



Aproximación a nuevos senderos productivos sostenibles para Santiago del Estero-Argentina

Approach to new sustainable productive for Santiago del Estero, Argentina

Rita Gabriela Salvatierra

Instituto de Tecnología de la Madera (ITM), Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina
rita.g.salvatierra@gmail.com

Miguel Ángel Sarmiento

Instituto de Tecnología de la Madera (ITM), Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), Argentina
sarmig@gmail.com

Maximiliano Celmo David Budán

Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina
maximiliano699@gmail.com

Recepción: 22 agosto 2025

Aprobación: 27 febrero 2026

Publicación: 01 abril 2026

Cita sugerida: Salvatierra, R. G., Sarmiento, M. A. y Budán, M. C. D. (2026). Aproximación a nuevos senderos productivos sostenibles para Santiago del Estero- Argentina. *Revista de Estudios Regionales y Mercado de Trabajo*, (23), e074. <https://doi.org/10.24215/27969851e074>

Resumen: En un contexto donde la sostenibilidad y sustentabilidad son parte del desarrollo y crecimiento de los territorios, al igual que las demás provincias argentinas, Santiago del Estero evidencia potenciales senderos productivos sostenibles, basados en la articulación entre la generación de bienes y servicios bioeconómicos y el aprovechamiento de recursos naturales. El presente artículo tiene como objetivo explorar la viabilidad de implementar un modelo productivo sostenible en Santiago del Estero, sustentado en la bioeconomía y las energías alternativas, con la finalidad de evidenciar la potencialidad del surgimiento de senderos productivos que contribuyan al desarrollo sostenible y resiliente. La metodología utilizada se basó en la sistematización de información y datos de actividades relacionadas con la bioeconomía combinado con análisis bibliográfico. A través de un análisis se identifican nuevas oportunidades productivas que pueden potenciar nuevos senderos productivos y sostenibles. El estudio concluye que la adopción de un enfoque integrado puede contribuir a mitigar los desafíos ambientales actuales y posicionar a Santiago del Estero como un referente en sostenibilidad en el noroeste.

Palabras clave: Bioeconomía, Geotermia, Sostenibilidad, Santiago del Estero.

Abstract: In a context in which sustainability and sustainable development are part of territorial growth and development, Santiago del Estero shows potential sustainable productive pathways, based on the articulation between the generation of bioeconomic goods and services and the use of natural resources. The aim of this article is to explore the feasibility of implementing a sustainable productive model in Santiago del Estero, based on bioeconomy and alternative energies, with the purpose of highlighting the potential emergence of productive pathways that contribute to sustainable and resilient development. The methodology used was based on the systematization of information and data related to bioeconomy activities, combined with bibliographic analysis. Through this analysis, new productive opportunities are

identified that may enhance new sustainable productive pathways. The study concludes that the adoption of an integrated approach can contribute to mitigating current environmental challenges and position Santiago del Estero as a benchmark for sustainability in the northwest.

Keywords: Bioeconomy, Geothermal, Sustainability, Santiago del Estero.

Introducción

En el siglo XXI, las naciones latinoamericanas se enfrentan a desafíos que exigen respuestas premurosas y coordinadas en sus territorios. Entre ellos, el cambio climático y los impactos del calentamiento global se han consolidado como una de las principales amenazas del ambiente y la humanidad, haciéndose cada vez más evidente abordar este fenómeno de manera integral. En este marco, la sostenibilidad emerge como eje fundamental de las promulgaciones y acciones territoriales orientadas a promover el desarrollo equitativo, igualitario y de crecimiento, capaz de garantizar el bienestar de la humanidad y generaciones futuras (Sánchez y Reyes, 2015).

La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987) expresa que el desarrollo sostenible satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. En este sentido, el desarrollo sostenible se basa en la utilización racional y eficiente de los recursos, dándoles tiempo a que estos se regeneren y puedan ser aprovechados por las generaciones futuras. Así, la sostenibilidad ha surgido como un principio esencial para orientar el desarrollo y la producción en el siglo XXI, desde una visión holística que integra dimensiones económicas, sociales y ambientales.

En este marco, la bioeconomía emerge como un enfoque estratégico que operacionaliza los principios del desarrollo sostenible mediante la utilización eficiente, innovadora y responsable de los recursos biológicos, la biomasa y los ecosistemas. A través de la integración del conocimiento científico, la biotecnología, la innovación productiva y la valorización territorial, la bioeconomía permite articular crecimiento económico, inclusión social y preservación ambiental, constituyéndose en un modelo productivo capaz de generar valor agregado, empleo de calidad y resiliencia territorial (Bocchetto et al., 2020). De este modo, no solo contribuye a la mitigación de los impactos ambientales, sino que también promueve la diversificación productiva, el fortalecimiento de las economías regionales y la transición hacia sistemas productivos más sostenibles, equitativos y competitivos.

En América Latina, la sobreexplotación y manejo inadecuado de los recursos han provocado una pérdida progresiva de la cobertura forestal, degradación de la tierra y vulnerabilidad de los recursos hídricos. A ello se suman los impactos de la industrialización y las emisiones de gases. En este escenario, la sostenibilidad se configura como eje del desarrollo productivo, orientado hacia la generación de bienes y servicios mediante un sistema de producción que no impacte negativamente en el medio ambiente y conserve los recursos. Este contexto ha propiciado el surgimiento de enfoques productivos innovadores, entre los que se destaca la bioeconomía como estrategia clave para compatibilizar crecimiento económico, uso eficiente de la biomasa y preservación ambiental. En esta línea, los países de la región han orientado sus esfuerzos a incrementar los efectos positivos en materia de sostenibilidad siendo consecuentes con la adhesión a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Al igual que los demás países de América Latina, Argentina, al adherir a los ODS, se encuentra en un proceso de búsqueda de soluciones innovadoras de uso sustentable y eficiente de sus recursos naturales, con la finalidad de impulsar la producción de bienes y servicios. Este proceso implica, por un lado, reconocer su gran extensión geográfica particularizada por su vasta biodiversidad y recursos naturales que sustentan las producciones regionales, y por otro, orientar los esfuerzos y recursos hacia un proceso de transición progresiva de reestructuración de la matriz productiva acompañada de políticas públicas, innovación tecnológica, diversificación económica y cooperación internacional.

El reconocimiento de las potencialidades regionales argentinas para avanzar hacia una matriz productiva sostenible implicó la articulación de relaciones y acuerdos institucionales, comunales y territoriales, acompañados por políticas públicas orientadas a la producción y sustentabilidad ambiental, y posteriormente marcos normativos. Entre los diversos sectores productivos orientados a traicionar la sostenibilidad en el país se distinguen tres áreas: i. la transformación de la matriz energética mediante el uso de energías renovables; ii. la bioeconomía basada en la utilización de recursos biológicos y ecosistemas naturales, orientada al desarrollo productivo sostenible, valoración de la biomasa y la generación de valor agregado territorial; y iii. la economía circular que incorpora procesos de reutilización y reciclaje. La identificación de estas áreas tiene un valor estratégico para la transformación del modelo de producción vigente, ya que su articulación y fortalecimiento permiten mejorar la competitividad económica en un contexto de protección ambiental y cambios tecnológicos significativos.

