

PERSPECTIVAS DE LAS BIORREFINERÍAS Y SITUACIÓN ACTUAL DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ECUADOR COMO PAÍS EMERGENTE

Biorefineries And Current State Of Biofuels In Ecuador-An Emerging Country's Perspective

¹Joffre Pazmiño-Sánchez*, ¹Yadira Vargas-García, ¹Javier Dávila-Rincón

¹Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia, 110311

*pjoffreadrian@yahoo.es

Resumen

En los últimos 10 años Ecuador ha tenido un importante desarrollo en el campo de la energía, desde una reducción en el consumo de combustibles fósiles, así como la incorporación de la biomasa en su matriz energética primaria. De modo que, la bioenergía está involucrada en la era pospetrolera. El gobierno ecuatoriano ha demostrado interés en investigarla y desarrollarla con el fin de buscar la transformación de una economía establecida en hidrocarburos a una economía basada en biomasa. En este sentido, esta investigación muestra el estado del arte de los biocombustibles en Ecuador que como país emergente presenta un gran potencial en biomasa. La inclusión de esta materia prima en el mercado de energía en Ecuador también se presenta a través de una explicación de las biorrefinerías, así como de materias primas, rutas de conversión y bioproductos que se pueden obtener a partir de la biomasa. Posteriormente, se realizó una revisión de la legislación actual, políticas, programas y materias primas para la producción de biocombustibles en Ecuador. Por último, se presenta las perspectivas de los biocombustibles en investigación, desarrollo e innovación, así como algunos proyectos piloto que se vienen ejecutando por parte del sector público y privado.

Palabras claves: biorrefinería, biocombustibles, biomasa, era pospetrolera.

Abstract

In the last 10 years, Ecuador has had an important development on energy field, since a reduction of fossil fuels consumption as well as the incorporation of biomass in its primary energetic matrix. The government of Ecuador has decided to include the bioenergy in its energy planning. Therefore, researches have being addressed to explore new alternatives for energy generation and conversion processes to strengthen a bio-economy. Thereby, this work presents the state of the art of biofuels in Ecuador as well as the biomass potential as emerging country. The inclusion of this feedstock in the energy market in Ecuador also is presented through an explanation of biorefineries as well as raw materials, conversion routes and bioproducts that can be obtained from biomass. Thereafter, a revision of legislations, policies, programs and feedstock addressed to biofuels production in Ecuador are presented. Finally, perspectives about research, development and innovation on biofuels production in Ecuador is presented as well as the pilot scale projects in course by private and public sector.

Keywords: biorefinery, biofuels, biomass, post-oil era

Fecha de recepción: 22-06-2017

Fecha de aceptación: 28-11-2017

INTRODUCCIÓN

Gran parte del aumento mundial de la demanda de energía ocurre en los países en desarrollo no pertenecientes a la OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico), mientras que los países pertenecientes a la OCDE, los cuales tienen economías más maduras, el consumo total de energía se prevé que aumentará solo un 18 % entre los años 2012 y 2040 (1). La demanda de energía aumenta rápidamente a medida que el PIB per cápita crece y los niveles de vida mejoran. Para satisfacer las actividades humanas en todo el mundo se necesita de una fuerza dominante de energía; esta proviene principalmente de los recursos no renovables como el petróleo, gas natural, carbón, entre otros. Estas fuentes son las principales causantes de los aumentos de emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo (2).

Según la Administración de Información Energética de los Estados Unidos (USEIA), se prevé que las emisiones de CO₂ aumenten de 33 100 millones de toneladas de CO₂ en 2015 a 40 400 millones de toneladas de CO₂ en 2030; lo que corresponde a un aumento del 39 % de emisiones de dióxido de carbono en todo el mundo. En el libro *The Global Warming*, de Mark Maslin, se expresa que el calentamiento global causado por estas emisiones sumado el alto nivel de deforestación, el incremento de la temperatura en América Latina de 1 °C durante el siglo XX y de los niveles del mar que han alcanzado 2 a 3 mm por año desde los años ochenta, se debe principalmente por el uso excesivo de energías primarias no renovables como el petróleo, gas natural y carbón (3,4).

El siglo XX se caracterizó por una fuerte era petroquímica, donde se proporcionó a la sociedad energía y un gran número de productos que han influido en casi todas las facetas de la vida moderna. Como se mencionó anteriormente, el

desarrollo de esta industria ha causado grandes problemas ambientales, produciendo un replanteamiento en la economía global. En vista de esto, el presente siglo XXI se caracteriza especialmente por buscar nuevas medidas para pasar de la actual economía basada en los fósiles a una economía más sostenible fundamentada en un mayor uso de los recursos renovables (5,6).

En este sentido, Ecuador, desde 1994, es uno de los países que forma parte del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático y además ratificó el apoyo al Protocolo de Kioto en el año 1999. El objetivo central de estos acuerdos internacionales es la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nítrico), HFC (hidrofluorocarbonos), PFC (perfluorocarbonos) y SF₆ (hexafluoruro de azufre) (3,7). A partir del año 2002 existe un crecimiento constante de energía en el país, con un leve decrecimiento en 2008 y un aumento del consumo de energía a partir del año 2009. Esto está ligado principalmente al crecimiento de su economía y población (8). Por otra parte, en 2015 el petróleo y gas constituyeron el 88 % y 4 % de la producción total de energía primaria del Ecuador respectivamente (9). Actualmente, la mayor parte de la producción del petróleo en el país se exporta a cambio de la importación de productos refinados como el diésel, gasolina, GLP (gas licuado de petróleo), *jet fuel*, entre otros. Esto se debe a que la capacidad de operación de sus tres refinerías es insuficiente y no cubre la totalidad de la demanda interna que requiere el país con respecto a los productos refinados, además de los problemas económicos que se generan actualmente por la remodelación de estas instalaciones (10).

En cuanto a las reservas, de petróleo probadas en el año 2011, Ecuador tenía 1 033,4 millones de m³. Esto significa que posee las terceras mayores reservas sudamericanas con el 2,6 % del total regional. En lo que concierne a las reservas de gas natural, a finales de 2010, representaron el 0,1 % del total de la región sudamericana (11). En este contexto, la teoría del Pico del Petróleo o Hubbert analiza la disponibilidad de reservas de crudo y su tasa de consumo, dando como resultado que existirá una disminución progresiva de las reservas en el mundo para el año 2066. Estas predicciones dan un horizonte de declinación de la era petrolera (12).

Por otra lado, la participación de las energías renovables en la matriz energética de Ecuador en el año 2015 fueron del 3 % correspondiente a la producción de biomasa (leña y productos de caña) y 5 % en la producción de hidroenergía con respecto al total de energía primaria

(9). En este sentido, el gobierno ecuatoriano consciente de esta realidad energética, los problemas ambientales y económicos que se generan a escala mundial y nacional por la dependencia de los recursos no renovables, ha planificado de una forma diversificada su matriz energética y productiva dentro de la Agenda Nacional de Energía 2016-2040 bajo el compromiso de alcanzar el buen vivir de los ecuatorianos (13,14). Dentro de esta planificación se encuentran los biocombustibles o agrocombustibles que vienen tomando fuerza durante los últimos cinco años en el país. De acuerdo a las previsiones realizadas por el World Energy Council, se espera que los biocombustibles se conviertan en un elemento fundamental de la matriz energética mundial del siglo XXI (15).

En los últimos años, Ecuador ha venido trabajando y fomentando el desarrollo de nuevos proyectos en investigación para la nueva era pospetrolera del país. Dentro de estos se encuentra el uso de cultivos energéticos, biomasa agrícola, animal y forestal para la producción de bioproductos energéticos y no energéticos. En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo realizar una revisión sobre las perspectivas de las biorrefinerías y el estado de arte de los biocombustibles en el contexto ecuatoriano, abordando temas de interés como materias primas, bioproductos, legislación, políticas y retos en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) con el fin de determinar un horizonte de la bioeconomía en Ecuador.

PERSPECTIVAS DE LAS BIORREFINERÍAS

Definición

Con el fin de poder abordar la definición de las biorrefinerías es necesario comprender sus antecedentes. El término biorrefinería surge en los años noventa basado principalmente en el concepto de Chemurgy, que fue un intento por utilizar diferentes residuos o biomasa agrícola como materia prima para producir una amplia gama de bioproductos con fines distintos al uso alimentario; así nace este término y evoluciona los conceptos de la química verde o sustentable (16,17). Las investigaciones que se dieron alrededor del concepto de Chemurgy decayeron después de la Segunda Guerra Mundial, debido a que las tecnologías creadas en ese momento no fueron lo suficientemente competitivas con la industria petroquímica (18,19).

A continuación, se exponen algunas definiciones de organismos internacionales y de autores científicos. El De-

partamento de Energía de los Estados Unidos, la Agencia Internacional de Energía (IEA) y el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) utilizan la siguiente definición: las biorrefinerías son instalaciones industriales integradas que procesan la biomasa en un espectro de productos y energía comercializables, basándose en la refinería petroquímica (20-23). Además, este concepto es análogo a las refinerías actuales de petróleo (17).

La comunidad científica como Wojciech M. Budzianowski y Francesco Cherubini declaran que las biorrefinerías son sistemas industriales emergentes que apuntan a la utilización sostenible y eficiente de la biomasa, valorando los residuos agrícolas para obtener plataformas que posteriormente pueden convertirse en productos de alto valor añadido como biocombustibles y bioproductos (24,25). Consecuentemente, se afirma que varios autores definen a una biorrefinería como analogía a las refinerías actuales del petróleo, las cuales producen una amplia gama de bioproductos energéticos y no energéticos (21, 26). Además que la renovabilidad de la materia prima en función del tiempo y las emisiones de gases de efecto invernadero son las características principales que diferencian a estas instalaciones de las refinerías de petróleo (22).

De acuerdo a lo citado anteriormente, se puede realizar una sinopsis de este concepto. Estas son instalaciones industriales que se basan en el principio de las refinerías del petróleo, pero con la diferencia que usan como materia prima cultivos energéticos y/o biomasa (agrícola, forestal, animal, CO₂, etc.) con el fin de procesarlas mediante diferentes tecnologías integradas para obtener plataformas (glicerina, syngas, proteínas, etc.) y bioproductos energéticos y no energéticos. Además, en la figura 2, se indica el funcionamiento esquemático de una biorrefinería (26).

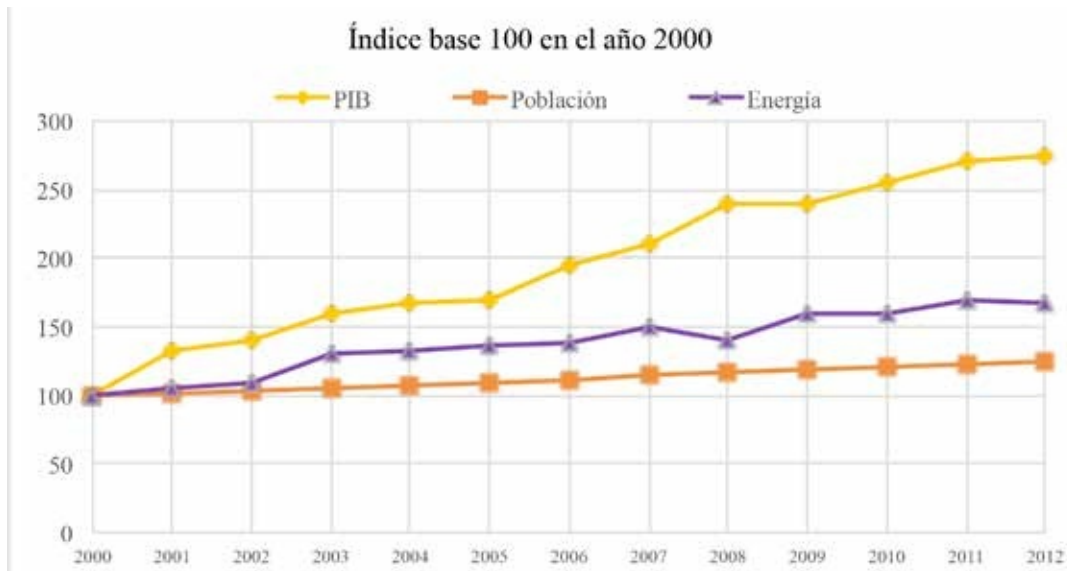


Figura 1. Variación de la población y el consumo primario de energía en Ecuador. Fuente: Adaptado de (8)

