

APRENDIZAJE E INNOVACIÓN EN LAS INDUSTRIAS DE ENERGÍA DE FUENTES RENOVABLES EN ARGENTINA: MERCADO, TECNOLOGÍA, ORGANIZACIÓN E INSTITUCIONES

María Eugenia Castelao Caruana¹

Carolina Pasciaroni²

Carina Guzowski³

Mónica Castro⁴

María Florencia Zabaloy⁵

María María Ibañez Martín⁶

La transición energética es hoy un proceso ineludible para los países en desarrollo, que pone en debate el equilibrio entre la seguridad energética, la equidad social, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo tecno productivo. Este último eje plantea la posibilidad de transformar la transición energética en un espacio de oportunidad para el desarrollo de nuevas capacidades tecnológicas asociadas a la generación de energía de fuentes renovables (EFR), que contribuyan a mejorar la competitividad y complejizar la estructura productiva de estos países. A partir del debate que repone la literatura económica evolucionista y neoschumpeteriana respecto al papel de las industrias dedicadas a la explotación y transformación de recursos naturales en el desarrollo económico, este artículo se propone profundizar sobre la dinámica innovadora de estas industrias y las condiciones de mercado, organizacionales, institucionales y tecnológicas que la moldean. Mediante la revisión de diversas fuentes de datos secundarias, el artículo analiza cuatro casos de estudio correspondientes a las industrias de producción de biogás, biodiesel, energía eólica e hidrógeno bajo en emisiones en Argentina. Se observa que ninguna de estas condiciones por sí sola es suficiente para impulsar espacios de aprendizaje e innovación, por lo que es necesario considerar sus múltiples interacciones y la heterogeneidad de estas industrias para diseñar una transición energética que priorice el desarrollo tecno productivo. Además, la presencia de innovaciones no necesariamente implica el desarrollo de capacidades tecnológicas por lo que persisten interrogantes sobre las condiciones que habilitan los procesos de aprendizaje e innovación.

Palabras clave: transición energética; cuatrilema energético; cambio tecnológico; hidrógeno; biodiesel; energía eólica; biogás.

1. Doctora en ciencias económicas por la Universidad de Buenos Aires (UBA); y investigadora adjunta en Fundación Bariloche del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0181-9862>. Correo electrónico: eugeniacastelao@conicet.gov.ar.

2. Doctora en ciencias económicas; y investigadora en el Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur (UNS) del CONICET. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2960-998X>. Correo electrónico: carolina.pasciaroni@uns.edu.ar.

3. Doctora en ciencias económicas; y investigadora en el UNS/CONICET. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2745-8332>. Correo electrónico: cguzow@criba.edu.ar.

4. Maestría en desarrollo y gestión territorial; y becaria en Instituto de Investigaciones Sociales, Territoriales y Educativas (UNRC) del CONICET. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2053-8436>. Correo electrónico: monica094@gmail.com.

5. Doctora en ciencias económicas; y becaria en el UNS/CONICET. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0494-1193>. Correo electrónico: florencia.zabaloy@uns.edu.ar.

6. Doctora en ciencias económicas; y investigadora asistente en el UNS/CONICET. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0476-1654>. Correo electrónico: maria.ibanez@uns.edu.ar.

APRENDIZAGEM E INOVAÇÃO NAS INDÚSTRIAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NA ARGENTINA: MERCADO, TECNOLOGIA, ORGANIZAÇÃO E INSTITUIÇÕES

A transição energética é hoje um processo ineludível para os países em desenvolvimento, que põe em debate o equilíbrio entre a segurança energética, a equidade social, a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento tecnológico produtivo. Este último está plantando a possibilidade de transformar a transição energética em um espaço de oportunidade para o desenvolvimento de novas capacidades tecnológicas associadas à geração de energia de fontes renováveis (EFR), o que contribui para aumentar a competitividade e completar a estrutura produtiva destes países. A partir do debate que representa a literatura econômica evolucionista e neoschumpeteriana respeitando o papel das indústrias dedicadas à exploração e transformação de recursos naturais no desenvolvimento econômico, este artigo se propõe a aprofundar a dinâmica inovadora dessas indústrias e as condições de mercado, organizacionais, institucionais e tecnológicas que moldam. Mediante a revisão de diversas fontes de dados secundários, o artigo analisa quatro casos de estudo correspondentes às indústrias de produção de biogás, biodiesel, energia eólica e hidrogênio baixo em emissões na Argentina. Observa-se que nenhuma dessas condições por si só é suficiente para impulsionar espaços de aprendizado e inovação, pelo que é necessário considerar suas múltiplas interações e a heterogeneidade dessas indústrias para projetar uma transição energética que priorize o desenvolvimento tecnoprodutivo. Além disso, a presença de inovações não necessariamente implica o desenvolvimento de capacidades tecnológicas pelo que persistem interrogantes sobre as condições que habilitam os processos de aprendizagem e inovação.

Palavras-chave: transição energética; quadrilema energético; câmbio tecnológico; hidrogênio; biodiesel; energia eólica; biogás.

LEARNING AND INNOVATION IN THE RENEWABLE ENERGY INDUSTRIES IN ARGENTINA: MARKET, TECHNOLOGY, ORGANIZATION, AND INSTITUTIONS

Energy transition is an unavoidable process for developing countries, that calls into debate the balance between energy security, social equity, environmental sustainability, and techno-productive development. This last aspect raises the possibility of transforming this process into a space of opportunity for the development of new technological capabilities associated with the generation of energy from renewable sources, improving competitiveness and making the productive structure of these countries more complex. The evolutionary and neo-Schumpeterian economic literatures revive the debate on the role of natural resource-based industries in economic development. Based on this approach, the article aims to delve into the innovative dynamics of these industries and the market, organizational, institutional, and technological conditions that delimit it. Through the review of various secondary data sources, the article analyzes four case studies corresponding to the biogas, biodiesel, wind energy and low-emission hydrogen production industries in Argentina. It is observed that none of these conditions alone is sufficient to promote learning and innovation spaces, so it is necessary to consider their multiple interactions and the heterogeneity they present between industries to design an energy transition that prioritizes techno-productive development. In addition, the presence of innovations in these industries does not necessarily imply the development of technological capabilities, so questions persist about the conditions that enable learning and innovation processes.

Keywords: energy transition; energy quadrilemma; technological change; hydrogen; biodiesel; wind energy; biogas.

JEL: O13; Q4; Q5; Q48.

DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/rtm32art4>

Data de envío do artigo: 4/6/2023. Data de aceite: 21/11/2023.

1 INTRODUCCIÓN

La firma del Acuerdo de París en el 2015 intensificó el proceso de transición energética a nivel global y la búsqueda de estrategias para lograr un desarrollo más sostenible. El sector energético es uno de los principales responsables de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (UNEP, 2022), por lo que la incorporación de energía de fuentes renovables (EFR) resulta central para reducir estas emisiones (IRENA, 2019). Sin embargo, implícita o explícitamente y con distintos grados de intensidad, distintos países de América Latina, como Argentina, Brasil y Uruguay, han señalado que la transición energética debe estar guiada no solo por la búsqueda de seguridad energética, equidad social y sostenibilidad ambiental, tal como plantea el trilema energético elaborado por el WEC (2022), sino también por el desarrollo tecno productivo. La incorporación de este principio da lugar a lo que se conoce como cuatrilema energético y plantea la posibilidad de que la transición energética se transforme en una plataforma para la consolidación, ampliación y creación de capacidades productivas y tecnológicas vinculadas a la generación de EFR y sus industrias asociadas (Sabbatella, 2023).