Santiago del Estero, provincia del noroeste argentino, caracterizada por su biodiversidad y recursos naturales, enfrenta desafíos vinculados a la degradación ambiental y la necesidad de promover un desarrollo económico más sostenible. En este contexto, surge el siguiente interrogante: ¿cómo pueden la bioeconomía y las energías alternativas contribuir a la creación de nuevos senderos productivos que impulsen un desarrollo sostenible en Santiago del Estero? En función a ello, el objetivo de este artículo consiste en analizar las potencialidades de la bioeconomía y las energías alternativas en la región, proponiendo estrategias que permitan la transición hacia un modelo productivo más sostenible y resiliente.

El presente trabajo se estructura de la siguiente manera: en primer lugar, se presenta el enfoque metodológico adoptado; seguidamente, se desarrolla el marco conceptual de la bioeconomía y su aplicación en el contexto argentino; a continuación, se analizan las características de la energía geotérmica y su potencial a nivel nacional y regional; posteriormente, se examinan los antecedentes productivos del norte argentino, con énfasis en las potencialidades y restricciones; luego, se abordan las posibilidades de sinergia entre la bioeconomía y la geotermia en Santiago del Estero, identificando senderos productivos viables y limitaciones; finalmente, se presentan las reflexiones finales.

Metodología

Según la naturaleza del interrogante, este estudio adopta un enfoque exploratorio, basado en la sistematización y análisis de información secundaria, combinando la revisión bibliográfica, la construcción de una base de datos e identificación de posibles senderos productivos para Santiago del Estero. Este abordaje se fundamenta en la condición propia del estado incipiente y novedoso del vínculo entre la bioeconomía y las energías alternativas en el territorio.

El diseño metodológico se estructuró en tres instancias: (i) análisis bibliográfico; (ii) construcción de una base de datos de plantas, empresas y proyectos bioeconómicos; y (iii) procesamiento e interpretación integrada de la información relevada, con el propósito de generar insumos empíricos que permitan caracterizar las capacidades productivas existentes y las oportunidades de desarrollo regional.

La revisión bibliográfica comprendió literatura académica, documentos técnicos, informes institucionales y estudios de caso vinculados al desarrollo de la bioeconomía y las energías alternativas en contextos territoriales comparables, lo que permitió identificar antecedentes relevantes, criterios analíticos y experiencias de implementación aplicables al caso de estudio.

En una segunda etapa, se elaboró una base de datos a partir del relevamiento sistemático de fuentes web institucionales, registros empresariales, bases de datos públicas e informes técnicos, identificando unidades productivas asociadas a la producción de biomasa, biocombustibles, bioproductos, bioinsumos, biogás, biodiésel y biodigestores. Posteriormente, se realizó un proceso de validación para constatar su existencia y funcionamiento efectivo al mes de junio de 2024, asegurando la confiabilidad y actualidad de los registros.

La información obtenida fue procesada con el fin de identificar patrones de localización, concentración productiva y potenciales sinergias territoriales, permitiendo reconocer áreas con mayor viabilidad para el desarrollo de senderos productivos sostenibles, así como detectar limitaciones estructurales y desafíos específicos del contexto provincial.

Bioeconomía: un concepto amplio

Este concepto tiene su origen en los planteos de Georgescu-Roegen desarrollados en la década del '70, quien sostiene que los procesos económicos se encuentran ligados a los procesos biológicos. Al ser los recursos naturales finitos y distribuidos de manera disímil, el crecimiento económico a largo plazo se verá necesariamente limitado, situando a las naciones frente al desafío estructural de la sostenibilidad económica. Desde esta concepción, fundamentada en la ley de la entropía, el sistema económico requiere de la incorporación del capital natural donde la sustentabilidad exige integrar al proceso productivo los desechos o subproductos derivados de la producción. En este sentido, la integración del capital natural implica promover uso eficiente mediante la reutilización y aprovechamiento de residuos, reintegrándolos en el ciclo de producción como materias primas secundarias (Hernández Cervantes, 2008; Anlló et al., 2018).

Desde esta concepción se desarrollan dos grandes visiones de bioeconomía liderando la agenda global. Una, promovida por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y los Estados Unidos, centrada en el desarrollo científico genético y celular orientado a procesos y productos, producción sostenible mediante el uso de biomasa sustentable y bioprocesos eficientes, y biotecnología integrada a la matriz productiva. La otra, impulsada por la Unión Europea (UE), basada en el aprovechamiento, transformación y procesamiento de biomasa y/o recursos de base biológica para la producción sustentable con añadido de valor y generación de energía (Maciejczak y Hofreiter, 2013; Rodríguez et al, 2017).

En la región Latinoamericana, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) ha incorporado el enfoque de la bioeconomía desde su posicionamiento histórico estructuralista, concibiéndola como una alternativa para la diversificación productiva sustentable con agrado de valor, aprovechando la ventaja comparativa de recursos biológicos y ecosistemas naturales de estos territorios. Para la CEPAL, la bioeconomía comprende: i. una economía fundamentada en el consumo y producción de bienes y servicios obtenidos a partir del uso directo y sostenible de recursos biológicos, incluyendo la reutilización de los residuos de biomasa generados en los procesos de producción, transformación y consumo; ii. la utilización de conocimientos sobre sistemas, principios y procesos biológicos encaminados a optimizar la producción y transformación de los recursos biológicos; y iii. el uso de tecnologías orientadas transformar y emular procesos y principios biológicos (Rodríguez et al. 2017; CEPAL, 2020). Estas dimensiones expuestas por la CEPAL se complementan con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.

Si bien, aún no se ha planteado una definición unívoca de bioeconomía, la bibliografía especializada identifica tres visiones predominantes, que se han consolidado como elementos clave para los discursos del desarrollo sustentable (Bocchetto et al., 2020):

- **Visión biotecnológica:** enfocada en los avances biotecnológicos y su aplicación en diversos sectores productivos. Prioriza el crecimiento económico y la generación de empleo, destacando el campo científico como fundamental para el desarrollo global. Propone vínculos entre grandes firmas biotecnológicas, pequeñas empresas, y capitales de riesgo.
- **Visión de los biorecursos:** enfatiza el equilibrio entre sostenibilidad ambiental y crecimiento económico. Destaca la mejora, transformación y conversión de materiales de base biológica. Concibe a la bioeconomía como un nuevo paradigma tecno-productivo y motor de una revolución industrial. Esta visión contribuye a la base conceptual de muchas políticas públicas que favorecen la producción renovable y la sustitución de recursos fósiles.
- **Visión bioecológica:** subraya la importancia de los procesos ecológicos para optimizar el uso de energía y nutrientes, promover la biodiversidad y evitar el monocultivo y la degradación del suelo. Se articula con los enfoques de la economía ecológica y política, enfatizando el potencial de la economía circular, la integración de procesos y sistemas, reflexionando sobre las consecuencias tecnológicas para futuras generaciones.

En líneas generales, la conceptualización de bioeconomía responde a las estructuras productivas y el acceso a los recursos de cada territorio.

Bioeconomía en la Argentina

En la Argentina, la introducción de este concepto tiene vínculos iniciales con el sector privado agrícola, que con posterioridad se constituiría como el complejo de agronegocios. Para los años '90, los avances tecnológicos y científicos del país – apoyados en su trayectoria y especialización en producción agroganadera – dieron inicio al desarrollo biohegemónico asociado con la expansión e intensificación de cultivos. Estos progresos se materializaron en los primeros avances de la biotecnología produciendo biocombustibles y derivados (Trigo et al., 2016).

