

## Potenciales Productos a Partir de Residuos Foresto y Agroindustriales del NEA en una Plataforma de Biorrefinería.

Rivaldi Johana Antonella <sup>a\*</sup>, Clauser Nicolás Martín <sup>a,b</sup>, Vallejos María Evangelina <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Materiales de Misiones (IMAM), Universidad Nacional de Misiones – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNaM – CONICET), Félix de Azara 1552, Posadas, Argentina.

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (FIO-UNaM), Juan Manuel de Rosas 325 Oberá – Misiones.

e-mails: yohis.anto@gmail.com, nicolas.clauser@gmail.com, mariaxvallejos@gmail.com

---

### Resumen

Los conceptos de bioeconomía y economía circular, han surgido objetivo lograr el desarrollo sostenible. En este sentido, el concepto de biorrefinerías a partir de residuos lignocelulósicos busca establecer plataformas para obtener diversos productos que podrían integrarse a cadenas productivas ya establecidas, obteniendo productos químicos, fármacos, y alimenticios de alto valor y la generación energética. En la región del NEA se producen elevados volúmenes de residuos foresto y agro industriales, los cuales podrían utilizarse como materia prima para la obtención de diversos productos de elevado valor en una plataforma de biorrefinería. Para ello, es imprescindible identificar cuáles son los productos más promisorios que se pueden obtener. El objetivo del presente estudio es analizar y valorizar productos que podrían obtenerse en plataformas de biorrefinerías, aplicando diversos métodos y herramientas, teniendo en cuenta factores técnicos, tecnológicos y económicos, como así también las condiciones socioeconómicas y de mercado particulares de la región. Ello permitirá disminuir la incertidumbre de las empresas a la hora de seleccionar productos para ser manufacturados y comercializados. Además, permitirá sistematizar información para futuras inversiones y políticas sobre el desarrollo de procesos de base renovable. Sumado a la oportunidad de aprovechamiento de los residuos foresto y agroindustriales disponibles en la región.

*Palabras Clave* – biomateriales, bioproductos, biorrefinerías.

### 1. Introducción

#### 1.1 Antecedentes

El concepto de bioeconomía es una respuesta a la creciente demanda a nivel mundial de alimentos, combustibles, materiales y productos químicos, la menor disponibilidad de recursos fósiles y la necesidad de modelos productivos más sostenibles desde el punto de vista económico, social y ambiental. La necesidad de disminuir la dependencia de materias primas provenientes de recursos fósiles y las consecuencias del cambio climático requiere del uso de las nuevas tecnologías en los sectores productivos tradicionales que permita sustituir el modelo de industrialización actual (parcial o totalmente) mediante el uso eficiente de los recursos naturales y el desarrollo de patrones productivos más sostenibles desde el punto de vista económico, social y ambiental. Este tipo de economía comprende a varios sectores (forestal, agrícola, de alimentos, farmacéutico, producción de pulpa y papel) y parte de la industria química, biotecnológica y energética [1]. La bioeconomía

\*Autor en correspondencia.

también puede ser vista como una estrategia utilizada por la sociedad para luchar contra los problemas urgentes como el cambio climático, la competencia por los recursos naturales, la necesidad de la creación de nuevos puestos de trabajo y el desarrollo de las economías regionales [2].

Las proyecciones muestran que para el año 2030 un tercio de los productos químicos y materiales y la mitad del mercado farmacéutico estará basadas en la biomasa [3]. En las economías de América Latina, la bioeconomía ha comenzado a tener un rol importante en (i) el desarrollo y consolidación del sector de las biorrefinerías basadas a la producción de biocombustibles (etanol y biodiesel, principalmente), y (ii) el incremento de la producción de distintos bioproductos mediante las biorrefinerías (fertilizantes, bioplásticos, surfactantes, colorantes, lubricantes, etc.) [4]. En Argentina, la bioeconomía representó el 15,4% del producto bruto interno (PBI) en el año 2012 (valor agregado de 72.600 millones de dólares): sector primario (58%) e industria manufacturera (42%). Los biocombustibles representan solo el 3% de la bioindustria (79,5% biodiesel, 12% etanol de caña de azúcar y 8,5% biogás). Una de las ventajas de Argentina su gran competitividad en la producción de biomasa [4].