El cuatrilema energético encuentra fundamentos teóricos en una parte de la literatura económica de base evolucionista y neoschumpeteriana, que propone que las industrias basadas en recursos naturales (RRNN) – como las dedicadas a la generación de EFR – pueden actuar como plataforma para diversificar la estructura productiva de un país hacia sectores de mayor competitividad, impulsando procesos de aprendizaje e innovación en estas industrias y entre sus proveedores de equipos y servicios especializados (Marín, Navas-Alemán y Perez, 2015; Andersen, Marín y Simensen, 2018; Crespi, Katz y Olivari, 2017). Considerando que la competencia es intrínseca a todos los sectores de la economía y el dinamismo tecnológico necesario para la supervivencia de las firmas, la pregunta central de este enfoque no es si las industrias basadas en RRNN son tecnológicamente dinámicas sino en qué condiciones y de qué manera ocurren procesos de aprendizaje e innovación que impulsan el desarrollo de nuevas competencias domésticas en éstas y otras industrias (Andersen, Marín y Simensen, 2018; Crespi, Katz y Olivari, 2017).

La transición energética a nivel global está marcada por la dinámica que imponen algunos países en los mercados energéticos, ya sea como demandantes, al establecer objetivos de consumo y estándares ambientales o de calidad, o como desarrolladores de nuevas tecnologías. Por el lado de la demanda, los países con

mayor capacidad instalada de energía eléctrica de fuentes renovables, incluyendo la energía hidroeléctrica, ordenados de mayor a menor, son China, Estados Unidos, Brasil, India y Alemania. Por el lado de la oferta, el mayor número de patentes acumuladas desde el año 2000 en tecnologías asociadas a la mitigación del cambio climático -un indicador proxy de su dinamismo tecnológico – están radicadas en China, Estados Unidos, Japón, República de Corea y Alemania (IRENA, 2022a). China concentra alrededor del 60% de la capacidad de producción de la mayoría de las tecnologías de EFR producidas en masa (sistema solar fotovoltaico, sistemas eólicos, baterías) y alrededor del 40% de la producción de electrolizadores. Además, explica la mayoría de las inversiones anunciadas hacia el 2030 para expandir la capacidad instalada de producción de componentes de energía eólica, solar fotovoltaica y baterías para vehículos eléctricos. La excepción es la inversión destinada a la producción de electrolizadores que se reparte 25% para la Unión Europea, 25% para China y 10% para Estados Unidos.⁷ Aun así, estos países continúan implementando políticas que traccionan la producción doméstica de componentes y equipos para la descarbonización de la economía, lo que plantea interrogantes sobre la organización futura de estas cadenas globales de valor (CGVs) y el margen disponible para la exportación de tecnología o vectores energéticos desde los países en desarrollo (Rodrik, 2023).

Considerando estas tendencias, el artículo profundiza sobre las condiciones de mercado, tecnológicas, organizacionales e institucionales que moldean la dinámica innovadora de las industrias de generación de EFR en Argentina, tomando como casos de estudio las industrias del biogás, el biodiesel, la energía eólica y el hidrógeno bajo en emisiones. El artículo se divide en 4 secciones adicionales. En la primera se describen brevemente los compromisos asumidos por Argentina para reducir sus emisiones de GEI y mejorar la sostenibilidad de su sistema energético y el papel del cuatrilema energético en la definición de esta estrategia. Seguidamente, se discuten las principales dimensiones teóricas que una parte de la literatura evolucionista y neoschumpeteriana considera como condiciones de entorno adecuadas para el surgimiento de espacios de aprendizaje e innovación en torno a las industrias basadas en recursos naturales. Utilizando estas dimensiones como marco, en la sección 4, se describen las condiciones en que se desarrollan las industrias del biogás, el biodiesel, la energía eólica y el hidrógeno bajo emisiones en Argentina. Seguidamente, se presenta un análisis comparativo de las situaciones de mercado, tecnológicas, organizacionales e institucionales que enfrentan estas industrias y, finalmente, las conclusiones del trabajo que ponen luz sobre los desafíos que implica una transición energética guiada por la búsqueda del desarrollo tecno productivo en el contexto global actual.

7. Disponible en: <https://www.iea.org/policies>.

2 CONTEXTO ARGENTINO

En el año 2017 el gobierno nacional argentino pone en marcha el Plan de Acción Nacional de Energía y Cambio Climático con el objetivo de reducir sus emisiones de GEI al 2030 (Argentina, 2017). Este plan propone impulsar la generación descentralizada y a gran escala de EFR, la eficiencia energética y el uso de biocombustibles. Cinco años más tardes, presenta el Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático al 2030, que establece las medidas e instrumentos para cumplir con la Ley de Presupuestos Mínimos de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Global (Ley Nacional n° 27.520/2019) y alcanzar las metas contenidas en las contribuciones determinadas a nivel nacional (Argentina, 2022), según las cuales Argentina se compromete a no exceder la emisión neta de 349 MtCO_{2e} anuales (Argentina, 2021b).

En este marco, el gobierno nacional elaboró un plan de transición energética centrado en mejorar la eficiencia energética, incorporar EFR en la matriz eléctrica, desarrollar nuevas capacidades tecno productivas, promover una mayor penetración del gas natural y la resiliencia del sistema energético, federalizar el desarrollo energético e impulsar la industria del hidrógeno (Resolución n° 1036/2021, anexo I). El plan reconoce la necesidad de cumplir con los compromisos internacionales adoptados por el país, pero también destaca las condiciones macroeconómicas, sociales y tecno productivo que atraviesa Argentina y, en este sentido, sugiere que el crecimiento de la industria del gas natural contribuirá a disminuir sus restricciones económicas estructurales (Argentina, 2021c). De esta forma, la transición energética busca compatibilizar, no sin tensiones, los ejes rectores del cuatrilema energético, cuyos objetivos se resumen en lo cuadro 1.

CUADRO 1

Cuatrilema energético de Argentina y sus objetivos

Ejes del cuatrilema energético de Argentina	Objetivo
Seguridad energética	Construir capacidades domésticas que alivien los requerimientos de divisas del sector, tanto para la importación de energía como de bienes y servicios estratégicos.
Costo energético	Acceso y asequibilidad, también la competitividad económica y la inclusión social.
Descarbonización	Difusión de un paradigma productivo centrado en la mitigación del cambio climático a partir de la creación de nuevas industrias y cadenas de suministro y la aplicación de normas que regulen la emisión de GEI en los procesos industriales.
Desarrollo tecno-industrial	Consolidación o creación de capacidades tecnológicas e industriales vinculadas a las EFR.

Fuente: Argentina (2021c).
Elaboración de las autoras.