Materias primas y tipos de biorrefinería

Las materias primas utilizadas en una biorrefinería se las puede clasificar en generaciones y en función de su fuente. Las materias primas de primera generación (MP-1G) corresponden a todos los cultivos que son destinados al consumo humano como, por ejemplo: maíz, banana, caña de azúcar, soja, palma aceitera, arroz, trigo, girasol, colza, remolacha,

entre otros. Además, en algunos casos es utilizada como MP-1G para una biorrefinería todo el cultivo. Esta generación enfrenta desafíos sociales, económicos y ambientales, debido a que están contempladas y relacionadas con la seguridad alimentaria, causando problemas a corto, mediano y largo plazo en el uso del suelo y la subida de precios de los alimentos. Las materias primas de segunda generación (MP-2G) es toda la biomasa y/o residuos agrícolas (originarios de los cultivos de la MP-1G), forestales y animales. Es importante recalcar que dentro de este grupo también se encuentran cultivos energéticos que no son destinados al consumo humano como el piñón de tempate

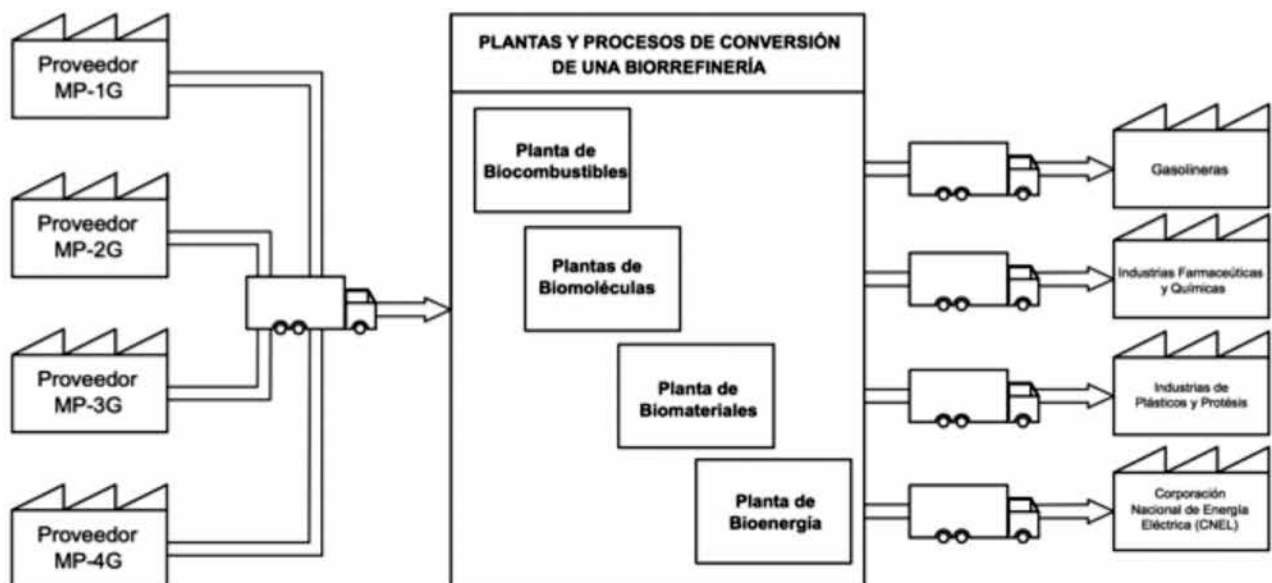


Figura 2. Funcionamiento de una biorrefinería. Fuente: Adaptado de (27)

MP-1G		MP-2G		
Denominación	Producción (t/año)	Denominación		Biomasa (t/año)
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	1 565 535 en cáscara	Panca (pajilla)	Residuo de campo	2 106 695,86
		Cáscara	Residuo de procesamiento	
Banano (<i>Musa paradisiaca</i>)	7 012 244 de fruta fresca	Hoja de pseudotallo	Residuo de campo	4 926 095,60
		Raquis, rechazo de producto	Residuo de procesamiento	
Cacao (<i>Theobroma cacao L</i>)	133 323	Poda, mazorca descartada, cáscara de mazorca	Residuo de campo	2 015 352,60
		Raquis, rechazo de producto	Residuo de procesamiento	
Café (<i>Coffea arabica</i>)	7 340 de grano oro	Poda, renovación de plantas	Residuo de campo	104 048,31
		Cáscaras, pulpa, mucilago	Residuo de beneficio	
		Tarilla	Residuo de procesamiento	
Caña de azúcar (<i>Saccharum officinaru</i>)	7 378 922 de tallo fresco	Tallos y hojas	Residuo de campo	793 283,38
		Bagazo	Residuo de procesamiento	
Maíz duro (<i>Zea mays</i>)	1 215 193	Hojas, tallos, mazorcas	Residuo de campo	434 921,32
		Mazorca, dependiendo de la finalidad	Residuo de procesamiento	
Palma africana (<i>Elaeis guineensis</i>)	2 649 051	Hojas y troncos de palmera	Residuo de campo	6 872 469,27
		Raquis, fibras mesocarpio, cascarillas de nuez	Residuo de procesamiento	
Palmito (<i>Bactris gasipaes</i>)	92 500	Hojas y troncos de palmera	Residuo de campo	478 751,38
		Despunte, capas exteriores, rechazo de productos	Residuo de procesamiento	
Piña (<i>Ananas comosus</i>)	100 000	Hojas y troncos de palmera	Residuo de campo	124 699,08
		Corona, cáscara, corazón, hojas de la planta	Residuo de procesamiento	
Plátano (<i>Musa spp</i>)	559 319	Hojas, pseudotallo	Residuo de campo	372 576
		Raquis, rechazo de producto	Residuo de procesamiento	

Tabla 1. MP-1G del Ecuador de origen agrícola que pueden utilizarse en el contexto de una biorrefinería. Fuente: Adaptado de (31).

(*Jatropha curcas*), higuera (*Ricinus communis*), entre otros. Además, se encuentran en esta categoría los aceites residuales domésticos e industriales y residuos sólidos municipales. En la actualidad, esta categoría abre muchas posibilidades de sostenibilidad superando los desafíos de las MP-1G, ya que no se encuentran involucradas directamente con los productos destinados al consumo humano; sin embargo, las rutas de conversión de esta generación todavía no se encuentran desarrolladas en su totalidad. Conjuntamente, las MP-2G permiten aprovechar las tie-

rras marginales y desérticas usando diferentes cultivos como el piñón de tempe y karanja (*Pongamia pinnata*), sin embargo, estos tipos de cultivos pueden abrir posibilidades de competencia con el suelo. Para contrarrestar esto, es necesario tener en cuenta la sostenibilidad de cada proceso involucrado. Por otro lado, las materias primas de tercera generación (MP-3G) corresponden a la acui-

Actividades agropecuarias		Producción de excrementos total (t/año)	Cantidad total de animales (cabezas/año)	Denominación		Biomasa (t/año)
Subsector pecuario						
Avícola		510 956,46	27 497 166	Residuos de campo	Excretas	510 980,10
Porcino		62 109,20	295 802	Residuos de campo	Excretas	62 154,70
Vacuno o bovino	Vacuno leche	857 345,07	1 129 274	Residuos de campo	Excretas	9 340,61
	Vacuno carne	6 373,93	2 950 893	Residuos de campo	Excretas	857 413,15

Tabla 2. MP-2G del Ecuador de origen animal que pueden utilizarse bajo el concepto de una biorrefinería.
Fuente: Adaptado de (31). Excretas son los estiércoles y orina de cada subsector.

cultura de microalgas y algas. Esta generación tiene algunas ventajas sobre las MP-1G y MP-2G, ya que son totalmente renovables y tienen un potencial energético mayor que las materias primas anteriores. Su reproducción es muy rápida y no necesita de grandes extensiones de suelo y agua. No obstante, en la actualidad la tecnología involucrada en sus procesos está en una etapa incipiente y necesita de investigaciones muchos más avanzadas. En último lugar se hallan las materias primas de cuarta de generación (MP-4G), aquellas que se encuentran encaminadas a la biomasa industrial del CO₂. De igual forma que la MP-3G, las tecnologías en esta generación se encuentran en etapas de investigación y desarrollo. Recalcar que esta materia prima es inagotable en el planeta Tierra y su aprovechamiento óptimo trae consigo grandes beneficios al ambiente (17, 21, 26-28). Esta clasificación de materias primas está en función de su fuente, sin embargo, actualmente no existe una entidad internacional o normativa que regule esta categorización. Los tipos de tecnologías y procesos que transformen las MP-1G, MP-2G, MP-3G y MP-4G van a depender estrictamente del análisis físico-químico de cada materia prima y del tipo de instalación industrial. En este sentido, se puede connotar que los tipos de biorrefinerías están en función de las generaciones de las materias primas (26).

En la tabla 1, se muestran algunas MP-1G y MP-2G de origen agrícola del Ecuador (30). Las MP-1G como el arroz, banano, cacao, café, maíz duro, palmito y plátano

son destinadas directamente a la industrias de alimentos, mientras que la palma africana es designada principalmente a la industria alimentaria y cosmética (29,30). Las MP-1G como el maíz duro, caña de azúcar y el arroz provienen de cultivos transitorios; por otro lado, las MP-1G como el banano, cacao, café, palma africana, palmito, piña y plátano son cultivos permanentes (30). Actualmente, en el país, las MP-2G de origen agrícola son destinadas en los mejores de los casos para realizar compostaje, ciertos residuos agrícolas como el rechazo de banano y el bagazo de caña son destinados como alimento animal, en otros casos simplemente son quemadas, llevadas a vertederos a cielo abierto o tiradas a las quebradas causando grandes problemas ambientales (29,31).

Adicionalmente, en la tabla 2, se resumen algunas MP-2G de origen animal proveniente de los criaderos y de las plantas de sacrificio (30). Las provincias que poseen mayor volumen del subsector avícola son: Guayas, Pichincha, Tungurahua, Santo Domingo de los Tsáchilas y Manabí que representan el 70 % de la producción total del país. En el subsector porcino se encuentran provincias como Santo Domingo de los Tsáchilas, Guayas, El Oro y Pichincha, las cuales representan el 70 % de la producción total. Por último el subsector vacuno o bovino, el cual se divide en vacuno de leche, las principales provincias productoras son Manabí, Azuay, Pichincha, Chimborazo, Cotopaxi, Tungurahua, Cañar, Loja y Bolívar; todas juntas representan el 70 % de la producción total. Y finalmente las provincias con representación del 70% de la producción total del vacuno de carne son Manabí, Cotopaxi, Loja, Azuay, Pichincha, Chimborazo y Guayas (30). Hoy, en el país, los subproductos generados en las industrias cárnicas (vacuno), como la piel, se destinan principalmente a la industria del cuero, en otros casos también se utiliza para obtener gelatina tipo A y B. Asimismo, a partir de los huesos y pellejos del animal se obtienen adhesivos. En los últimos años uno de los problemas más importantes que se ha generado en la industria pecuaria es la alta cantidad de excretas. Los estiércoles de vacuno y porcino contienen en promedio

Denominación	Producción de residuos (Ton/año)	Biomasa	
		Residuos de campo	Ramas, cortezas, raíces
Forestal Implantado	206,519	Residuos de beneficio	Corteza, aserrín, astillas
		Residuos de procesamiento	Aserrín, trozos de madera, astillas

Tabla 3. MP-2G del Ecuador de origen forestal que puede utilizarse bajo el concepto de una biorrefinería. Fuente: Adaptado de (31)

un 6 % de materia seca y el avícola oscila alrededor del 15 % (29).

Finalmente, en la tabla 3, se muestran MP-2G de origen forestal (30). Las provincias de Imbabura, Los Ríos, Cotopaxi y Pichincha representan el 70 % de producción total del país (30). El producto principal de la industria forestal son los troncos de los árboles como el eucalipto, pino y ciprés, los cuales son destinados principalmente a las industrias madereras y papeleras. En el año 2015 esta industria represento el 2,70 % de las exportaciones no petroleras del país (29). Por otra parte, los residuos forestales constituyen una importante fuente de biomasa. Se estima que, por cada árbol utilizado para la producción maderera en el país, solo se aprovecha comercialmente alrededor del 20 %. El restante está distribuido de un 40 % en ramas y raíces y el otro 40 % corresponde al proceso de aserrado en forma de astillas, corteza y aserrín (30).

Rutas de conversión de una biorrefinería

De acuerdo a la composición físico-química de la materia prima (MP) que alimenta a una biorrefinería se determina las rutas de conversión/procesos para obtener bioproductos de valor agregado. La figura 2 muestra las rutas de conversión de la biomasa de las cuales se pueden dividir en cuatro grupos: procesos termoquímicos (gasificación, combustión, pirólisis), procesos bioquímicos (hidrólisis física, química o biológica), procesos mecánicos-físicos y procesos químicos (21,32,33).