La foresto industria es muy importante en la región Noroeste de Argentina (Región NEA). El aserrín, la viruta, la corteza y los costaneros son los desechos más importantes de la industrialización primaria de las maderas de bosque implantado y nativo de esta región. Se estima que el 50% de la madera industrialmente procesada se convierte en residuos [5]. El aserrín de pino y eucalipto son una parte importante de estos residuos, los cuales hasta hoy no están siendo adecuadamente aprovechados [6]. Otro residuo de importancia en Misiones, es el bagazo de la caña de azúcar generado de la actividad agroindustrial [7].

La aplicación de nuevas tecnologías permitiría aprovechar mejor este tipo de residuos y valorizarlos. En el mundo se desarrollan cada día nuevas tecnologías para aprovechar mejor este tipo de residuos y valorizarlos mediante la fabricación de biomateriales, productos de química fina y biocombustibles. Estos bioproductos son productos o compuestos químicos de uso industrial o comercial y su mercado puede comprender a productos químicos de bajo valor, pero con considerable volumen de mercado (*commodities*) y las especialidades químicas de alto valor de mercado, pero con menores volúmenes de producción. En lo que respecta al sector forestal, la tendencia en el comercio internacional de productos forestales es hacia el incremento de los productos con mayor valor agregado, es así que el comercio de madera en rollo y aserrada muestra una tendencia a la baja, aumentando en cambio la de tableros, papel, cartón y otros subproductos de alto valor [8].

La celulosa, hemicelulosas y lignina son los principales componentes de la biomasa forestal y a partir de sus estructuras se pueden obtener numerosos derivados para un amplio rango de aplicaciones. Entre los principales subproductos derivados de la glucosa se encuentran el etanol y el butanol (USD 0,7/kg – USD 2/kg), los ácidos orgánicos (ácido láctico, ácido succínico, ácido

itaconico, etc.) (USD 1,5/kg – USD 8 /kg) y los bioplásticos como poliláctico [9]. Los ácidos orgánicos son buenos precursores de polímeros y solventes. Las hemicelulosas ricas en xilanos pueden ser convertidas a xilosa, xilitol (USD 5/kg – USD 20 /kg), furfural, hidrogeles, etc. La lignina puede ser utilizada en resinas fenólicas, poliuretano, antioxidantes y dispersantes, herbicidas, pesticidas y fungicidas. Otro producto de alto valor agregado a partir de la lignina es la vainillina (USD 15-17 /kg) como saborizante y aromatizante.

Las biorrefinerías pueden definirse como el uso eficiente del potencial total de la materia prima renovable, para generar, además de los productos tradicionales, una gama de productos químicos de alto valor agregado y energía. El esquema convencional de biorrefinería es el aprovechamiento de la materia prima para producir energía mediante la quema de los residuos y/o combustibles líquidos (etanol y biodiesel) [10]. En los últimos años el concepto de biorrefinerías integradas ha ganado interés [10]. Este concepto busca establecer una plataforma multiproductos que maximizaría los beneficios, obteniendo productos químicos, fármacos, y alimenticios de alto valor y la generación energética. Esta producción de múltiples productos es crucial [10,11].

