

## Explorando redes de simbiosis industrial: sinergias impulsadas por el bioetanol

*Mapping industrial symbiosis networks: synergies driven by bioethanol*

González, Sofía

 Sofía González

[sofia\\_gonzalez@mi.unc.edu.ar](mailto:sofia_gonzalez@mi.unc.edu.ar)

Facultad de Ciencias Económicas,  
Universidad Nacional de Córdoba

### Pampa. Revista Interuniversitaria de Estudios Territoriales

Universidad Nacional del Litoral, Argentina

Universidad de la República, Uruguay

ISSN: 1669-3299

ISSN-e: 2314-0208

Periodicidad semestral

Núm. 30, e0084, 2024

[revistapampa@unl.edu.ar](mailto:revistapampa@unl.edu.ar)

Recepción: 28 Febrero 2024

Aceptación: 12 Agosto 2024

DOI: <https://doi.org/10.14409/pampa.2024.30.e0089>



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0  
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

**Resumen.** Este trabajo se enfoca en explorar las redes de Simbiosis Industrial originadas por el bioetanol de maíz en la provincia de Córdoba, Argentina, con el fin último de contribuir al conocimiento de este fenómeno y a los factores que lo impulsan, para el aprovechamiento de los residuos y subproductos de la agroindustria. Se realizaron 16 entrevistas a propietarios o gerentes de plantas de bioetanol, de biogás, de feedlots, productores de alimentos y productores de gas carbónico. Se encontraron dos grandes redes de simbiosis industrial, con 28 intercambios de residuos y subproductos a los que se les agrega valor y son materias primas de otras organizaciones. Este trabajo amplía el conocimiento sobre la implementación y los efectos positivos de la simbiosis industrial, particularmente los beneficios en términos de triple impacto (económico-social-ambiental) y las ventajas competitivas asociadas para el sector industrial. Se encontró que es clave para el desarrollo de una red de simbiosis la apertura a la colaboración de las organizaciones que son parte.

**Palabras clave:** Bioetanol, Simbiosis industrial, Residuos Agroindustriales, Subproductos.

**Abstract.** *This study aims to explore industrial symbiosis networks derived from corn ethanol in the province of Córdoba, Argentina. The goal is to contribute to the understanding of this phenomenon for the utilization of agro-industrial waste and by-products. 16 interviews were conducted with owners or managers of ethanol plants, biogas facilities, feedlots, food producers, and carbon dioxide producers. Two industrial symbiosis networks were identified, comprising 28 exchanges of waste and by-products that are used as raw materials for other organizations. This work expands knowledge on the implementation and positive effects of industrial*

*symbiosis, particularly its triple impact benefits (economic, social, environmental), and associated competitive advantages for the industrial sector. The study revealed that the key factor in the development of a symbiotic network is the willingness of the organizations to engage in collaborative activities.*

**Keywords:** *Agro-industrial waste, By-products, Bioethanol, Industrial Symbiosis.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los residuos provenientes de la agroindustria plantean serias inquietudes debido a su impacto en la degradación ambiental. Estos residuos suelen ser generados en cantidades significativas y su gestión deficiente puede resultar en la emisión de gases de efecto invernadero, tales como metano y dióxido de carbono, así como un impacto sobre la contaminación del suelo como del agua, exacerbando el problema del cambio climático (FAO, 2020; Vea et al, 2018).

Sin embargo, así como generan grandes volúmenes de residuos y subproductos de biomasa, la agroindustria tiene un gran potencial para aceptar estos y transformarlos. En lugar de ser considerados meramente como desechos, tienen el potencial de ser transformados en bioenergía y biomateriales permitiendo así sustituir los insumos derivados de fuentes fósiles y reducir la dependencia de esta industria de recursos no renovables (Bijon et al., 2022; Harchaoui y Chatzimpiros, 2019; Sherwood, 2020). Además, la producción de este tipo de materiales utilizando biomasa residual presenta la ventaja de no competir directamente con la producción de alimentos. Este aspecto es de suma importancia, especialmente considerando las proyecciones que indican que los cultivos agrícolas no podrán satisfacer la creciente demanda de alimentos, así como de biomateriales y bioenergía, para el año 2050 (Colwill et al., 2012).

A pesar de los numerosos avances y estudios destinados a convertir estos desechos, su aplicación práctica es limitada. Los residuos orgánicos continúan siendo subestimados en términos de su valor; la biomasa residual, derivada de actividades agrícolas y ganaderas, no se aprovecha debidamente generando significativos impactos negativos en el medio ambiente. En este contexto, Argentina se destaca por ser uno de los países que cuenta con un gran volumen y variedad de biomasa disponible que no es aprovechada, considerada solo como residual de los cultivos y la ganadería, pudiendo alcanzar hasta un 80% del total de los cultivos (FAO, 2020; IICA, 2019).

Es por lo anterior que institutos internacionales como el IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agroindustria) explican que es necesario “*impulsar la construcción y el fomento de redes de valor [...] Actualmente son casi inexistentes debido a que los actores no trabajan con un enfoque de red, sino más bien con una perspectiva de cadena*” (IICA, 2021, p.33). Esta perspectiva de trabajo en red es coincidente con la que propone el marco teórico de Simbiosis Industrial (SI), un modelo de negocio de la economía circular, esta proporciona un enfoque útil para hacer frente a estos problemas y conectar a los productores de residuos con aquellos que los utilizan como materia prima en sus procesos.

La SI implica un proceso de sinergia entre dos o más empresas que intercambian materiales, agua, energía y/o subproductos, interactuando en un proceso colaborativo y dinámico, que deriva en múltiples beneficios económicos, sociales y ambientales (Chertow, 2000, 2007). Se presenta como una herramienta idónea para abordar el problema de la biomasa residual en la agroindustria. Estudios previos como los de Abriat y Masut (2021) demostraron que en Argentina existen relaciones de SI incipientes, organizaciones que intercambian residuos y subproductos, sin embargo, remarcan que hay una necesidad de profundizar sobre el estado de la SI en el país y mapear los distintos casos para poder resaltar y aprovechar los beneficios de este tipo de sinergia.

Chertow (2007) explica que para mapear redes de SI, primero se deben encontrar los “núcleos” que están ocultos, es decir aquellos intercambios bilaterales o multilaterales que tienen el potencial de expandirse pero que aún no cumplen todos los requisitos para ser una red completa de simbiosis industrial. Es así como, luego de una primera exploración de distintas cadenas de valor agroindustriales, se decide comenzar el mapeo por los núcleos de SI originados por el bioetanol de maíz, debido a que en su proceso de producción se generan múltiples subproductos factibles para el intercambio que permiten obtener el máximo valor del grano de maíz.

Es por ello por lo que el objetivo final de este trabajo busca explorar las redes de simbiosis industrial generadas por el bioetanol de maíz en la provincia de Córdoba, Argentina, con el fin de

contribuir al conocimiento de la SI, indagando sobre los factores que son impulsores para la conformación de estos intercambios.

## 2. SIMBIOSIS INDUSTRIAL: ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS

En el marco de una evolución necesaria del pensamiento económico convencional, surge la Economía Ecológica (EE), propuesta por una corriente no ortodoxa. Esta busca fundar el pensamiento económico en las realidades y restricciones del planeta, promoviendo una verdadera investigación transdisciplinaria para la consecución de nuevas políticas económicas y ambientales (Estevan, 1995; Daly y Farley, 2006). Uno de los pilares de la EE es el concepto de circularidad de materiales, surgiendo así el término de Economía Circular (EC), en la que se entiende al flujo de materiales como un circuito cerrado, lo que conlleva a que todos los actores del sistema deben pasar del pensamiento lineal a uno circular, reduciendo o incluso eliminando el consumo de recursos naturales, alargando el ciclo de vida de los materiales y cerrando el ciclo de los residuos (Lieder y Rashid, 2016; Lüdeke-Freund, 2019; Nikolaou, 2021). La EC se presenta como una oportunidad para una recuperación económica más sostenible, aumentando la capacidad de adaptación a las crisis y los cambios, haciendo que la economía sea más sostenible y competitiva, y minimizando la dependencia de proveedores externos (Cifuentes-faura, 2021; Belaud, 2019; Saavedra, 2018; Sullivan, 2018).