A partir del siglo XXI, la Argentina se posicionó como el principal exportador –a nivel regional- de materia prima para producciones de bioeconomía y biodiésel. Tal fue el auge que alcanzó este territorio en materia productiva, económica y científica que el Estado, en colaboración con el sector privado, estableció marcos institucionales y políticos destinados a la producción, regulación y promoción del desarrollo científico y tecnológico (Trigo et al., 2016; Salvatierra, 2022). En este contexto, se impulsó la bioeconomía mediante la sanción de la Ley N° 26093/06 Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles, orientada a la promoción e inversión en ciencia y biotecnología a través del Fondo Tecnológico Argentina, Fondo Argentino Sectorial y acuerdos a niveles regionales mediante el Biotecsur. De igual manera se desarrollaron programas para la extracción de energía a partir de la biomasa y el programa BIO3 para el desarrollo de insumos biotecnológicos. Estas acciones dieron lugar a la creación del Consejo Nacional de Bioeconomía en 2017, encargado de guiar las estrategias de este nuevo paradigma productivo (Deciancio y Siegel, 2022). Paralelamente, en 2015 el país adhiere a los ODS, objetivos que son clave para orientar la bioeconomía desde una perspectiva local, tendiente a generar entornos productivos de crecimiento, igualdad y equidad sobre la población preservando el ambiente y la atenuación del cambio climático.

En la segunda década del siglo XXI, se creó la Dirección Nacional de Bioeconomía (DNB), la cual entiende que la bioeconomía consiste en la producción sustentable de bienes y servicios a través del uso o transformación de recursos biológicos. Esta institución tiene la finalidad de promover y regular el desarrollo sustentable mediante políticas que incluyan diversos sectores de la actividad agropecuaria y agroindustrial, así como la aplicación de la ciencia, la tecnología e innovación orientada al proceso productivo. El objetivo central consiste en generar impactos positivos en el desarrollo regional y territorial, promoviendo agregado de valor de origen y producción destinadas a las exportaciones. Entre los sectores se desatacan los bioinsumos, biomateriales, bioenergía y biotecnología orientados a la mejora vegetal, animal y de microorganismos.

Es posible señalar que, dadas las características estructurales del país, la bioeconomía posee notables vínculos con el sector agroganadero y agroindustrial, lo que ha conducido a que este reciente paradigma productivo de sustentabilidad se centre en dos ejes:

- **Biotecnología:** orientada al fortalecimiento del sector agropecuario mediante a la producción de bioinsumos de uso agropecuarios, desarrollo de modificación genética de organismo animal, microorganismo o vegetal, y productos biológicos provenientes de microorganismos o macroorganismos y de extractos o compuestos bioactivos. Estos insumos se aplican en la producción agropecuaria, agroalimentaria, agroindustrial, agroenergética y en el saneamiento ambiental agropecuario (fertilizantes, fitoestimulantes, bioinsumos de control, entre otros); Asimismo, comprende la producción de biomateriales o bioproductos de base biológica obtenidos de recursos agrícolas renovables, incluyendo los subproductos y residuos agroindustriales (bioplásticos, celulosa, biofabricación (materiales cultivados).
- **Bioenergía:** orientada a la generación de energía limpia y renovable a partir de la producción y el aprovechamiento sostenible de biomasa, enfocándose en los biocombustibles líquidos (biodiesel y bioetanol), biogás, biomasa seca, cultivos energéticos y la sostenibilidad del sector coordinando tecnologías y sistemas de producción sostenibles que añaden valor a las cadenas productivas, aprovechando la biomasa de residuos y subproductos agroindustriales, cerrando ciclos productivos con beneficios ambientales.

A partir de estos ejes se establecen las estrategias nacionales para el desarrollo de la bioeconomía, basada en la generación de nuevas cadenas de valor y tecnologías en los procesos de producción. Estas estrategias fomentan la interrelación de los sectores económicos y campos de conocimientos científicos-tecnológicos, facilitando la mejora en los procesos de producción. En este contexto, la investigación, el desarrollo y la innovación se constituyen en elementos centrales para el avance de la bioeconomía, incorporando nueva tecnología y generación de nuevos productos.

Energía geotérmica

La energía geotérmica proviene del aprovechamiento de calor del interior terrestre, el cual se incrementa en relación con la cercanía al núcleo del planeta. Esta energía se caracteriza por ser renovable, prácticamente inagotable y sustentable, dado que su emisión está compuesta fundamentalmente por vapor, no genera riesgos ambientales significativos y no depende de eventos climatológicos. En términos generales, la energía geotérmica es aquella energía en forma de calor o almacenada en el seno de la tierra; por tanto, cuando se hace referencia a este tipo de energía, se debe considerar la energía calorífica existente en el subsuelo, susceptible a ser aprovechada para su uso directo o conversión en energía eléctrica.

El aprovechamiento de este recurso dependerá del nivel energético o la entalpía en el reservorio. Según Santoyo-Gutiérrez y Torres-Alvarado (2010), los sistemas geotérmicos pueden clasificarse, en términos generales, por la temperatura del fluido extraído o inyectado para extraer calor de la roca. Los fluidos que superan los 200 °C son considerados recursos de alta entalpía, útiles para la producción de electricidad mediante sistemas convencionales, mientras que aquellos con temperaturas que fluctúan entre 100 °C y 200 °C corresponden a recursos de media entalpía, y los de menos de 100 °C se denomina sistema de baja entalpía. Por su parte, Christopher Armstead (1983) dividieron la superficie terrestre en áreas térmicas y no térmicas. Las áreas térmicas tienen gradientes geotérmicos superiores a 40 °C por kilómetro de profundidad. Además, distinguieron entre áreas térmicas y campos térmicos. Los campos térmicos son áreas con alta permeabilidad que permiten la presencia de fluidos capaces de transportar calor desde las profundidades hasta la superficie. Estos campos se clasifican en tres tipos: campos semitérmicos, que producen agua caliente a más de 100 °C; campos húmedos hipertérmicos que generan agua caliente y vapor; y campos secos hipertérmicos que provocan vapor seco saturado o sobrecalentado.

Según Lee (1996), clasificar recursos geotérmicos sólo por su temperatura resulta sencillo, aunque no siempre preciso. Dos recursos pueden presentar temperaturas similares, por ejemplo, 200 °C; sin embargo, uno puede ser agua saturada y el otro, vapor saturado. Si bien ambos se clasificarían como recursos de entalpía intermedia o alta, según diferentes criterios, el vapor saturado tiene una entalpía tres veces mayor que la del agua saturada. En términos de generación de energía, el vapor es cinco veces más eficiente que el agua, lo que significa que puede producir cinco veces más potencia por unidad de masa.

En relación con la explotación del recurso, los de baja temperatura se utilizan para la calefacción de viviendas, locales, aplicaciones industriales, especialmente en el sector agrícola y alimentario (invernaderos y piscicultura), mediante el aprovechamiento directo del calor a través de un sistema de geotérmico que posee una caldera de calefacción y está compuesto por dos sondeos (extracción e inyección) y un intercambiador, siendo el resto el sistema de distribución de calefacción convencional. Por otro lado, los recursos de elevada temperatura se emplean en la producción de energía eléctrica mediante tecnologías utilizadas en las plantas geotérmicas, entre las cuales se pueden mencionar (SERyEE, 2019):

- Planta de vapor seco: se utiliza una turbina de vapor para convertir energía a partir del fluido geotermal extraído, a baja presión y alto volumen. Estas plantas emplean turbinas condensadoras, reinsertando el condensado en el sistema (ciclo cerrado) o se evaporándose en torres de enfriamiento. Usan vapor temperatura de 150 °C o superiores, secando casi completamente el vapor para evitar daños en la turbina. La capacidad de estas plantas varía entre 8 MW y 140 MW.
- Planta flash: obtienen el vapor a través de un proceso de separación llamado flasheo. El vapor se dirige a las turbinas, y el condensado resultante se reinyecta en el reservorio o se somete a otro flasheo a menor presión. Estas plantas funcionan de manera más eficiente con fluidos a temperaturas superiores a 180 °C. Según el tipo de proceso, las plantas flash pueden ser simples (0,2 – 80 MW), dobles (2 – 110 MW) o triples (60 – 150 MW).
- Planta binaria: se utilizan en campos geotérmicos de baja o media entalpía. Emplean intercambiadores de calor para transferir energía a un fluido de proceso en un circuito cerrado, como mezclas de amoníaco/agua para ciclos Kalina o hidrocarburos para ciclos Rankine orgánicos (ORC). Estos fluidos tienen puntos de ebullición y condensación adecuados para las temperaturas geotérmicas. Generalmente, operan entre 100 °C y 250 °C, aunque a temperaturas inferiores a 100 °C la eficiencia disminuye. El tamaño de las plantas binarias varía entre 1 MW y 50 MW.

