

## Propuesta de Estudio de Cambio de Escala de Procesos en Biorrefinerías de Residuos Forestoindustriales de la Región NEA, Argentina

Fit Cintia Gabriela <sup>a\*</sup>, Clauser Nicolás Martín <sup>a,b</sup>, Area María Cristina <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: cintiagabriela<sup>fit</sup>@gmail.com, nicolas.clauser@gmail.com, cristinaarea@gmail.com

---

### Resumen

El continuo crecimiento de la población mundial ocasiona un incremento en la demanda de alimentos, mayor dependencia energética, escasez del agua, degradación o agotamiento de diversos recursos. Por ello, han surgido los conceptos de bioeconomía y economía circular, los cuales tienen como objetivo lograr el desarrollo sostenible. Las biorrefinerías combinan tratamientos químicos y biotecnológicos para la obtención de diversos bio-productos a partir de biomasa, además han sido incluidas como una de las áreas estratégicas en diversos países del mundo. Existen diferentes métodos para estimar el comportamiento de los procesos mecánicos, químicos, biológicos, entre otros, de las plataformas de biorrefinerías, desde la escala de laboratorio a escala comercial. Sin embargo, con estos, la variabilidad en el escalado es difícil de cuantificar y su desconocimiento muchas veces genera una variación significativa en los indicadores finales (técnicos, económicos y ambientales). El presente estudio pretende analizar la variabilidad que existe en los métodos de estimación a diferentes escalas en procesos de biorrefinería. Con ello se podrá estimar con mayor precisión la factibilidad de procesos. Además, permitirá visualizar nuevas líneas de investigación en cuanto al escalado y desarrollo de procesos a escala comercial.

*Palabras Clave* – Bioeconomía, biomasa, biorrefinerías, cambio de escala, variabilidad.

### 1. Introducción

Los conceptos recientes de bioeconomía y economía circular son una respuesta a la creciente demanda de la población mundial en cuanto a materias primas y energías renovables, la necesidad de maximizar el aprovechamiento de los recursos (materias primas, insumos, entre otros), disminuir los residuos generados y mantener el valor y calidad de los productos finales. Dichos conceptos tienen un objetivo en común: lograr el desarrollo sostenible, el cual busca (de acuerdo con la UNESCO) satisfacer las necesidades actuales de las personas en términos económicos, sociales, culturales y ambientales, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones.

Para disminuir la dependencia de materias primas provenientes de recursos fósiles y las consecuencias del cambio climático, se requiere del uso de nuevas tecnologías en los sectores productivos tradicionales, que permitan 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, entre otros) y parte de la industria química, biotecnológica y energética [1,2].

A nivel mundial, se estima que más del 90% de los productos derivados del petróleo podrían ser reemplazados por materias primas renovables. Las proyecciones para el año 2030 muestran que un

\*Fit Cintia G.

tercio de los productos químicos, diversos materiales y la mitad del mercado farmacéutico estará basadas en estas materias primas [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) [4]. Recientemente, los Ministerios de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y de Agroindustria y de Producción firmaron el un acuerdo de trabajo para impulsar proyectos y programas conjuntos a partir de los respectivos ámbitos de competencia, generando sinergias entre INTA, INTI y CONICET [5]. Argentina posee una extensa superficie de bosque implantado (1,2 millones ha) concentrada principalmente en las provincias de Misiones y Corrientes (64%). En esta zona se localiza la cadena foresto industrial del país. En Misiones, aproximadamente de 2.600.000 millones de toneladas (pino y eucaliptus) por año son procesadas por el 60% de los aserraderos existentes [6]. Sobre el volumen total procesado, alrededor del 50% son desperdicios, incluyendo aproximadamente el 9-15% del aserrín. La obtención de biomateriales y biocombustibles a partir de estos residuos es una alternativa importante, por el bajo costo, gran disponibilidad de estas materias primas y el beneficio ambiental que aportaría. En este sentido, el desarrollo de biorrefinerías que combinan tratamientos químicos y biotecnológicos han sido incluidas como uno de los núcleos socioproductivos estratégicos (NSPE) en el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Argentina Innovadora 2020).