Este enfoque adoptado por la Secretaría de Energía pone de relieve un desafío central – e histórico – para Argentina y otros países en desarrollo: la promoción de

un entramado productivo competitivo e innovador que contribuya a transformar la estructura de la economía. Si bien esta esfera pareciera no estar presente en los países más desarrollados, con complejos industriales más complejos y consolidados y sistemas energéticos más competitivos (Grigoryev y Medzhidova, 2020; Marti y Puertas, 2022), son diversos los países que hoy acompañan la transición energética con políticas que buscan fortalecer la demanda y promover el dinamismo productivo y tecnológico (ejemplos son la Ley de Reducción de la Inflación de Estados Unidos y el plan REPowerEU de la Comisión Europea).

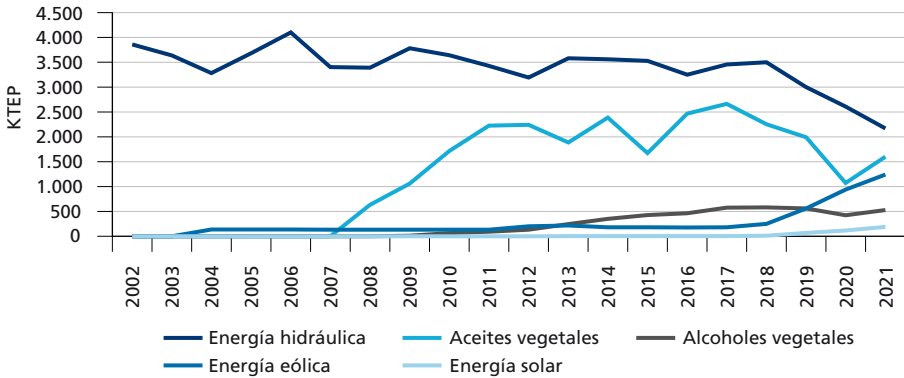
El impulso a la demanda y producción de EFR en Argentina no es reciente. Uno de los primeros antecedentes es el Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar (Ley Nacional n° 25.019/1998) que estableció un *feed-in tariffs* para la electricidad generada a partir de fuentes renovables. Este incentivo perdió efecto al cambiar el régimen de convertibilidad en el 2001. En el 2009, el gobierno nacional implementó el Renewable Energy Generation Program (GENREN), un programa de demanda de energía eléctrica de fuentes renovables que subastó 1.000 MW bajo un esquema de *feed-in tariffs* en dólares estadounidenses con contratos a largo plazo y exenciones impositivas. En líneas generales, este programa no tuvo buenos resultados debido a cuestiones económicas, financieras y regulatorias. Actualmente, está en vigencia la Ley Nacional n° 25.191/2015, que establece un esquema escalonado de cuotas de EFR en el consumo nacional de electricidad⁸ y diversos beneficios promocionales. Uno de estos beneficios, el certificado fiscal, está sujeto al grado de integración de componentes nacionales en las nuevas plantas de generación de EFR. En el marco de esta ley surge en el 2016 el programa nacional de demanda de EFR “RenovAR”, que propone la subasta de contratos con el Estado nacional por la compra de electricidad de fuentes renovables en dólares estadounidenses. La implementación de este programa ocurrió entre los años 2016 y 2019 en 3 rondas y tuvo como resultado la incorporación de 4.466,5 MW de potencia instalada a marzo de 2023.⁹

Aun cuando la generación térmica sigue representando el 59% de la matriz eléctrica, estas políticas han aumentado la participación de las EFR en la generación de electricidad a nivel nacional de 2% hacia el 2015 al 14% en el 2022, llegando junto con la generación hidráulica de gran escala al 36% (Cammesa, 2023). No obstante, el peso relativo de las EFR en la matriz de oferta primaria es sustancialmente menor (7,7% en 2021) a pesar del importante crecimiento que ha tenido el consumo de aceites y alcoholes vegetales, insumos claves del biodiesel y el bioetanol respectivamente, y de la energía eólica y solar fotovoltaica, especialmente, en los últimos años (gráfico 1).

8. El esquema de consumo de EFR en la matriz eléctrica establece los siguientes porcentajes: 16% para 2021, 18% para 2023 y 20% para 2025.

9. Disponible en: www.minem.gob.ar/www/833/25897/proyectos-adjudicados-del-programa-renovar.

GRÁFICO 1
Evolución de las energías renovables en la matriz de oferta primaria argentina (2002-2021)



Fuente: Secretaría de Energía, 2023. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/econom%C3%ADa/energ%C3%ADa/planeamiento-energetico/balances-energeticos>.
Elaboración de las autoras.

3 REVISIÓN DE LA LITERATURA

Frente a la denominada maldición de los RRNN, algunos autores ofrecen otras perspectivas de análisis sobre la dinámica productiva y de innovación de las industrias que producen y transforman estos recursos y su rol en el desarrollo económico de los países de América Latina. En el marco de las teorías neoschumpeteriana y evolucionista, esta perspectiva propone que los problemas de gobernanza y de política monetaria derivados de la explotación de estos recursos no son inherentes a las industrias basadas en recursos naturales sino síntomas de otras deficiencias.¹⁰ Este planteo torna relevante el análisis de la dinámica productiva y de innovación de estas industrias y su papel en el desarrollo económico de los países de América Latina. Los procesos de aprendizaje e innovación asociados a las industrias basadas en RRNN difieren cualitativamente de aquellos en otros segmentos de la economía y pueden impulsar cambios en la organización de la producción, la difusión de nuevas tecnologías y el desarrollo de nuevas redes de conocimiento, apalancando la transición hacia estructuras productivas y canastas exportadoras más complejas (Andersen, Marín y Simensen, 2018; Crespi, Katz y Olivari, 2017; Katz y Pietrobelli, 2018; Marín, Navas-Alemán y Perez, 2015).

No obstante, el potencial de estas industrias para dar lugar a aprendizajes tecnológicos significativos en la economía depende de su relevancia económica

10. Martín (2021), por ejemplo, destaca la ausencia de diseños institucionales en los países de la región que, originados en la agencia colectiva y considerando las restricciones internacionales, habiliten una gobernanza sobre los RRNN transparente, que impulse una transformación distributiva y productiva.

y tecnológica, actual o potencial. La relevancia económica alude especialmente al tamaño relativo de la industria y a su capacidad de generar masa crítica de aprendizaje y capacidades que permeen al resto de la economía. En Argentina, el análisis de la matriz insumo producto de 2015, muestra que el sector de electricidad, agua y gas no posee una alta participación en el valor bruto de producción nacional (0,9%) ni en el empleo directo (0,4%), pero tiene una gran repercusión en la producción de otros sectores¹¹ y eslabonamientos hacia atrás y hacia adelante superiores a la media de la economía (Molina *et al.*, 2021). Estas condiciones ponen en evidencia el impacto potencial de este sector en el dinamismo tecnológico de otras ramas productivas y, al mismo tiempo, el desafío que implica la incorporación de tecnologías extranjeras que, de la mano de la transición energética, debiliten la integración de este sector con el resto de la economía.