Yacimientos geotérmicos en la Argentina

Argentina posee recursos geotermales suficientes para establecerse como uno de los territorios más activos en el mercado de generación de energía limpia de la región. Su ubicación en zonas de actividad continental, con presencia de cuerpos magmáticos en niveles superiores de la corteza crea áreas térmicas anómalas, lo que sugiere un elevado potencial geotérmico. Asimismo, las cuencas con acuíferos geotermales posibilitan que este territorio tenga recursos geotermales de elevada y baja temperatura. Se estima que el país tiene un potencial geotérmico para la generación de electricidad de 2.000 MW, distribuido entre las provincias de Catamarca, Jujuy, La Rioja, Mendoza, Neuquén, Salta, San Juan y Tucumán (Gawell et al. 1999). El yacimiento de Copahue es el único que posee capacidad técnica (Instituto de Geología y Recursos Minerales, 2021).

Este territorio cuenta con los recursos necesarios para encaminar proyectos destinados a la generación de energía eléctrica a partir de la geotermia. En los años '70 se iniciaron las primeras exploraciones y reconocimientos geológicos y geoquímicos para la identificación de zonas o áreas con campos geotérmicos. En la actualidad, el país cuenta con más de 300 puntos de interés localizados en el territorio nacional, de los cuales 18 corresponden a áreas bajo estudio, y se contabilizan 82 proyectos de media y baja entalpía destinados al aprovechamiento directo del calor (Instituto de Geología y Recursos Minerales, 2021). No obstante, este tipo de energía exige inversiones significativas, cuyas ganancias son percibidas a largo plazo, lo que desalienta a los inversores para asumir riesgos frente a las faltas de garantías institucionales. Frente a este escenario, el Estado con la finalidad de aprovechar los recursos, garantizar la transición hacia una matriz de energía eléctrica sustentable y fomentar las inversiones públicas y privadas sancionó leyes, decretos y resoluciones, entre las cuales se destacan:

- En el año 2006 se sanciona la Ley N° 26.190 *Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica*, orientada a promover la investigación y desarrollo tecnológico que estimule las inversiones de emprendimientos vinculados a la producción de energías renovables, fijando como objetivo que estas energías contribuyan con un 8 % en la matriz eléctrica para el año 2016.
- En 2015 sanciona la Ley N° 27.191 *Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica*. Modificación (complementando la Ley N° 26.190), enmarcando el régimen de fomento y uso de fuentes de energías renovables orientadas a la producción de energía eléctrica mediante beneficios impositivos e incorporando nuevos objetivos de contribución de estas energías a la matriz eléctrica, expresadas en una participación del 12 % para 2019, 16 % en 2021, 18% y 20 % en 2023 y 2025, respectivamente.
- En 2017 se sanciona la Ley N° 27.424 *Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable integrada a la Red Eléctrica Pública*, que establece el marco normativo para la generación y distribución de energía renovable integrada a la red eléctrica pública, regulando la posibilidad de que todos los usuarios que cuenten con conexión a red eléctrica puedan generar energía para su autoconsumo.

A pesar del marco institucional desarrollado por el país, el elevado costo que implica las perforaciones necesarias para los estudios de proyección de yacimientos geotérmicos constituye el principal limitante para que los gobiernos locales afronten las inversiones iniciales. De igual manera, los inversores privados, según el Instituto de Geología y Recursos Minerales (2021), aún no han desarrollado proyectos orientados a explotar estos recursos, argumentando que el Estado debe garantizar la certidumbre geológica mediante estudios y análisis que contribuya a mermar el riesgo de inversión y a promover al sector geotérmico como parte de la matriz de energía eléctrica nacional.

Antecedentes y sustentabilidad productiva en el Norte Argentino: potencialidades y limitaciones

A partir de las definiciones y estrategias nacionales sobre bioeconomía y energía geotérmica en Argentina, se registran plantas vinculadas al aprovechamiento de recursos biológicos para la producción y yacimientos geotérmicos destinados a la generación de energía limpia. Respecto de las actividades bioeconómicas, el país posee 55 plantas distribuidas en 15 de las 23 provincias del territorio nacional. Entre las actividades productivas resuenan las de biodiésel, biogás, biomasa y en menor medida plantas de biodigestión, bioinsumos y bioetanol. Asimismo, el 32,72 % del total de estos establecimientos se ubican en la región Norte Grande Argentino, formando parte del encadenamiento del sector agropecuario y agroindustrial, con vínculo significativo como proveedores de materia prima. Por su parte, el Servicio Geológico Minero Argentino indica que el país posee 18 proyectos en yacimientos geotérmicos, que oscila entre baja a alta entalpia, de los cuales 13 se localizan en el Norte.

La región y la bioeconomía

El Norte Argentino posee diversas experiencias de producción orientadas al desarrollo de la bioeconomía. Bocchetto et al. (2020), en un informe de diagnóstico, sistematizan que la región cuenta con 126 empresas y proyectos, caracterizándolos en tres tipologías: i. empresas foráneas al territorio regional, pertenecientes a complejos productivos e integradas verticalmente, con elevado grado de transformación de biomasa orientado a la exportación; ii. empresas propias del territorio, con actividad principal y otra secundaria, destinada al mercado regional o nacional y de transformación intermedia de biomasa; y iii. empresas de origen local, integradas horizontalmente a las etapas de transformación de biomasa de baja escala, cuya producción se caracteriza por ser artesanal y destinada al mercado local. Esta tipología evidencia la heterogeneidad de la estructura productiva en la región, junto con las asimetrías en los emprendimientos según mercados, escalas de producción y recursos disponibles. A esto se suma la existencia no sistematizada de emprendimientos en etapas embrionarias, de pequeña envergadura productiva, resultado de proyectos de vinculación y transferencia entre la extensa trama de agricultores familiares, pequeños y medianos productores e instituciones públicas y privadas.

La región evidencia actividades vinculadas a la biorefinería, bioenergía, bioproductos, bioinsumos. La trayectoria productiva bioeconómica podría estar vinculada con:

- su perfil agropecuario, impactando de manera directa o indirecta en el stock de biomasa;
- la presencia de recursos humanos que ofrecen oportunidades para superar obstáculos tecnológicos relacionados con los procesos de producción;
- la capacidad instalada para la producción de alimentos y bebidas (siendo más significativas a nivel de producción primaria que industrial), contribuyendo a la economía circular mediante el aprovechamiento de residuos de producción y su agregado de valor;
- el conocimiento y uso de los servicios ecosistémicos; y
- la cultura reproductiva de saberes vinculados a especies alimenticias y medicinales nativas, que sostienen la producción agroecológica.