La transformación de la biomasa en productos químicos tiene un potencial para reemplazar a aquellos que actualmente derivan de la petroquímica. El Departamento de Energía de Estados Unidos (el sector de Eficiencia Energética y Energía Renovable), realizó una clasificación de compuestos en lo que se conoce como “building blocks” a partir de materiales lignocelulósicos. La selección final de los “building blocks” se inició con una lista de más de 300 candidatos y fue finalmente reducida a 12 candidatos mediante el examen de los mercados potenciales y la complejidad técnica de las vías de síntesis: diácidos C4 (ácidos succínico, fumárico y málico), 2,5-ácido furano dicarboxílico, ácido 3-hidroxipropiónico, ácido aspártico, ácido glutárico, ácido glutámico, ácido itaconico, ácido levulínico, 3-hidroxibutirolactona, glicerol, sorbitol y xilitol/arabinitol [12]. Los criterios y consideraciones sobre el potencial de estos productos deben ser actualizados y reevaluados teniendo en cuenta los avances tecnológicos de los últimos años, las nuevas estructuras químicas consideradas de interés y las situaciones sociales, económicas y ambientales de cada región [13].

Para el caso de Argentina y de nuestra región (RNEA) será necesario tener en cuenta las condiciones particulares de mercado y socioeconómicas en la determinación de los productos más promisorios. El aprovechamiento de los residuos forestales y agroindustriales de la región para la obtención de productos de alto valor podría significar una alternativa de negocio más que atractiva para emprendimientos e inversores, favoreciendo el crecimiento de la región juntamente con la generación de empleos. La ayuda de herramientas, métodos de diseño de productos y procesos de la ingeniería industrial y química permitirán identificar en una primera instancia a los productos y subproductos de mayor potencial [14,15], lo cual significará un punto de partida importante para futuras investigaciones sobre productos de alto valor a partir de residuos forestales ya que la investigación orientada a productos y la investigación orientada a procesos son dos dimensiones

claves para determinar el potencial de estos productos [16]. El objetivo del diseño y análisis de productos es disminuir los riesgos y la incertidumbre que existe al momento de seleccionar un producto o familia de productos que podrían ser manufacturados y comercializados [17–20]. Entre los desafíos a enfrentar en el estudio de nuevos productos se pueden mencionar: (i) conocer los aspectos relacionados con el producto, como por ejemplo, la relación peso de producto versus costo de fabricación; (ii) tener en cuenta los cambios con el tiempo de las tecnologías, las demandas y la competencia con nuevos productos y (iii) comprender los aspectos económicos para obtener un máximo beneficio de en las inversiones iniciales.

## *1.2 Hipótesis y Objetivos*

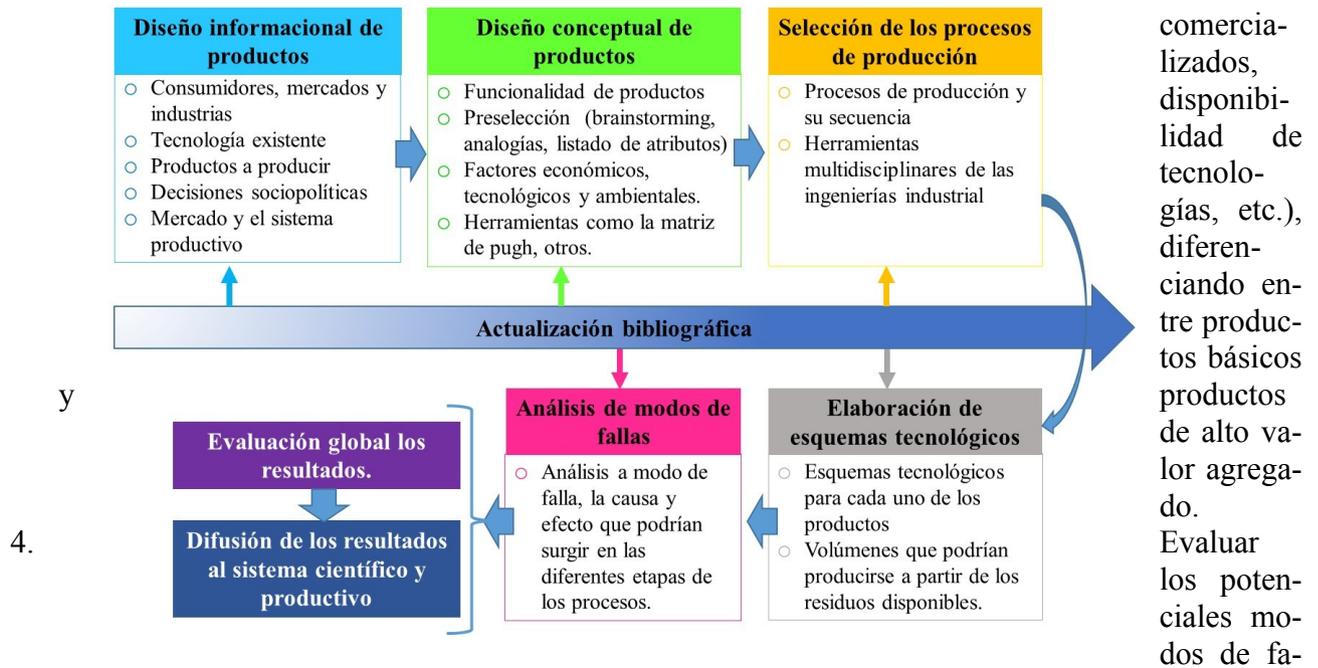
La Hipótesis de trabajo es que se puede establecer cuál es la mejor opción de productos de alto valor que pueden obtenerse a partir de residuos foresto y agroindustriales de la región NEA, que permitan aprovechar integralmente estos materiales lignocelulósicos mediante una plataforma de biorrefinería basada en la utilización de procesos de fraccionamiento y de conversión eficientes, económicos, de baja contaminación y aplicables a escala PYME.