La aplicación de este sistema en la industria se puede ver a través de la disciplina de la Ecología Industrial (EI), considerada también una de las escuelas de pensamiento de la EC (Lieder y Radish, 2016; Erkman, 1997). Esta contempla a la industria como un ecosistema, en el que el consumo de energía y materiales es optimizado, los efluentes de un proceso sirven como materia prima para otro y los desechos se minimizan (Chertow, 2000; Frosch y Gallopoulos, 1989; Nikolaou, 2021). Chertow (2000) explica que la EI se puede ver en tres niveles según el grado de alcance, se puede enfocar solo en la empresa, a nivel interempresarial y a nivel regional. La SI se encuentra en este segundo nivel, siendo un estadio de intercambio más complejo; este concepto se origina en la EI y se considera como un modelo de negocio para la EC.

La expresión de simbiosis proviene del concepto biológico de relaciones en la naturaleza, en las cuales dos especies totalmente diferentes, que de otra manera no estarían relacionadas una con la otra, intercambian materiales, energía o información produciendo beneficios mutuos (Chertow, 2000; Miller, 1994). Al trasladarse al campo de la EI, se interpreta a la SI como la interacción entre distintas empresas:

*“en un enfoque colectivo de ventaja competitiva, que implica el intercambio físico de materiales, energía, agua, y subproductos [...] que, al trabajar juntas, luchan por un beneficio colectivo mayor que la suma de los beneficios individuales que podrían lograr actuando solas”* (Chertow, 2000, pp. 314- 315).

Es decir, la SI implica un proceso de sinergia entre dos o más empresas que intercambian materiales, agua, energía y/o subproductos, interactuando en un proceso colaborativo y dinámico.

Este tipo de sinergia implica múltiples beneficios, tanto económicos como ambientales y sociales (Abriat y Masut, 2021; Chertow y Miyata, 2011; Chertow, 2007; Martin y Harris, 2018; Neves et al., 2020). En la primera dimensión, se encuentran mejoras como la disminución de costos de materia prima y logísticos, así como de aquellos que provienen de la eliminación de desechos, mayores ingresos por venta de los residuos y aumento de la competitividad; incluso se ve en este tipo de aglomeraciones el aumento en la disponibilidad de acceso al capital, a innovación tecnológica y a la eficiencia de la infraestructura. Respecto a los beneficios ambientales, los modelos de SI impactan en una reducción de los GEI, menor consumo de recursos naturales y energía, y disminución de los residuos enviados a vertederos o basurales a cielo abierto. La dimensión social, si bien es la menos estudiada, también se ve beneficiada a partir de la creación de nuevos empleos, mejora la calidad de vida y condiciones sociales y económicas de los recursos humanos.

Al abordar el concepto de SI, es fundamental destacar que no se limita al simple intercambio de residuos o subproductos como materia prima entre organizaciones. Si así fuera, desde las grandes industrias recicladoras hasta las organizaciones de valorización textil se considerarían como SI. Para

distinguir estos intercambios de la SI, Chertow (2007) propuso un modelo “3-2 heurístico”: al menos tres entidades diferentes deben intercambiar al menos dos tipos de recursos. Ninguna de las entidades involucradas debe tener como actividad primaria el reciclaje. Estas organizaciones pueden estar separadas o configuradas a través de parques eco-industriales, no siendo necesaria, ni suficiente, la proximidad geográfica entre ellas (Lombardi y Laybourn, 2012). No se trata solo de una cadena de valor, sino de un conjunto de ellas que forman una red de interdependencias entre empresas (Herczeg et al., 2018). Es un sistema muy complejo en donde interactúan organismos individuales que tienen sus propios intereses y que, al actuar de manera colectiva, deben equilibrarse con otros.

Además, se generan ciertos riesgos e incertidumbres propios de este tipo de sinergia. Uno de los inconvenientes que pueden surgir son los problemas de oferta-demanda. Los residuos o subproductos no se generan por solicitud, son un bien que no se genera a demanda, sino que es un “resto” de la producción. Los socios se deben asegurar que van a recibir de manera constante lo que para ellos ahora es materia prima para producir. Por otro lado, si bien uno de los grandes beneficios de la SI es la reducción de costos, también se originan nuevos flujos de dinero provenientes de las nuevas actividades, tales como el reciclaje de los residuos para ser preparados para su reutilización, la venta y el transporte de estos. Es en estos nuevos escenarios donde se generan incertidumbres entre los participantes de la SI, en primer lugar, sobre quién se va a hacer cargo de esas actividades y costos, estas nuevas redes implican nuevas actividades correspondientes a la recolección, tratamiento y almacenamiento de subproductos y su entrega a otras (Herczeg et al., 2018; Lahti et al., 2018; Yazan y Fraccascia, 2020). Los autores explican que estos conflictos, de cuántos residuos hay que “producir”, cuánto se demanda, quién pagará los nuevos costos, quién realizará las nuevas tareas, es una de las razones por las cuales los mercados de residuos están subdesarrollados. Esto conlleva también a que exista una incertidumbre contractual sobre estas actividades con nuevos socios, la literatura resalta la necesidad de tener capacidad para formular contratos detallados que faciliten la transformación del modelo de negocio (Dossa et al., 2020; Maaß y Grundmann, 2018).

Uno de los actores que aparece como crucial en la literatura para regular y solucionar alguno de estos inconvenientes, es el Estado (Chertow, 2007; Domenech, et al., 2019; Gibbs, 2003; Mortensen y Kornov, 2019; Neves et al., 2020; Yu et al., 2015). Su rol aparece como crucial, tanto para el surgimiento de una nueva simbiosis, como para su correcto funcionamiento. Mortensen y Kornov (2019) expresan que *“la política es un factor muy importante cuando se trata de generar conciencia sobre las posibilidades de SI e interés por obtener sus beneficios”* (p. 61), es el responsable de fomentar oportunidades para nuevos flujos de materiales y regular estos procesos. Además, es el actor que da forma al contexto jurídico institucional, este es uno de los factores que puede explicar la diferencia en el desarrollo de EC y SI en las distintas regiones, se vuelve un determinante para desarrollar este tipo de sinergias (Abriat y Masut, 2021; Domenech, et al., 2019; Neves et al., 2020; Yu et al., 2015).

### 3. ANTECEDENTES

Un rasgo distintivo de las experiencias de SI en la actualidad es su concentración geográfica en el norte global, principalmente en EE. UU., Suecia, Reino Unido y Dinamarca (Neves et al., 2019). En el sur global se encuentran múltiples casos en China, país en donde según la literatura se encuentran más de 300 redes (Dong et al., 2013).

En Latinoamérica, a partir del relevamiento realizado por la autora, se encontraron estudios e iniciativas en los que, gran parte de ellos, se limitan al concepto de SI solo como el aprovechamiento del residuo de una empresa en materia prima de otra, sin tener en cuenta otras dimensiones como la de una red de intercambios. Existen iniciativas para promover la SI bajo este concepto, conectando a los generadores de residuos con aquellos que lo utilizan; por ejemplo, en 2021<sup>1</sup> se desarrolló Simbiosis Industrial Ecuador, una plataforma que se limita a los residuos sólidos de los procesos industriales, impulsada por organismos gubernamentales.

