

Biorrefinerías: Una oportunidad para el desarrollo socioeconómico ambiental de ALC

2.3

Autor: Aramendis Ramírez, RH. (SURICATA).

Introducción

Una de las bases del desarrollo fundamentado en la bioeconomía como paradigma productivo es la transformación de los recursos para producir biomasa vegetal a partir del proceso fotosintético que involucra energía solar, diferentes componentes minerales, agua y dióxido de carbono (CO₂). Dicha biomasa puede ser procesada en biorrefinerías para producir una serie de bioproductos con usos finales en alimentos, fibras y energías. Por tanto, las biorrefinerías se constituyen en uno de los principales senderos para el desarrollo de la bioeconomía en el continente americano y el mundo.

Conceptos básicos: la biomasa

Para una comprensión clara del concepto fundamental de una biorrefinería y de sus principios básicos de operación, es necesario entender previamente el concepto de biomasa, sus orígenes, sus clasificaciones y sus diferentes usos. FAO (2023) indica que la biomasa es todo material de origen biológico que está presente tanto en cultivos energéticos, como en residuos agrícolas y forestales, en estiércol o biomasa microbiana, pero excluye del concepto a la biomasa que se encuentra en los depósitos fósiles. Con respecto a sus orígenes, la biomasa puede provenir de cuatro fuentes principales: la vegetal, la animal, la residual y la de los cultivos energéticos. La vegetal es el resultado directo de la actividad fotosintética sobre los vegetales; la animal proviene de las cadenas biológicas de los diferentes seres vivos que se nutren de la biomasa vegetal; la residual es un subproducto de las diversas actividades agrícolas, ganaderas, animales, forestales, industriales e incluso de residuos de zonas urbanas; y la de cultivos energéticos proviene de cultivos como oleaginosas (soya, palma, colza, entre otras), poáceas (caña de azúcar) y herbáceos (maíz, avena y otras) que se destinan principalmente a la obtención de biocombustibles, bien sean sólidos, líquidos o gaseosos (FAO 2011).

Para otros autores como Tursi (2019), la biomasa puede clasificarse en cuatro grandes categorías: a) biomasa proveniente de madera y leñosa, b) biomasa herbácea, c) biomasa acuática, d) biomasa de residuos animales y humanos y e) mezclas de biomasa.

La gestión convencional de la biomasa le brinda un tratamiento y una adecuación primaria básica para convertirla en compost o biogás. Sin embargo, así se desaprovecha todo su potencial energético y se disminuye la posibilidad de convertirla en múltiples productos industriales con aplicaciones en diferentes sectores económicos. Una biorrefinería permite expandir y hacer más eficiente todas las posibilidades del uso de la biomasa.

¿Qué caracteriza a una biorrefinería?

Una biorrefinería se caracteriza porque logra integrar de manera exitosa diversos tipos de procesos (biológicos, físicos, químicos, etc.), tanto de acondicionamiento primario, que convierte la biomasa en compuestos intermedios (azúcares, ácidos grasos, etc.), como de transformación secundaria, que reconvierte a los intermediarios en productos finales con diversas aplicaciones (López *et al.* 2020:51).

Una biorrefinería también se caracteriza porque emplea fuentes renovables, en contraposición a las biorrefinerías petroquímicas convencionales que usan recursos de origen fósil no renovable.

Refinerías petroquímicas convencionales vs biorrefinerías

Lo que fundamentalmente diferencia a una refinería petroquímica convencional de una biorrefinería es la manera cómo se emplean los bloques de construcción.

En una industria petroquímica los bloques de construcción pueden ser metanol, etileno, propileno, butadieno, benceno, entre otros, que sirven como el output para producir distintos tipos de polímeros y compuestos químicos; mientras que en una biorrefinería, estos bloques de construcción pasan a ser aminoácidos, ácidos grasos volátiles (AGV), alcoholes, celulosa, esteroides, lignina, lípidos CO₂, gas de síntesis, proteínas, etc. que me permiten obtener productos tan variados como biofertilizantes, biomateriales, químicos biobasados y biocombustibles entre muchos otros. (De Jong *et al.* 2020:7).