Procesos termoquímicos

Estos procesos utilizan altas temperaturas y catalizadores para poder realizar una descomposición térmica de los componentes de la materia prima y liberar energía en forma de calor (34). Principalmente, los procesos termoquímicos se pueden clasificar en tecnologías como la combustión, gasificación, pirólisis y licuefacción. Estas tecnologías se utilizan para obtener energía eléctrica, gas de síntesis o biocombustibles (24,33). Las etapas básicas

de procesamiento en los procesos termoquímicos son: preparación de la MP (secado y reducción de tamaño), conversión de biomasa mediante alimentación, gasificación y/o pirólisis, y entrega de productos purificados y limpios (35).

Procesos bioquímicos

Los procesos bioquímicos utilizan temperaturas y velocidades bajas, participan microorganismos y/o enzimas que degradan el sustrato fermentable de la MP que tienen un alto porcentaje de carbohidratos en forma de sacarosa o de polímeros de almidón. Los principales tecnologías de conversión bioquímica incluyen la fermentación y la digestión anaerobia (25,34). Mediante estas tecnologías se puede obtener bioetanol, ácidos orgánicos, metanol, hidrógeno, biogás, biofertilizantes, entre otros (33,36).

Procesos mecánicos-físicos.

Los procesos mecánicos son aquellos que no cambian el estado o la composición de la biomasa, sino que realizan una reducción de tamaño o una separación de los componentes de MP. Generalmente, dentro de una secuencia de etapas en una biorrefinería, los procesos mecánicos son los primeros para reducir el tamaño de la MP de acuerdo a los rangos requeridos (25). Por lo general, dentro de estos procesos participan tecnologías de corte o conmutación, mediante el cual se obtiene un tamaño y densidad de partícula óptima. Otros procesos mecánicos apuntan a separar y/o concentrar los sustratos, que son

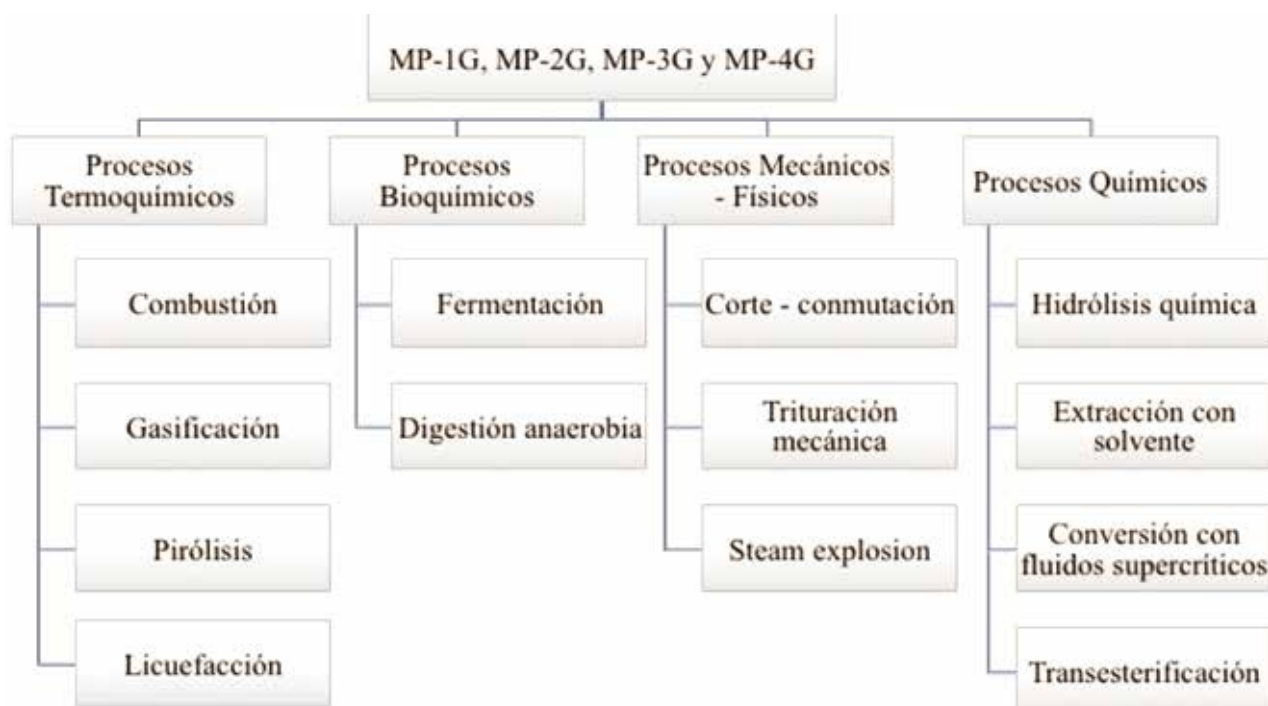


Figura 3. Rutas de conversión de una biorrefinería. Fuente: Adaptado de (22,33,34)

productos intermedios durante el proceso de procesamiento de la MP (37,38). Una de las tecnologías utilizadas dentro de este proceso es la trituración mecánica, la cual combina la trituración con la molienda para reducir la cristalinidad de la celulosa de la MP (39).

Dentro de los procesos físicos podríamos citar la tecnología explosión de vapor (*steam explosion*), en que la MP lignocelulósica se trata con vapor caliente (180-240 °C) y a baja presión (1-3,5 MP_a), seguido de una descompresión explosiva de la MP a presión atmosférica, generando una ruptura de la estructura rígida de sus fibras. Durante la explosión de vapor, la lignina se ablanda liberándose de la pared celular y se distribuye uniformemente sobre la MP. La mayoría de los pretratamientos con vapor producen alta solubilidad en hemicelulosa y baja solubilidad en lignina (36,40,41). Esta tecnología utiliza un líquido comprimido caliente, por lo general agua a presión por encima del punto de saturación con el fin de hidrolizar la hemicelulosa. Además, es considerado un método prometedor por ser un

proceso físico respetuoso con el medio ambiente para el pretratamiento de la MP en la producción de bioetanol o biogás mediante la fermentación (40).

Procesos químicos

Con la participación de estos procesos, la MP sufre un cambio o modificación en la estructura química de su molécula al reaccionar con otras sustancias (25). Algunas de las tecnologías que participan en los procesos químicos son la: hidrólisis química (ácida/enzimática), extracción con disolvente, conversión con fluidos supercríticos y transesterificación (25,28,42).

Bioproductos comerciales de una biorrefinería

La tabla 4 muestra algunos de los bioproductos que se pueden obtener en una biorrefinería (5,17). Existen dos formas en las cuales se puede producir bioproductos y bioenergía. La primera es seguir la estructura de funcionamiento de la industria petroquímica, mediante la fabricación de un conjunto de productos bioquímicos que se les conoce como *building blocks*. Estas sirven como plataformas para obtener productos secundarios, que a su vez pueden usarse para formar otros productos con diferentes aplicaciones. Actualmente muchos de los bloques químicos que se

Biocombustible	Bioproductos para alimentos	Bioenergía	Materiales biobasados	Bioquímicos
Biodiésel	Gluten	Electricidad	Carbón activado	Aditivos de combustibles
Bioetanol	Proteínas	Calor	Pulpa y papeles	Fenoles
Syngas	Aminoácidos		Adhesivos industriales	Furfural
Biolubricantes	Sustitutos de azúcares	Energía de vapor	Películas de biopolímeros	Ácidos grasos
Bioetanol		Carbón	Materiales biocompuestos	Tensioactivos industriales
Biohidrógeno		Electricidad a partir de vapor	Fluidos dieléctricos	Colorantes y pigmentos
Biometano			Brinders	Aceites y tintas
Vanilina			Bioplásticos	Pinturas y barnices
			Bioepoxi	Detergentes limpiadores
			Resinas	Químicos para agricultura
			Cemento	Fertilizantes
			Polihidroxibutirato	Sorbitol
				Productos farmacéuticos
Cosméticos				
Antocianinas				
Glicerol				

Tabla 4. Bioproductos energéticos y no energéticos que se obtienen bajo el concepto de una biorrefinería. Fuente: Adaptado de (5,18)

obtienen de los recursos fósiles pueden ser producidos a partir de una biorrefinería. La otra ruta es producir nuevos bioproductos químicos y bioenergía que sustituyan a los que provienen de la industria petroquímica (5).

Los bioproductos de alto valor obtenidos en volúmenes bajos como: biofarmacéuticos, biocosméticos, bionutrientes, bioquímicos, biofertilizantes y materiales biobasados tienen por objeto aumentar la rentabilidad de las biorrefinerías; mientras tanto, los bioproductos de bajo valor obtenidos en alto volumen como biocombustibles, bioenergía y calor generan *in situ* ahorros energéticos y proporcionan ingresos adicionales a las biorrefinerías. El mercado de estos bioproductos energéticos y no energéticos no solo dependen de los costos de producción, sino también de las condiciones del mercado de los productos obtenidos a partir de los recursos fósiles. Además, estos bioproductos pueden tener un mayor potencial comercial si se aborda específicamente nichos de mercado y se evita la competencia con los productos provenientes de origen fósil (24).

Plataformas (Building blocks)

A partir del procesamiento de las diferentes MP o biomasa en una biorrefinería se pueden obtener varias plataformas, las cuales son la base fundamental para obtener

otros bioproductos de valor agregado. La plataforma de Syngas se presenta como la base para la producción de alcoholes (metanol), combustible (diésel Fisher-Tropsch) y bioproductos químicos. El gas de síntesis puede ser sometido a un proceso de fermentación para obtener etanol, metanol, amoníaco, entre otros (21,43,44). Mientras tanto, la plataforma de azúcares (C5-C6) es el producto más común cuando la biomasa es hidrolizada. Las mezclas de cinco y seis carbonos pueden ser transformadas por catalizadores biológicos o químicos en gran cantidad de productos como el xilitol, etanol, entre otros (21,43,44). Adicionalmente, la plataforma de aceites a partir de MP oleaginosas como palma, piñón, colza, girasol, soja, ricino, etc., se obtiene biodiésel. Los ácidos grasos que componen estas MP se utilizan como agentes tensioactivos en productos para el cuidado personal, detergentes y jabones, mientras que las MP que contienen gran cantidad de ácido

oleico se utilizan como biolubricantes. El glicerol es el principal subproducto en la producción de biodiésel a partir de aceite vegetal, además es la materia prima para procesos de fermentación y digestión anaerobia. Varios bioproductos como propilenglicol, 1,3-propanodiol, ácido acrílico, propileno, entre otros, son considerados productos químicos prometedores que se pueden producir a partir de glicerol (21,43,44). De igual forma, la plataforma de aceites a partir de MP-3G es una buena fuente de lípidos, carbohidratos, antioxidantes, pigmentos, vitaminas, ácidos grasos y otros componentes. Así mismo la plataforma de aceite de pirólisis está condicionada a temperatura, presión y tiempo de residencia. Algunos productos que se pueden obtener son ácidos orgánicos, fenoles y furfural (21,43,44)

Por otra parte, la plataforma de soluciones orgánicas hace referencia a la biomasa procesada que resulta cuando la MP se somete a un prensado, en la cual se obtiene una solución rica en carbohidratos, proteínas, minerales, enzimas, ácidos orgánicos, entre otros. Esta mezcla puede utilizarse como fuente para combustibles y bioquímicos a través de procesos de fermentación. La torta de prensa puede ser una base potencial para las plataformas de síntesis, azúcares y lignina (21,43,44). Finalmente, la plataforma de lignina implica la obtención de productos de síntesis como metanol, etanol, alcoholes mixtos, gases C1-C7, hidrocarburos (BTX, ciclohexano y estirenos), fenoles, productos oxidados (es decir, vanilina, ácidos aromáticos, ácidos alifáticos) y compuestos de macromoléculas (adhesivos y productos farmacéuticos) (21,43,44).

Debido a las diferencias en la naturaleza y composición de las MP fósiles y biomasa, se necesita un cambio en la base tecnológica de procesamiento. Se prevé una combinación de tecnologías de procesamiento físico, químico y biológico para la producción, manejo y procesa-

miento de las MP (5). La figura 3 muestra las principales rutas y productos que se pueden obtener utilizando el concepto de biorrefinería de acuerdo a las características específicas de cada materia prima (26).