El concepto de biorrefinería es análogo al de una refinería de petróleo y se basa en el uso eficiente del potencial total de la materia prima renovable para generar, además de los productos tradicionales, una gama de productos químicos, bioproductos y biomateriales de alto valor agregado y energía [7]. Los bioproductos y los biocombustibles han ganado interés durante los últimos años, ya que son un medio para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y una solución para reducir la dependencia del petróleo.

Bajo el concepto de biorrefinería, el aprovechamiento de los residuos generados por las actividades foresto industriales como materia prima para la obtención de productos con valor agregado, es una estrategia para mejorar la rentabilidad de estos sectores y atenuar su impacto ambiental.

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 itacónico, etc.) (USD 1,5/kg - USD 8/kg) y los bioplásticos como el poliláctico [8]. 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/kg - USD 17/kg) como saborizante y aromatizante.

Las investigaciones realizadas por el Programa de Celulosa y Papel (PROCyP) en el área de biorrefinería, se centran en la búsqueda de procesos más competitivos, que puedan ser utilizados por parte de los pequeños y medianos productores regionales. Estos trabajos han generado una gran cantidad de datos experimentales sobre condiciones de procesamientos, rendimientos, composiciones de las fracciones (sólidas o líquidas), datos cinéticos, entre otros, que serán usados para la simulación de los procesos. Además, se han realizado numerosos estudios técnicos y económicos de diversos esquemas de biorrefinería [9–12].

Estos análisis técnico-económicos convencionales, usados en el diseño de plantas industriales, pueden ser empleados en las primeras etapas de diseño de una biorrefinería. En este caso, los costos de capital, operación y mantenimiento se determinan utilizando métodos simplificados (factor de costo-capacidad) o detallados (datos de equipos y cotizaciones de proveedores). Esto conlleva a cierto grado de incertidumbre en los resultados debido a los diferentes niveles de precisión en los métodos de análisis utilizados. Un estudio reciente demostró la gran variabilidad que implica realizar un análisis técnico económico para un mismo esquema, teniendo en cuenta diferentes suposiciones económicas y financieras [13]. En otro estudio se puede observar que existe variación dependiendo de los métodos empleados para estimaciones de las diferentes variables de costos y a diferentes escalas [14].

Por lo tanto, es necesario determinar la variabilidad que existe en los métodos de estimación a diferentes escalas, teniendo en cuenta costos de equipamientos, inversión, consumos energéticos a diferentes escalas, consumo de insumos y estrategias de integración, entre otras. Ello permitirá determinar y analizar con mayor precisión las alternativas de valorización que podrían desarrollarse en la región y además, definir alternativas que podrían integrarse a cadenas establecidas actualmente a nivel comercial en la región.

En el presente trabajo se propone determinar la variabilidad en el cambio de escala entre la escala laboratorio, piloto, demostrativa y comercial en procesos de biorrefinerías a partir de residuos foresto industriales y la viabilidad técnica y económica de integrar estos procesos a plantas de procesamiento de biomasa existentes en la región NEA.

Para el desarrollo del plan actual se requiere una recopilación de información disponible en cuanto a los procesos desarrollados, equipos necesarios, tecnologías disponibles, insumos energéticos, y materias primas más importantes, entre otros. Toda esta información será obtenida de los trabajos realizados en el PROCyP, bibliografía actualizada y de diversas industrias de procesamiento de biomasa de la región.

## 2. Hipótesis y Objetivos

El presente plan de trabajo se enmarca en el “Plan Argentina Innovadora 2020”, en el tema estratégico "Sector Energía e Industria, Biorrefinerías: Aprovechamiento de recursos biomásicos para la generación de bioenergía y compuestos químicos"[15], y se consolida como uno de los ejes temáticos del “Plan Estratégico Forestal y Foresto Industrial Argentina 2030” [16].

El proyecto se basa en la hipótesis de que se pueden desarrollar procesos de biorrefinerías a escala comercial y obtener productos de alto valor a partir de residuos forestales de la región NEA, integrándose a esquemas ya existentes de procesamiento de biomasa (plantas de generación energética) y aprovechando integralmente estos materiales lignocelulósicos mediante la utilización de procesos de fraccionamientos eficientes, económicos y de baja contaminación.

Actualmente existen pocos casos de desarrollos a escala comercial basados en estas materias primas a nivel internacional y generalmente la información sobre estos desarrollos es confidencial.