Biorrefinería: definición

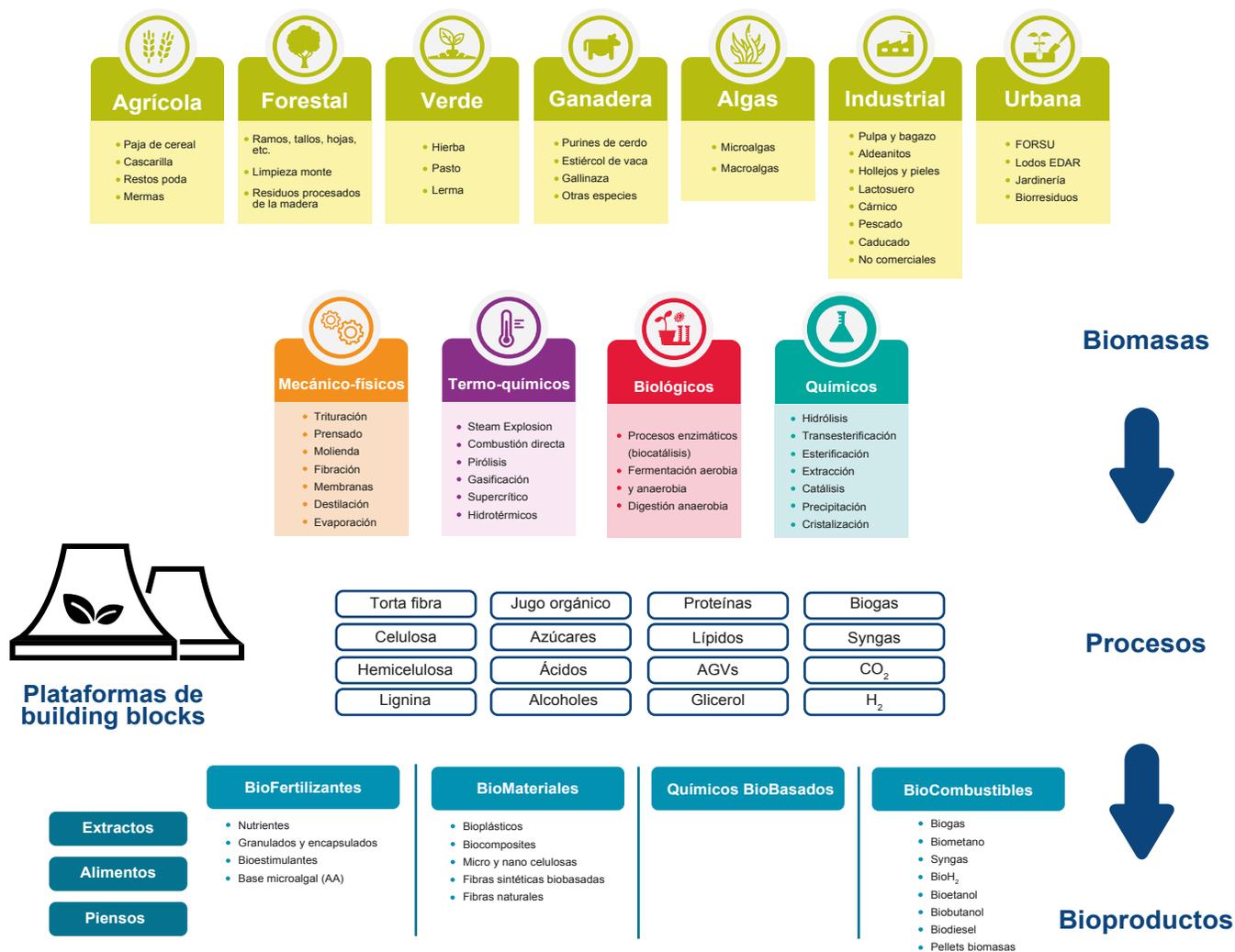
En pocas palabras, una biorrefinería es una instalación que transforma la biomasa en productos aplicables a diversos campos industriales, como alimentos, bioproductos, energía, fertilizantes y piensos, entre muchos otros. Una definición más sofisticada indica que una biorrefinería es “el procesamiento sostenible de la biomasa que utilizando una amplia variedad de tecnologías de conversión de manera integrada obtiene un espectro de productos comercializables alimentos, piensos, materiales, químicos), energía (combustibles, energía y calor)” (Parisi 2018:1).

Clasificación de las biorrefinerías

No existe aún en el ámbito internacional, un consenso definitivo relacionado con los criterios de clasificación para las biorrefinerías. Para algunos autores, como Nizami (2017), la clasificación puede basarse en el tipo de materia prima y en los procesos de conversión empleados. Según este autor, existen biorrefinerías primarias (usan leña, astillas de madera y otros como materia prima) y biorrefinerías secundarias o avanzadas (que convierten la materia prima en productos

como biodiesel, éter, entre otros). Para otros autores (López *et al.* 2020), las biorrefinerías pueden clasificarse según su grado de desarrollo tecnológico, tipo de biomasa tratada (agrícola, domestica, forestal, industrial) o tipo de plataforma química que empleen (azúcares, grasas, proteínas, etc.). Parisi (2020) propone clasificarlas según el tipo y la variedad de productos obtenidos y en ella se pueden encontrar biorrefinerías que obtienen múltiples productos, múltiples categorías de productos o por la integración entre productos y energía. En la figura 16 se muestran los diferentes tipos de biomasa, procesos, bloques de construcción y productos obtenidos en una biorrefinería.

