto N° 31087-MAG-MINAE. (6 de Mayo de 2003). *Crea la Comisión Técnica de Trabajo MAG-MINAE-RECOPE-LAICA*. San José, Costa Rica: La Gaceta N° 85.

Decreto N° 31818-MAG-MINAE. (9 de Junio de 2004). *Crea Comisión Técnica de trabajo del Estudio del Biodiesel*. San José, Costa Rica: La Gaceta N° 112.

Decreto N° 33357-MAG-MINAE. (22 de Agosto de 2006). *Deroga la Comisión Técnica de Trabajo MAG-MINAE-RECOPE-LAICA y la Comisión Técnica de trabajo del Estudio del Biodiesel. Crea la Comisión Nacional de Biocombustibles*. San José, Costa Rica: La Gaceta N° 185.

Decreto N° 34128-COMEX-MINAE-MEIC. (17 de Diciembre de 2007). *Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.43:07: Especificaciones para biocombustibles, biodiesel y sus mezclas con aceite combustible. diésel. Especificaciones sobre especificaciones para el biodiesel*. . San José, Costa Rica: La Gaceta N° 242.

Decreto N° 35091-MAG-MINAET. (09 de Enero de 2009). *Reglamento de Biocombustibles*. San José, Costa Rica.

Decreto N° 40050-MINAE-MAG . (03 de Febrero de 2017). *Reglamento de biocombustibles líquidos y sus mezclas*. San José, Costa Rica: La Gaceta alcance N° 41.

Dirección de Planificación de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP). (2019). *Presente y futuro de las energías renovables en Uruguay*. Montevideo, Uruguay: Serie de divulgación – Volumen X. Dirección de Planificación. Oficina de Planeamiento y Presupuesto.

Gatti, M. N. (2019). *Procesos catalíticos para biorrefinerías: Conversión de glicerol para la producción de biopropilenglicol*. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, La Plata, Argentina.

Farnetti, E., & Crotti, C. (2016). *Selective oxidation of glycerol to formic acid catalyzed by iron salts*. *Catalysis Communications*(84), 1-4.

Katryniok, B., Paul, S., & Dumeignil, F. (2011). *The Future of Glycerol: 2nd Edition*. By Mario Pagliaro and Michele Rossi. *ChemSusChem*, 665-666.

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2019). *Anuario Estadístico Nacional 2019, 96ª versión*. Montevideo: República Oriental del Uruguay.

Lafuente, A. G. (2017). *Glicerol: Síntesis y Aplicaciones*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Facultad de Ciencia y Tecnología Química. Madrid, España.

Ley N° 18.195. (18 de Noviembre de 2007). *AGROCOMBUSTIBLES*. Montevideo: El Senado y la Cámara de Representantes de la República Oriental del Uruguay.

Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2015). *VII Plan Nacional de Energía 2015-2030. 1*. San José, Costa Rica: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD.

Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2008). *Programa Nacional de Biocombustibles*. San José, Costa Rica: República de Costa Rica.

- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT). (2020). *Estrategia Nacional de Bioeconomía Costa Rica 2020-2030*. San José, Costa Rica: República de Costa Rica.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). (2019). *Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública del Bicentenario 2019-2022*. San José, Costa Rica: Gobierno de Costa Rica.
- OCDE/FAO. (2019). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028*, OECD Publishing. Roma: París/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). doi:<https://doi.org/10.1787/7b2e8ba3-es>.
- Presidencia de la República de Costa Rica. (2018). *Plan de Descarbonización Compromiso del Gobierno del Bicentenario*. San José, Costa Rica: Gobierno de Costa Rica.
- Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE). (2007). Pronóstico de demanda de combustibles a largo plazo 2007-2026. *Gerencia de Comercio Internacional y Desarrollo. Dirección de Estudios de Demanda Energética. GCD-DED-86-2007*. San José, Costa Rica.
- Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE). (2018). *Plan de descarbonización del sector transporte terrestre*. San José, Costa Rica.
- Rodríguez, D. (2017). Producción de biocombustibles evitó emisiones de 270.000 toneladas de dióxido de carbono, 7 % de las generadas por el sector transporte. Montevideo, Uruguay: Presidencia de la República.