Sin embargo, la trayectoria productiva no se presenta como condición suficiente para ejecutar acciones y proyectos bieconómicos. En la actualidad, las capacidades de la región se encuentran limitadas por la insuficiente infraestructura regional, las barreras comerciales, y el uso desmedido del suelo, que conduce a la deforestación y degradación de importantes áreas forestales, afectando diversos servicios ecosistémicos. Además, los límites naturales plantean desafíos para una expansión horizontal, que podría impactar negativamente en ambientes frágiles y ecosistemas de alta captura de carbono; sumado a ello, la deficiencia en materia de ordenamiento territorial a nivel provincial de bosques nativos complica la preservación de estos recursos. Por otra parte, la débil institucionalidad en torno a políticas públicas y marcos regulatorios limita el desarrollo estratégico de innovaciones que generen sinergia entre el entramado socio-productivo, mediante proyectos y acuerdos de sectores público, privado y comunitario (Bocchetto et al., 2020; Bisang y Trigo, 2017).

Yacimientos en la región

Respecto de la generación de energía limpia mediante el uso de la geotermia, en el noroeste del país se registran 234 manifestaciones termales, de concentración de temperaturas entre 22 °C y 25 °C (Pesce y Miranda, 2003), de los cuales sólo 13 se han establecido como proyectos de generación de energía geotérmica (Naón, 2020); se destaca el proyecto Volcán Tuzgle, ubicado en la provincia de Jujuy, propiedad de Geotermia Andina S.A. con potencialidad de 34 MW. En la provincia de Salta, se identifican el proyecto de Falla Tocomar de Hanar Grup (propietario de los derechos mineros), con proyección de generación mínima de 6MW, y el proyecto de Volcán Socompa, de Recursos Energéticos y Mineros de Salta S.A., el cual prevé una potencia entre 15 MW y 20 MW. En Catamarca, CAMYEN lleva a cabo el proyecto de Caldera Cerro Blanco, con una estimación de potencial de 56 MW, aunque es probable que la generación se ubique más cerca de los 20 MW (Martínez, 2023).

A pesar de la riqueza de esta región en relación con esta fuente de energía limpia, se desatacan limitantes asociados a (Instituto de Geología y Recursos Minerales, 2021; Picighelli, 2023):

- el elevado costo de inversiones relacionadas con el diseño del proyecto, la exploración y la campaña de perforación, así como el riesgo significativo derivado del desconocimiento preciso de las características geológicas y de fluidos de los sistemas geotérmicos de la zona;
- la competencia con otras fuentes renovables de energía, como la solar y la eólica, de menores costos relativos;
- la necesidad de políticas públicas que fomenten la investigación y establezcan un marco económico favorable a la inversión, además de seguridad jurídica;
- la ubicación geográfica de estos recursos generalmente está asociada a sistemas tectónicos activos, junto con la baja transferencia tecnológica desde la industria petrolera hacia la geotermia, especialmente si se considera que las tecnologías de exploración, perforación, características de reservorios, producción y el personal calificado son muy similares a los de la industria petrolera, lo que implica que no requieren nuevas tecnologías ni formación adicional de profesionales;
- la falta de estudios de base que generen planes de difusión para estimular las inversiones privadas
- y la necesidad de tecnologías avanzadas para la explotación de yacimientos no convencionales, como el fracturamiento hidráulico y la perforación horizontal en condiciones de alta presión y temperatura, que pueden aplicarse al desarrollo de sistemas geotérmicos mejorados (EGS), sistemas de roca seca-caliente (HDR), sistemas geotérmicos avanzados (AGS) y sistemas de roca súper caliente.

Sinergia en la bioeconomía y la geotermia

Hasta el momento, las evidencias muestran los notables esfuerzos del país y la región hacia un desarrollo sostenible, donde la bioeconomía se establece como un eje de la política de Estado y la energía geotérmica como un recurso de potencial explotación. Sin embargo, hasta la fecha no se cuenta con experiencias documentadas sobre el uso sinérgico entre la bioeconomía y la geotermia, lo que representa una oportunidad significativa para el avance hacia una matriz productiva más sostenible. Diversos autores (Spliethoff et al., 2017; Liu et al., 2018; Beckman et al., 2019; Sandberg et al., 2020), a partir de experiencias empíricas, sostienen que la integración de la bioeconomía y la energía geotérmica contribuyen a la producción y gestión de los recursos de manera eficiente y sostenible, generando beneficios de impactos positivos sobre:

- eficiencia energética: las plantas de procesamiento de biomasa y bioproductos pueden utilizar energía geotérmica para cubrir sus requerimientos energéticos, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y aumentando la eficiencia general del sistema.
- ciclo de vida cerrado: la combinación de ambas tecnologías puede contribuir al cierre del ciclo de vida de los productos, utilizando los residuos de biomasa en la producción de energía y, a su vez, usando la energía geotérmica para procesar biomasa.
- desarrollo regional: la implementación conjunta de bioeconomía y energía geotérmica puede estimular el desarrollo regional, especialmente en áreas rurales con abundancia de recursos biológicos y geotérmicos.
- innovación y empleo: la sinergia entre ambas áreas puede impulsar la innovación tecnológica y generar nuevos empleos en sectores emergentes, como el desarrollo de bioproductos avanzados y la mejora de las tecnologías geotérmicas.
- sostenibilidad ambiental: la combinación de la bioeconomía y la energía geotérmica contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la conservación de los recursos naturales y la mitigación del cambio climático.

Sinergia y senderos productivos en Santiago del Estero

La provincia de Santiago del Estero –al igual que las provincias del norte del país– posee un gran potencial tanto en el ámbito de la bioeconomía como en la energía geotérmica. Este territorio se particulariza por su marcado perfil agropecuario, una estructura productiva reprimarizada y heterogénea, con distintas escalas de producción y destinos, que conforman una trama socioproductiva asimétrica, sumado la diversidad forestal contenida en lo que resta de la superficie de bosques nativos y un sector industrial de baja productividad y escaso agregado de valor, donde se destacan como producciones principales los alimentos y bebidas.

En relación con la bioeconomía, la provincia cuenta con 4 plantas, 3 empresas y 9 proyectos de autoabastecimiento de productores a través de generación de energía a partir de biomasa (Cuadro 1). La CEPAL (2021) advierte que esta jurisdicción genera considerables cantidades de residuos de cultivos, siendo sus principales actividades agrícolas el algodón, maíz, soja y frutícola, así como su actividad forestal y bovina, caprina y porcina, residuos que pueden ser utilizados para la producción de biogás, bioetanol y otros subproductos. Asimismo, se registra el uso de biofertilizantes y bioinsecticidas empleados por los pequeños y medianos productores mejorando la sostenibilidad de las prácticas agrícolas locales, disminuyendo la dependencia de insumos químicos y promoviendo el manejo ecológico de los cultivos.