Figura 16. Tipo de biomásas, procesos, bloques de construcción y productos obtenidos en una biorrefinería.



Fuente: López N. *et al.* 2020.

Biorrefinerías en ALC

Una buena parte de las biorrefinerías que operan actualmente en ALC son del tipo convencional. Usan como materia prima biomasa vegetal con plataformas químicas fundamentales de almidón o azúcar y aceite o grasa para obtener uniproducidos, como el etanol y el biodiesel, respectivamente, y en algunos casos, energía y otros subproductos¹².

La industria de la caña de azúcar en ALC es la principal fuente de transformación de las biorrefinerías de primera generación que obtienen etanol y, en algunos casos, otros subproductos energéticos. Algunas cifras en la región dan cuenta de este avance: Brasil produjo 596,1 millones de toneladas de caña y tiene 371 factorías sucro-energéticas para el período 2022-2023 (Diniz 2022). México tiene 6 059 942 toneladas producidas en la zafra 2020-2021 y una operación de 49 ingenios azucareros (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural 2021). Colombia tiene 241 205 hectáreas sembradas, 24,3 millones de toneladas de caña producida, 438 millones de litros de bioetanol y 1615 GWh de energía generada (2020).

En palma de aceite la producción de aceites y grasas en América fue de 46 millones de toneladas (2014), en la que el aceite de palma representó un 8 % del total de aceites. En América Latina la producción es liderada por Colombia, seguida por Ecuador, Honduras, Guatemala y Brasil, que juntos aportan cerca del 84 % de toda la producción de América. En un análisis histórico de productividad, se destaca que países como Guatemala y Honduras presentaron aumentos muy significativos en porcentaje de crecimiento en producción (539,1 % y 253,8 %, respectivamente) en el período (2001-2014) (González-Cárdenas 2016).

La región muestra oportunidades importantes para implementar a corto plazo biorrefinerías que empleen como insumo fundamental los residuos agroalimentarios, las aguas residuales y urbanas y los residuos plásticos.

La FAO estima que actualmente se pierdan o desperdician, tanto en procesos de cosecha como de distribución, más de 1300 millones de toneladas métricas de los alimentos producidos en el mundo. Corresponden por grupos de alimentos: raíces, frutas, hortalizas y semillas oleaginosas (40-50 %), pescados (35 %), cereales (30 %) y (20 %) de la carne y los productos lácteos. Estos alimentos serían suficientes para alimentar a cerca de 2000 millones de personas. También se estima que en ALC se presenta aproximadamente el 6 % de estas pérdidas globales alimentos (78 millones de toneladas métricas aproximadamente) y que cada año en la región se pierde o desperdicia alrededor del 15 % de sus alimentos disponibles (Benítez 2022).

¹² Este tema se desarrolla en el próximo capítulo.

El Programa de medio Ambiente de la Organización de Naciones Unidas (ONU) indica que en ALC la generación total de residuos municipales aumentará significativamente y pasará de 541 mil toneladas/día en el 2014 a 670 toneladas/día para el 2050, lo que representará un promedio de 1 kg/día/persona de este tipo de residuos (Pon 2021).

Se calcula que alrededor de 13 millones de toneladas de residuos de plástico llegan a los mares del mundo y entran a la cadena alimentaria, lo cual pone en riesgo la salud humana (PNUMA 2018). También, se sabe que en ALC se generan aproximadamente 17 000 toneladas de residuos plásticos por día (Residuos Profesional 2022).

En el caso de las frutas y verduras, es posible emplear la piel, la pulpa o las semillas en una biorrefinería como fuente de compuestos bioactivos (carotenoides y ácidos grasos). En relación con los subproductos de la acuicultura y la industria cárnica, se pueden obtener compuestos bioactivos como fosfolípidos y péptidos. El cuadro 7 presenta algunos ejemplos de aprovechamiento de residuos agroalimentarios en procesos de biorrefinerías.

Cuadro 7. Aprovechamiento de residuos agroalimentarios en procesos de biorrefinerías.