Futuro de las biorrefinerías

El desarrollo sostenible y eficiente de una biorrefinería tanto a escala piloto e industrial depende estrictamente de la maximización del uso de la MP, eficiencia energética en cada una de sus plantas y el manejo adecuado de los desechos generados en sus respectivos procesos (45). De igual forma, el potencial máximo de la biorrefinería se realizará mediante avances en biotecnología, genética vegetal, tecnologías de separación e ingeniería (15,46). Además, la reutilización del CO₂ emitido en estas instalaciones es otro aspecto importante que se debe considerar, por ejemplo los procesos de fermentación generan grandes volúmenes de dióxido de carbono, aproximadamente una 1 t (tonelada) de CO₂ es emitida al momento de producir bioetanol por la fermentación de la glucosa (47).

Debido a cuestiones como el cambio climático, la seguridad del suministro de energía y el aumento de costos de los combustibles fósiles, el principal motor del desarrollo de las biorrefinerías integradas será la producción de biocombustibles (48). Cada ruta de conversión dentro de una biorrefinería tendrá que ser eficiente y superar una serie de problemas tecnológicos antes de que pueda convertirse en una realidad comercial, incluyendo la flexibilidad para usar diferentes tipos de materias primas y el escalamiento de la parte piloto a industrial. Además de lo mencionado anteriormente, estas instalaciones integradas enfrentan una serie de desafíos de sostenibilidad tanto en lo económico, ambiental y social. Estos factores deben ser considerados sobre la base de ciclo de vida de las biorrefinerías, con el fin de evitar cambios en los impactos de sostenibilidad y entre la cadena de suministro (49).

En este sentido, las metodologías de diseño permitirán evaluar MP, tecnologías, rutas de procesamiento y bioproductos a través del análisis técnico, económico, ambiental y social. Además, la formulación de conceptos como jerarquía, secuenciación e integración serán de gran importancia para obtener la mejor configuración de los procesos de una biorrefinería. El concepto de jerarquía implica la descomposición jerárquica de los elementos relevantes en las biorrefinerías tales como MP, bioproductos, tecnología, etc. La secuenciación define una síntesis lógica del paso a paso relacionando las rutas tecnológicas para obtener bioproductos. Por último, de la

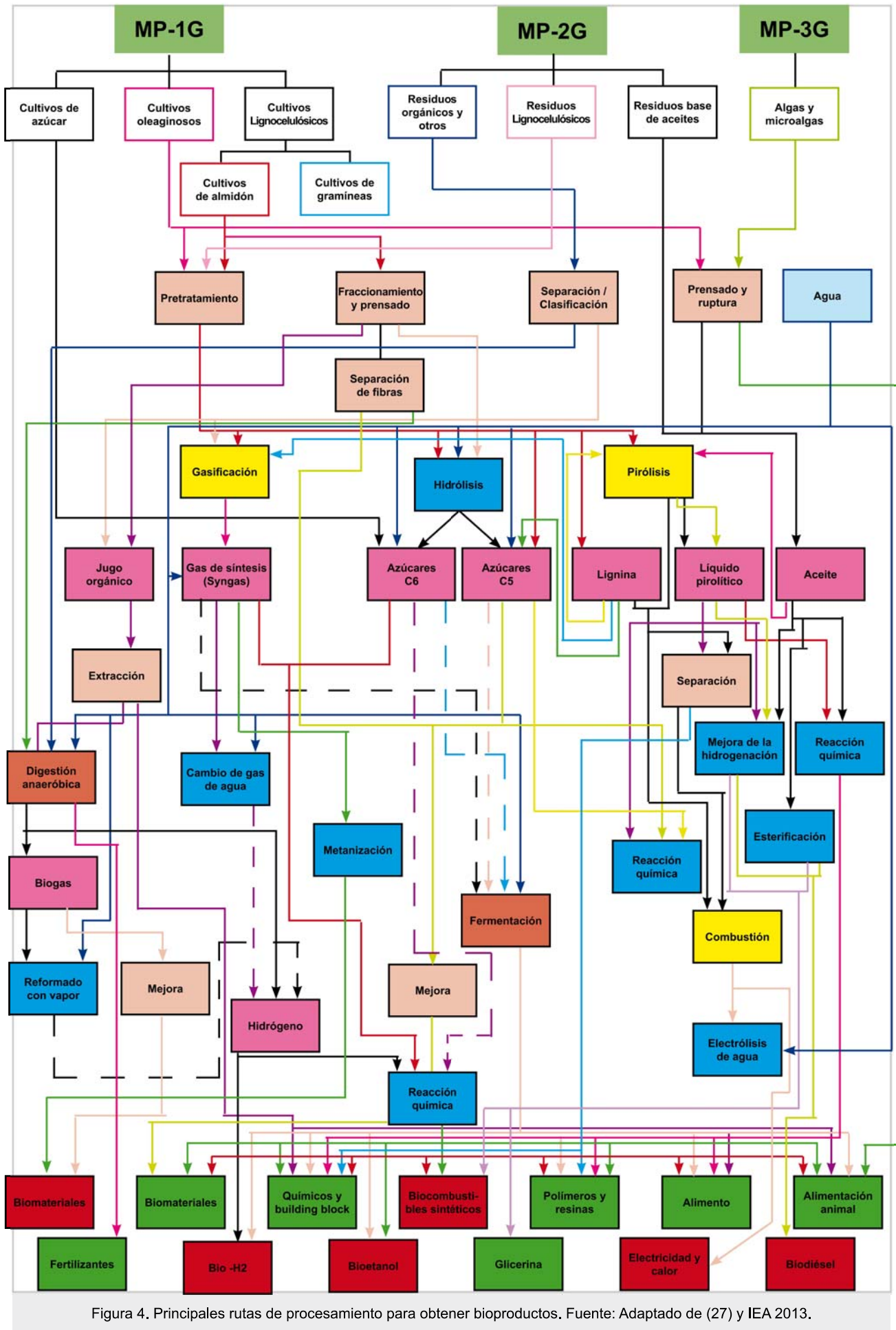


Figura 4. Principales rutas de procesamiento para obtener bioproductos. Fuente: Adaptado de (27) y IEA 2013.

misma manera que se optimiza los procesos en el refinado moderno del petróleo mediante la integración del calor y desarrollo de coproductos, se puede optimizar una biorrefinería como base fundamental para el desarrollo productivo de la misma (17,21). De acuerdo a esto, se pueden proponer biorrefinerías para mejorar la cadena de suministro global de diferentes cultivos, como es el caso del aprovechamiento de los residuos de café, palma, caña de azúcar, entre otros y obtener bioproductos de valor agregado (21). Uno de los países más exitosos en la implementación de biorrefinerías para la producción de biocombustibles a partir de biomasa de caña de azúcar es Brasil, el cual es el segundo mayor productor de bioetanol con el 28 % del total mundial (50).

Por otro lado, la viabilidad económica de las futuras biorrefinerías va a depender de dos puntos (48). El primero será la utilización de materias primas baratas, donde las MP-2G podrían ser una excelente opción a considerar, ya que a nivel mundial solamente se explota el 4 % de la biomasa. Considerando de una forma general estas materias primas se componen del 35-50 % de celulosa, 20-30 % de hemicelulosa, 15-20 % de lignina

y del 15-20% cenizas y otros (51). Conjuntamente, deberán ser considerados la optimización de los procesos que intervienen en la producción y logística de una biorrefinería, en especial la recolección, almacenamiento y transporte de la MP. El segundo punto serán los modelos de negocios que se apliquen, los cuáles serán principalmente influyentes para la obtención de una gama versátil de bioproductos (48). Finalmente, el eje principal de las biorrefinerías será maximizar el valor de los bioproductos energéticos y no energéticos obtenidos a partir de la biomasa, la cual sería una gran opción para países emergentes como Ecuador, debido a que su matriz energética y productiva depende básicamente del petróleo y gas natural (17,21).

SITUACIÓN ACTUAL DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ECUADOR

Legislación de biocombustibles

En el año 2014, existieron 13 países de América Latina con mandatos o metas establecidas en biocombustibles (52). Ecuador cuenta con una Constitución muy avanzada en legislación ambiental, pero muchas de estas leyes carecen de eficacia al no poderse aplicar en el contexto real del país. Dentro de este marco de leyes se encuentran los biocombustibles, los cuales constituyen una muestra clara de que, hasta el momento, no cuenta con una ley que regule y ampare su producción a escala industrial en

Países de América Latina y el Caribe	Mandato y/o legislación
Argentina	La Ley 26,093 capítulo 1, artículos 1 y 8, establece la mezcla mínima de biodiésel y bioetanol de B5 y E5, respectivamente.
Brasil	Mandato de utilización de etanol (E20 a E25). Introducción de los vehículos que utilizan bioetanol hidratado E100, además un mandato de biodiésel B5.
Colombia	Mandato del uso de bioetanol E10. El mandato de uso mínimo de biodiesel a escala nacional es B5 y en provincias de B5 a B10.
Chile	Existen metas establecidas para la introducción de E5 y B5, pero no existen mandatos.
Costa Rica	Mandato de bioetanol E10 en el 2011 y biodiésel B10 a B15.
Jamaica	Mandato de bioetanol E10, implementado en el año 2011.
México	Mandato de bioetanol E6 en tres ciudades del territorio mexicano.
Panamá	Mandato de bioetanol E2, que está previsto tenga continuidad hasta alcanzar un E15 en el año 2016.
Paraguay	Mandato de bioetanol E24 y biodiésel B5, pendiente de implementación
Perú	Mandato de bioetanol E7.8 y biodiésel B5.
Uruguay	Mandato de bioetanol E5.
Venezuela	Mandato de bioetanol E7.

Tabla 5. Mandatos y/o legislaciones de biocombustibles en algunos países de ALC. Fuente: Adaptado de (16).

todo el territorio ecuatoriano. Apenas existe un proyecto de ley por parte de la Dirección Nacional de Biocombustibles (DNB), la cual funciona dentro del Ministerio de Electricidad y Energía mediante resolución del Registro Oficial emitida el 13 de mayo de 2011. Esto se debe a que en el país existe incertidumbre sobre a quién va beneficiar fundamentalmente la ley: ¿al agricultor, campesino y/o a la industria? (3,4). Mientras tanto, otros países de América Latina y el Caribe (ver tabla 5) como Brasil, Argentina y Colombia cuentan con legislaciones sumamente establecidas en materia de biocombustibles (52).

Ecuador por el momento solo cuenta con Decretos Ejecutivos en materia de biocombustibles. El Decreto Ejecutivo 2332 publicado en el Registro Oficial 482 del 15 de noviembre de 2004, declara de interés nacional la producción, comercialización y uso de los biocombustibles (3,4). Adicionalmente, los Decretos Ejecutivos 1303, del 17 de septiembre del 2012, y el 675, del 13 de mayo 2015, señalan que los combustibles de origen fósil (diésel premium y gasolina extra) deben mezclarse hasta un 10 % con biocombustibles provenientes de fuentes renovables como la biomasa o cultivos energéticos que no afecten la soberanía alimentaria del país. Además señalan que la distribución y comercialización de dichos combustibles se aplicará progresivamente en todo el territorio ecuatoriano en función de la oferta de los mismos. Cabe recalcar que los lineamientos de estos Decretos Ejecutivos están establecidos en función de los artículos 14, 15, 413 y 414 de la Constitución de Montecristi del año 2008, donde se resalta la importancia estratégica de este sector y sus efectos positivos hacia al cambio de la matriz energética y productiva del Ecuador. Otras carteras de estado también emitieron incentivos para la producción de los biocombustibles como es el caso del Plan Nacional del Buen Vivir y el artículo 67 del Reglamento Sustitutivo Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas, los cuales señalan que el diésel y la gasolina podrán ser mejorados mediante aditivos o mezclas con biocombustibles que ayuden a incrementar los índices de octano y cetano de los combustibles fósiles (53-55).

Por otro lado, Ecuador dispone de normas técnicas como la NTE-INEN 2478:2009 que establece los requisitos mínimos que debe contener el bioetanol para la mezcla respectiva con las naftas de origen fósil (56) y la NTE-INEN 2482:2009 que indica los requisitos que debe cumplir el biodiésel para ser mezclado con el diésel premium de origen fósil (57).