---

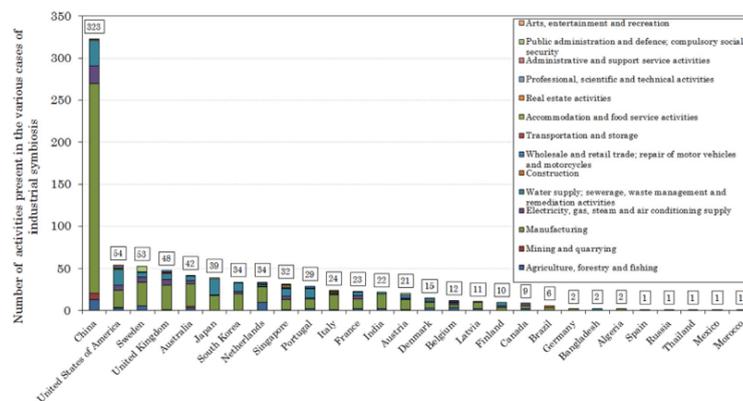
<sup>1</sup> Ver página oficial de la plataforma Simbiosis Industrial Ecuador: <https://simbiosisindustrialec.com/>

La OIT financió estudios en Colombia y Argentina sobre el impacto en el empleo de la SI, de esta manera se relevaron algunos intercambios emergentes de simbiosis (Abriat y Masut, 2021; Ríos y Rodríguez, 2021). En Argentina, se estudiaron los casos de residuos de madera en Corrientes, -que se utilizan para generar energía eléctrica- y de suero lácteo en la región pampeana – que se reutiliza para producir suero en polvo.-. Los autores concluyeron que la SI genera un impacto positivo en la cantidad de empleo, en el caso de la madera en un 52% y en el de suero un 19%. Los mayores impactos de la SI ocurren en la cadena de valor, debido a los cambios en los procesos productivos. Además, detallan en su relevamiento que la SI en Argentina, ocurre en una gran diversidad de sectores económicos en todo el país. Específicamente encontraron más de 15 casos de aprovechamiento de residuos y subproductos, predominante en Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Indican que la mayoría de los casos provienen de los sectores de recolección o recupero de residuos sólidos urbanos y plásticos (Abriat y Masut, 2021), lo que no implica que se conformen redes de SI, sino que simplemente se transforman residuos en materia prima.

Respecto a las redes de simbiosis, el ejemplo de éxito que se utiliza como gran caso de estudio a nivel internacional es el de Kalundborg, Dinamarca. Esta red comenzó a emerger en el año 1961 con un primer intercambio de aguas residuales entre la municipalidad de Kalundborg y una refinería; luego en 1972 y 1973 se involucran nuevas entidades, una empresa productora de yeso y otra de energía, intercambiando el exceso de gas y agua. Desde entonces se fueron sumando organizaciones a esta red de sinergia y en 1989 se le atribuyó el término de Simbiosis Industrial. Actualmente están asociadas 14 organizaciones con más de 20 intercambios, ya sea de agua, energía o materiales, como se puede ver en la Figura 2. Los socios aseguran que, además de aumentar sus ganancias, este modelo genera confianza y aumenta la capacidad de innovación dentro de su comunidad (Kalundborg symbiosis, en línea). Este modelo está instalado desde hace cinco décadas, por lo que sus relaciones complejas se explican por el tiempo que han tenido para instalarse y madurar. Los actores involucrados en esta red se identifican como una comunidad, cuentan con una página web en la cual se puede leer su visión, misión y objetivos, y cómo está organizado a nivel de recursos humanos.

En cuanto a las actividades con más potencial de desarrollar sinergias de SI, las más recurrentes son las de manufactura, por su capacidad de transformar residuos en recursos, luego le siguen las de suministro de agua, y electricidad, gas y vapor; la cuarta actividad que sobresale en los casos relevados son las relacionadas con la biomasa, actividades de agricultura, forestales y de pesca. En menor medida se encontraron actividades de minería, construcción, alimentos, transporte, comercio, arte y entretenimiento, y actividades estatales (Neves et al., 2019). En la figura 2 se encuentra la distribución de estas actividades por país, donde se observa que en China se encuentra la mayor cantidad de relaciones.

Figura I  
Distribución de las actividades de la Simbiosis Industrial, por país y actividad



Fuente: Neves et al (2019), p.16

#### 4. METODOLOGÍA

Este trabajo es parte de la tesis doctoral de la autora. La metodología seleccionada para el relevamiento y análisis de datos es cualitativa, se realizó un estudio exploratorio y descriptivo a través del método de casos (Stake, 2005; Martínez Carazo, 2006). Este método es adecuado para dar respuesta a los objetivos de investigación debido a que indaga sobre un fenómeno contemporáneo en profundidad, en este caso el desarrollo de la SI, abarcando condiciones contextuales importantes en su entorno (Yin, 2009).

Para poder comenzar a explorar las redes, se siguieron las indicaciones de Chertow (2007), quien explica que para mapear redes de SI, primero se deben encontrar los núcleos que están ocultos, es decir aquellos intercambios bilaterales o multilaterales que tienen el potencial de expandirse pero que aún no cumplen todos los requisitos para ser una red completa de simbiosis industrial. De esta manera se realizó un estudio exploratorio con múltiples fuentes de datos secundarias (informes técnicos, artículos científicos, reportes de organismos, videos institucionales, escucha de entrevistas, etc.). Se decidió comenzar con la agroindustria debido a que en los casos de éxito relevados en la literatura está presente como actor industrial relevante y partícipe de la red de SI (Mirata, 2004; Neves et al., 2019; Short et al., 2014; Velenturf, 2016), sumado a la importancia que tiene este sector a nivel económico productivo en Argentina. Existen estudios que demuestran que a través de la SI se pueden sustituir insumos no renovables por renovables, como los nutrientes necesarios para la agricultura y ganadería (Bijon et al 2022; Koppelmäki et al., 2021).

Se decidió comenzar por los núcleos que conforman el bioetanol de maíz en la provincia de Córdoba debido a sus subproductos y capacidad de comercializarlos, y la importancia que estos tienen para el desarrollo provincial. En primer lugar, a partir del proceso de bioetanol de maíz se pueden obtener: 1) granos destilados: Burlanda seca (DDGS) o húmeda (WDGS) con grandes propiedades nutricionales para la alimentación animal en tambos o en feedlots y potenciales de exportación; 2) Vinaza: para generar energía, ya sea térmica o eléctrica; 3) Aceite de maíz: para biodiésel u otros usos industriales; 4) Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>): se recupera este componente para utilizarlo en la industria alimenticia, especialmente bebidas carbonatadas, en medicamentos, producción de cemento y equipos anti incendios como matafuegos (Torroba, 2021). De hecho, en el proceso de producción de bioetanol, aproximadamente el 30% corresponde al producto principal (el alcohol), otro 30% se constituye como burlanda húmeda, mientras que el restante 30% se libera como CO<sub>2</sub> (IICA, 2020). Por consiguiente, resulta imperativo hallar un destino adecuado para estos materiales, dado que representan una parte significativa del proceso productivo.

En segundo lugar, se le suma la importancia de este producto para el país y para la provincia en sí, la cual es líder de la producción de bioetanol de maíz, siendo responsable del 80% de la producción de este biocombustible en Argentina (Secretaría de Energía, en línea). En la actualidad, Argentina se encuentra entre los principales productores de bioetanol a nivel mundial (USDA, 2022). El desarrollo de estos productos inició al finalizar la década del 2000, en un contexto global dado por una demanda creciente de combustibles y fuertes compromisos asumidos en materia de reducción de emisiones (Buraschi, 2021). Para 2023, el país cuenta con 51 plantas productoras de biocombustibles, de las cuales se producen 463 miles de toneladas anuales de bioetanol de maíz (Secretaría de Energía, en línea). En este caso se identificaron tres primeros núcleos que se corresponden con las empresas que integran el sector del bioetanol con fines de hidrocarburo en Córdoba-Argentina, ACABIO, Promaíz SA, y Bio4.

Para la recolección de datos primarios se realizaron 16 entrevistas en profundidad durante mayo y agosto del año 2024 (ver tabla N° 1), a propietarios y gerentes de plantas de bioetanol, de biogás, de feedlots, productores de alimentos, productores de gas carbónico y stakeholders como ONG u organizaciones de innovación. Las mismas tuvieron una duración de una hora aproximadamente, algunas se realizaron de manera presencial y la gran mayoría de manera virtual por la plataforma Google Meet. Se siguió un guion semiestructurado y orientativo elaborado con la información necesaria para responder las preguntas de investigación.