Cuadro 1

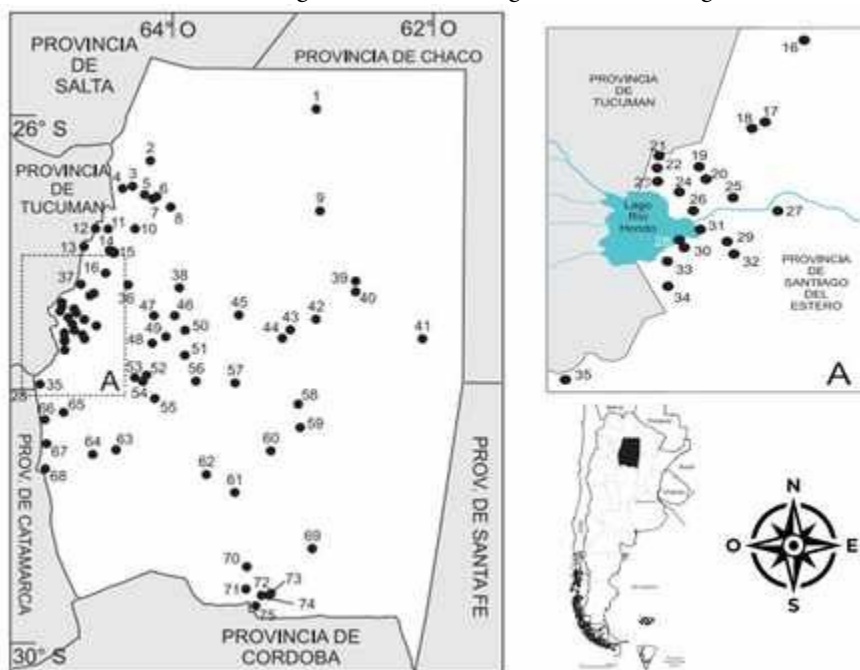
Identificación de plantas, empresas y proyectos en funcionamiento de actividades bioeconómicas. Santiago del Estero - Argentina

		Ubicación	Descripción
Planta	Bioenergía Santiago	Departamento Capital	Planta de biogás a partir de residuos orgánicos y agroindustriales.
	Biomasa Santiago	Departamento Banda	Planta de biomasa que utiliza residuos agrícolas.
	Planta de Biocombustibles	Departamento Choya	Producción de biodiésel a partir de cultivos oleaginosos y aceites reciclados.
	Planta de Biofertilizantes	Departamento Río Hondo	Producción de biofertilizantes utilizando residuos agroindustriales, como estiércol y compost.
Empresa	BioSantiago	Departamento Capital	Producción y comercialización de energía de biomasa a partir de residuos forestales y agrícolas.
	AgroEcoSDE	Departamento Río Hondo	Empresa dedicada a la producción de bioproductos, incluyendo biofertilizantes y biocombustibles, con un enfoque en la sostenibilidad y el uso de recursos locales.
	EcoFuels Santiago	Departamento Choya	Empresa especializada en la producción de biodiésel y bioetanol a partir de cultivos energéticos y aceites reciclados.
Proyecto	BioSantiago	Departamento Banda	Proyecto de desarrollo de biofertilizantes a partir de residuos agrícolas y desarrollo de producción de bioetanol a partir de maíz.
	Energía Solar Integrada con Bioenergía	Departamento General Taboada	Iniciativa para instalar sistemas solares y de bioenergía para proporcionar energía sostenible a comunidades rurales aisladas.
	Productos Biobasados a partir de Algarrobos	Departamento Copo	Proyecto de investigación y desarrollo para aprovechar los recursos de algarrobo en la producción de alimentos y productos industriales biobasados.
	Valorización de Residuos Agrícolas para Biogás	Departamento Moreno	Proyecto orientado a convertir residuos de la agricultura en biogás, promoviendo la energía renovable y la economía circular en la región.
	Biogas-Colonia Jaime	Departamento Robles	Proyecto para optimización de sistemas existentes de tratamiento de efluentes derivados de la actividad productiva pecuaria para el aprovechamiento de biogás y subproductos.
	Biopreparados Naturales	Departamento General Taboada	Proyecto vinculante entre Incupo, Secretaría de Agricultura Familiar, Mundo Sano y la comunidad de familias rurales para el desarrollo de preparados de medicamentos naturales para prevenir y tratar enfermedades de producción agropecuaria.
	Bioinsumos para cultivos	Departamento Río Hondo	Proyecto vinculante entre Productora Argentina Dáz, INTA, Cambio Rural para preparado de insumos naturales para el mejoramiento de suelo para cultivos.
	Biocombustible Bandera	Departamento Belgrano	Proyecto de producción de biomasa mediante el uso de caña de azúcar y hojas de eucaliptos.
	Biopreparados - Cooperativa Agroecológica Loreto	Departamento Loreto	Proyecto para la producción de biopreparados agrícolas para pequeños productores.

Fuente: Elaboración propia con base en recolección y sistematización de información desde la web.

Respecto de las energías limpias, la provincia ha avanzado sobre la generación de energía solar mediante la elaboración un mapa solar estratégico y la inversión en paneles para producción de esta energía (CEPAL 2021). No obstante, este territorio cuenta con 75 manifestaciones geotermales (Figura 1), en su mayoría de baja entalpía (Pesce y Miranda, 2003), que podrían ser utilizados para generar energía de uso doméstico y procesos básicos de industrialización manufacturera y agrícola.

Figura 1
Manifestaciones geotermales. Santiago del Estero - Argentina



Fuente: Elaboración propia. Imágenes cartográficas extraídas de Pesca, A. y Miranda, F. (2003), Catálogo de Manifestaciones Termales de la República Argentina, Volumen I Región Noroeste, pp. 107-108.

Entre las manifestaciones geotermales cabe destacar que, desde 2012, en la provincia se vienen desarrollando estudios de evaluación de potencial geotérmico en el departamento Río Hondo, cuyos análisis que se encuentran en su cuarta etapa de exploración, proyectándose que el yacimiento ubicado en Villa Río Hondo (Figura 2) podría ser de media a alta entalpía, lo cual posibilitaría la construcción de una planta energética para abastecer a parte de la provincia.

Figura 2
Manifestación geotermal de pozo explorado. Área Villa Río Hondo, Santiago del Estero - Argentina



Fuente: Extraído de Pesce, A. (2014). Informe de trabajo para la Secretaría de Ciencia y Tecnología de Santiago del Estero. 3ª etapa "Evaluación del potencial geotérmico en la zona de Termas de Río Hondo para la generación eléctrica, provincia de Santiago del Estero".

Santiago del Estero dispone de los recursos necesarios para desarrollar encadenamientos orientados a una matriz productiva sostenible. La combinación de la bioeconomía y la energía geotérmica en la provincia podría incrementar el potencial de un sistema energético y productivo eficiente con múltiples beneficios. De igual manera, esta potencialidad sinérgica puede ser orientada tanto a grandes proyectos de entramado socioproductivo, basados en el fortalecimiento del capital territorial y los proyectos existentes, así como proyectos de media escala vinculados a pequeños, medianos productores y agricultores familiares, fomentando el asociativismo necesario para el desarrollo territorial mediante el uso de las políticas públicas:

Grandes proyectos

- Biogás: proyectar o potenciar la producción de biogás con plantas alimentadas mediante energía geotérmica, maximizando la eficiencia operativa y reduciendo los costos.
- Bioetanol: proyectar o potenciar la producción de bioetanol utilizando el calor geotérmico en el proceso de destilad

Medianos proyectos

- Invernaderos sustentables: la utilización de energía geotérmica permitiría sustituir otras fuentes de energía, por ejemplo, se podría establecer la temperatura adecuada para diversificar cultivos y producir cultivos fuera de temporada, el riego adecuado, luz necesaria, entre otras funciones y utilidades que requieran de energía. Así mismo, los desechos de materia orgánica de los cultivos se podrían generar abono ecológico aportando los nutrientes necesarios.
- Secado de granos y alimentos: implementar un sistema de secado utilizando el calor geotérmico, reduciendo el consumo de energía convencional y costos asociados a la transformación de subproductos industriales aptos para el desarrollo de materia prima, biomateriales y alimentos.
- Producción de biogás: aprovechar los residuos agrícolas y forestales para la producción de biogás haciendo uso de la energía geotérmica, optimizando el proceso de digestión anaeróbica.
- Riego eficiente: hacer uso de la energía geotérmica para sistemas de riego por aspersores o para el calentamiento de destinada al cultivo de algas, las cuales pueden ser usadas para biocombustibles, suplementos alimenticios y otros productos.
- Biocombustibles: emplear energía geotérmica para la producción de biofertilizantes y bioinsecticidas, utilizando los recursos locales y promoviendo las prácticas agrícolas sostenibles.