Residuo agroalimentario	Compuesto bioactivo	Bioactividad	Uso potencial
Cáscara de frijol negro	Antocianina Ácidos grasos (linoléico, oléico)	Antioxidante	Suplemento y colorante alimentario
Semilla de guayaba ¹³	Compuestos Fenólicos (vainilla, cinamaldeido)	Energético en rumiantes	Aceite comestible
Cáscara de café	Compuestos fenólicos (Ac clorogénico)	Antioxidante	Aditivo antioxidante
Residuos de naranja (epicarpio, albedo)	L-limoleno, Ac Palmítico y oleico	Antioxidante y antimicrobiano	Aditivo antioxidante y antimicrobiano

Fuente: AECID 2021.

¹³ Vega, M, S et al. (2017). Evaluación de semillas de guayaba (*Psidium guajava* L.) como alternativa en la nutrición ruminal. Universidad Autónoma de Zacatecas. México.

Biorrefinerías de lignocelulosa en ALC

América Latina puede y debe avanzar hacia el montaje y operación a largo plazo de biorrefinerías de lignocelulosa.

El área total de bosques en el mundo es de 4060 millones de hectáreas (ha), que corresponde al 31 % de la superficie total de la tierra. Las zonas tropicales poseen la mayor proporción de los bosques del mundo (45 %). El resto está localizado en las regiones boreales, templadas y subtropicales. Las plantaciones forestales abarcan cerca de 131 millones de hectáreas, lo que representa el 3 % de la superficie forestal mundial y el 45 % de la superficie total de bosques plantados. La proporción más alta de plantación forestal se encuentra en América del Sur, donde este tipo de bosque representa el 99 % de la superficie total de bosque plantado y el 2 % de la superficie forestal total. El 44 % de las plantaciones forestales del mundo está compuesto principalmente por especies introducidas, pero existen grandes diferencias entre regiones. Así, en América del Norte y América Central están compuestas principalmente por especies nativas y en América del Sur, casi en su totalidad, por especies introducidas (FAO 2020)¹⁴.

Las plantaciones forestales son una fuente inmensamente variada de lignocelulosa, la cual puede ser considerada como la biomasa de carácter natural más abundante que se obtiene por fotosíntesis. Además, es renovable y ampliamente distribuida y está constituida por tres fracciones principales: la celulosa (polímero de glucosa), la hemicelulosa (pentosas) y la lignina (fenoles). La biomasa lignocelulósica está constituida aproximadamente por celulosa (del 30 % al 57 %), hemicelulosa (entre el 8 % y el 40 %) y lignina (entre un 11 % y un 25 %). Tiene la ventaja de ser considerada un recurso renovable, ya que se encuentra ampliamente disponible tanto en su forma natural, como en las plantaciones forestales.

Una biorrefinería lignocelulósica puede operarse a través de rutas bioquímicas y termoquímicas y actualmente las mismas (sic) están centradas en la producción de etanol celulósico; considerado como un biocombustible de 2da generación, sin embargo, si las mismas biorrefinerías se especializan en trabajar a partir de rutas bioquímicas es posible obtener biocompuestos de alto valor agregado, así como compuestos alternativos a los formaldehidos, aglomerantes, adhesivos, etc. (Villanueva *et al.* 2020:4)

El cuadro 8 muestra algunas biorrefinerías de etanol celulósico que operan a escala comercial con diferentes fuentes de materias primas.

¹⁴ Una plantación forestal es aquella que se maneja de manera intensiva, compuesta por una o dos especies de edad uniforme, plantadas con un espaciamiento regular y establecida principalmente para fines productivos.

Cuadro 8. Biorrefinerías seleccionadas de etanol celulósico en operación a escala comercial.

Empresa	Lugar	Materia prima	Plataforma	Estado
<i>Borregaard</i>	Noruega (Sarpsborg)	Madera	Licor procesado de madera	En operación
<i>Domsjö Fabriker AB</i>	Suecia (Domsjö)	Madera	Licor procesado de madera	En operación
<i>Enviral y Clariant</i>	Eslovaquia (Leopoldov)	Residuos agrícolas de paja de trigo	Azúcares	Puesta en operación 2019
<i>New Energy Investors</i>	EE.UU. Jamestown (Dakota del Norte)	Residuos agrícolas (restos de maíz y paja de trigo)	Azúcares	Puesta en operación 2019
<i>St1, SOK y NEOT</i>	Finlandia (Pietarsaari)	Biomasa leñosa (residuos de la industria forestal)	Azúcares	Puesta en operación 2020
<i>St1 y Vikeng Skog SA</i>	Noruega (Hønefoss)	Biomasa leñosa (residuos de la industria forestal)	Azúcares	Puesta en operación 2021

Fuente: Morán 2015.