Tabla I  
Personas entrevistadas

N°	Tipo de organización	Función de entrevistado	Lugar
1	Feedlots	Gerente de unidad	Río Cuarto, Córdoba
2	ONG	Responsable de área económica	Río Cuarto, Córdoba
3	Organización de asistencia técnica	Consultora integrante	Río Cuarto, Córdoba
4	Organización de Investigación	Investigador	Córdoba
5	Planta de bioetanol	Presidente y cofundador	Río Cuarto, Córdoba
6	Bioeléctrica	Ingeniera de planta	Río Cuarto, Córdoba
7	Productor de alimentos	Gerente de ventas	Río Cuarto
8	Planta de bioetanol	Gerente de abastecimiento y logística	Villa María
9	Planta de bioetanol	Subgerente general	Villa María
10	Planta de bioetanol	Gerente de planta	Villa María
11	Planta de bioetanol	Gerente general	Alejandro Roca
12	Planta de bioetanol	Gerente de calidad	Alejandro Roca
13	Planta de bioetanol	Gerente de producción	Alejandro Roca
14	Planta de biogás	Gerente de producción	Yanquetruz
15	Productor de Co2	Gerente de producción	Villa María
16	Sector público	Secretaria de Biocombustibles y Energías Renovables	Córdoba

Además, se relevaron datos de fuentes secundarias, como informes sectoriales, reportes de las empresas del sector, de cámaras empresariales, de entidades gubernamentales, de organismos técnicos como el INTA, de noticias periodísticas, entre otros. Reportes como los del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), fueron de gran ayuda debido a que relevaron previamente a ACABIO y Bio4 como ejemplos de bioeconomía en el país, y aunque se exploraron algunos intercambios no se hicieron bajo el nombre de SI.

Las entrevistas se transcribieron literalmente y, junto con la documentación, se procedió a realizar un análisis de contenido con el fin de describir las redes de SI. Los resultados se exponen a través de tres diagramas de red, construidos con ayuda del software Lucidchart. Se graficó uno por cada núcleo inicial, para poder identificar las empresas que producen residuos o subproductos y aquellas que los utilizan como insumo. Estos diagramas permiten visualizar los intercambios y los tipos de materiales involucrados, los números utilizados en las flechas no siguen un orden secuencial.

A continuación, se demuestran los resultados. En el análisis no solo se identificó el flujo de intercambio de residuos como recursos, sino también el tipo de organizaciones que están involucradas, la zona geográfica en donde se instalan las redes, los actores que se involucran en el proceso de construcción de la red y aquellos factores que se observaron como clave para el desarrollo de las redes.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Red de simbiosis industrial en Río Cuarto, Córdoba, Argentina

El núcleo primario relevado en este caso fue la planta de Bioetanol ubicada en Río Cuarto, Córdoba. En este caso todos los intercambios suceden en una misma zona geográfica.

Esta red nace a partir de la creación de Bio4, una planta de bioetanol fundada en 2012, donde 28 productores agropecuarios de la zona decidieron asociarse y emprender Bio4 como alternativa para enfrentar los elevados costos asociados a los fletes dirigidos a los puertos de exportación (IICA, 2019).

Bio4 comercializa la burlanda, este subproducto se genera en un gran volumen de producción y gran aceptación en el mercado, principalmente se trata de burlanda húmeda a feedlots y tambos cercanos a la zona (ver en gráfico 1, línea 1). Además, se lleva a cabo un proceso adicional de agregado de valor a este subproducto, mediante su secado para eliminar el agua y facilitar su transporte; de esta manera se comercializa la burlanda seca, dirigida a alimentos balanceados, la industria avícola y el mercado exterior (1). Este enfoque tiene como objetivo continuar reduciendo los costos asociados al proceso productivo y la expansión hacia otros mercados.

*“consumimos muy poquito de lo que producimos... todo el resto se vende y tiene una demanda muy buena, la burlanda se vende como burlanda húmeda cuando tenes consumos cerca, porque tiene bastante agua y si no se puede fletar como seca, después de un proceso de secado, que ya se puede exportar”* (planta de bioetanol)

Posteriormente se creó otra unidad de negocio para seguir agregando valor, así se desarrolló Bio5, un feedlot vacuno que se nutre principalmente con burlanda de Bio4 (2). El ganado es también alimentado con homminy feed (3), un subproducto de la molienda seca de maíz de gran calidad nutricional, el cual es proporcionado por Grupo Alimenticio SA.

Además de ser diseñado como un feedlot, este sistema fue estructurado específicamente para aprovechar eficientemente el purín de ganado, transformándolo en un insumo esencial para la planta de Biogás, Bioeléctrica, que se crea casi paralelamente (4). Esta planta que se gestó en 2015 tiene como insumo principal la Vinaza (línea 5), subproducto de la planta de bioetanol. En un principio sirvió para abastecer de energía eléctrica a Bio4 (6), pero con la entrada en vigor del Plan Renovar<sup>2</sup>, la empresa fue creciendo y comenzaron a producir energía eléctrica para ser entregada a la red de distribución nacional (7). Esta incorporación fue importante ya que la producción de biogás tiene la capacidad de recibir de múltiples residuos y subproductos y transformarlos en energía, además de recibir el purín del feedlot, recibe suero lácteo (8), subproducto industrial de una empresa de alimentos, y residuos de frutas y verduras del mercado central (9). Por otra parte, el proceso de biogás tiene un subproducto que es el digestivo, *“aquella parte del sustrato que no fue transformada en biogás y que queda almacenada en la base del biodigestor”* (IICA 2020, p.31). El mismo es utilizado como biofertilizante en una huerta orgánica social de la ciudad (10) y en los campos de cultivo de maíz (11) que a su vez proporcionan el insumo para el bioetanol (12).

En este último intercambio, así como en la gestión de residuos del mercado central, la Municipalidad de Río Cuarto ha desempeñado un papel crucial. Fue el actor que articuló la creación de la huerta orgánica, la cual tiene el objetivo de dar trabajo digno a familias que estaban en condiciones vulnerables y ofrecer alimentos orgánicos sustentables; la sinergia con Bio4 permite no solo el intercambio de materiales como el digestato sino también la transferencia de conocimiento, *“Trabajar en equipo desde Bio4 y la Municipalidad significó la unión de esfuerzos para poner la mirada en las familias, facilitarles los medios y recursos técnicos, aportar capacitación sobre el trabajo de huerta a gran escala”* (Bio4, 2024). En el caso del mercado central, se encarga de llevar la biomasa residual a Bioeléctrica, esto abarata costos para el estado municipal y la planta de biogás recibe regularmente un insumo que no tiene costo.

Aunque Bio4, Bio5 y Bioeléctrica formen parte de un mismo grupo corporativo operan como unidades de negocio independientes, cada una funciona como una entidad diferente. Por lo tanto, se lleva a cabo la compra y venta de cada subproducto que intercambian entre sí. Esta estructura permite una gestión eficiente y transparente de las transacciones comerciales, garantizando así un flujo fluido de productos dentro del grupo corporativo. Estas tres primeras empresas dieron origen a otros intercambios con organizaciones diferentes.

---

<sup>2</sup> El Plan RenovAr es una iniciativa del gobierno argentino que tiene como objetivo promover la inversión en energías renovables en el país. Fue lanzado en 2016 con el propósito de diversificar la matriz energética, aumentar la participación de las energías limpias y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Se realiza a través de un esquema de licitaciones públicas para la adjudicación de contratos de abastecimiento de energía eléctrica a largo plazo (20 años), con el fin de incentivar el desarrollo de proyectos de energía renovable, como la eólica, solar, biomasa, biogás y pequeñas hidroeléctricas. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/renovar>

*“funciona como organizaciones diferentes, todas estas empresas de economía circular funcionan como unidades de negocio independientes, entonces no podemos subvencionar una empresa en perjuicio de otra... entonces yo para comprar la burlanda que le doy a los animales de bio5 pago el mismo valor al precio de mercado que hoy le podemos vender a cualquier otro cliente”* (entrevista a feedlot).