Entidades gubernamentales encargadas de la competencia de biocombustibles

El contrabando y el mal uso del petróleo y gas ocasionan grandes perjuicios al Estado ecuatoriano. Los subsidios con los que se comercializan los combustibles en Ecuador generan una diferencia sustancial de precios entre los países vecinos como Colombia y Perú. Por ejemplo el galón de la gasolina extra en Ecuador cuesta USD 1,48, en Colombia y Perú tienen un valor de USD 2,63 y 3,30 respectivamente (58). Según datos del Banco Central del Ecuador los costos de importación de los combustibles del diésel, gasolina, *fuel oil* y *jet fuel* en el año 2016 fueron de 2,63 millones de dólares (59). En este mismo año, los gastos de subsidio del combustible para el transporte terrestre se elevaron a 1 461 millones de dólares, lo que representó el 45,77 % del total de las subvenciones registradas en el Presupuesto General del Estado (60). Para contrarrestar estos problemas el gobierno ecuatoriano ha diseñado el Plan de Soberanía Energética, el cual permite realizar una planeación de las políticas públicas, coordinación entre instituciones gubernamentales y el control de los procesos energéticos (3).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, las entidades encargadas en liderar la planificación estratégica en el ámbito de biocombustibles se encuentran: la Vicepresidencia de la República del Ecuador, entidad que apoya en términos económicos a los proyectos de índole investigativo en materia de agrocombustibles (61). Otra entidad es el Ministerio de Coordinación de los Sectores Estratégicos (MCSE), el cual dirige políticas con los demás organismos ministeriales y las decisiones presidenciales para el aprovechamiento responsable de los recursos naturales en beneficio del país (62). El organismo ministerial encargado en promover el uso eficiente y racional de los biocombustibles a escala nacional y de buscar la diversificación de la matriz energética del país es el Ministerio de Electricidad

y Energía Renovable (MEER), mediante la Dirección Nacional de Biocombustibles. El MEER ha venido trabajando en el desarrollo de nuevos proyectos para la región Insular de Galápagos, mediante el aprovechamiento del aceite del piñón con objetivos energéticos dentro del plan para erradicar los combustibles de origen fósil en las Islas (4,63). Adicionalmente se encuentra la Subsecretaría de Energía Renovable y Eficiencia Energética (SEERE) del MEER, que es la encargada de determinar políticas, estrategias, directrices y planes en materia de biocombustibles (3).

Además, los ministerios que actualmente apoyan a los proyectos de biocombustibles en ejecución son el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), el cual realiza varias acciones encaminadas al cultivo de palma africana y caña de azúcar. Esta entidad contribuye a la preparación del suelo, entrega de semilla, asistencia y capacitación especializada a los agricultores (64). Por otra parte, se encuentra el Ministerio de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC) que posee desde el año 2009 las competencias de coordinación en cuanto a la producción, distribución y comercialización de biocombustibles en Ecuador, además de dar seguimiento al plan piloto de biocombustibles en la provincia del Guayas (3,65). El único biocombustible producido y comercializado en Ecuador es la gasolina ecopaís y la empresa estatal Petroecuador EP es responsable de la mezcla del biocombustible con la nafta de origen fósil (66).

En el área de investigación y desarrollo de biocombustibles están organismos como el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovables (INER), el cual se encarga de la ejecución de varios proyectos a escala piloto en bioenergía conjuntamente con el apoyo de la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GIZ) (63,67), dichos proyectos se ampliarán en el capítulo 4

del presente estudio. Finalmente se encuentra el Consejo Nacional de Biocombustibles (CNB) presidido por el MCPEC e integrado por el MEER, Ministerio de Recursos Naturales no Renovables (MRNRR), los sectores de Agricultura, Finanzas e Industrias y el sector privado. El CNB define políticas, planes, programas y proyectos relacionados a la producción, manejo, industrialización y comercialización de biocombustibles, también establece políticas y mecanismos de apoyo preferencial a los sectores agrícola e industrial, especialmente a los pequeños productores, regulando el precio de los biocombustibles. Y por último se encuentra la DNB del SEERE, quien ejecuta y coordina las acciones dictadas por el CNB, además de preparar y actualizar el Plan Nacional de Biocombustibles, coordinar la ejecución de proyectos de producción y uso de biocombustibles, principalmente de bioetanol, biodiésel y bioaceites; por último, levanta información sobre la producción de materia prima agroenergética (3,68).

Programas de biocombustibles

A escala mundial, los países que han liderado la producción de biocombustibles han sido Estados Unidos y Brasil, representando aproximadamente el 80 % de la producción total en el mundo (52). Esta producción ha resultado significativa para el desarrollo de la matriz productiva brasileña, dando como resultado la elaboración masiva de los automóviles denominados flexfuel, los cuales pueden operar con cualquier mezcla de bioetanol con gasolina, hasta alcanzar el 100 % (E100) (52). De acuerdo a un estudio realizado por Cepal (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), Ecuador se encuentra, junto a Perú y Bolivia, en el tercer grupo de países exportadores de hidrocarburos, importadores de derivados, bajo nivel de consumo de energía per-cápita y bajos requerimientos para producir biocombustibles, además de no disponer de una plataforma nacional de investigación y desarrollo sólida (46). Por otro lado, el programa nacional de biocombustibles se encuentra constituido en dos fases, la primera contempla el programa piloto Ecopaís en Guayaquil y biodiésel en Quito, mientras tanto la segunda fase es la extensión de los dos programas a todo el territorio nacional (3).

Programa gasolina Ecopaís

El 12 de enero de 2010, en el cantón Guayaquil, se dio inicio al proyecto piloto para la comercialización de la

gasolina Ecopaís, un biocombustible que se encuentra compuesto de 5 % de bioetanol (proveniente de la caña de azúcar) y un 95 % de gasolina base (origen fósil) (69). Esta tiene como objetivo sustituir parcialmente la gasolina extra hasta alcanzar el 10 % de bioetanol (E10) en su composición. Este plan piloto finalizó el 30 de septiembre de 2014, por lo cual, a partir del 1 de octubre del mismo año, se dio la primera fase de ampliación del proyecto, la comercialización de este biocombustible se amplió a los cantones de Guayaquil, Durán, Daule y Samborondón. Consecuentemente, el 10 de enero de 2015, se extendió a los cantones de Milagro y Yaguachi. Para el 2017, se tenía planificada la ampliación de este proyecto a escala nacional, esto como parte de la segunda fase que se inicia a raíz de la firma del Decreto Ejecutivo 675, del 13 de mayo de 2015 (29, 53, 70). De acuerdo a Petroecuador EP y a la Asociación de Productores de Alcohol del Ecuador (Apale), la demanda nacional de bioetanol para el año 2017 será de 200 millones de litros para un E5 y de 400 millones de litros para un E10 (65).

La producción de bioetanol para 2012 fue de 20,5 millones de litros, el 39 % se destinó para el biocombustible, el cual fue producido por las empresas de Producargo (Ecuador) y Codana (Valdez y Soderal). La capacidad instalada actual es de 36 millones de litros de bioetanol al año; sin embargo, para alcanzar la meta propuesta por el gobierno ecuatoriano de 400 millones de litros de bioetanol al año se requiere una capacidad productiva adicional de 364 millones de litros al año (71). Como se puede observar existe una demanda insatisfecha de bioetanol. Por ello a partir del 2014 el MCPEC promueve e impulsa la inversión nacional y extranjera para poder cubrir las necesidades de demanda a escala nacional (65).

De acuerdo al Decreto Ejecutivo 675, del 13 de mayo de 2015, existen dos precios establecidos para el litro de bioetanol en Ecuador. El primero en establecerse fue un precio fijo equivalente al promedio de los seis últimos meses pagados por Petroecuador EP hasta la fecha de publicación del Decreto Ejecutivo (noviembre 2014 hasta abril de 2015). Este precio corresponde a USD 0,7578/l y será ajustado anualmente en función de la inflación anual declarada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Con este precio se pagará el volumen correspondiente a la actual capacidad instalada de producción de bioetanol. El segundo precio en instaurarse fue el resultante de una fórmula que fija el precio del litro de bioetanol en la Costa del Golfo de Estados Unidos (USGC) proporcionada por la publicación ARGUS, a esto se le agrega el valor CIF del bioetanol establecido en Ecuador, y más una constante K equivalente a USD

0,18/l, lo que da como resultado un precio de USD 0,90/l (53,65).

Con respecto a la disponibilidad de caña de azúcar, Ecuador cuenta con 135.000 ha sembradas, de las cuales 80.000 ha son destinadas a la producción de azúcar y lo restante para la producción de jugo de caña, mieles, panelas y alcohol etílico o aguardiente. En el año 2016, por medio del componente social inclusivo del proyecto Ecopaís, se beneficiaron alrededor de 644 familias productoras de alcohol artesanal de las provincias de Pichincha, Bolívar, Cotopaxi y Cañar (65). Por otra parte, el Consejo Sectorial de la Producción aprobó el plan de siembra de caña de azúcar para la producción de biocombustibles, cuya meta es destinar al menos 80.000 hectáreas de caña de azúcar para la producción de alcohol (52).

Programa Biodiésel

Ecuador declara interés de la producción, distribución y comercialización del biodiésel bajo el Decreto Ejecutivo 1303, firmado el 17 de Septiembre del 2012. Dentro de sus cinco artículos se especifica que el combustible diésel premium deberá contener el 5 % de biodiésel de origen vegetal de producción nacional. Además establece como disposición general que el combustible diésel destinado al sector automotor deberá ir incrementando progresivamente el porcentaje de contribución del biodiésel hasta llegar a un 10 %. En la actualidad, la primera etapa del programa de biodiésel se encuentra suspendido en el país, debido a que no existe un acuerdo entre el sector de los agricultores que se dedican a la siembra de palma africana y el sector privado que involucra a las empresas que transforman el aceite de palma en biodiésel (54).

Actualmente, la única materia prima utilizada para la producción industrial de biodiésel es la palma africana o aceitera. Existen cuatro zonas que concentran las plantaciones de palma en el país, la

primera zona con mayor concentración de plantaciones es la occidental conocida también como “triángulo” con 222 388 ha; la segunda es San Lorenzo con 23.386 ha; la tercera es la oriental con 19 784 ha y por último la zona de Guayas con 4 442 ha. De esta forma, las provincias de Manabí, Guayas, Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, Pichincha, Sucumbíos y Orellana concentran casi toda la producción de palma africana, de las cuales las provincias con mayores plantaciones y extractoras de aceite son Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas y Manabí. En 2012 la superficie plantada de palma aceitera fue de 270 000 ha, de las cuales 230 000 ha se encuentran en edad productiva. De estas, el 40 % son sembradas con la variedad denominada híbrida (Híbrido Tenera– INIAP) que es la más resistente a las plagas especialmente a la denominada pudrición del cogollo (*Phytophthora palmivora*) y el 60% restante corresponden a la variedad *Elaeis guineensis*. (4, 71, 72).

El cultivo de palma presenta una característica homogénea por ser un monocultivo extensivo, requiere de medianas y grandes extensiones de tierra, concentra agua y necesita de alta inversión en tecnología. Además, este monocultivo se caracteriza por la poca mano de obra que requiere, según estudios recientes de Sistema de Investigación sobre la Problemática Agraria en Ecuador (Sipae) se requiere de una persona por cada 10 hectáreas de cultivo (4). Una hectárea de palma produce entre 4 y 7 t de aceite, adicionalmente 20 t diarias de

oxígeno y aproximadamente 25 t de residuos vegetales (71, 73). Según la Fundación de Fomento de Exportaciones de Aceite de Palma y sus Derivados de Origen Nacional (Fedapal) durante el año 2015, la producción de aceite de palma fue de 519 693 t, generando un excedente para exportación del 59,40 % y el porcentaje restante fue destinado para consumo interno en el país. Además, el principal producto derivado de la palma africana para exportación es el aceite crudo de palma con un 69 %; esto convierte al Ecuador en el segundo país productor de aceite crudo de palma en Latinoamérica con una participación del 1 %, solo por debajo de Colombia que tiene el 1,8 %. Los mercados de exportación del aceite de palma del Ecuador en el año 2012 fueron Colombia con un 28,3 %, la Unión Europea con 24 %, Venezuela con 16,2 %, Brasil 10,6 %, México 9 %, Chile 3,8 %, Perú 3,6 % y otros con el 4,5 % (4,72). Sin embargo, el biodiésel apenas representa un 0,2 % de las exportaciones, esto indica que la producción de biodiésel en Ecuador es esporádica (4,72).