La implementación de esta sinergia posibilitaría mejorar la eficiencia en el aprovechamiento de estos recursos, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero y la dependencia de productos petroquímicos, optimizar el manejo de los desechos y promover el uso racional del agua. De igual manera, facilitaría la conformación de una matriz productiva diversificada, y con encadenamientos sostenibles, junto a una reconfiguración de la economía local y territorial mediante la generación de nichos o nuevos mercados de valor agregado e incluso generación de encadenamientos de ciclos cerrados y sostenibles. La ejecución conjunta de estas tecnologías estimularía el desarrollo económico de la provincia, generando empleo y promoviendo la innovación y el desarrollo de tecnología -sobre la base de la diversificación de nuevas actividades económicas- estimulando la formación de recursos humanos.

Elementos limitantes para la implantación de nuevos senderos productivos en la provincia

Santiago del Estero presenta un conjunto significativo de recursos naturales, capacidades productivas y manifestaciones geotérmicas con potencial energético, la implementación efectiva de una estrategia de desarrollo basada en la sinergia entre la bioeconomía y la energía geotérmica enfrenta importantes restricciones estructurales, económicas, institucionales y tecnológicas, que limitan su factibilidad en el corto y mediano plazo. Estudios recientes de la CEPAL (2021, 2024) señalan que los principales obstáculos para la transformación productiva sostenible en la provincia se vinculan con déficits persistentes en infraestructura y logística, restricciones en el acceso al financiamiento, debilidades institucionales y limitaciones en las capacidades científico-tecnológicas locales.

En particular, la insuficiencia en infraestructura básica —redes de transporte, conectividad vial intraprovincial, infraestructura ferroviaria, acceso a energía, agua y conectividad digital— incrementa los costos de producción, restringe la localización de inversiones y dificulta la integración efectiva a los mercados regionales y nacionales. Estas limitaciones afectan especialmente la viabilidad económica de proyectos bioenergéticos y geotérmicos, que requieren sistemas logísticos eficientes para el transporte de biomasa, insumos industriales y productos con valor agregado.

Asimismo, se identifican fuertes restricciones en el acceso al financiamiento y en la capacidad de inversión, particularmente relevantes para el desarrollo de tecnologías intensivas en capital, como la geotermia. La limitada disponibilidad de instrumentos financieros adaptados al desarrollo territorial, la escasa presencia de capital de riesgo y las dificultades de acceso al crédito por parte de pequeños y medianos productores, cooperativas y emprendimientos locales refuerzan estas barreras, profundizando brechas regionales preexistentes (CEPAL, 2021). Por su parte, el marco institucional y regulatorio constituye otro factor crítico. A pesar de la existencia de políticas nacionales orientadas al fomento de las energías renovables, el desarrollo de la energía geotérmica aún carece de un marco normativo específico consolidado que brinde previsibilidad, seguridad jurídica e incentivos adecuados. A nivel provincial, la ausencia de instrumentos regulatorios, esquemas tarifarios diferenciales y estímulos fiscales limita la atracción de inversiones y la articulación público-privada, reduciendo la capacidad de planificación energética de mediano y largo plazo.

A ello se suman las limitaciones en las capacidades científico-tecnológicas y en la disponibilidad de recursos humanos especializados. Si bien la provincia cuenta con universidades y organismos técnicos, persiste un déficit relativo de profesionales formados en tecnologías geotérmicas, ingeniería energética y bioeconomía aplicada, lo que restringe la apropiación local de tecnologías estratégicas y la generación de encadenamientos productivos dinámicos (CEPAL, 2024).

Por último, la persistencia de una estructura productiva reprimarizada, con baja diversificación industrial, escasa densidad empresarial y elevados niveles de pobreza e informalidad laboral, limita la demanda local de energía y reduce los incentivos económicos para la instalación de plantas geotérmicas orientadas a procesos productivos complejos. Estas condiciones estructurales restringen el margen de acción de los gobiernos subnacionales para impulsar políticas activas de transición energética y transformación productiva sostenible.

Reflexiones finales

En la Argentina, la bioeconomía y la energía geotérmica se consolidan como ejes estratégicos para la transformación productiva sostenible, especialmente en regiones periféricas con alta dotación de recursos naturales y rezagos estructurales, como el Norte Argentino. Mientras la bioeconomía ha avanzado en su institucionalización, particularmente en el sector agroindustrial, la geotermia emerge como un recurso clave para la transición energética y la descarbonización de la matriz productiva. Sin embargo, la expansión de estas estrategias enfrenta limitaciones estructurales vinculadas a déficits en infraestructura, debilidad institucional y ausencia de marcos regulatorios específicos.

En este marco, Santiago del Estero expone condiciones particularmente favorables para la articulación sinérgica entre ambas estrategias. Su perfil agropecuario, la disponibilidad de biomasa residual, la existencia de proyectos bioeconómicos en distintas escalas productivas y la presencia de manifestaciones geotérmicas, configuran una base material significativa para el diseño de nuevos senderos productivos sostenibles. La integración funcional entre la bioeconomía y geotermia permitiría no solo mejorar la eficiencia energética y promover el cierre de ciclos productivos, sino también potenciar procesos de diversificación económica, innovación tecnológica, generación de empleo y fortalecidos encadenamientos productivos locales de valor agregado.

No obstante, la información de los estudios técnicos evidencia que esta estrategia enfrenta condicionantes estructurales profundos, que exceden el plano técnico-productivo. Las limitaciones en infraestructura, logística y conectividad territorial, las restricciones persistentes en el acceso al financiamiento, la debilidad del entramado institucional y regulatorio específico para la geotermia, así como la escasa disponibilidad de capacidades científico-tecnológicas especializadas, configuran un escenario complejo para la implementación

efectiva de proyectos de base geotérmica articulados con la bioeconomía. Estas restricciones, de naturaleza económica, política e institucional, delimitan los márgenes de acción de los gobiernos subnacionales y condicionan la viabilidad de estrategias energéticas intensivas en capital y conocimiento.

En este sentido, la transición hacia una matriz productiva sustentable en Santiago del Estero no puede concebirse como un proceso espontáneo ni exclusivamente guiado por las señales del mercado. Requiere, por el contrario, de una planificación estratégica de largo plazo, sostenida por políticas públicas activas, esquemas innovadores de financiamiento, fortalecimiento institucional y una decidida articulación entre el sector público, el sistema científico-tecnológico, el entramado productivo y las organizaciones territoriales. La construcción de estas capacidades locales, la formación de recursos humanos especializados y el diseño de instrumentos regulatorios específicos para la energía geotérmica se presentan como condiciones necesarias para reducir la incertidumbre inversora y promover la apropiación territorial de estas tecnologías.