La relevancia tecnológica indica el potencial de aplicación de los aprendizajes y capacidades generados en otras industrias. Esto se refleja en la base de conocimiento del sector y en la intensidad con que éste y sus proveedores especializados desarrollan y difunden tecnologías de propósito general como la biotecnología, la nanotecnología y las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) (Verre *et al.*, 2020). En el sector energético, la biotecnología moderna es aplicada en la elaboración experimental de biocombustibles líquidos de segunda y tercera generación (Goldstein y Gutman, 2010) y en el mejoramiento de la densidad energética de los cultivos y la eficiencia de los procesos de digestión anaeróbica (Castelao Caruana y de Vitta, 2022). Las TICs, por otro lado, están integradas en distintas etapas de la producción de EFR, como la utilización de drones para el monitoreo en forma remota de las turbinas eólicas o sensores con comunicación remota para la evaluación de su desempeño o el uso de inteligencia artificial para reducir los costos de operación y mantenimiento, especialmente en sitios de difícil acceso (Aggio, Verre y Gatto, 2018).

La revisión de la literatura permite distinguir cuatro grandes condiciones habilitantes de la competitividad y el desarrollo de estas industrias: las condiciones de mercado, tecnológicas, organizacionales e institucionales.

3.1 Condiciones de mercado

Diversas tendencias globales, como la creciente demanda de China en los mercados mundiales o nuevos requerimientos en materia de funcionalidad o sustentabilidad de los productos modifican la demanda de RRNN tanto en términos de cantidad como de calidad, planteando la posibilidad de que las industrias basadas en RRNN conjuguen la eficiencia keynesiana o de crecimiento

11. El análisis de la matriz insumo producto de 2015 de Argentina estima que este sector posee un multiplicador de la producción de 3,33, cuyo impacto se descompone en 30% de efecto inicial, 32,8% de efecto directo y 37,2% de efecto indirecto (Molina *et al.*, 2021).

con la eficiencia schumpeteriana o innovativa (Rivas y Robert, 2015). En materia energética, estas nuevas tendencias se traducen en una demanda creciente de EFR a nivel global impulsada mayormente por los países desarrollados y algunos países en desarrollo con altas tasas de crecimiento, y el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos asociadas a la búsqueda de mayor productividad, variedad de fuentes alternativas y mejoras en la calidad energética. Por otro lado, la lucha internacional contra el cambio climático ha promovido la adopción de regulaciones ambientales en muchos países desarrollados y compromisos ambientales por parte de algunas empresas multinacionales que inciden de forma transversal y a lo largo de las cadenas de valor sobre los usos y formas de producción de la energía (Gutman, 2022).

3.2 Condiciones tecnológicas

El potencial de las industrias basadas en RRNN para promover espacios de innovación se deriva de aspectos tecnológicos asociados a la ubicuidad y especificidad de los RRNN (Andersen y Wicken, 2016). La ubicuidad está definida por la imposibilidad económica y tecnológica de transportar ciertos RRNN debido a sus características inherentes. Así como no hay tecnología disponible para transportar el viento o la radiación solar, tampoco los costos logísticos y de almacenamiento permiten trasladar la biomasa grandes distancias. Esta característica incide en la infraestructura, los modelos de negocio y las tecnologías utilizadas, dando lugar a la generación descentralizada de energía, el desarrollo de plantas modulares, nuevas tecnologías de transporte de los vectores energéticos o la aglomeración de actividades (biorrefinerías) para aprovechar la energía que se produce de manera secundaria. La ubicuidad de los RRNN implica reconocer que el uso y difusión de nuevas tecnologías energéticas basadas en el aprovechamiento de RRNN no ocurre de forma aislada de los sistemas energéticos vigentes y esto explica, en parte, las fricciones y resistencias al cambio que producen las transiciones energéticas (Andersen *et al.*, 2023; Geels *et al.*, 2017). A modo de ejemplo, Andersen *et al.* (2023) indican que la electrificación baja en carbono aplicada al transporte, calefacción e industria requiere la formación de interfaces (o nexos) con el sistema eléctrico existente a los efectos de permitir la adecuada transmisión de energía. Dimensiones tecnológicas, agenciales, institucionales y de recursos materiales intervienen en el proceso de construcción de estos nexos. De este modo, ningún sistema funciona de forma aislada; la mayoría de las transiciones requiere de insumos provenientes de otros sistemas de consumo-producción o tienen efectos sobre estos (Andersen *et al.*, 2023), a la vez que, desde una perspectiva analítica, demandan la aplicación de un enfoque multinivel que permita reconocer cambios en los denominados sistemas sociotécnicos (Geels *et al.*, 2017).

La especificidad de los RRNN, por otra parte, se representa en características fisicoquímicas propias del recurso y derivadas de su entorno natural y productivo. De esta forma, las ventajas competitivas de las industrias basadas en RRNN responden, en parte, a las condiciones edáficas y climáticas, así como también, a las tecnologías aplicadas a la producción en cada industria (Anlló, Bisang y Katz, 2015). En el caso del sector energético, el estado de la tecnología propio de cada fuente de energía determina su capacidad para obtener energía. A partir del concepto de Reasonably Assured Recoverable Reserves (RARs) ligado estrechamente a las condiciones tecnológicas, Perez y Perez (2022) señalan que la energía solar constituye la fuente más promisoría para transitar hacia una electrificación baja en carbono, aun teniendo en cuenta las limitaciones vigentes en la eficiencia de conversión.

Por último, el carácter finito de los RRNN, aún de los renovables¹² promueve el uso de recursos más ubicuos o menos productivos y, por lo tanto, la búsqueda y adopción de distintos modelos de organización y de tecnologías adaptadas que compensen la pérdida de rentabilidad. Esto implica esfuerzos de investigación específicos que brinden conocimiento sobre la manera en que el recurso interactúa con el ambiente, la tecnología y el proceso de producción (Crespi *et al.*, 2018; Katz, 2020; Andersen, Marín y Simensen, 2018). En países desarrollados como el Reino Unido y Dinamarca, la escasez de tierra y los cuestionamientos sobre su uso han motivado que el crecimiento de la industria eólica se oriente hacia plantas *off-shore* y, posiblemente, hacia plantas de aguas profundas (Aggio, Verre y Gatto, 2018).

Esto puede traducirse en un impulso al desarrollo de capacidades tecnológicas domésticas y la aparición de nuevas actividades y productos de mayor valor agregado motivado por, al menos, tres factores explicativos. En primer lugar, las especificidades locales, que pueden ser una barrera para la aplicación de soluciones estandarizadas y equipos extranjeros, representan una oportunidad para el desarrollo de tecnología local y la aparición de empresas domésticas de servicios intensivos en conocimiento, oportunidad que se amplifica con la disminución de los costos de procesar, a partir de las TICs, la información utilizada en las etapas de investigación, testeo de prototipos y demás etapas del proceso innovador (Andersen, Maín y Simensen, 2018; Marín, Navas-Alemán y Perez, 2015). En segundo lugar, las agencias de regulación y comunidades locales pueden establecer condiciones sobre la gestión e intensidad de explotación de los RRNN (Anlló, Bisang y Katz, 2015). Por último, los continuos desarrollos en el ámbito de la biotecnología, la nanotecnología y las TICs aplicadas a las

12. El carácter renovable de un recurso natural no implica que su existencia es infinita en un momento dado, sino que hay una tasa de explotación que lo torna sostenible en el tiempo.

actividades de explotación y transformación de RRNN requieren el desarrollo de capacidades que faciliten su adaptación y adopción.