El trabajo consiste en el desarrollo de metodologías que permitan analizar y determinar cuáles son los productos y subproductos más promisorios y cuáles serían los modelos de biorrefinería a aplicar para las diferentes alternativas. La originalidad del tema se basa en que se trata de insumos totalmente nuevos para esta aplicación y procesos adaptados a los mismos, por lo cual deben establecerse productos que podrían obtenerse a escala PYME con una mejor predicción de los procesos y operaciones en la instalación de una biorrefinería. Específicamente, se busca que los resultados logren un acercamiento a la transferencia de estas tecnologías a aserraderos o grupos de aserraderos concentrados en cooperativas.

El objetivo general de este trabajo es analizar y determinar los productos y subproductos más promisorios que podrían obtenerse a partir del fraccionamiento de residuos foresto y agroindustriales en extractivos, hemicelulosas, lignina y celulosa basados en diferentes esquemas de biorrefinería para su aprovechamiento integral a escala PYME.

Los objetivos específicos son:

1. Relevar del sector forestal y otras industrias de la región para determinar sus capacidades tecnológicas y de mano de obra, y la demanda de los bioproductos, químicos, fármacos, materiales, energía y otros, que podrían ser sustituidos o reemplazados.
2. Analizar los segmentos de mercado para los productos y “building bloks” previamente obtenidos en el PROCyP-IMAM y determinar los potenciales productos que podrían obtenerse a partir de los residuos forestales de la zona y sus aplicaciones (alimentos, biocombustibles, fármacos, químicos, etc.).
3. Caracterizar a cada uno de los productos seleccionados considerando los procesos de producción, su complejidad tecnológica, insumos necesarios, consumos energéticos y la materia prima consideradas para cada caso, y definir un orden de importancia de los productos en base a su potencial de mercado (teniendo en cuenta valores de mercado, tendencia de consumo, volúmenes



lla junto con las causas y efectos que podrían presentarse en las estrategias analizadas y proponer acciones que minimicen los riesgos.

5. Determinar los productos más promisorios a partir de cada fracción de biomasa, teniendo en cuenta la información técnica, tecnológica, comercial, que se podrían manufacturar en la región.
6. Diseñar diagramas de flujo de los procesos requeridos para la producción de los productos seleccionados en el marco de una biorrefinería de residuos de forestales y/o agroindustriales.
7. Determinar esquemas de biorrefinerías multiproductos aprovechando las diferentes fracciones de la materia prima (celulosa, lignina, hemicelulosas, extractivos).