Es clave para el crecimiento de la red la mirada de innovación y sustentabilidad que tienen quienes gerencian las distintas unidades de negocio, acorde con lo que menciona la literatura acerca de estas cualidades claves para el desarrollo de la SI (ej. Herzceg et al., 2018; Kuznetsova et al., 2016). Esta perspectiva permitió que un modelo de negocio de bioetanol pueda crecer en otras unidades de negocio que habilitaron aprovechar los residuos y subproductos del proceso del etanol. Además, fueron fuertemente incentivados por el ahorro de costos y el crecimiento en el mercado exterior; como se mencionó anteriormente en el proceso de etanol dos terceras partes son subproductos, Bio4 decidió crear otras unidades de negocio que puedan recibir a estos como insumo, motivados por crecer y ser pioneros en circularidad.

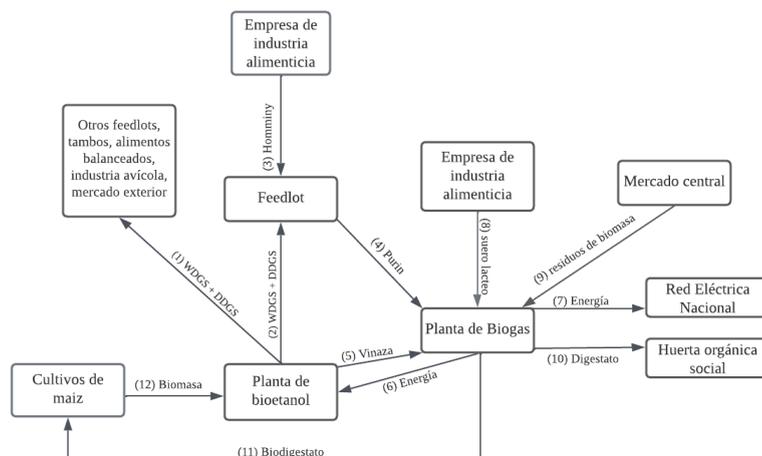
*“en ese afán de diversificar y de armar Economía Circular y de ver que hay otros procesos que podían complementar con el bioetanol, nos pareció razonable y sustentable crecer en otros negocios que no estuvieran igual de regulados que el bioetanol y que pudieran agregar más valor a todo lo que se produce acá, esa fue la idea”* (entrevista a planta de bioetanol)

*“siempre nos caracterizamos por buscar procesos innovadores, y dentro de eso dijimos bueno, intentemos armar un feedlot en el cual maximicemos el uso de burlanda, de tal manera de estar preparados para tener respuestas... y sobre todo siempre pensar en algún otro subproducto de la planta, al cual le podamos agregar valor, en ese momento ya estábamos poniendo en marcha lo de biodigestores, y luego incorporamos el purín del feedlot al biodigestor”* (entrevista a feedlot)

Otro aspecto destacado en la conformación de la red son los altos niveles de cooperativismo y colaboración entre las distintas organizaciones. Los miembros de este ecosistema pueden valorar los beneficios de pertenecer a la red y asociarse a ella. Este deseo de adoptar un enfoque más circular se transmite a otros actores, incrementando los intercambios de sinergia.

*“La oportunidad más grande es que los productores agropecuarios se vinculan a un desarrollo de este tipo, empiezan a capturar una cantidad de conocimiento, de acceso a cosas que antes no tenían muy buenas muy beneficiosas en el ámbito financiero, contable, impositivo, un montón, tecnológico, manejo de personal, todo, y del punto de vista de los desafíos... yo no veo contras, el desafío es tener la permeabilidad, la flexibilidad”* (entrevista a planta de bioetanol)

Gráfico I  
Red de simbiosis industrial en Rio Cuarto, Córdoba, Argentina



Fuente: Elaboración propia

## 5.2. Red de simbiosis industrial en Villa María (Córdoba), Justiniano Posse (Córdoba) y Yanquetruz (San Luis)

En este caso la empresa ACABIO, ubicada en Villa María, es el primer núcleo entrevistado a partir del cual se fueron extendiendo otros intercambios. Esta es una empresa perteneciente a la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA), se dedica a la producción de bioetanol desde 2014, cuenta con la planta más grande del país y también comercializa los subproductos que derivan de este proceso. Esta red de intercambios se localiza principalmente en Villa María (Córdoba) y también en Justiniano Posse (Córdoba) y Yanquetruz (San Luis).

Los principales son la burlanda seca y húmeda, que se comercializa como alimento balanceado para ganado vacuno de tambos y feedlots (ver en gráfico 2, línea 1). También una parte se va para un criadero porcino, propiedad de ACA y Alimentos Magros, ubicado en Yanquetruz, San Luis (2); este también recibe maicillo que es un subproducto de la limpieza del maíz que sirve como alimento animal (3). Los cerdos criados en estas instalaciones son posteriormente enviados a un frigorífico (4) que implementa un biodigestor para agregar valor a sus residuos orgánicos. Este biodigestor aprovecha la bucanga (5), es decir, los restos orgánicos sin valor comercial, para generar energía que se reintegra al proceso de la planta (6).

A su vez, el criadero destina el purín de los animales a una planta biodigestora, Bioenergía Yanquetruz (7). Esta instalación no solo suministra energía eléctrica al propio criadero (8), sino que también contribuye a la red eléctrica nacional (9) a través del programa RenovAr. Los materiales utilizados como insumos en esta planta incluyen residuos de biomasa procedentes de campos de maíz y sorgo de la región (10), así como de los campos de propiedad de ACA (11), junto con residuos industriales provenientes de una planta de procesamiento de alimentos, específicamente suero lácteo (12). El digestato, subproducto de la planta de biogás, es utilizado como fertilizante orgánico en campos de reproducción de semillas híbridas de maíz y sorgo y los campos de maíz (13), propiedad de ACA.

El biodigestor inicialmente se desarrolló como parte integral del criadero, con el propósito de proporcionar una fuente confiable de energía eléctrica y gestionar el tratamiento del purín de cerdo. Sin embargo, con la implementación del plan RenovAr, se produjo una transformación en el modelo de negocio. Aprovechando esta oportunidad para la venta de energía, el biodigestor se separó del criadero para funcionar como una entidad organizativa independiente.

*“surgen los biodigestores, porque había dos necesidades. Una era el tratamiento de los efluentes, de la granja, y por otro lado no había energía eléctrica, a ver... no había energía*

*eléctrica en cantidad y calidad que la granja iba a demandar, entonces el biodigestor venía como de alguna manera a solucionar estos problemas... cuando sale lo de RenovAr y ahí cambia el concepto, que era que se iba a vender toda la energía... y por otro lado seguíamos comprando energía y ahí cambió el concepto de la planta... se tuvo que crear una sociedad anónima exclusiva a ese fin, y así surge Bioenergía Yanquetruz” (entrevista a feedlot)*

Asimismo, a diferencia del caso anterior, esta planta si le da un destino al CO<sub>2</sub> que se origina con el proceso de bioetanol. En 2015, la empresa Gas Carbónico Chiantore se asoció con ACABIO y se instaló junto a la planta de producción para recuperar, refinar, almacenar y comercializar este producto (14). Esta asociación resultó altamente beneficiosa para ambas partes: la empresa de gas estaba buscando una fuente alternativa para el CO<sub>2</sub>, mientras que la planta de bioetanol necesitaba encontrar un uso para este gas, que representa el 30% de los subproductos del proceso de producción. ACABIO confió en Gas Chiantore, valorando su experiencia en el mercado y su habilidad para gestionar una extensa cartera de clientes, se asociaron a través de un Joint Venture y lograron capturar más del 15% del mercado nacional.