Así, el análisis del potencial innovador de estas industrias no se limita a las empresas que extraen y procesan estos recursos, sino que implica revisar las actividades que realizan sus proveedores y los derrames generados, así como también los incentivos y limitantes que enfrentan las firmas domésticas para participar en CGV. No obstante, algunos autores alertan que las tecnologías productivas actualmente son tan intensivas en capital y conocimiento que es difícil para las firmas rezagadas tecnológicamente insertarse en los mercados globales, como lo hicieron otros países, y que los modelos de desarrollo actuales deberían concentrarse más en las industrias de servicios especializados y el desarrollo de Pequeñas y Medianas Empresas (PyMES) orientadas al mercado interno (Rodrik, 2023).

3.3 Condiciones organizacionales

La participación de las empresas domésticas en CGV supone un incentivo a la innovación dado que facilita el acceso a nuevos mercados, exige el cumplimiento de estándares de calidad internacionales y un mayor conocimiento sobre las nuevas tecnologías disponibles (Katz y Pietrobelli, 2018). Sin embargo, las posibilidades de aprovechar tales oportunidades se encuentran condicionadas por la empresa que ejerce liderazgo en la cadena y las formas de gobernanza vigentes en la misma. Las CGVs de las industrias extractivas (minería y energía convencional) y de algunos otros sectores asociados a la explotación de los RRNN han estado tradicionalmente controladas por grandes firmas transnacionales. Sin embargo, debido a una conjunción de procesos globales, estas firmas habrían adoptado estrategias más flexibles y descentralizadas para identificar y aprovechar las ventajas competitivas originadas en la explotación de activos estratégicos y conocimientos locales, y no solo en los activos tecnológicos desarrollados en su casa matriz (Marín, Navas-Aleman y Perez, 2015). Un ejemplo es el desarrollo del *auto-flex* en la industria automotriz brasileña a partir de la interacción entre subsidiarias y firmas locales en un contexto de creciente difusión de los biocombustibles en el país (Lema, Quadros y Schmitz, 2015).

Esto no está exento de desafíos ya que en los países en desarrollo son las multinacionales las que, por lo general, dominan las industrias basadas en RRNN y mantienen una brecha de conocimiento importante con sus proveedores locales. Estas condiciones pueden derivar en la consolidación de industrias del tipo enclave, con pocos eslabonamientos con el entramado productivo local y una baja posibilidad de transformar la demanda de estas industrias en una oportunidad para el aprendizaje y la innovación. Un estudio sobre la industria minera en Chile destaca que si bien las empresas multinacionales dedicadas a la explotación

de RRNN poseen un rol inductor son las empresas proveedoras locales las que desarrollan nuevos nichos de mercado mediante esfuerzos de aprendizaje propios e internos (Stubrin, 2017).

Además, en un contexto de alta competencia, la caída de los precios puede modificar la intensidad de explotación de los RRNN y aumentar el nivel de concentración de la industria con ciclos de fusiones y adquisiciones que favorezcan a las empresas con mayor respaldo financiero (Katz y Pietrobelli, 2018; Katz, 2020; Crespi *et al.*, 2018). Cuando los precios caen las empresas tienden a disminuir el valor de sus contratos con los proveedores de servicios de ingeniería y profundizar sus capacidades internas. Esto repercute sobre la dinámica de innovación de las firmas especializadas domésticas, que deben reducir sus esfuerzos tecnológicos: su trabajo en la instalación y manejo de plantas pilotos, el desarrollo de prototipos y otras actividades de Innovación y Desarrollo (I+D).

3.4 Condiciones institucionales

La capacidad de carga y especificidad de los RRNN cambia con el tiempo por circunstancias biológicas o ecológicas y por cambios organizacionales o tecnológicos. La creación de valor a partir de los RRNN no solo involucra nuevas formas de interacción entre las firmas que explotan los recursos y aquellas que brindan servicios y equipos especializados, sino también con otros actores económicos y sociales para la creación de nuevo conocimiento (universidades y centros de I+D) o la definición del alcance y ritmo de la explotación de los RRNN y la distribución de su renta (comunidad local) (Crespi *et al.*, 2018).

Por un lado, para evitar comportamientos oportunistas, una sobre explotación de los recursos o controversias que afecten el dinamismo innovador de estas industrias (Andersen, Marín y Simensen, 2018; Katz, 2020) es necesario un diseño institucional que refleje la agencia colectiva y cumpla una función habilitante del desarrollo, asegurando una gestión sostenible de los RRNN, pero también una transformación productiva y distributiva (Martín, 2021). Las condiciones institucionales que moldean la explotación de estos recursos son endógenas y responden a la estructura productiva y la historia económica y social de un país (Laplaine, Gonçalves e Serra, 2014). Las instituciones son restricciones informales – códigos de convivencia, normas de comportamiento – y formales – reglamentaciones y leyes – que moldean las reglas de juego de una sociedad y, en consecuencia, condicionan el comportamiento de sus integrantes reduciendo la incertidumbre (North, 1990). Sin embargo, aunque las instituciones son endógenas, los regímenes internacionales de comercio, inversión y transferencia de tecnología imponen restricciones que, mediadas por los Estados nacional y provincial, inciden sobre la efectividad de las políticas industriales y la configuración de los territorios (Martín, 2021).

En los últimos años, la literatura puntualiza sobre la creciente preocupación por el impacto medioambiental de las industrias basadas en RRNN y el papel de las agencias reguladoras en el monitoreo del impacto ambiental y la gestión de estos recursos (Crespi *et al.*, 2018, Katz, 2020). La aplicación de normas, protocolos y mecanismos de vigilancia ambiental pueden traducirse en procesos de innovación para cumplir con sus requerimientos de producción y consumo (Marín, Navas-Alemán y Perea, 2015; Crespi *et al.*, 2018; Andersen, Marín y Simensen, 2018). Un aspecto para destacar radica en el proceso de *learning by doing* de las agencias reguladoras y su dinámica evolutiva (Katz, 2020), que se compone de aspectos inerciales rutinarios y transformaciones organizacionales e institucionales promovidas estas últimas por eventos naturales exógenos. La comunidad local también emerge como un segmento de actores alternativos cuyas demandas y comportamientos inciden en las oportunidades de innovación ligadas a las industrias basadas en RRNN (Crespi *et al.*, 2018; Katz, 2020). Se verifica un complejo proceso de negociación entre las firmas que las integran y los agentes locales que reclaman compensaciones, mitigaciones y estrategias de prevención del riesgo (Katz, 2020). Se conjugan así actores de distinto tipo y normas y regulaciones de distinto alcance – internacionales, nacionales y locales, macro y sectoriales – que plantean interrogantes respecto a la capacidad de los países en desarrollo para diseñar esquemas institucionales que permitan aprovechar las oportunidades de innovación asociadas a las actividades basadas en RRNN (Andersen, Marín y Simensen, 2018; Katz, 2020).