El precio del aceite de palma en Ecuador tiene el mismo comportamiento del precio internacional, teniendo como referencia el índice FOB de Indonesia. Según ese indicador, 1 t de aceite de palma fluctúa en alrededor de los USD 800. Cabe indicar que este valor es muy dependiente del precio de otras materias primas como el petróleo; por esta razón, el precio del aceite de palma ha pasado de 813 USD/T en el primer trimestre de 2014 a 665 USD/t a inicios de 2015 (72). De todas las semillas oleaginosas, la palma es la que mejor desempeño muestra al generar la mayor cantidad de aceite por hectárea cultivada; sin embargo, tiene algunas desventajas en el sector social y ambiental. El fruto de la palma aceitera es una MP-1G, la cual es destinada para el consumo humano y ocupa grandes territorios para su sembrío dando como consecuencia deforestaciones extensas (71). Actualmente, las empresas que producen aceite de palma en el país son Fedapal y la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana (Ancupa) (71). Por otra parte, existen 42 plantas extractoras de aceite y dos plantas refinadoras las cuales perte-

Materias Primas		Productos bio-basados	
Caña de azúcar (CA)	MP-1G	Etanol	Alcohol medicinal
Rechazo de banano(RB)	MP-2G		Licores
Sorgo dulce (SD)	MP-1G		Biocombustibles (bioetanol)
Palma africana (PA)	MP-1G	Glicerina	Industria farmacéutica
Piñón (Jatropha)	MP-2G	Biodiésel	Biocombustibles (biodiésel)
Colza	MP-1G		

Tabla 5. Materias primas destinadas para biocombustibles según el MCPEC. Fuente: Adaptado de (75)

necen a la empresa La Fabril (73).

La producción de biodiésel en el país se inició en 2005; para el año 2012, la totalidad de este biocombustible se destinó al mercado internacional. La producción actual de biodiésel alcanza los 140 millones de litros al año, de los cuales se podrán destinar inicialmente 85 millones de litros para el programa nacional de biodiésel (74). Para cumplir con el requerimiento de un B5, se demandan aproximadamente 240 millones de litros de biodiésel al año; mientras tanto, para alcanzar un B10 se necesitaría el doble de esta producción demandada. La producción actual considerando que se deje de exportar, cubre solamente el 30 % de la demanda total de biodiésel. Actualmente, la única empresa que produce biodiésel es La Fabril S.A., y lo hace solamente bajo pedido utilizando el proceso de transesterificación. Esta empresa posee dos plantas de producción en Guayaquil y Montecristi con una capacidad instalada total de 170 millones de litros al año. El costo de producción de biodiésel a partir de palma aceitera está alrededor de 1,055 USD/t, de los cuales el 76 % se debe al costo de la materia prima (4,14).

Materias primas para la producción de biocombustibles

El gobierno ecuatoriano, conjuntamente con las organizaciones públicas en especial el MCPEC y MAGAP han determinado que existen seis materias primas que pueden ser utilizadas para la producción de biocombustibles en el país (75). En la tabla 6, se puede observar la respectiva clasificación de las MP. Las tres primeras contienen azúcares y las tres restantes contienen aceite, de las cuales se puede obtener bioetanol y biodiésel respectivamente (75).

Mediante una destilería de alcohol, la caña de azúcar (CA), el rechazo de banano (RB) y el sorgo dulce (SD) pueden utilizarse principalmente para obtener bioetanol y diferentes bioproductos como licores, alcohol medicinal, etc. Mientras tanto, las MP como la palma africana (PA), piñón y colza se pueden aprovechar extrayendo el aceite para después obtener biodiésel, dentro de este proceso se origina un subproducto que es la glicerina, la cual será destinada como materia prima para otras industrias como la farmacéutica, cosmética, entre otras (10, 75, 76). La CA y el RB son las MP más tecnificadas y estudiadas actualmente para la producción de bioetanol, mientras que el SD es una MP nueva que está siendo investigada para futuros proyectos en el país. La PA es la materia prima más avanzada actualmente para la producción de biodiésel en el país; mientras tanto, el piñón ha generado interés

durante los últimos años por el proyecto de Energías Renovables para Galápagos (Ergal). Actualmente, esta materia prima se encuentra en estudios más profundos por sus grandes ventajas con otras materias primas de su clase. Por último está la colza, que de igual forma que el SD, se encuentra en investigaciones (75).

PERSPECTIVAS Y PROYECTOS PARA LA NUEVA ERA POSPETROLERA EN ECUADOR

Perspectivas de los biocombustibles en I+D+i

Los biocombustibles tienen la ventaja teórica de ser renovables, pero cuando se producen a partir MP-1G, sus beneficios pueden ser bajos o negativos. En este sentido, los procesos de innovación en la producción de biocombustibles deberán incluir la mejora genética, prácticas de cultivo, procesos de conversión termoquímicos y enzimáticos (46). Además, la innovación de los biocombustibles está condicionada principalmente por el proceso de la fotosíntesis, el cual es mucho menos eficiente que los procesos que involucran las energías fotovoltaicas o solares. Simultáneamente, se puede sintetizar que las plantas no evolucionaron para optimizar la producción de alimentos sino para adaptarse, sobrevivir y reproducirse (77).

Adicionalmente, el desarrollo de los biocombustibles en ALC está condicionada por la brecha que existe en I+D+i *versus* a los países desarrollados. Existen dos formas de reducir esta brecha. La primera es aumentar la inversión pública en cada país y trabajar en proyectos independientes. Mientras tanto, la segunda es crear redes investigativas de colaboración en torno a programas comunes de innovación y desarrollo a escala internacional que apoyen a la innovación local, mediante una red social conformada por

actores e instituciones (46, 78).

Por otra parte, la IEA ha identificado áreas, tecnologías y retos en I+D de biocombustibles avanzados, es decir que utilicen MP-2G, MP-3G y MP-4G. La logística de la cadena de oferta es una de las áreas que necesita ser más investigada, especialmente en los sistemas de cosecha, almacenamiento, transporte, pretratamiento, empaques y manipulación de la materia prima. En lo referente a las tecnologías, se encuentran la reducción de costos en la hidrólisis enzimática, reciclaje de enzimas y mejora de los residuos generados. Además, se encuentra la optimización de los procesos termoquímicos, mediante el desarrollo de catalizadores más robustos. Por último, uno de los retos identificados es la construcción de biorrefinerías con el objetivo primordial de buscar avances en el fraccionamiento y separación de la biomasa, nuevos procesos catalíticos y autocatalíticos (46).

Finalmente, en Ecuador, la I+D+i de la industria de biocombustibles principalmente va a depender de las investigaciones científicas y de los proyectos transversales e integradores que se hallan realizado en el país. De acuerdo a un estudio realizado en el año 2016 por el INER en I+D+i sobre eficiencia energética y energías renovables desde un enfoque del sector académico, existen tres líneas prioritarias de investigación que son tecnologías de generación eléctrica, eficiencia energética en el transporte e industria y combustibles alternativos. En este último se encuentra el desarrollo de los biocombustibles, el cual representa una oportunidad para reducir las importaciones de los derivados del petróleo, utilizar fuentes que principalmente se constituyen desechos y/o residuos y minimizar los GEI. Consecuentemente, este estudio demuestra que el sector académico del país cuenta con experiencia y capacidades en la línea de biomasa con fines energéticos. Sin embargo, este análisis recomienda que debe existir una

mayor participación de la industria en las investigaciones, ya que solo el 20 % de los proyectos de investigación del sector académico son financiados por la industria privada. Además, es necesario fortalecer la transferencia de conocimiento y tecnología con diferentes grupos de investigación e industrias a escala mundial.

Proyectos públicos y privados de investigación

Ecuador por su ubicación geográfica, es un país agrícola que genera grandes cantidades de biomasa en sus principales cultivos (10,30). El gobierno, consciente de esta problemática y con una visión en la nueva era pospetrolera del país, ha venido trabajando durante los últimos años en varios proyectos de investigación a escala piloto e industrial para aprovechar de una manera eficiente y técnica el contenido energético de esta biomasa agrícola. El proyecto de Recursos Sustentables para Etanol (Receta), es uno de los proyectos de investigación que tuvo una inversión de USD 700 000 el cual se inició en 2008 y finalizó en 2011. En este proyecto se construyó la primera biorrefinería a escala piloto de segunda generación en el país ubicada en el campus Nayón de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Esta biorrefinería tiene una capacidad de producción de 40 000 a 60 000 litros de bioetanol por año, además de producir biogás y biofertilizantes a partir de biomasa agrícolas como bagazo y residuos de banano, (pseudotallo, hojas y raquis), papa, palma africana, tagua, entre otros. Adicionalmente existe el potencial para producir nanocelulosa, un biomaterial que se adquiere a partir de fibras vegetales, tiene importantes características y aplicaciones de alta tecnología en la electrónica, farmacéutica y biocombustibles. (80-82). La figura 4 indica los centros de gravedad de zonas específicas donde se podría instalar biorrefinerías a escala industrial en el país. Estos puntos establecidos fueron realizados por el Centro Neotropical para la Investigación de la Biomasa (CNIB) de la PUCE (82). Simultáneamente, desde el año 2010, en las instalaciones de la PUCE sede Ibarra, existe una planta piloto que produce 100 litros de biodiésel cada seis horas. Las materias primas utilizadas para la obtención de este biocombustible son higuera y piñón (4).

Otro de los trabajos investigativos es el aprovechamiento de residuos biológicos de producción agroindustrial, con el fin de obtener productos que generan valor agregado. Este trabajo es ejecutado entre la universidad Yachay EP y el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santo Domingo de los Tsáchilas. Esta provincia genera 30 t de basura orgánica rica en residuos biológicos y mi-

croorganismos al día; además cuenta con altas condiciones de humedad que facilitan una mejor descomposición de los desechos (83).

Desde 2014, el INER realiza pruebas en una planta piloto de biodiésel que se encuentra en el complejo del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias del cantón La Concordia. Esta planta tiene la capacidad de transformar 50 kilos/hora de residuos sólidos municipales en biodiésel (83). Por otro lado, como complemento al proyecto ERGAL, el INER se encuentra investigando procedimientos para aprovechar la biomasa del piñón que se genera al obtener el aceite, además de las mejoras en las propiedades energéticas. Este proyecto cuenta con una planta piloto, la cual está destinada para el aprovechamiento del residuo del piñón. Adicionalmente, una de las alternativas de este proyecto energético es estudiar la optimización de la cadena productiva del piñón en el país (4).

En lo que respecta al ámbito industrial, los ingenios azucareros aprovechan toda la biomasa residual que es originada en la producción de panela y azúcar. Actualmente, estas empresas están ejecutando proyectos de cogeneración de bioenergía, en que el bagazo obtenido en la producción sirva como fuente renovable para la producción

de energía limpia (84). Las industrias de lácteos y papel son otro ejemplo de instalaciones en Ecuador que trabajan bajo el concepto de una biorrefinería, ya que aprovechan al máximo el contenido de las materias primas para elaborar diferentes tipos de productos.

Finalmente, existen varios estudios de factibilidad con referente a proyectos de bioenergía en Ecuador. Por citar algunos se encuentran el aprovechamiento de residuos agrícolas-pecuarios y combustión de la cascarilla de arroz, los cuales son destinados para la producción de bioenergía mediante biodigestores. También existen estudios de factibilidad para el uso de la mezcla diésel-biodiesel en Galápagos y por último existe un estudio para la implementación de una planta de procesamiento de basura mediante cogasificación para una población de 10.400 habitantes en el cantón Echeandía (85,86).