*“en este caso nosotros tenemos una unión con una empresa de acá de Villa María que producía CO<sub>2</sub> a partir de combustibles fósiles, ahora ya no, y bueno ellos capturan, trabajan dentro de nuestra planta, capturan el CO<sub>2</sub> y lo venden a sus habituales clientes, que eran de la industria alimenticia, como la soda, del metal mecánico para soldaduras y bueno de la demanda más grande ahora es de la industria del litio” (entrevista a planta de bioetanol).*

Este cambio es un gran logro en materia ambiental, ya que anteriormente la empresa capturaba el CO<sub>2</sub> a partir de fuentes fósiles. Desde 2008, a partir de la crisis energética, este método de producción no era completamente eficiente y estaba amenazado por la escasez de la fuente y los altos costos. La empresa había explorado distintas alternativas, sin embargo, no había fuentes económicas disponibles inicialmente y se enfrentaron limitaciones relacionadas con la producción de algunas fuentes o de ciertas zonas geográficas. La instalación de la planta de bioetanol en Villa María, lugar donde ya se encontraban las plantas de Gas Chiantore, posibilitó la producción de CO<sub>2</sub> a partir de fuentes renovables.

*“se tornó muy complicado producir CO<sub>2</sub> a base de la quema de un combustible, por la escasez por los precios, entonces empezamos a trabajar en buscar fuentes alternativas, pero no había fuentes de CO<sub>2</sub> baratas en la zona digamos...para ellos creo que es una gran oportunidad creo, porque si no se unían a nosotros iban a desaparecer directamente...se iban a quedar fuera de mercado” (entrevista a planta de bioetanol).*

Además de lo mencionado anteriormente, el proceso industrial de producción de bioetanol también genera otros subproductos, como aceite de maíz, agua y vapor. El aceite de maíz se destina para uso industrial o para hacer biodiesel (15). El exceso de agua se utiliza para el riego de campos adyacentes (16) y de maíz que proporciona la biomasa para el bioetanol (17), mientras que el vapor sobrante se canaliza hacia una turbina (18) para producir energía eléctrica destinada al consumo interno de la planta (19).

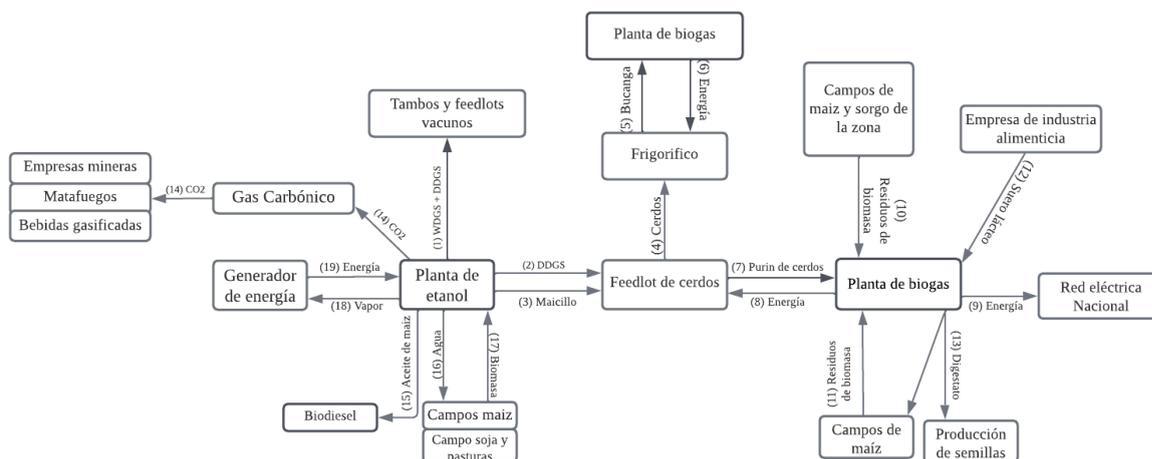
*“toda industria que necesite un volumen X de vapor hace sentido poner una turbina de vapor para generar energía... entonces por eso mismo, a partir del vapor que necesitamos producimos vapor de alta presión, lo aprovechamos para generarnos energía y lo que sobra de ahí va a procesos de calentamiento, de destilación, cocción del mosto...” (entrevista a planta de bioetanol)*

Así como en el caso anterior, todos estos intercambios dan cuenta de una constante búsqueda de innovación y sustentabilidad en las empresas que son parte, así como de cooperativismo y colaboración. ACABIO, siendo parte de la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA), integra en cada uno de sus miembros un profundo sentido de sinergia y colaboración, que además incorporan a la sustentabilidad como eje transversal en sus transacciones y se traslada a las otras empresas partes de la red.

*“Esto es una cooperativa, hay tres pilares, el bien social, el bien económico y el ambiental, las 3 cosas tienen que ir paralelas... en un modelo cooperativo, los dueños... ¿quiénes son los*

*dueños? son los productores agropecuarios, pasan todos los días al frente de la planta, los hijos van a la escuela juntos cerca de la planta, entonces ¿hasta qué punto lo único que importa es el negocio? claro que importa, pero tiene que haber sustentabilidad, es por un bien mayor...el largo plazo implica ser sostenible económica y sustentablemente, ¿cómo podemos mejorar nuestra performance?'' (entrevista a planta de bioetanol)*

Gráfico II  
Red de simbiosis industrial en Villa María (Córdoba), Justiniano Posse (Córdoba) y Yanquetruz (San Luis)



Fuente: Elaboración propia

### 5.3. Planta de bioetanol en Alejandro Roca, Córdoba, Argentina

En este caso el núcleo que se entrevistó fue Promaiz SA, empresa ubicada en Alejandro Roca, provincia de Córdoba. La misma surge a partir de la sinergia entre Aceitera General Deheza SA (AGD) y Bunge SA; comenzó sus funciones en 2013 y representa el 28% de la producción de bioetanol de Argentina. Para este caso, a diferencia de los anteriores, se encontraron pocas fuentes documentales secundarias, tales como informes técnicos o noticias periodísticas. La información se obtuvo mediante entrevistas realizadas a tres directivos de la planta y consultando la página web de la empresa.

Luego del proceso de producción de bioetanol, Promaiz vende DDGS (ver en gráfico 3, línea 1), es decir burlanda seca no húmeda, lo cual implica que un proceso de logística más eficiente para transportar el producto, esto permite exportarlo y destinarlo a feedlots y tambos que estén más alejados de la zona geográfica en la cual está inserta la empresa. Así también, la misma empresa captura CO<sub>2</sub> para comercializarlo directamente a la industria de bebidas gasificadas (2). También comercializan el aceite de maíz obtenido de la vinaza, principalmente lo exportan y lo destinan para la producción de biodiesel (3).

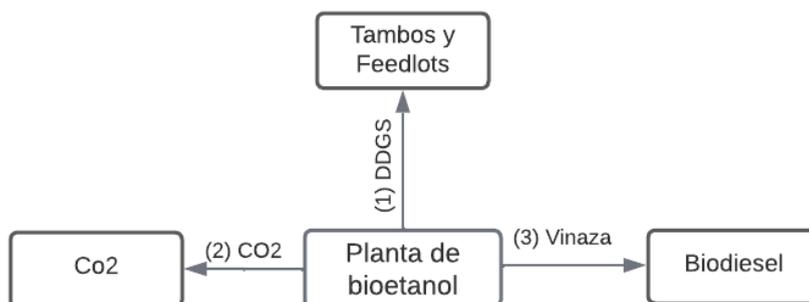
Una innovación destacada de esta planta radica en su capacidad para destinar parte de su producción de bioetanol a las bebidas alcohólicas, conocido como "alcohol de buen gusto", según la denominación de la empresa<sup>3</sup>. Han adaptado su destilería para que sea flexible y capaz de producir tanto para el mercado de combustibles como para este nuevo segmento. Esta incursión en un mercado no regulado y menos variable confiere una ventaja estratégica, ya que se beneficia de una demanda más estable.

<sup>3</sup> Este intercambio no se ha puesto en el gráfico de red debido a que corresponde a un producto principal y no un subproducto o residuo.