4 METODOLOGÍA

Este documento analiza las condiciones de mercado, tecnológicas, organizacionales e institucionales que configuran el desarrollo de cuatro industrias productoras de EFR en Argentina y brinda un análisis preliminar sobre su configuración organizacional, sus espacios de innovación y su internacionalización a lo largo de las últimas dos décadas. De este modo, el análisis propuesto, de carácter descriptivo y comparativo, estudia las industrias del biogás, el biodiesel, la energía eólica y el hidrógeno bajo en emisiones en Argentina. La elección de estas industrias se basa en su disímil trayectoria tecnológica, tanto desde el punto de vista de los avances registrados en la frontera tecnológica internacional, así como también en los senderos tecnológicos observados a nivel nacional, aspecto que permite enriquecer el análisis comparativo. A esto se suman diferencias en la estructura organizacional y características de los actores relevantes en cada una de las industrias bajo análisis.

El estudio propuesto se sustenta en el empleo de fuentes secundarias de información. Este conjunto de fuentes consultadas y sistematizadas se compone de informes sectoriales elaborados por organismos nacionales e internacionales y

bibliografía académica especializada en la temática, recuperándose conocimiento generado por las autoras, individualmente, en trabajos previos de investigación. El avance del conocimiento generado en esta etapa de la investigación se acompaña de reflexiones que permiten incorporar nuevos temas a la agenda de trabajo.

5 ANÁLISIS SECTORIAL

5.1 La producción de biogás como vector energético

El biogás es un vector energético que en el mundo se utiliza para generar energía eléctrica y energía térmica con fines industriales, como combustible en el sector transporte y, mediante su incorporación como biometano en la red de gas natural, para la calefacción y cocción en todos los sectores. En Argentina, el biogás se destina principalmente a la generación de electricidad para el Mercado Eléctrico Mayorista y, cuando existe cogeneración, la energía térmica se aplica a los procesos productivos de las firmas propietarias de las plantas. No posee un mercado interno más allá de la demanda de electricidad de fuentes renovables que ha impulsado, de manera casi exclusiva, el Estado nacional. La baja escala (una media de 2 MW/planta), la alta dispersión geográfica de las plantas y el énfasis del Estado en promover la transición de la matriz eléctrica han limitado el desarrollo de la infraestructura y el marco regulatorio necesario para su difusión con fines térmicos o como combustible para el transporte, a pesar de ser un buen sustituto del gas natural. Tampoco existe un mercado internacional de biogás, dado que aun en los países de Europa,¹³ donde sus diferentes usos están más difundidos, los mercados domésticos están en consolidación por sus altos costos relativos y los desafíos ambientales que implican ampliar su oferta.

A nivel internacional, el costo de producción de electricidad a partir de biogás varía sustancialmente según la escala y el tipo de biomasa utilizada y, si bien ha disminuido a lo largo de los años, es relativamente más alto que los costos de la energía eólica y solar fotovoltaica. En este contexto, el sendero de crecimiento de esta industria parece estar marcado por el aprovechamiento de los residuos orgánicos urbanos e industriales y el uso del biometano como sustituto del gas natural, especialmente en ciertas industrias. Este sendero de crecimiento representa desafíos económicos y tecnológicos, ya que requiere el diseño de modelos de negocio que aumenten la escala y eficiencia de producción (biorrefinerías), la calidad de la biomasa residual (aplicación de biotecnología) y la adaptación de algunas tecnologías a la especificidad de cada recurso y a los diferentes usos del biogás.

13. En Austria, por ejemplo, se estima que la demanda energética de ciertas industrias intensivas en energía (acero, hierro, vidrio, química) deberá ser cubierta con hidrógeno verde y otros gases renovables, incluso de origen importado (IEA, 2022).

La biomasa tiene una alta ubicuidad debido a su baja densidad energética relativa y una alta especificidad cuando se trata de biomasa residual. Los cultivos energéticos, por el contrario, ofrecen un insumo homogéneo. Aun así, como se trata de una tecnología madura y de una baja complejidad relativa, el proceso central de transformación de este insumo en biogás no demanda grandes adaptaciones y los principales espacios de innovación para las empresas domésticas proveedoras de equipos y servicios especializados se encuentran mayormente en las etapas de producción, recolección y acondicionamiento de la biomasa y en el tratamiento, almacenamiento y transporte del biogás (Castelao Caruana y de Vitta, 2022).

Hacia el año 2020, esta industria estaba integrada por unas 37 firmas propietarias de 43 plantas de biogás, de las cuales 22 vendían electricidad a la red mediante contratos adjudicados por el Estado nacional (Castelao Caruana, 2022). La CGV de las tecnologías involucradas en la digestión anaeróbica de la biomasa está hoy liderada por empresas europeas con una extensa experiencia internacional. Existen firmas proveedoras de estos servicios a nivel local, pero debido a su escasa trayectoria actúan, en general, como representantes o en acuerdo con firmas extranjeras. Son las encargadas de identificar las especificidades de la biomasa y su entorno y adaptar el diseño de las plantas a las condiciones locales. No obstante, dada la alta replicabilidad de muchas de las tecnologías utilizadas, es el propietario del proyecto y la firma proveedora de servicios local quienes deciden sobre el origen de los equipos y las partes que integran la planta. Esto abre un amplio espacio para el desarrollo de proveedores domésticos y la sustitución de importaciones, aunque el financiamiento puede ser un factor que condicione el origen de la tecnología y de sus componentes claves (Castelao Caruana y de Vitta, 2022).

La industria del biogás no posee un marco regulatorio ni organismos públicos específicos que acompañen su desarrollo, excepto por la inyección de biometano al sistema de transporte de gas natural, regulado por la NAG n° 602/2019 de ENARGAS,¹⁴ y el Programa Biogás para su producción a partir de residuos sólidos urbanos orgánicos, en el marco del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.¹⁵ La sanidad de la biomasa residual y los productos derivados de la producción de biogás están regulados por Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, la generación e inyección de electricidad están reguladas por Compañía Administradora del Mercado Eléctrico Mayorista S.A. (Cammesa), y la promoción de su demanda y desarrollo industrial se asienta en el Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica (Ley Nacional n° 27.191). Este marco

14. Disponible en: <http://www.santafe.gov.ar/ms/enerfe/2021/05/21/bioenergias/>.

15. En el marco de este programa se está desarrollando un marco regulatorio para la producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos urbanos.

institucional es común al sector agroalimentario, energético y a las distintas fuentes de energía renovables, por lo que no contempla las especificidades propias de la industria.

5.2 Industria biodiesel

El biodiesel, junto al bioetanol, constituyen los biocombustibles más importantes que se producen en Argentina desde comienzos del segundo milenio. La exponencial producción de soja, la amplia infraestructura y logística portuaria existentes y una demanda internacional creciente en Argentina fueron factores fundamentales para la producción de biodiesel previo a la sanción del Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles (Ley nº 26.093/2006). Actualmente, Argentina se ubica a nivel global entre los diez países con mayor nivel de producción de biodiesel, considerando todas las materias primas (soja, colza, palma). En lo que respecta al comercio exterior, Argentina ocupa el tercer lugar, luego de Singapur y China (IICA, 2021).