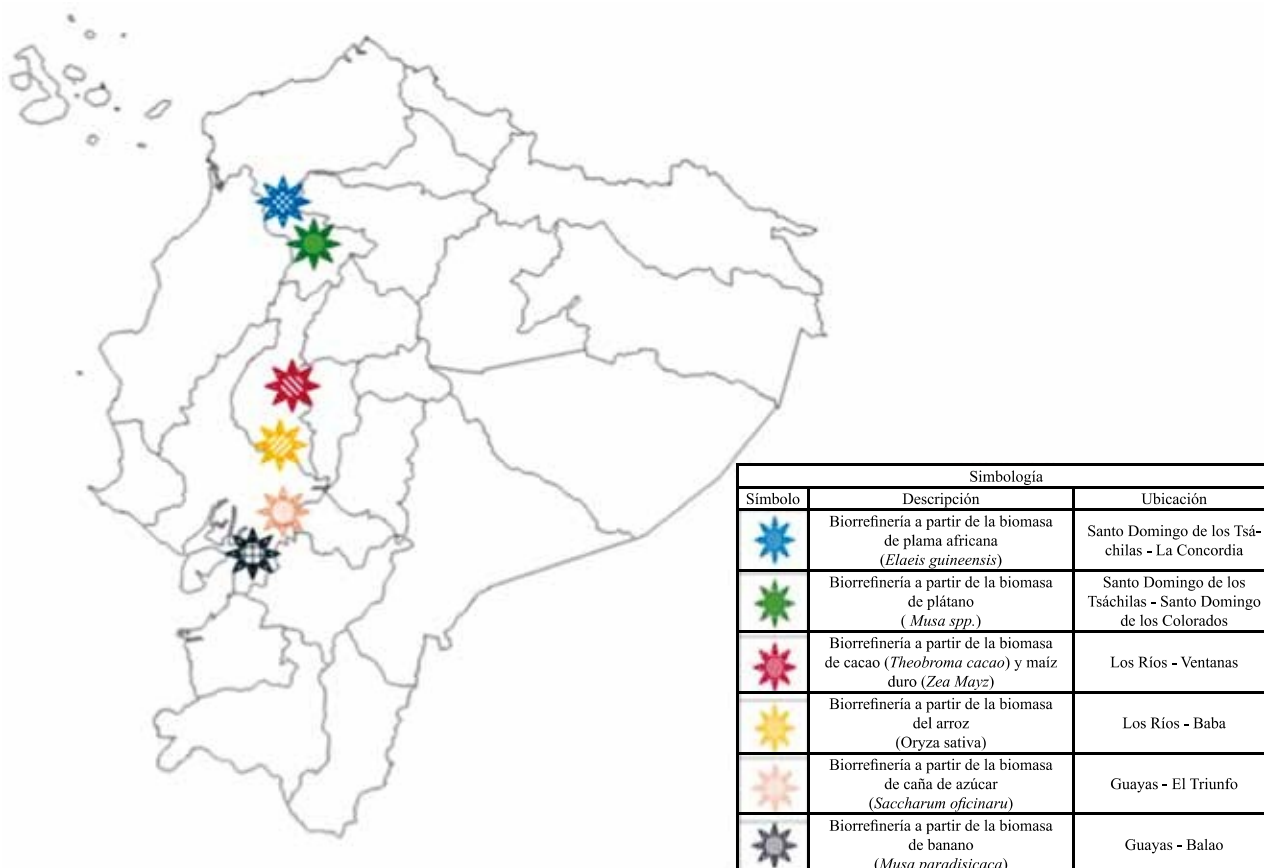


Figura 5. Centro de gravedad donde se pueden instalar biorrefinerías en Ecuador. Fuente: Adaptado de (83)

DISCUSIÓN GENERAL.

La producción nacional de biocombustibles nace del interés del gobierno por buscar una diversificación en la matriz productiva y energética del país, con el objetivo primordial de minimizar la huella de carbono y el déficit de producción de los combustibles de origen fósil, acompañado de otros problemas relacionados con los subsidios y contrabando de la gasolina, diésel y gas, los cuales ocasionan grandes pérdidas económicas al Estado. Adicionalmente, la implementación de políticas públicas claramente definidas para biocombustibles en Ecuador podría considerarse como uno de los determinantes en el desarrollo de esta industria; por lo tanto, la carencia de estas puede convertirse en uno de los principales obstáculos para el desarrollo de la misma a escala nacional. En este sentido, la carencia de legislación en materia de biocombustibles en el país es un indicador de que su industrialización podría estar lejos de ser una realidad en Ecuador, debido principalmente a la incertidumbre que existe entre el gobierno, industrias y agricultores que cultivan las MP-1G, seguido de los desafíos sociales y económicos. Estas MP principalmente son destinadas para la industria alimentaria, produciéndose un debate socioeconómico en lo que respecta a la soberanía alimentaria del país y al incremento de la tala de bosques vírgenes con el fin de disponer de mayor área para la siembra de estos cultivos. Por otro lado, varios países como Estados Unidos, Brasil, Argentina, Perú y Colombia cuentan con legislaciones sumamente establecidas en materia de biocombustibles (52); sin embargo, estos países en la mayoría de los casos utilizan MP-1G. En 2016, Estados Unidos fue el principal productor mundial de bioetanol a partir de almidón de maíz con un 58,5 %, seguido de Brasil con un 28 % a partir de caña de azúcar (50). Esta producción ha impulsado a la elaboración

masiva de los automóviles denominados flexfuel (52). Por otra parte, la producción de biocombustibles en Argentina se realiza principalmente a partir de aceite de soja para el biodiésel y en un mínimo porcentaje se utiliza la caña de azúcar para bioetanol. En Perú también se centra su principal producción de biodiesel a partir de soja; cabe recalcar que este país utiliza otras MP-2G como el piñón para obtener biodiésel, pero en menor proporción (87,88). Mientras tanto, Colombia, que es el quinto productor de aceite de palma en el mundo después de Nigeria y Tailandia, ocupa del 10-20 % de este aceite para la producción de biodiésel, además en el año 2010 fue el décimo productor mundial de bioetanol con una producción anual de 85 millones de galones utilizando jugo de caña de azúcar y melaza como MP (89). Respecto a Ecuador, el único biocombustible comercializado en el país es bioetanol o gasolina ecopaís con una mezcla de hasta un E5. Al igual que los países anteriores, este biocombustible se obtiene a partir de la caña de azúcar y su comercialización todavía se encuentra en plan piloto (65,69).

Es evidente que las MP-1G han generado una fuerte industria internacional y nacional en los biocombustibles, talvez con el principal objetivo de buscar alternativas para contrarrestar las emisiones de gases de efecto invernadero y/o en otros casos en la potencialización de la agroindustria buscando beneficios por los agricultores, pero estas supuestas ventajas se encuentran acompañadas de varios problemas sociales y ambientales (50,90). Una de las formas de minimizar estos problemas es mediante el uso de MP-2G, las cuales existen en gran abundancia especialmente en los países ecuatoriales y subtropicales. En el año 2014, el sector agrícola del Ecuador representó el 7 % del PIB nacional (29, 31); esto resalta que las MP-2G de origen agrícola tienen una importante participación en el país y, por ende, existe una disponibilidad abundante. A su vez, poseen un potencial energético que es neutro en carbono (10,91). Las MP-2G, bajo el contexto de una biorrefinería, pueden ser aprovechadas de una manera eficiente y sostenible para obtener diferentes bioproductos de valor agregado. Además, los costos de las materias primas pueden ser reducidos, considerando que, cuando se produce biocombustibles a partir de MP-1G, esta constituye alrededor del 40-70 % de los costos de producción (89).

CONCLUSIONES

El interés del gobierno ecuatoriano en buscar nuevas alternativas para diversificar la matriz energética y pro-

ductiva del país ha sido uno de los pilares fundamentales para el inicio de la nueva era pospetrolera. Ecuador cuenta con un gran potencial de biomasa residual proveniente de sus principales cultivos, además de la biomasa animal, forestal y urbana, las cuales no son aprovechadas de una manera eficiente para obtener bioproductos. El concepto de biorrefinería es una de las alternativas prometedoras para aprovechar esta biomasa y obtener bioproductos con valor agregado de una manera eficiente y sostenible. Además, es uno de los caminos que le permite al país buscar una transición de la actual economía basada en hidrocarburos a una economía apoyada en la biomasa.

El desarrollo de industrias como las biorrefinerías y biocombustibles avanzados podrían estar restringidas en el país, a pesar que existen actualmente investigaciones que apuntan a fortalecer la bioeconomía, esto se debe principalmente a que el país carece de legislación de biocombustibles y gobernanza energética. No obstante, existen Decretos Ejecutivos y normativas técnicas para su producción y comercialización. Además, se pudo connotar que el consumo de biocombustibles en el país está influenciado por la aceptación social de su población, debido a que no existe una obligatoriedad que determine su consumo a escala nacional, convirtiéndose en otra de las principales barreras para el crecimiento de esta bioindustria en Ecuador. Por otro lado, la gasolina ecopaís, es hasta el momento el único biocombustible que se comercializa, específicamente en la provincia del Guayas. Mientras tanto, la producción del biodiésel es esporádica, es decir, solo se produce bajo pedido y su producción es destinada para exportación.

Finalmente, a medida que el uso de la biomasa y la implementación de las biorrefinerías aumente con el tiem-

po, será cada vez más importante proporcionar bioproductos energéticos y no energéticos, mantener los suelos productivos y una infraestructura mucho más efectiva. En este sentido, esta revisión permitió obtener un horizonte de la bioeconomía con respecto a biomasa, biocombustibles y oportunidades de desarrollo de nuevas industrias. De modo que, es necesario e indispensable seguir intensificando este camino con nuevas I+D+i en materia de biorrefinerías que utilicen materias primas que no sean destinadas para alimentación humana, con el fin de obtener bioproductos energéticos y no energéticos que sustituyan progresivamente a los provenientes de la industria petroquímica, además de incentivar a la economía de los sectores rurales del Ecuador.

Agradecimientos

Los autores expresan su gratitud al Instituto Ecuatoriano de Talento Humano (IFTH) por el apoyo financiero y al semillero de investigación Bio-based products and process de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano por la asistencia técnica del presente trabajo.

Referencias

1. EIA. International Energy Outlook 2016. Washington D.C. (VA): EIA; 2016.
2. Sheinbaum-Pardo C, Ruiz BJ. Energy context in Latin America. *Energy*. 2011; 40 (1): 39-46.
3. Salazar-Suquilanda A. Matriz energética y los biocombustibles en el Ecuador [tesis de maestría]. Quito: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, sede Ecuador (Flacso-E); 2015.
4. Bahamonde-Zúñiga LA. La influencia de las tendencias globales de los biocombustibles en el sector agrícola del Ecuador [tesis de maestría]. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar sede Ecuador (UASN-E); 2014.
5. Hatti-Kaul R. Biorefineries - A path to sustainability? *Crop Sci*. 2010;50 (Supl.1): S-152-156.
6. Langeveld JWA, Dixon J, Jaworski JF. Development perspectives of the biobased economy: A review. *Crop Sci*. 2010; 50: S-142-151.

7. Carvajal G. Visión o perspectivas de los movimientos sociales y el movimiento indígena latinoamericano sobre los biocombustibles [tesis de maestría]. Quito: Universidad Politecnica Salesiana (UPS); 2010.
8. INER, CEPAL, ADEME, Corporación Alemana. Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de la República del Ecuador - 2016. Santiago (CH). Quito: CEPAL; 2016.
9. Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. Balance Energético Nacional 2016 - año base 2015. Vol. 1. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos; 2016.
10. Garcia M JC, Machimura T, Matsui T, Miyauchi T. Estimating the potential and planning of bioethanol production from agro-residues based on a model-predicted NPP under climate change in Ecuador. *J Agric Meteorol.* 2014; 70(4): 171-85.
11. Espinoza-Estrella B. El sector de la energía y la integración en América del Sur [tesis doctoral]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2013.
12. Fey-Espinoza O. Proyecto de instalación de una planta productora de biocombustible a base de piñón (*Jatropha curcas*) en la ciudad de Guayaquil, para el abastecimiento en el mercado interno y externo [tesis de maestría]. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil; 2016.
13. Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. Agenda Nacional de Energía 2016-2040. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos; 2016.
14. Aguilar C, Galarza L, Recalde A. Mejoramiento de la calidad del producto técnico e impacto en la utilización de generación distribuida con energías renovables en una zona de la provincia de Manabí. *Rev Técnica Energía.* 2014; (11): 92-100.
15. World Energy Council. *Biofuels: Policies, Standards and Technologies.* Londres: World Energy Council; 2010.
16. Sacramento-Rivero JC, Romero G, Cortés-Rodríguez E, Pech E, Blanco-Rosete S. A Diagnostic Study on The Development of Biorefineries in Mexico. *Rev Mex Ing Quím.* 2010; 9(3): 261-83.
17. Moncada Botero J. Design and Evaluation of Sustainable Biorefineries From Feedstocks in Tropical Regions [tesis]. Manizales: Universidad Nacional de Colombia; 2012.
18. Wardencki W, Namiećnik J. Green Chemistry - Current and Future Issues. *Polish J Environ Stud.* 2005; 14(4): 389-95.
19. Meléndez-Pizarro C, Camacho-Dávila A. Química verde - La química del nuevo milenio. *Synthesis (Stuttg).* 2008; 48: 1-5.
20. Kamm B, Kamm M. Principles of biorefineries. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2004; 64(2): 137-45.
21. Moncada J, Aristizábal V, Cardona CA. Design Strategies for Sustainable Biorefineries. *Biochem Eng;* 2016; 116: 122-34.
22. Morais AR, Bogel-Lukasik R. Green Chemistry and The Biorefinery Concept. *Sustain Chem Process.* 2013; 1: 18. doi:10.1186/2043-7129-1-1-18
23. IEA Bioenergy: Annual Report 2014. París: IEA; 2014.
24. Budzianowski WM. High-Value Low-Volume Bioproducts Coupled to Bioenergies with Potential to Enhance Business Development of Sustainable Biorefineries. *Renew Sustain Energy Rev. Elsevier;* 2017; 70 (abril): 793-804.
25. Cherubini F. The Biorefinery Concept: Using Biomass Instead of Oil for Producing Energy and Chemicals. *Energy Convers Manag.* 2010; 51(7): 1412-21.
26. Dávila-Rincón J. Design of Biorefineries for Preparing Value Added Products from Fruits and its Wastes [tesis]. Manizales: Universidad Nacional de Colombia sede Manizales; 2015.
27. Azad AK, Rasul MG, Khan MMK, Sharma SC, Hazrat MA. Prospect of biofuels as an alternative transport fuel in Australia. *Renew Sustain Energy Rev. Elsevier;* 2015;43:331-51.