Casos exitosos de biorrefinerías en ALC

Se comienzan a presentar en la región algunos ejemplos pioneros y otros ya avanzados y otros exitosos de operación comercial de biorrefinerías en Argentina, Colombia, México y Panamá.

Desde el año 2017 a la fecha, el desarrollo de biorrefinerías en todo el mundo viene en permanente y acelerada evolución. El *Bio Based Industry Consortium* (BIC) en el 2017 reportó la existencia de 224 biorrefinerías en Europa. En el 2018 la Comisión Europea (EC) reportó 803 biorrefinerías en la Unión Europea (UE), de las cuales 507 (63 %) producían químicos biobasados, 363 (45 %) combustibles líquidos y 141 (17,5 %) compuestos y fibras. Para el 2020, se reportaron 2362 biorrefinerías de todo tipo en Europa (proceso productivo completo o parcial, producción única o múltiple, con abastecimiento de energía o sin ella, de diferente escala –piloto, demostrativa y comercial– y de diferente nivel de alistamiento). De estas biorrefinerías, el 92,5 %

son comerciales y solo el 7,5 % corresponden a plantas piloto o demostrativas (Parisi 2018).

Como desarrollos internacionales recientes relacionados con biorrefinerías, en Europa se logró la obtención de hidrógeno verde neutro en carbono a partir de 4 millones de toneladas de desechos y subproductos provenientes de destilerías del Reino Unido y 127 millones de toneladas de desechos agrícolas de Malasia. Esto fue posible mediante una alianza ejecutada entre la compañía estatal petrolera de este país, PETRONAS, y la Universidad Heriot-Watt del Reino Unido (BioEconomía 2022a). Además, contribuyó la puesta en operación en el 2022 de la biorrefinería AFyn Neoxy en Grand Est Moselle de Francia, que producirá a lo largo de dos años cerca de 16 000 toneladas métricas de siete ácidos carboxílicos de base biológica con aplicaciones en sectores de alimentación humana y animal, aromas, fragancias, lubricantes, ciencia de materiales y ciencias de la vida (BioEconomía 2022b).

América Latina no es ajena a todos estos desarrollos y ya se comienzan a presentar en la región algunos casos pioneros de biorrefinerías que usan diferentes fuentes de biomasa, poseen diferentes grados de alistamiento tecnológico y obtienen diferentes tipos de productos. A continuación, se presentan algunos ejemplos:

- En **Argentina** se encuentran en operación dos modelos exitosos de biorrefinería que operan en escalas diferentes: la refinería **Tigonbu** que, a partir de la producción de maíz, implementó un proceso 360 grados de economía circular para obtener etanol, aceite de maíz, burlanda, vinazas, aves de engorde, biogás, energía eléctrica y biofertilizantes; y las biorrefinerías tipo **Mini Dest de Porta Hermanos** que actúan como plantas modulares de operación remota, las cuales permiten el procesamiento de maíz y la producción de alcohol y alimento animal en los establecimientos agropecuarios, de modo tal que logran agregar valor en el territorio e integran la agricultura y la ganadería en procesos sustentables.
- En **Colombia**, desde noviembre del 2021, comenzó a operar la biorrefinería **Refoenergy Bitá**, donde se generan 4,5 megavatios-hora de energía eléctrica que supe las necesidades energéticas de Puerto Carreño, capital del departamento del Vichada, todo esto a partir de biomasa forestal cultivada (Valorem 2022).
- En **Brasil**, varios son los casos exitosos que pueden citarse: **Raizem**, con operaciones en Brasil y Argentina. Opera como un joint-venture entre la *Royal Dutch Shell* y el grupo Cosan. Produce azúcar, etanol y bioenergía; **COFCO**, en el mismo segmento, es considerado uno de los cinco más grandes comercializadores de azúcar en el mundo; y **Braskem**, que tiene una línea de polímeros y resinas de base sostenible y renovable, cuya materia prima es la caña de azúcar que permite obtener polietileno, eva y cera de polietileno de base renovable basada en caña de azúcar.

- En **México** se encuentra **Biofields**, que actúa como una biorrefinería de algas verde azuladas (cianobacterias) para producir etanol, con la enorme ventaja de que el cultivo se realiza en tierras marginales y zonas desérticas con régimen casi pleno de radiación solar (328 días/año), lo que trae importantes beneficios sociales y ambientales (Gálvez y Hernández 2019).

Acciones requeridas para la promoción de biorrefinerías en ALC

América Latina debe contar con un inventario y clasificación completa de las biorrefinerías existentes que al menos incluya: a) tipos de materia prima empleada; b) tipos de plataformas empleadas; c) tipos de procesos empleados; y d) productos obtenidos.