Si bien la sinergia entre bioeconomía y energía geotérmica se proyecta como una oportunidad estratégica para avanzar hacia un modelo de desarrollo territorial más equitativo, resiliente y ambientalmente sostenible, en el caso de la provincia, esta articulación no permitiría valorizar los recursos naturales disponibles, sino también contribuir a revertir históricas desigualdades regionales, fortaleciendo las bases económicas locales y ampliando las capacidades de planificación y gestión del desarrollo. Desde esta perspectiva, la propuesta de nuevos senderos productivos sostenibles adquiere un carácter estructural, al inscribirse dentro de un proceso más amplio de transformaciones productivas, energética y social, orientado a la construcción de un futuro territorialmente más integrados y sustentable. Finalmente, el presente escrito ha buscado evidenciar elementos analíticos y criterios territoriales que contribuyan al diseño de políticas públicas orientadas a una transición productiva y energía sostenible en regiones periféricas, fortaleciendo el debate académico y la planificación estratégica del desarrollo regional.

Roles de colaboración

Rita Gabriela Salvatierra, Miguel Ángel Sarmiento y Maximiliano Celmo David Budán: Escritura, revisión y edición.

Referencias bibliográficas

- Anlló, G., Bisang, R. y Trigo, E. (2018). *Bioeconomía: hacia una lógica productiva sostenible*. UNESCO.
- Armstead, H. C. H. (1983). *Geothermal Energy: Its Past, Present and Future Contributions to the Energy Needs of Man*. E. & F.N. Spon.
- Beckman, J., Richards, M. & Harding, A. (2019). Geothermal-biomass hybrid systems for sustainable energy production. *Journal of Sustainable Energy Engineering*, 11, 245-258.
- Bisang, R. y Trigo, E. (2017). Bioeconomía argentina: modelos de negocios para una matriz productiva. Documento de Trabajo. Argentina, Ministerio de Agroindustria de la Nación - Bolsa de Cereales de Buenos Aires.
- Bocchetto, R. M., Gauna, D. H., Bravo, G. C., González, C. B., Rearte, M., Molina Tirado, L. Hilbert, J. A., Eisenberg, P., Lecuona, R. E., Taraborrelli, D. S., Papagno, S. G. y Vaudagna, S. R. (2020). *Bioeconomía del Norte Argentino: Situación actual, potencialidades y futuros posibles. Documento de trabajo. Proyecto Bioeconomía Argentina: Construyendo un Futuro Inteligente y Sustentable para el Norte Argentino 2030*. MINCYT-INTA-INTI-UNNE-UNSa-UNSE.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2020). *Construir un nuevo futuro: una recuperación transformadora con igualdad y sostenibilidad*. Documento de Proyecto (LC/SES.38/3-P/Rev.1). CEPAL Santiago de Chile.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2021). *Lineamientos para la transformación productiva en Santiago del Estero: una agenda para la acción en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y las Metas del Bicentenario de la Autonomía Provincial. Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/91 - LC/BUE/TS.2021/1)*. CEPAL.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2024). *El sector de la economía del conocimiento en Santiago del Estero (Argentina): potencialidades y desafíos. Documentos de Proyectos (LC/TS.2024/93-LC/BUE/TS.2024/2)*. CEPAL.
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987). *Desarrollo y cooperación económica internacional: medio ambiente. Informe*. Naciones Unidas.
- Deciancio, M. y Siegel, K. (2022). Creando condiciones para el desarrollo de la bioeconomía en la Argentina: El papel de las políticas estatales en biotecnología y biocombustibles (1990- 2022). *Revista Estado y Políticas Pública*, (19), 225-224
- Gawell, K., Marshall, R. y Wright, M. (1999). *Preliminary Report: Geothermal Energy, the Potential for firm power from the earth*. Geothermal Energy Association.
- Hernández Cervantes, T. (2008). Breve exposición de las contribuciones de Georgescu- Roegen a la economía ecológica y un comentario crítico. *Argumentos*, (56), 35-52.
- Instituto de Geología y Recursos Minerales (2021). *Geotermia en Argentina: estado, áreas de interés, potencial*. Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación, Servicio Geológico Minero Argentino.
- Lee, K. C. (1996). Classification of geothermal resources - an engineering approach. *Proceedings*, (25), 22-24.
- Liu, W., Kumar, A. & Gonzalez-Salazar, M. (2018). Sustainable energy pathways: The role of geothermal and biomass integration. *Energy Conversion and Management*, 168,1298- 1311.

- Maciejczak, M. & Hofreiter, K. (2013). How to define bioeconomy. *Roczniki Naukowe*, (15), 243-248.
- Martínez, L. (2023). El gran potencial de la Argentina para generar energía con el calor de los volcanes: que se necesita para desarrollarlo. *Dinamicarg*. <https://dinamicarg.com/argentina-gran-potencial-energia-geotermica/>
- Naón, V. (2020). *Catálogo de Publicaciones Geocientíficas sobre 18 Prospectos Geotérmicos Seleccionados por el Servicio Geológico Minero Argentino*. Servicio Geológico Minero Argentino.
- Pesce, A. (2014). *3° Etapa: Evaluación del potencial geotérmico en la zona de Termas de Río Hondo para la generación eléctrica, provincia de Santiago del Estero*. Informe de Trabajo. Secretaría de Ciencia y Tecnología de Santiago del Estero.
- Pesce, A. y Miranda, F. (2003). *Catálogo de Manifestaciones Termales de la República Argentina, Volumen I Región Noroeste*. Servicio Geológico Minero Argentino- Instituto de Geología y Recursos Minerales. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/2517>
- Picighelli, C. (2023). Energía geotérmica en la argentina. *Ciencia e investigación*, (73), 25-43.
- Rodríguez, A., Mondaini, A. y Hitschfeld, M. (2017). *Bioeconomía en América Latina y el Caribe: contexto global y regional y perspectivas*. Documento de Trabajo Serie Desarrollo Productivo 215. CEPAL, Naciones Unidas Santiago de Chile.
- Salvatierra, R. G. (2022). La estructura productiva agroganadera de Santiago del Estero. [Tesis Doctorado en Ciencias Sociales con orientación en Geografía, Universidad Nacional de Tucumán]. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Sánchez, L. y Reyes, O. (2015). *Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Documento de Proyecto LC/W.675. CEPAL, Naciones Unidas Santiago de Chile.
- Sandberg, J., Dahlquist, E. & Lundström, S. (2020). Integration of geothermal energy and bioenergy systems for sustainable development. *Renewable Energy*, (147), 1325-1334.
- Santoyo-Gutiérrez, E. y Torres-Alvarado, I. S. (2010). Escenario futuro de explotación de la energía geotérmica: hacia un desarrollo sustentable. *Revista Digital Universitaria*, (11), 3-26.
- Splithoff, H., Mitsos, A. & Schneider, J. (2017). Evaluating the synergies of geothermal and bioenergy systems for a sustainable energy matrix. *Applied Energy*, (205), 293-305.
- Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética (SERyEE) (2019). *Energía geotérmica. Estado del Arte de la Tecnología de generación de energía eléctrica a partir de la geotermia*. SERyEE.
- Trigo, E., Vera Morales, E., Grassi, L., Losada, J., Dellisanti, J. P., Molinari, M. E., Murmis, M. R., Almada, M. y Molina, S. (2016). *Bioeconomía Argentina - Visión desde Agroindustria*. Documento de Trabajo. Ministerio de Agroindustria. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioeconomia/_archivos/000000_Bioeconomia%20Argentina.pdf