### 2.1. *Objetivo General*

El objetivo general del presente trabajo es determinar la variabilidad en el cambio de escala entre la escala laboratorio, piloto, demostrativa y comercial en procesos de biorrefinerías a partir de residuos foresto industriales y evaluar la viabilidad técnica y económica de integrar estos procesos a plantas de procesamiento de biomasa de la región NEA.

### 2.2. *Objetivos Específicos*

Los objetivos específicos abarcan:

- Diseñar y modelar los diagramas de flujo para el cálculo de los balances de masa y energía de los esquemas tecnológicos propuestos.
- Analizar y estimar los costos y consumos de los procesos seleccionados a diferentes escalas (laboratorio, piloto, demostrativa, comercial), analizando los costos de equipamientos, insumos, consumos energéticos, entre otros.
- Analizar, para las diferentes escalas en estudio, la variabilidad existente en factores como: costo de equipamientos, insumos, consumos energéticos, rendimientos, entre otros.
- Estimar los flujos de costos-ingresos, los indicadores económicos (TIR, VAN, etc.) de los esquemas del proyecto para el desempeño técnico deseado y el rendimiento económico de los esquemas seleccionados en el marco de las consideraciones económicas adoptadas.
- Analizar alternativas de integración energética y de procesos para las escalas comerciales en estudio, de manera de minimizar los consumos energéticos y aprovechar las diferentes corrientes (líquidas, sólidas y gaseosas) que se generan.
- Evaluar alternativas de reutilización y recuperación de los efluentes generados en los esquemas analizados a escala comercial.
- Evaluar los posibles riesgos y la sensibilidad de los esquemas analizados teniendo en cuenta factores de costos y operacionales.

### 3. Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo se realizará una extensa revisión bibliográfica sobre los diversos procesos desarrollados, metodologías de diseño, escalado, estrategias de integración, entre otros, aplicados a procesos de biorrefinerías. Se seleccionarán los productos y subproductos que podrían obtenerse a partir en esquemas de biorrefinerías. Se procederá con el diseño y respectivos cálculos para luego realizar el análisis de variabilidad en el cambio de escala y el análisis económico del proyecto. Se evaluarán posibles modificaciones del diseño del proceso requeridas para minimizar los consumos. Además, se evaluará el impacto de las diferentes variables ambientales y la sustentabilidad de los esquemas de biorrefinería propuestos. Finalmente, se seleccionará el esquema tecnológico más conveniente desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

En la figura 1 se detalla la metodología propuesta.