Existen en la región varias iniciativas de trabajo en red que buscan desarrollar plataformas conjuntas de investigación y desarrollo sobre el uso de la biomasa, principalmente con fines energéticos, dentro de las cuales es posible destacar las siguientes: la Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural (REBIBIR), la Red CYTED de Optimización de los procesos de extracción de biomasa sólida para uso energético (IBEROMASA), la Red Mexicana de Bio Energía (REMBIO) y la Red Colombiana de Energía de la Biomasa (RedBiocol). Sin embargo, es necesario avanzar para que el ámbito de estas redes colaborativas de trabajo no se circunscriba únicamente a la bioenergía, sino que abarque otro tipo de potenciales productos y tecnologías de transformación e incluya en su ámbito aspectos normativos, regulatorios, de economía circular y de mitigación del cambio climático, entre otras. Un buen ejemplo para seguir puede ser la Plataforma Tecnológica y de Innovación Española de Biomasa para la Bioeconomía (BIOPLAT).

Es fundamental que en la región se genere o actualice la información básica para un uso eficiente de la biomasa. Para ello se deben incluir por lo menos los siguientes elementos:

- Geolocalización de la biomasa total disponible en el territorio, lo cual puede lograrse con el apoyo de sistemas como Global Positioning Systems (GPS) y Sistemas de Información Geográfica (GIS).
- Biomasa útil en el territorio mediante herramientas de la cuarta revolución industrial como la imágenes hiperespectrales más multiespectrales¹⁵ adoptadas a sensores y drones (en el caso de la biomasa agrícola).
- Mapas nacionales de potencial energético de la biomasa actualizados.
- Tipos de biomasa empleada en la región y sus fines específicos.
- Plataformas de biomasa empleadas y procesos para su tratamiento.
- Tipos de productos obtenidos a través del uso de la biomasa.

¹⁵ Las imágenes multiespectrales miden el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) que permite determinar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación mediante sensores de intensidad de radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que son reflejadas o emitidas por la vegetación.

América Latina debe avanzar hacia el establecimiento de certificaciones para estándares de biomasa y en la evaluación de sus biorrefinerías mediante procesos de ciclo de vida, huella hídrica y huella de carbono.

Tres elementos son claves para un uso eficaz de la biomasa y así garantizar la operación eficiente de una biorrefinería y la obtención de productos y procesos con el menor impacto ambiental y social: a) **la calidad y la trazabilidad** de la biomasa; b) las **certificaciones** empleadas para las materias primas, el proceso o el producto final obtenido; y c) las **evaluaciones** que pueden dar cuenta del ciclo de vida de la biorrefinería, de su consumo de agua y de su huella ambiental en términos de carbono.

ALC necesita desarrollar estándares de calidad de las variadas fuentes de biomasa que pueden emplearse como materia prima en sus biorrefinerías, lo que significa trabajar con todos los actores de las cadenas, desde los agricultores, los transformadores, hasta los industriales, con el fin de asegurarse una trazabilidad completa de la biomasa que mejore la calidad de los productos biobasados y permita un acceso más eficaz a los diferentes mercados. Un ejemplo interesante puede ser el que actualmente desarrolla la Red de Calidad de Biomasa de Canadá (BQNC) que proporciona trazabilidad de biomasa para varias cadenas agroalimentarias, por medio de la empresa *TrustBIX Inc.* (BioEconomía 2022c).

Con respecto a las certificaciones, estas son tan variadas como cultivos, procesos y sectores industriales existen y pueden ser obligatorias o voluntarias y generales o particulares. A modo de ejemplo, podemos citar las certificaciones específicas para tres cultivos: palma de aceite, caña de azúcar y soja. La **palma de aceite** tiene la certificación de la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (**RSPO**), que promueve una producción y uso de aceite de palma con criterios de sostenibilidad ambiental, social y económica, la certificación del Programa de Aceite de Palma Sostenible en Indonesia (**ISPO**) y la certificación del estándar de Aceite de Palma Sostenible de Malasia (**MSPO**). La **caña de azúcar** cuenta con la certificación **BONSUCRO 4.2 (2016)** que certifica la producción sostenible de caña de azúcar. La **soja** tiene las certificaciones **RTRS Versión 3.0 (2016)** que certifica la producción sostenible de soja y la **RSPO P&C (2013)** que certifica la producción sostenible del aceite de la soja.