El biodiesel de primera generación, como el producido en este país, se obtiene de aceite de granos oleaginosos y, en una proporción importante, se articula como un eslabón en la cadena del complejo aceitero nacional a base de soja ya que el mayor nivel de producción corresponde a empresas de gran envergadura, con altos niveles de competitividad y un perfil marcadamente exportador (Hernández y Castro, 2020). En este sentido, se trata de un RRNN relativamente homogéneo, con una baja ubicuidad, ya que cuenta con una compleja infraestructura que acompaña su gestión y posterior exportación.

La sanción de un régimen de promoción específico en 2006 representa un punto crucial para la industria, ya que creó las reglas de juego que posibilitaron la conformación de un mercado interno de biodiesel, al establecer la obligación de mezclar un porcentaje de biodiesel con el gasoil a partir de 2010, dando origen a un mercado dual conformado por PyMES que destinan su producción al mercado doméstico y actores globales del agronegocio que lo hacen al mercado exportador (Castro, 2020).

La existencia de dos mercados diferentes para el biodiesel ha facilitado la emergencia de empresas con diferentes escalas de producción, niveles de productividad y posibilidades de diversificación productiva, lo cual ha influido de manera significativa en la localización de las plantas industriales. Éstas se concentran en más del 70% en la provincia de Santa Fe, donde se encuentran las principales aceiteras y puertos de exportación del complejo sojero y donde converge la infraestructura de transporte de granos. A modo ilustrativo, el análisis de información muestra que, en el 2021, las seis empresas que concentraron los mayores volúmenes de producción lideran los negocios en el sistema

agroalimentario global, concentrando la capacidad de molienda del grano de la soja y el grueso de las exportaciones: T6, perteneciente al grupo nacional AGD; L. C. D., un conglomerado multinacional que procesa y comercializa productos agrícolas, petrolíferos y energéticos; Renova, un *joint-venture* formado por Oleaginosa Moreno del grupo multinacional Glencore, Molinos Río de la Plata del grupo argentino Pérez Companc y Vicentin; Cargill, corporación multinacional que opera en el agronegocio; COFCO, de capitales chinos, surgida de la compra y fusión de Nidera y Noble; y por último, Patagonia Bioenergía, conformada por grupos ligados al agronegocio – Pérez Companc – y otros ligados al comercio energético.

Respecto del mercado externo, desde el año 2017, Estados Unidos ha impuesto derechos compensatorios y antidumping a las importaciones desde Argentina, creando una barrera del 140% (Hernández y Castro, 2020) e impidiendo el acceso al, hasta entonces, principal destino exportador.¹⁶ Las restricciones en este mercado continúan vigentes, habiendo un fallo de la Corte de Comercio Internacional de ese país en septiembre de 2021 contra la demanda presentada por el Gobierno argentino y una empresa exportadora.¹⁷ Frente a la interrupción de compra por parte de Estado Unidos, el flujo de biodiesel argentino hacia Estados Unidos es reorientado hacia el mercado europeo, absorbido en el 79% en el año 2019 por los Países Bajos (Bolsa de Comercio de Rosario, 2019).

En el 2021, la Ley n° 27.640 estableció un nuevo marco regulatorio para esta industria que contempla modificaciones sustantivas respecto a la ley previa, fundamentalmente respecto a los porcentajes de corte obligatorio y las prerrogativas que otorga a la autoridad de aplicación para modificarlos. De esta manera, el porcentaje de corte para el biodiesel en el mercado interno se fija en 5% y la Secretaría de Energía se atribuye la posibilidad de reducirlo hasta en un porcentaje nominal de 3% en volumen, cuando el incremento en los precios de sus insumos básicos (soja o maíz) pudieran “distorsionar el precio del combustible fósil en el surtidor por alterar la composición proporcional de aquel sobre este último, o bien ante situaciones de escasez” (Argentina, 2021a).¹⁸ La demanda (cautiva) en el mercado interno proviene de las principales petroleras, siendo YPF, Axion y Shell las empresas que absorben 80% del biodiesel que se destina a la mezcla con el gasoil.

16. El conflicto se inicia en 2016 cuando los productores de biodiésel de Estados Unidos agrupados en la National Biodiesel Board solicitan al gobierno de su país sanciones al biodiésel argentino, bajo el argumento de la existencia de dumping por las retenciones a la soja que favorecen la compra de aceite de soja a un valor inferior al precio del mercado internacional.

17. Disponible en: <https://www.cancilleria.gob.ar/es/actualidad/noticias/biodiesel-argentina-apelara-la-decision-de-la-corte-de-comercio-internacional-de>.

18. El gobierno nacional estableció el “Régimen de Corte Obligatorio Transitorio Adicional de Biodiésel” que eleva, temporal y excepcionalmente, el corte de biodiesel al 12,5% motivado por el impacto que la guerra entre Rusia y Ucrania ha generado en el precio y disponibilidad de gasoil (Decreto n° 330/2022, Resolución n° 638/2022).

Al interior de las principales provincias productoras de granos, no hidrocarburíferas, existen fuertes incentivos a la producción de biocombustibles: las provincias de Santa Fe y Córdoba se distinguen estableciendo programas de financiamiento y de demanda para la instalación de plantas de biodiesel y de uso de B100 (biodiesel en su totalidad) en las flotas de transporte público. Son estas provincias, principalmente, quienes recurrentemente presionan por aumentos en el porcentaje de corte de mezcla de biocombustibles.

A nivel global, las tendencias en materia tecnológica en esta industria se concentran fundamentalmente en eficientizar el proceso de producción y aplicar técnicas que puedan revalorizar la biomasa no comestible y lignocelulósica (de segunda generación) o en tecnologías que utilicen algas o cultivos que no puedan destinarse al consumo humano o animal o se puedan obtengan en tierras no aptas para la producción de cultivo alimentario (HLPE-FSN, 2013). El fortalecimiento de la industria energética atrajo la inversión de compañías vinculadas a la biotecnología y la producción de insumos agropecuarios (Urías, Ramos y Guerrero, 2014). Hoy, existen experiencias de producción a gran escala de Carinata para la producción de biocombustibles de segunda generación en Argentina y Uruguay, lideradas por la firma multinacional Nuseed.

La marcada heterogeneidad de la industria de biodiesel se refleja en su capacidad de incorporar nueva tecnología: las grandes empresas, ancladas en una logística exportadora, acuden a la provisión extranjera para el equipamiento de sus plantas y la asistencia y capacitación técnica para el cumplimiento de la normativa medioambiental, mientras que las PyMEs establecen vínculos con proveedores nacionales de tecnología y equipos. Según Marin, Stubrin y Kababe (2014), este último grupo de firmas presenta un dinamismo innovador destacado en la cadena de valor local, que se concentra en la reducción de los impactos ambientales y la exploración de materias primas alternativas a las alimentarias, pero se encuentra desarticulado de las grandes multinacionales productoras de biodiesel que operan en el país. Por su parte, la vinculación de la industria con el sistema científico y técnico nacional es débil, registrándose experiencias esporádicas que implican acuerdos de I+D entre empresas y universidades.