28. Naik SN, Goud V V., Rout PK, Dalai AK. Production of First and Second Generation Biofuels: A Comprehensive Review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2010; 14(2): 578-97.
29. Gavilanes-Terán I del C. Sostenibilidad del sector agroindustrial de Ecuador mediante el compostaje de sus residuos y el uso agrícola de los materiales obtenidos [tesis]. Alicante: Universidad Miguel Hernández; 2016.
30. Instituto Nacional de Preinversión (INP). Atlas bioenergético del Ecuador. Quito; INP, MCPEC, MEER; 2014.
31. Guerrero-Hinojosa A. Valorización de biomasa residual agrícola para aprovechamiento energético: Caso de estudio: El Oro, Ecuador [tesis de maestría]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; 2014.
32. Azapagic A. Sustainability Considerations for Integrated Biorefineries. *Trends Biotechnol*; 2014; 32(1): 1-4.
33. Hernández Piedrahita V. Techno-Economic and Environmental Assessment of The Use of Lignocellulosic Residues for Biofertilizers Production [tesis]. Manizales: Universidad Nacional de Colombia; 2015.
34. Yue D, You F, Snyder SW. Biomass-to-Bioenergy and Biofuel Supply Chain Optimization: Overview, Key Issues and Challenges. *Comput Chem Eng*; 2014; 66: 36-56.
35. Suhag M, Rai Sharma H. Biorefinery Concept : An Overview of Producing Energy, Fuels and Materials from Biomass Feedstocks. *IARJSET.* 2015; 2(12): 103-9.
36. Hamelinck C, Van Hooijdonk G, PC Faaij A. Ethanol from Lignocellulosic Biomass: Techno-Economic Performance in Short-, Middle- and Long-Term. *Biomass and Bioenergy.* 2005; 28(4): 384-410.
37. Huang HJ, Ramaswamy S, Tschirner UW, Ramarao B V. A Review of Separation Technologies in Current and Future Biorefineries. *Sep Purif Technol.* 2008; 62(1): 1-21.
38. Hackl R, Harvey S. Opportunities for Process Integrated Biorefinery Concepts in the Chemical Cluster in Stenungsund. Göteborg (SE): Departament of Energy an Enviroment. Charres University of Technology; 2010.
39. Sun Y, Cheng J. Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: A Review. *Bioresour Technol.* 2002; 83(1): 1-11.
40. Stelte W. Steam Explosion for Biomass Pre-Treatment. Taastrup (DK): Danish Technological Institute; 2013.
41. Romero-García JM, Lama-Muñoz A, Rodríguez-Gutiérrez G, Moya M, Ruiz E, Fernández-Bolaños J, et al. Obtaining Sugars and Natural Antioxidants from Olive Leaves by Steam-Explosion. *Food Chem.* 2016; 210: 457-65.
42. Seo Y-J, Lee H-J, Lee J-W. Kinetic Study on the Acid-Catalyzed Hydrolysis of Xylan. 2012; 389-96.
43. Norsker NH, Barbosa MJ, Vermuë MH, Wijffels RH. Microalgal Production - A Close Look at The Economics. *Biotechnol Adv.* 2011; 29(1): 24-7.
44. Posada JA, Rincón LE, Cardona CA. Design and Analysis of Biorefineries Based on Raw Glycerol: Addressing the Glycerol Problem. *Bioresour Technol.* 2012; 111: 282-93.
45. De Meester S, Van Langenhove H. The Resource Footprint of Biobased Products: A Key Issue in The Sustainable Development of Biorefineries. *Biotpr.* 2011; 5(5): 570-80.
46. CEPAL, Ministerio de Cooperación y Desarrollo de Alemania, GIZ, FAO. Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: CEPAL; 2011.

47. Lanzafame P, Centi G, Perathoner S. Evolving scenarios for biorefineries and the impact on catalysis. *Catal Today*. Elsevier B.V.; 2014;234:2–12.
48. Budzianowski WM, Postawa K. Total Chain Integration of Sustainable Biorefinery Systems. *Appl Energy*; 2016; 184: 1432-46.
49. Palmeros Parada M, Osseweijer P, Posada Duque JA. Sustainable Biorefineries, An Analysis of Practices for Incorporating Sustainability in Biorefinery Design. *Ind Crops Prod*. 2016; 10: 105-23.
50. Lopes De Carvalho A, Antunes CH, Freire F. Economic-Energy-Environment Analysis of Prospective Sugarcane Bioethanol Production in Brazil. *Appl Energy*. 2016; 181(c): 514-26.
51. Haghghi-Mood S, Hossein-Golfeshan A, Tabatabaei M, Salehi-Jouzani G, Hassan-Najafi G, Gholami M, et al. Lignocellulosic Biomass to Bioethanol, a Comprehensive Review with a Focus on Pretreatment. *Renew Sustain Energy Rev*. 2013; 27(c): 77-93.
52. Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana. Crisis ambiental, cambio climático y geopolítica. *Línea Sur - Revista política exterior*. 2014; 7: 90-107.
53. Ecuador. Decreto 675, Registro Oficial 512 Suplemento (jun 1, 2015).
54. Ecuador. Decreto 1303. Registro Oficial 779 Suplemento (sep 28, 2012).
55. Constitución del Ecuador, Registro Oficial 449. (Oct 20, 2008).
56. NTE-INEN 2478. Etanol anhidro: Requisitos. Quito, 2009.
57. NTE-INEN 2482. Biodiésel: Requisitos. Quito, 2009.
58. El Comercio. Gasto en subsidios a los combustibles se redujo en 80 % en Ecuador, El Comercio. Agosto 21, 2016 [citado Jun 14, 2017]. p. 1. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/actualidad/gasto-subsidios-combustibles-petroleo-gasolina.html>
59. Banco Central del Ecuador. Estadísticas de Comercio Exterior - Totales por producto-país [Internet]. 2016 [citado Jun 14, 2017]. p. 1. Disponible en: <https://www.bce.fin.ec/index.php/c-exterior>
60. Ministerio de Finanzas. Programación presupuestaria cuatrianual 2016-2019. Quito: Ministerio de Finanzas; 2016.
61. Vicepresidencia de la República del Ecuador. Gobierno impulsará proyectos de biocombustibles y biogás desarrollados por la UTE – Vicepresidencia de la República del Ecuador [Internet]. Vicepresidencia de la República del Ecuador. 2015 [citado Ago 2, 2016]. Disponible en: <http://www.vicepresidencia.gob.ec/gobierno-impulsara-proyectos-de-biocombustibles-y-biogas-desarrollados-por-la-ute/>
62. Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. El Ministerio | Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos [Internet]. 2016. Disponible en: <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/el-ministerio/>
63. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. Producción de aceite de piñón para plan piloto de generación eléctrica en Galápagos. [Internet]. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. 2015 [citado Ago 2, 2016]. Disponible en: <http://www.energia.gob.ec/produccion-de-aceite-de-pi-non-para-plan-piloto-de-generacion-electrica-en-galapagos/>
64. MAGAP. En hacienda La Indiana se realizó primera siembra de caña de azúcar para biocombustible – Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [Internet]. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. 2013 [citado Ago 3, 2016]. Disponible en: <http://www.agricultura.gob.ec/en-hacienda-la-indiana-se-realizo-primer-siembra-de-cana-de-azucar-para-biocombustible/>
65. Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Competitividad, Ordóñez-Sáenz J. Proyecto Ecopaís. Quito: Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad; 2016.
66. General G, Gerencial S, Staff /. Estructura Organizacional EP PETROECUADOR. 2015.

67. INER. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables [Internet]. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. 2015 [citado Ago 2, 2016]. Disponible en: <http://www.iner.gob.ec/el-instituto/>
68. Coello-Guavara J, Morales-Tremolada V. Estudio mapeo de energía y clima en América Latina. Bogotá: FES; 2010.
69. Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Competitividad. Ecopais: Una muestra del cambio de la matriz productiva [Internet]. 22 de Agosto de 2014 - 11h08. 2014 [citado Ago 2, 2016]. p. 1. Disponible en: <http://www.produccion.gob.ec/ecopais-una-muestra-del-cambio-de-la-matriz-productiva/>
70. MCPEC. Programas y Servicios-Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad [Internet]. Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad. 2102 [citado Ago 2, 2016]. p. 1. Disponible en: <http://www.produccion.gob.ec/programas-servicios>
71. Pro Ecuador. Biocombustibles. Quito: Pro Ecuador; 2013.
72. Taimal X. Informe Sectorial Ecuador: Sector Palmicutor. Pacific Credit Rating. 2014.
73. Escobar MT. El Ecuador y los desafíos del biodiésel. Gestión. 2013; 230: 1-5.
74. Aguinaga-Echanique D. Análisis de la cadena productiva palma africana - aceite - biodiésel, para la comercialización progresiva de eco-diésel en el país [tesis de maestría]. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar, sede Ecuador (UASB-E); 2015.
75. Vallejo S. Situación actual y perspectivas de biocombustibles en Ecuador. 2010.
76. Vega-Quezada C, Blanco M, Romero H. Synergies Between Agriculture and Bioenergy in Latin American Countries: A Circular-Economy Strategy for Bioenergy Production in Ecuador. N Biotechnol. 2017; 39(p/a): 81-89.
77. Krupp F, Horn M. Earth: The Sequel the Race to Reinvent Energy and Stop Global Warming. J High Technol Law. 2008; 86(4): 1-6.
78. Suurs RAA, Hekkert MP. Cumulative causation in the formation of a technological innovation system: The case of biofuels in the Netherlands. Technol Forecast Soc Change. 2009; 76(8): 1003-20.
79. Carvajal J. Una “RESETA” con buena ORTOGRAFÍA. Nuestra Cienc. 2009 Apr; 11: 26-9.
80. El Ciudadano. Ecuador presenta su primera biorrefinería con el cambio de la matriz energética. [Internet]. El Ciudadano. 2014 Feb 5 [citado Ago 18, 2016]. Disponible en: <http://www.elciudadano.gob.ec/ecuador-presenta-su-primera-biorefineria-con-el-cambio-de-la-matriz-energetica/>
81. Carvajal J. La biorrefinería, un desafío para biólogos. Nuestra Cienc. 2011 Abr; 13: 3-6.
82. El Comercio. La primera biorrefinería del Ecuador estará en Santo Domingo [Internet]. El Comercio. Mar 5, 2015 [citado Ago 22, 2016]. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/actualidad/biorefineria-ecuador-santo-domingo-yachay.html>
83. Ingenio San Carlos. Punto Verde Cogeneración - Ingenio San Carlos [Internet]. Ingenio San Carlos. 1987 [citado Ago 22, 2016]. Disponible en: <http://www.sancarlos.com.ec/portal/es/web/ingenio-sancarlos/punto-verde-cogeneracion>
84. MEER. Proyectos de bioenergía en el Ecuador. Vol. 1. Quito: MEER; 2013.
85. INER. Estudio de factibilidad para la implementación de una planta de procesamiento de basura mediante cogasificación para una población de 10 400 habitantes en el cantón Echeandía. Quito: INER; 2015.
86. Gómez JM. Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. Estud Gerenciales. 2016; 32(139): 120-6.

-
87. Falasca SL, Miranda Del Fresno C, Ulberich A. Possibilities for Growing Queen Palm (*Syagrus romanzoffiana*) in Argentina as A Biodiesel Producer Under Semi-Arid Climate Conditions. *Hydrog Energy*. 2011; 37: 14843-8.
88. Quintero JA, Moncada J, Cardona CA. Techno-Economic Analysis of Bioethanol Production from Lignocellulosic Residues in Colombia: A Process Simulation Approach. *Bioresour Technol*. 2013; 139: 300-7.
89. López-Bellido L, Wery J, López-Bellido RJ. Energy Crops: Prospects in The Context of Sustainable Agriculture. *Eur J Agron*. 2014; 60: 1-12.
90. García M. JC, Machimura T, Matsui T. A Nation-Wide Planning of Agro-Residue Utility for Bioethanol Production and Power Generation in Ecuador. *Energy Procedia*. 2012; 34: 57-63