## 2. Metodología propuesta

La metodología propuesta para el desarrollo del siguiente estudio es el siguiente (Figura 1):

**Figura 1.** Esquema metodológico propuesto.

1. Actualización bibliográfica: Se buscará continuamente información actualizada en las bases de datos Scopus, Scirus, Science direct, entre otras.
2. Diseño informacional de productos: Se identificarán las necesidades de los consumidores, los mercados y las industrias de la región consideran la tecnología existente y las que se necesitan desarrollar, el número de productos a producir, las decisiones sociopolíticas que podrían influir en el mercado y el sistema productivo, entre otras.
3. Diseño conceptual de productos: Se analizará la funcionalidad de los productos preseleccionados empleando métodos de concepción de alternativas como brainstorming, analogías, listado de atributos, entre otras, teniendo en cuenta factores económicos, tecnológicos y ambientales.
4. Selección de los procesos de producción: Se analizará los procesos requeridos y su secuencia para obtener los diferentes productos aplicando herramientas multidisciplinares de ingeniería industrial, ingeniería química, medio ambientales, entre otras.
5. Elaboración de esquemas tecnológicos para obtener cada producto. Se elaborarán esquemas tecnológicos para convertir los residuos lignocelulósicos a cada uno de los productos seleccionados y los volúmenes que podrían producirse a partir de los residuos disponibles en la región.
6. Análisis de modos de fallas: A partir de los esquemas desarrollados se analizará el modo de falla, la causa y efecto que podrían surgir en las diferentes etapas de los procesos seleccionados.
7. Evaluación global los resultados. Se definirá el esquema tecnológico más conveniente para la biorrefinería multiproductos a partir de residuos foresto y agroindustriales de la región en los que puedan producirse dos o más productos seleccionados.
8. Difusión de los resultados al sistema científico y productivo. Los resultados obtenidos serán publicados en revistas especializadas.

### **3. Resultados esperados y conclusiones**

En el presente proyecto, el cual se desarrollará mediante una beca del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), se analizarán diversos productos que podrían obtenerse en una plataforma de biorrefinería utilizando como materia prima residuos foresto y agroindustriales presentes en altos volúmenes y de bajo costo.

En este contexto se espera:

- Identificar las necesidades de los consumidores, los mercados y las industrias de la región.
- Caracterizar los diversos productos seleccionados considerando factores tecnológicos, técnicos y económicos.

- Identificar la tecnología existente y las que se necesitan desarrollar.
- Analizar los procesos requeridos y su secuencia para obtener los diferentes productos.
- Diseñar los esquemas tecnológicos para obtener cada producto.
- Evaluar potenciales modos de falla junto con las causas y efectos que podrían presentarse en las estrategias analizadas y proponer acciones que minimicen los riesgos.
- Definir un orden de importancia de los productos, diferenciando entre productos básicos y productos de alto valor agregado.
- Determinar el esquema más conveniente para la biorrefinería en los que puedan producirse dos o más productos seleccionados.

Con los datos obtenidos de los productos analizados, se espera determinar los productos más promisorios de la región que podrían desarrollarse a partir de procesos de biorrefinerías en la región NEA. Además, el presente trabajo, permitirá generar una base de datos que podría actualizarse con periodicidad, de manera de actualizar el orden de productos promisorios dependiendo de las condiciones técnicas, tecnológicas y económicas, permitiendo, la inclusión a futuro de factores ambientales, sociales, entre otros.

Este trabajo, servirá como punto de partida para futuras investigaciones en el área de diseño y desarrollo de productos. Además, la información generada podría emplearse para la analizar líneas de inversión de índole privada y la toma de decisiones a nivel político en cuanto a estrategias de inversión en procesos de base renovable.