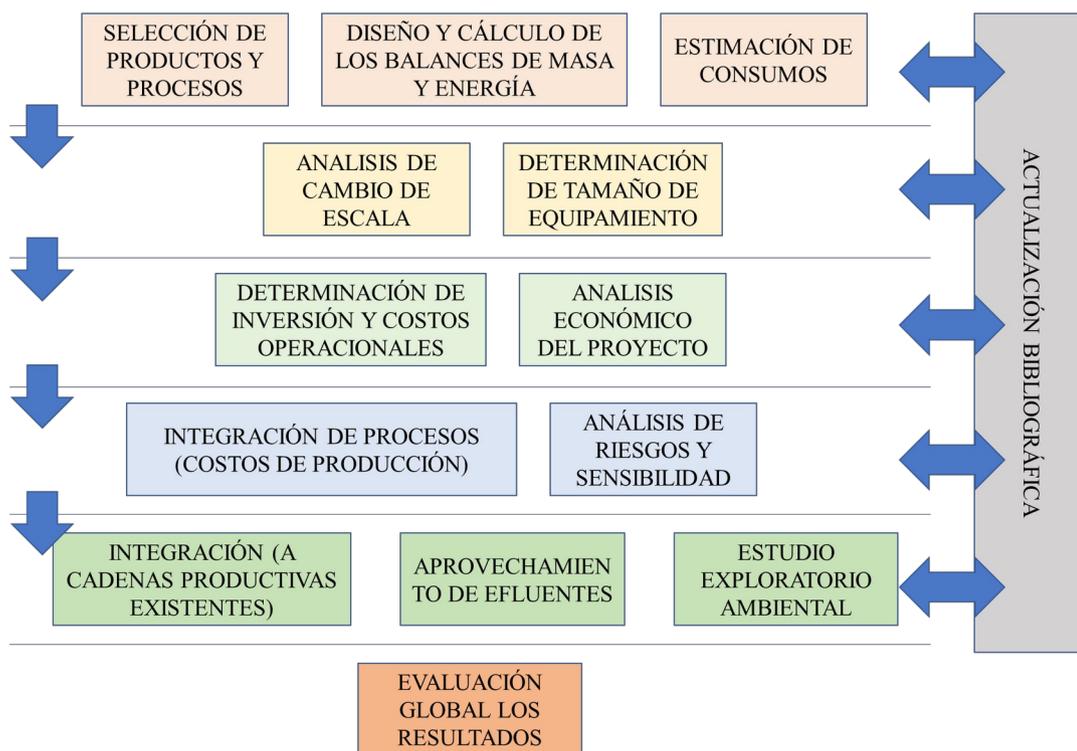


Fig. 1. Metodología desarrollada para la propuesta de investigación.

### 4. Resultados Esperados y Conclusiones

El plan de trabajo presentado se realizará mediante una Beca del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). A partir de la metodología propuesta, se

desarrollarán y analizarán diversos esquemas de biorrefinería a partir de residuos lignocelulósicos de la región.

Se determinarán, a diferentes escalas, aspectos técnicos y económicos como:

- i) tipo y volumen de materias primas empleadas;
- ii) condiciones de operación de los procesos;
- iii) insumos necesarios para los diversos procesos;
- iv) consumos energéticos y servicios (vapor, electricidad, agua de enfriamiento, entre otros);
- v) volúmenes de productos obtenidos;
- vi) alternativas de integración de procesos;
- vii) alternativas de mejoras de los procesos;
- viii) indicadores económicos;
- ix) validación experimental de esquemas seleccionados;

Con los datos obtenidos de los procesos analizados, se espera determinar aquellos datos técnicos y económicos que permitan el cambio de escala de procesos en biorrefinerías que han sido desarrollados a nivel laboratorio y piloto para la producción de bioproductos y biomateriales. Además, el estudio permitirá establecer nuevas líneas de investigación en el escalado e implementación de procesos de biorrefinerías a escala comercial.

Adicionalmente, se espera lograr la integración de los esquemas propuestos a plantas industriales existentes de dendroenergía. Además, esto serviría como base de datos para posibles inversores y para la toma de decisiones a nivel político en cuanto a líneas de inversión en tecnologías verdes.

## 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 Büngrer. 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] MinCyT. Bioeconomía Argentina n.d. <http://www.bioeconomia.mincyt.gob.ar/simposios/> (accessed August 8, 2017).
- [6] Ministerio de Agroindustria. Informe del relevamiento censal en la provincia de Misiones. 2018.
- [7] Huang H-J, Ramaswamy S, Tschirner UW, Ramarao BV. A review of separation technologies in current and future biorefineries. *Sep Purif Technol* 2008;62:1–21. doi:10.1016/j.seppur.2007.12.011.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Clauser NM, Gutiérrez S, Area MC, Felissia FE, Vallejos ME. Small-sized biorefineries as strategy to add value to sugarcane bagasse. *Chem Eng Res Des* 2016;107:137–46. doi:10.1016/j.cherd.2015.10.050.
- [11] Clauser NM, Gutiérrez S, Area MC, Felissia FE, Vallejos ME. Alternatives of small-scale biorefineries for the integrated production of xylitol from sugarcane bagasse. *J Renew Mater* 2018;6:139–51. doi:10.7569/JRM.2017.634145.
- [12] Clauser NM, Felissia FE, Area MC, Vallejos MEMME, Gutiérrez S, Clauser M, et al. An energy-saving re-use strategy for the treatment of lignocellulosic biomass applied to the production of levulinic acid. *J Clean Prod* 2020;257. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120549.
- [13] Brown TR, Wright MM. A Framework for Defining the Economic Feasibility of Cellulosic Biofuel Pathways. *Biofuels* 2015;5:579–90. doi:10.1080/17597269.2014.1003700.
- [14] Abbati C. Early-stage Assessment and Risk Analysis for Investments in the Bio-based Industry. Doctoral dissertation. North Carolina State University, 2019.
- [15] MINCyT. Argentina Innovadora 2020. Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. 2015.
- [16] MAGyP y MINCyT. Plan Estratégico Forestal y Foresto Industrial Argentina 2030. 2019.