Como certificaciones generales que no pueden obviarse en la operación de una biorrefinería, pueden citarse las certificaciones: Certificación Internacional de Sostenibilidad y Carbono (**ISCC**) que avala la protección de la biosfera y un uso sostenible de la tierra para industrias de biomasa y energía o la **BETTER BIOMASS NTA 8080-1 (2015)** para los sectores de bioenergía y bioproductos.

Los **análisis de ciclo de vida (ACV)** son herramientas de gestión ambiental que me permiten evaluar los inputs y outputs de un sistema o producto durante todo su ciclo de vida, con el objeto

de determinar su sostenibilidad en el tiempo. En una biorrefinería será necesario evaluar su **huella hídrica (HH)** que mide el volumen total de agua dulce utilizado a todo lo largo de la cadena de producción de un bien o servicio y la **huella de carbono** que evalúa el volumen total de los gases de efecto invernadero (GEI) directos o indirectos (medidos como CO_{2e} o CO_{2eq}) que produce la actividad de la biorrefinería en su conjunto. (Macías 2019). Torres *et al.* 2016 desarrollan un análisis de ciclo de vida para una biorrefinería de residuos agrícolas de palma aceitera en Colombia.

Retos futuros de las biorrefinerías en ALC

Uno de los principales retos para las biorrefinerías en la región consistirá en convertir las refinerías de base petroquímica en biorrefinerías que operen bajo modelos de economía circular, con impacto positivo sobre el cambio climático y la seguridad alimentaria.

Un ejemplo pionero de esta reconversión de biorrefinerías puede verse en Panamá con la iniciativa de SGP, la cual comenzará en el 2023 la construcción de la biorrefinería Ciudad Dorada para la producción de hidrógeno verde a partir de los subproductos de la elaboración de biocombustibles. Una vez entre en pleno funcionamiento, espera obtener 405 000 t de hidrógeno verde y cerca de 10 millones de metros cúbicos de biocombustible por año (BioEconomía 2022d).

Referencias bibliográficas

- AECID (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo). 2021. Biorrefinerías en tiempos del Covid 19. Conceptos y oportunidades para el desarrollo sostenible en Latinoamérica. Informe de conclusiones. Guatemala, AECID.
- Benítez, R. 2022. Pérdidas y desperdicio de alimentos en América Latina y el Caribe. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe (en línea). Consultado 3 oct. 2022. Disponible en <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/239393/>.
- BioEconomía. 2022a. Una petrolera apuesta a los residuos biomásicos para producir hidrógeno verde neutro en carbono (en línea). Consultado 3 oct. 2022. Disponible en <https://www.bioeconomia.info/2022/10/27/una-petrolera-apuesta-a-los-residuos-biomasicos-para-producir-hidrogeno-verde-neutro-en-carbono/>.
- BioEconomía. 2022b. Comienza a operar a escala comercial la mayor biorrefinería de ácidos carboxílicos de base biológica (en línea). Consultado 3 oct. 2022. Disponible en https://www.bioeconomia.info/2022/10/04/comienza-a-operar-a-escala-comercial-la-mayor-biorrefineria-de-acidos-carboxilicos-de-base-biologica/?utm_source=mailpoet&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter-bioeconomia_875.
- BioEconomía. 2022c. En Canadá lanzan un programa piloto para trazar la biomasa a lo largo de las diferentes cadenas de valor de la bioeconomía. (en línea). Buenos Aires. Consultado 3 oct. 2022. Disponible en https://www.bioeconomia.info/2022/10/06/en-canada-lanzan-un-programa-piloto-para-trazar-la-biomasa-a-lo-largo-de-las-diferentes-cadenas-de-valor-de-la-bioeconomia/?utm_source=mailpoet&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter-bioeconomia_875.
- BioEconomía. 2022d. Panamá: la mayor biorrefinería del mundo producirá también hidrógeno verde con los subproductos de la elaboración de biocombustibles. (en línea). Buenos Aires. Consultado 3 oct. 2022. Disponible en https://www.bioeconomia.info/2022/10/17/panama-la-mayor-biorrefineria-del-mundo-producira-tambien-hidrogeno-verde-con-los-subproductos-de-la-elaboracion-de-biocombustibles/?utm_source=mailpoet&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter-bioeconomia_875.
- De Jong, E; Stichnothe, H; Bell, G; Jorgensen, H. 2020. Bio-based chemicals - a 2020 update. Technology Collaboration Programme. IEA Bioenergy (42):01.