*“la alternativa de comercializar en este mercado totalmente nuevo para nosotros que es del “buen gusto”, y nos encontramos con un desarrollo muy diferente, un mercado que no está regulado ni en precio ni en volumen, eso lo hace un poco más atractivo, entonces las fuerzas se direccionaron para poder maximizar eso”* (entrevista a planta de bioetanol)

Al igual que las plantas mencionadas anteriormente, esta instalación busca añadir valor a sus subproductos y optimizar el uso de recursos en sus procesos con el fin de avanzar hacia una mayor sustentabilidad. *“se trabaja, se trabaja mucho en eficientizar el agua, en maximizar a lo mejor la capacidad de los equipos, o el consumo energético...entonces sos más eficiente y el impacto es mejor...”* (entrevista a planta de bioetanol). Sin embargo, lo hace de manera independiente, sin asociarse con ninguna otra organización. Comercializa directamente sus subproductos a clientes y no recibe residuos de ningún tipo para transformarlos. Por lo tanto, no se considera que forme parte de una red de simbiosis industrial. Esto se debe a la falta de asociación o sinergia con otras entidades, así como a la ausencia de una búsqueda colectiva de ventajas competitivas; a pesar de que venda todos sus residuos y subproductos y siempre busca mejorar su sustentabilidad, se demostró un desinterés por participar en colaboración con otras empresas. *“no somos un parque industrial, funcionamos de manera independiente, nada más que estamos colindante unos con otros en los predios, nada más...”* (entrevista a planta de bioetanol).

Gráfico III  
Planta de bioetanol en Alejandro Roca, Córdoba, Argentina



Fuente: Elaboración propia

## 6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Este trabajo tuvo como objetivo principal contribuir al relevamiento de las redes de Simbiosis Industrial en el país, con la finalidad de aportar a su conocimiento en América Latina e indagar acerca de los factores que fueron impulsando la conformación de esta red.

Se encontraron dos grandes redes de simbiosis industrial originadas por el bioetanol en la provincia de Córdoba, con 28 intercambios de residuos y subproductos a los que se les agrega valor y son materias primas de otras organizaciones. Redes que demuestran todos los beneficios de SI: económicos, ya que se disminuyen los costos de tratamiento de residuos o el precio de recursos o materias primas, como la energía eléctrica o térmica autogenerada, aumentan las ganancias por la comercialización de nuevos subproductos, y mejora la ventaja competitiva de la empresa al poder acceder a certificaciones e ingresar a mercados externos; beneficios ambientales debido a que estos mismos residuos no se destinan a entierro, por el contrario algunos como el purín de cerdos o el suero lácteo tienen un valor monetario, o productos que se hacían a partir de fuentes fósiles como el CO<sub>2</sub> ahora se producen a través de biomasa residual; y finalmente sociales por el empleo generado en las nuevas unidades de negocio, así como la mejora en la calidad de vida de la sociedad colindante al no emanar gases efecto invernadero, por ejemplo.

Por otro lado, se considera que existen dos elementos claves para la formación de estas redes, en consonancia con lo que menciona la literatura, la apertura a la colaboración y el interés por la

sustentabilidad. Estos factores resultan indispensables no solo para la construcción de una red de simbiosis, sino también para su estabilidad y resiliencia (Herzceg et al., 2018; Mortensen y Kornov, 2019). La colaboración abierta y el enfoque en la sustentabilidad promueven un mayor intercambio de información entre las partes, facilitan la adopción de nuevas actividades y cambios organizacionales, aseguran el suministro constante de residuos y recursos necesarios para el flujo de materiales, y permiten, con el tiempo, la expansión de la red hacia otros núcleos (Costa y Ferrão, 2010; Kuznetsova et al., 2016; Mortensen y Kornov, 2019; Spekkink y Boons, 2016).

Por ejemplo, clara es la diferencia entre las redes de Río Cuarto y Villa María en contraste con la de Alejandro Roca. Se concluye que esto se debe a que las primeras dos tienen en sus principios base el asociativismo y cooperativismo, por cómo fueron fundadas y fueron creciendo. A diferencia de la planta de Alejandro Roca que, si bien nace de la unión de dos multinacionales, esta trabaja de manera independiente y la sustentabilidad se prioriza a nivel institucional, sin generar conexiones interorganizacionales. Es importante destacar que, si bien las redes identificadas se componen de asociaciones entre empresas, ya sea mediante un Joint Venture o la segregación de unidades de negocio, estas trabajan como entidades separadas. Tal es el caso de Bio4, Bio5 y Bioeléctrica, así como las empresas pertenecientes al grupo ACA. Aunque inicialmente hubo una colaboración activa entre estas organizaciones, con el tiempo se ha extendido a otras que no estaban inicialmente involucradas de la misma manera, tales como Gas Chiantore, otros tambos y feedlots o las distintas empresas de alimentos.

Otro aspecto que se marca es el contexto jurídico institucional. Si bien la literatura señala que es este, siendo el marco legal y organizativo en donde operan las organizaciones, es importante para propiciar la generación de sinergias (Chertow, 2007; Domenech, et al., 2019; Yu et al., 2015), en el relevamiento se observó que la mayoría de los intercambios se hicieron por un fin económico, de eficiencia o de sustentabilidad. Esto no significa que no sea relevante, al contrario, incluso los entrevistados mencionan que si hubiese un marco legal que promueva la circularidad, específico de la valorización de residuos o subproductos, estas redes se exponenciarían “debería haber políticas públicas que favorezcan esta circularidad, pueden favorecer las energías renovables, pero no ponen en valor específicamente esto de la transformación de subproductos, deben poner en la mesa esto de preservar un bien futuro” (entrevista a planta de bioetanol). Sin embargo, existen algunas políticas que, si bien no están directamente relacionadas con economía circular o SI, promueven la creación de empresas sustentables, este es el caso del Plan RenovAr, que impulsó o colaboró con la creación de los biodigestores. Este implicó incentivos no solamente para la creación de fuentes de energía renovable sino también para intercambiar recursos entre empresas privadas y el estado, colaboración necesaria para poder cumplir con el objetivo de diversificar la matriz energética. Este plan es el que permite que la energía tenga una tarifa rentable para poder venderla y que sea sostenible en el tiempo.

Asimismo, el Estado cumple un rol importante como stakeholder para impulsar las redes (Hein et al., 2017; Mortensen y Kornov, 2019). Se observa en el caso de la Municipalidad de Río Cuarto que colaboró abiertamente con Bio4 para compartir recursos en los intercambios del Mercado Central y la Huerta orgánica social.

Es esencial resaltar el ejemplo de otras redes en el mundo, como la de Kalundborg, donde todas las organizaciones participantes han conformado un clúster, se creó una entidad con una visión y objetivos compartidos, con un directorio que maneja las estrategias conjuntas. Esta colaboración estratégica les ha permitido no solo obtener mayores ventajas competitivas, sino también compartir riesgos y oportunidades de manera colaborativa, así como desarrollar nuevas tecnologías que han contribuido significativamente a la expansión y mejora continua de la red. “Kalundborg Symbiosis lleva cinco décadas generando beneficios mediante un enfoque simbiótico y circular de la industria y la producción. Los beneficios de una empresa benefician a otra” (Kalundborg Symbiosis, 2024).

En este sentido, se plantea que las redes de Simbiosis Industrial ubicadas en Córdoba y otras regiones de Argentina podrían adoptar un enfoque similar, fomentando la formación de clústeres que promuevan la colaboración y la cooperación entre los diferentes actores industriales. Esta estrategia no solo permitiría una mayor integración y sinergia entre las empresas participantes, sino que también

facilitaría la expansión de la red hacia nuevas empresas, especialmente las PYMES, que podrían beneficiarse de la entrada en la red y la oportunidad de colaborar con otras entidades establecidas. En última instancia, se espera que esta iniciativa contribuya significativamente al fortalecimiento del tejido industrial argentino, promoviendo la sostenibilidad, la innovación y el crecimiento económico en todo el país, tal como lo reconocen los mismos integrantes de las redes.