#### 4. Referencias

- [1] Cristóbal J, Matos CT, Aurambout J, Manfredi S, Crist J. Environmental sustainability assessment of bioeconomy value chains. *Biomass and Bioenergy* 2016;89:159–71. doi:10.1016/j.biombioe.2016.02.002.
- [2] Annukka Näyhä. Towards Bioeconomy A Three-Phase Delphi Study on Forest Biorefinery Diffusion in Scandinavia and North America. Doctoral dissertation. 2012.
- [3] Mark Bünge. Biofuels: Putting Pressure on Petrol. *Renew Energy World* 2010. <http://www.renewableenergyworld.com/> (accessed May 13, 2015).
- [4] Wierny M, Coremberg A, Costa R, Trigo E, Marcelo R. Medición de la bioeconomía: cuantificación del caso argentino. 1a edición. Buenos Aires, Argentina.: 2015.
- [5] Area MC, Vallejos ME. Biorrefinería a partir de residuos lignocelulosicos. Editorial Academica Española; 2012.
- [6] Uasuf A, Hilbert J. El uso de la biomasa de origen forestal con destino a bioenergía en la Argentina. 2012.
- [7] Uasuf A, Hilbert J. El uso de la biomasa de Origen Forestal con destino a bioenergía en la Argentina. Buenos Aires, Argentina.: 2012.
- [8] Izurieta C. Estrategia forestal de la provincia de Misiones. Instrumentos para el diseño de políticas. 2000.
- [9] E4tech, RE-CORD, WUR. From the Sugar Platform to biofuels and biochemicals. Final report for the European Commission, contract No. ENER/C2/423-2012/SI2.673791. 2015.
- [10] Zhang Y-HP. Reviving the carbohydrate economy via multi-product lignocellulose biorefineries. *J Ind Microbiol Biotechnol* 2008;35:367–75. doi:10.1007/s10295-007-0293-6.
- [11] Ragauskas AJ, Williams CK, Davison BH, Britovsek G, Cairney J, Eckert CA, et al. The Path Forward for Biofuels and Biomaterials. *Science* (80- ) 2006;311:484–9. doi:10.1126/science.1114736.
- [12] Werpy T, Petersen G. Top Value Added Chemicals from Biomass Volume I — Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas Top Value Added Chemicals From Biomass Volume I :

- Results of Screening for Potential Candidates. NREL 2004;1:76.
- [13] Bozell JJ, Petersen GR. Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates - The US Department of Energy's "top 10" revisited. *Green Chem* 2010;12:539–54. doi:10.1039/b922014c.
- [14] Seider WD, Seader JD, Lewin DR. *Product and Process Design Principles-Synthesis, Analysis, and Evaluation*. 2nd ed. Wiley; 2003.
- [15] Sadhukhan J, Ng KS, Martinez E. *Biorefineries and Chemical Processes: Design, Integration and Sustainability Analysis*. First Edit. United Kingdom: Wiley; 2014. doi:10.1002/9781118698129.
- [16] Elmoselhy SAM. *Design for Profitability: Guidelines to Cost Effectively Manage the Development Process of Complex Products*. CRC Press; 2015.
- [17] Meyer A De, Loch CH, Pich MT. Managing project uncertainty: From Variation to Chaos. *MIT Sloan Manag Rev* 2002;43:60–7. doi:10.1109/EMR.2002.1032403.
- [18] Schrader S, Riggs WM, Smith RP. Choice over uncertainty and ambiguity in technical problem solving. *J Eng Technol Manag* 1993;10:73–99. doi:10.1016/0923-4748(93)90059-R.
- [19] Pessôa MVP, Trabasso LG. *The Lean Product Design and Development Journey*. 2017. doi:10.1007/978-3-319-46792-4.
- [20] Eversheim W. *Innovation Management for Technical Products Systematic*. Springer; 2009.
- [21] Clauser NM, Gutiérrez S, Area MC, Felissia FE, Vallejos ME. Techno-economic assessment of carboxylic acids, furfural, and pellets production in a pine sawdust biorefinery. *Biofuels, Bioprod Biorefining* 2018;12:997–1012. doi:10.1002/bbb.1915.