- Diniz, J. 2022. El sector de la caña de azúcar, ejemplo de avances en sostenibilidad (en línea, blog). Consultado 4 nov. 2022. Disponible en <https://idbinvest.org/es/blog/agronegocios/el-sector-de-la-cana-de-azucar-ejemplo-de-avances-en-sostenibilidad>.
- EC (European Commission). 2022. Data-Modelling platform of resource economics: Biobased Industry (en línea). EC. Consultado 3 oct. 2022. Disponible en https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/BIOBASED_INDUSTRY/index.html
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. Bioenergía y seguridad alimentaria. el marco analítico BEFS. Serie sobre medio ambiente y la gestión de recursos naturales, 16 n.º. Roma, Italia.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2020. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 – Principales resultados. Roma, Italia.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2023. Que es bioenergía sostenible? Roma, Italia.
- Gálvez, A; Hernández, I. 2019. Bioeconomía en México. En: Bioeconomía: Hodson de JE; Henry G, Trigo, E. (eds). Nuevo marco para el crecimiento sostenible en América Latina. Primera Edición. Bogotá, Colombia, Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- González-Cárdenas, A. 2016. La agroindustria de la palma de aceite en América. Palmas (37):215-228.
- López Neila, JC; García Acedos, M; Ruiz Fuertes, B. 2020. Biorrefinerías. El futuro para la transición hacia la (bio) economía circular. España, Industria Química, Bioenergía.
- Macías Mateos, M. del V. 2019. Evaluación de ciclo de vida de biorrefinerías de algas. Proyecto fin de grado. Dpto. Ingeniería Química y Ambiental. Sevilla, España, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- Morán, D. 2015. Biorrefinerías de etanol celulósico a escala comercial (en línea). Consultado 3 oct. 2022. Disponible en <https://biorrefineria.blogspot.com/2015/08/biorrefinerias-de-etanol-celulosico.html>.

- Nizami, AS; Rehan, M; Waqas, M; Naqvi, M; Ouda, OKM; Shahzad, K; Miandad, R; Khan, MZ; Syamsiro, M; Ismail, IMI; Pant, D. 2017. Waste biorefineries: Enabling circular economies in developing countries. *Biores Technol* (241):1101-1117.
- Parisi, C. 2018. Biorefineries distribution in the EU, Research Brief. European Commission – Joint Research Centre. Disponible en <https://doi.org/10.2760/126478>. ISBN 978-92-79-94882-4. JRC113216.
- Parisi, C. 2020. Distribution of the bioBased industry in the EU (en línea). Publications Office of the European Union. Disponible en <https://doi.org/10.2760/745867>.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2018. América Latina y el Caribe lucha contra el plástico en el Día Mundial del Medio Ambiente (en línea). Consultado 3 oct. 2022. Disponible en <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/america-latina-y-el-caribe-lucha-contra-el-plastico-en>.
- Pon, J. 2021. Contexto regional de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe. Ciclo de Webinars AECID/CIEMAT: El valor oculto de los residuos, oportunidades para América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Residuos Profesional. 2022. Ocho países de América Latina combatirán juntos la basura marina y la contaminación por plásticos (en línea). Consultado 3 oct. 2022. Disponible en <https://www.residuosprofesional.com/paises-america-latina-combatiran-basura-marina-contaminacion-plasticos/>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2021. Caña de azúcar un cultivo de importancia para México (en línea). Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Consultado 3 oct. 2022. Disponible en <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cana-de-azucar-un-cultivo-de-importancia-para-mexico?idiom=es>.
- Torres Ortega, JA; Contenido Rubio, OF; Herrera Orozco, H. 2016. Análisis de ciclo de vida para una biorrefinería derivada de residuos agrícolas de palma aceitera (*Elaeis guineensis*). *Revista publicaciones e investigación* 11(1):13-36.
- Tursi A. 2019. A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion (en línea). *Biofuel Research Journal* 22:962-979. Consultado 25 jun. 2020. Disponible en https://www.biofueljournal.com/article_88067.html.

Valorem. 2022. Refoenergy Bitá, energía limpia para el Vichada (en línea). Consultado 3 oct. 2022. Disponible en <https://amchamcolombia.co/business-mail/ed-178-sostenibilidad-2022/refoenergy-bitá-energía-limpia-para-el-vichada/>.

Vega, MS; Bañuelos-Valenzuela; Muro-Reyes, A; Esparza-Ibarra, E; Delgadillo-Ruiz, L.2017. Evaluación de semillas de guayaba (*Psidium guajava* L) como alternativa en la nutrición ruminal. México, Universidad Autónoma de Zacatecas.

Villanueva, AR; Céspedes, C; De Armas Martínez, A; Arbenas Carvajal, Y; Villanueva Ramos, G. 2020. Valorización de la lignina en el concepto de biorrefinerías. Revista Centro Azúcar. 47:4. Cuba, Universidad Central Marta Abreu.