Futuros estudios pueden estar dirigidos a explorar otras redes de Simbiosis Industrial en Argentina, partiendo de otros procesos productivos que tengan subproductos o profundizando en los intercambios y características planteadas en el trabajo de la OIT (2021). Esta investigación adicional podría proporcionar una comprensión más completa y detallada de la dinámica de las redes de Simbiosis Industrial en Argentina, así como identificar áreas de oportunidad para su optimización y crecimiento sostenible. Así también, resulta imperativo abordar con mayor profundidad las motivaciones y las barreras que influyen en la expansión de los intercambios en estas redes. Del mismo modo, se requiere un análisis exhaustivo de los distintos stakeholders involucrados y las regulaciones pertinentes que desempeñan un papel crucial en la formación y desarrollo de estas redes. El presente artículo aspira a ser el punto de partida para una mayor profundización en estas temáticas.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abriat y Masut. (2021). Simbiosis Industrial en empresas y su impacto en el empleo. Organización Internacional de Trabajo. Recuperado de: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---ilo\\_buenos\\_aires/documents/publication/wcms\\_803622.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---ilo_buenos_aires/documents/publication/wcms_803622.pdf)
- Bijon, N., Wassenaar, T., Junqua, G., y Dechesne, M. (2022). Towards a sustainable bioeconomy through industrial symbiosis: Current situation and perspectives. *Sustainability*, 14(3), 1605. <https://doi.org/10.3390/su14031605>
- Bio 4 (2024) Proyecto Huerta Sustentable. Desarrollo de valor social. Página oficial de Bio4. Recuperado de: <https://www.bio4.com.ar/proyecto-huerta-sustentable-desarrollo-valor-social/>
- Buraschi, M. (2021) Gobernanza de la sustentabilidad: upgrading económico, social y ambiental en la cadena de valor del biodiésel argentino. Tesis doctoral. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba
- Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual review of energy and the environment*, 25(1), 313-337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>
- Chertow, M. R. (2007). “Uncovering” industrial symbiosis. *Journal of industrial Ecology*, 11(1), 11-30. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1110>
- Chertow, M., y Ehrenfeld, J. (2012). Organizing self-organizing systems: Toward a theory of industrial symbiosis. *Journal of industrial ecology*, 16(1), 13-27. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00450.x>
- Chertow, M., y Miyata, Y. (2011). Assessing collective firm behavior: Comparing industrial symbiosis with possible alternatives for individual companies in Oahu, HI. *Business Strategy and the Environment*, 20(4), 266-280. <https://doi.org/10.1002/bse.694>
- Colwill, J.; Wright, E. I.; Rahimifard, S. y Clegg, A. (2012). “Bio-plastics in the context of competing demands on agricultural land in 2050”. *International Journal of Sustainable Engineering*, 5(1): 3-16. <https://doi.org/10.1080/19397038.2011.602439>
- Domenech T., Bleischwitz R., Doranova A., Panayotopoulos D., y Roman L (2019) Mapping industrial symbiosis development in Europe, typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the Circular Economy. *Resources, conservation and recycling* (141) 76–98.
- Dong, L., Fujita, T., Zhang, H., Dai, M., Fujii, M., Ohnishi, S., y Liu, Z. (2013). Promoting low-carbon city through industrial symbiosis: A case in China by applying HPIMO model. *Energy policy*, (61) 864-873. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00444.x>

- Freitas, L. A., y Magrini, A. (2017). Waste management in industrial construction: Investigating contributions from industrial ecology. *Sustainability*, 9(7), 1251. <https://doi.org/10.3390/su9071251>
- FAO (2020) The state of food and agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture. Food and Agriculture Organizations of the United Nations <https://doi.org/10.4060/cb1447en>
- Frosch, R. A., y Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 144-153.
- IICA (2019) Programa de bioeconomía y desarrollo productivo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Recuperado de: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/7909>
- IICA (2021) Potencial de la bioeconomía para la transformación de los sistemas alimentarios. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Recuperado de: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/18564>
- Lombardi, D. R., y Laybourn, P. (2012). Redefining industrial symbiosis: Crossing academic–practitioner boundaries. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 28-37. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00444.x>
- Harchaoui, S., y Chatzimpiros, P. (2019). Energy, Nitrogen, and Farm Surplus Transitions in Agriculture from Historical Data Modeling. France, 1882–2013. *Journal of Industrial Ecology*, 23(2), 412-425. <https://doi.org/10.1111/jieec.12760>
- Hein, A. M., Jankovic, M., Feng, W., Farel, R., Yune, J. H., y Yannou, B. (2017). Stakeholder power in industrial symbioses: A stakeholder value network approach. *Journal of Cleaner Production*, (148) 923-933.
- Herczeg, G., Akkerman, R., y Hauschild, M. Z. (2018). Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks. *Journal of Cleaner Production*, (171), 1058-1067. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.046>
- Kalundborg Symbiosis (2024) About Us. Surplus from circular production. Página oficial de Kalundborg Symbiosis. Recuperado de: <https://www.symbiosis.dk/en/om-os/>
- Koppelmäki, K., Helenius, J., & Schulte, R. P. (2021). Nested circularity in food systems: a Nordic case study on connecting biomass, nutrient and energy flows from field scale to continent. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105218. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105218>
- Martin, M., y Eklund, M. (2011). Improving the environmental performance of biofuels with industrial symbiosis. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1747-1755. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.016>
- Martin, M., y Harris, S. (2018). Prospecting the sustainability implications of an emerging industrial symbiosis network. *Resources, Conservation and Recycling*, 138, 246-256. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.026>
- Martínez Carazo, P. C. (2006). El método de estudio de caso como estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento y Gestión*, 20, 165-193.
- Miller GT. 1994. *Living in the Environment*. Belmont, CA: Wadsworth. 8th ed.
- Mirata, M. (2004). Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges. *Journal of Cleaner production*, 12(8-10), 967-983. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.031>
- Mortensen, L. y Kornov, L. (2019). Critical factors for industrial symbiosis emergence process. *Journal of cleaner production*, (212) 56-69.
- Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., y Matias, J. C. (2020). A comprehensive review of industrial symbiosis. *Journal of cleaner production*, 247, 119113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113>
- Rios y Rodríguez (2021) Las Redes de Simbiosis Industrial y el Empleo, el caso Colombiano. Organización Internacional de Trabajo. Recuperado de: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---sro-lima/documents/publication/wcms\\_777897.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---sro-lima/documents/publication/wcms_777897.pdf)

- Secretaría de energía (en línea). Datos de energías renovables – plantas de biocombustibles.<http://datos.minem.gob.ar/dataset/energias-renovables-plantas-biocombustibles>
- Sherwood, J. (2020) The significance of biomass in a circular economy. *Bioresource Technology*, (300) 122755. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122755>
- Short, S. W., Bocken, N. M. P., Barlow, C. Y., y Chertow, M. R. (2014). From refining sugar to growing tomatoes: Industrial ecology and business model evolution. *Journal of Industrial Ecology*, 18(5), 603–618. <https://doi.org/10.1111/jiec.12171>
- Stake, R. (2005). Qualitative case studies (pp 443-466). En N. Denzin, y Y. Lincoln, *The Sage Handbook of Qualitative Research*. Thousand Oaks: Sage
- Teng, Y., Mao, C., Liu, G., y Wang, X. (2017). Analysis of stakeholder relationships in the industry chain of industrialized building in China. *Journal of Cleaner Production*, (152) 387-398.
- Torroba, A. (2021). Biocombustibles líquidos: institucionalidad y formulación de políticas públicas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- USDA (2022). Biofuels Annual Report: Argentina. United States Department of Agriculture Disponible en: <https://www.fas.usda.gov/data/argentina-biofuels-annual-7>
- Vea, E.B., Romeo, D., y Thomsen, M., (2018) Biowaste Valorisation in a Future Circular Bioeconomy. *Procedia CIRP*. (69) 591–596. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.062>
- Velenturf, A. P. (2016). Promoting industrial symbiosis: empirical observations of low-carbon innovations in the Humber region, UK. *Journal of Cleaner Production*, 128, 116-130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.027>
- Yin, R. (2009). *Case Study Research – Design and Methods* (4th Ed.). SAGE Publications: Thousand Oaks, CA.
- Yu F., Han F., y Cui Z. (2015) Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China. *Journal of Cleaner Production* (87) 339–347.