5.3 Industria eólica onshore

Dos décadas después del primer Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar, el programa GENREN impulsó la instalación de 8 plantas eólicas conectadas a la red eléctrica. Años después, el programa RenovAr promovió la instalación de otros 25 parques eólicos.¹⁹ En la actualidad, ante la ausencia de programas

19. Otros 7 parques eólico se encontraban activos al 2020 como resultado de la adecuación contractual planteada por la Resolución nº E 202/2016.

que amplíen la demanda del Estado, la expansión de la capacidad instalada de generación eólica responde a la demanda de empresas privadas, grandes usuarias de electricidad, que compran EFR en el Mercado a Término de Energías Renovables (Ley nº 27.191). Si bien existen alrededor de 270 empresas demandantes en este mercado, hay unos 2.000 usuarios que, con una potencia contratada mayor a 300 kW, son potenciales consumidores (Cammesa, 2023). Por otra parte, aunque no existe una demanda externa de energía eólica, esta resulta un insumo clave para la exportación de hidrógeno verde, ya que su precio real promedio en el mercado interno (65,5 U\$/MWh, diciembre 2022) (Cammesa, 2023) se encuentra en línea con el costo nivelado de la energía eólica en China y Europa (70 U\$/MWh) (IEA, 2020) y se espera que continúe bajando. La oferta de energía eólica se concentra actualmente en unas 15 empresas, mayormente de gran tamaño y con amplia trayectoria en el sector energético. Su crecimiento, sin embargo, está condicionado por la capacidad de transporte del sistema eléctrico nacional, que plantea altos niveles de competencia entre los proyectos, pero también restricciones para acceder a los mejores recursos eólicos que posee el país.

El principal RRNN involucrado en la generación de energía eólica onshore es el viento y el 70% del territorio argentino tiene vientos adecuados para esta actividad. En la región Patagonia el factor de capacidad es de 45% y en zonas serranas y costeras de 35%, por encima y en línea, respectivamente, con el promedio mundial (36% en 2020). A pesar de ser un RRNN no trasladable, el viento es menos contexto-específico que otros recursos y las tecnologías aplicadas a la generación eólica se adaptan fácilmente a distintas condiciones. No obstante, las especificidades locales del viento (salinidad, altura, temperatura, presencia de partículas) presentan oportunidades tecnológicas si se considera la cadena de valor eólica completa (no solo el aerogenerador) (Verre *et al.*, 2020).

A nivel global, la tecnología de generación eólica onshore es una tecnología madura inserta en un proceso de cambio tecnológico continuo que le ha permitido disminuir sus costos medios de producción y expandirse hacia territorios con mejores vientos y menores costos económicos y sociales por el uso del espacio. Las innovaciones en el sector se orientan hacia una mayor productividad (altura de las torres, diseño de las palas), el aprovechamiento del recurso viento en condiciones ambientales específicas (con alta salinidad y arena, climas fríos, en el mar, en aguas profundas), y la disminución de la incertidumbre asociada a su intermitencia (incorporación de baterías, mejoramiento del pronóstico de vientos) (Huenteler *et al.*, 2016).

El sector eólico es uno de los más concentrados de las EFR y su cadena de valor global se encuentra liderada por las empresas que diseñan y producen los aerogeneradores (Aggio *et al.*, 2018). Se destacan por su participación en

el mercado las empresas consolidadas: Vestas (Dinamarca), Siemens Gamesa (Alemania), General Electric (Estados Unidos), y empresas entrantes como Goldwind (China), United Power (China) que asientan su crecimiento en la demanda interna de sus países (Verre *et al.*, 2020). En Argentina si bien hay dos empresas con experiencia en la fabricación de aerogeneradores – NRG Patagonia S.A. e Industrias Metalúrgicas Pescarmona S.A. (IMPESA) – actualmente no compiten en el mercado de aerogeneradores de alta potencia. Además, están las filiales de Vestas en *joint venture* con Newsan y de Nordex Group con FAdeA para el montaje de estos equipos y la producción de nacelles y bujes. Existe, además, un cluster eólico integrado por 75 firmas con capacidad de participar, según algunos autores, en toda la cadena de valor.²⁰

El Estado nacional no implementó una política integral a lo largo de los años que promoviera el crecimiento del sector y el desarrollo de proveedores especializados (Aggio, Verre y Gatto, 2018). Aun así, las políticas tecnológicas e industriales implementadas a lo largo de los años favorecieron la fabricación local de aerogeneradores (que hoy no compiten en el mercado internacional), de torres y transformadores y la creación de firmas dedicadas al desarrollo de parques eólicos. Hoy, los espacios para desarrollar bienes y servicios intensivos en conocimiento para este sector estarían en las etapas de macro y micrositing, en la logística de torres y palas, el desarrollo de sensores y controladores electrónicos que maximicen la producción y disminuyan los costos de operación y mantenimiento y gestionen la información, y el diseño de modelos de simulación de comportamiento del viento (Aggio, Verre y Gatto, 2018; Verre *et al.*, 2020).

5.4 Industria del hidrógeno bajo en emisiones

La tecnología de producción de hidrógeno se encuentra en pleno proceso de expansión a nivel global, luego de varias décadas de investigación y desarrollo. Su agenda de crecimiento es impulsada fuertemente por Alemania, China y Estados Unidos y, en América Latina, los mayores avances se registran en Brasil y Chile (IEA, 2019).

La demanda global del hidrógeno es de aproximadamente 70 millones de toneladas anuales y se ha triplicado desde el año 1975, pero se proyecta un crecimiento aun mayor traccionado por las industrias petroquímica, refinación de petróleo y química. También se utiliza en la producción de metanol y en otras industrias como alimentos, siderurgia o electrónica (IEA, 2019). Actualmente, alrededor del 75% del hidrógeno que se produce en el mundo se obtiene de hidrocarburos mediante un proceso que insume energía y libera dióxido de carbono (hidrógeno gris) (IRENA, 2020). En Argentina, el consumo de hidrógeno gris es

20. Disponible en: www.iade.org.ar/noticias/cluster-eolico-argentino.

de 327,695 MM ton/año en las industrias petroquímica (85%), química (8%) y refinación de petróleo (7%).

El hidrógeno bajo en emisiones²¹ ofrece la posibilidad de sustituir el hidrógeno gris y otros producidos a partir de hidrocarburos, aunque actualmente su precio es superior. El costo nivelado de la producción de hidrógeno verde en Chile, por ejemplo, hoy es cercano a los 4,5 US\$/kg, más del doble del precio del hidrógeno gris, pero la escala y eficiencia de su producción es cada vez mayor. Mateo y Suster (2021) sugieren que el hidrógeno verde es uno de los vectores energéticos más prometedores porque posee características que facilitan su transporte y almacenamiento mediante mecanismos relativamente sencillos que permiten una liberación controlada y con un menor impacto ambiental que las baterías.

El desarrollo experimental del hidrógeno en Argentina se remonta a la década del 1990, cuando la Asociación Argentina de Hidrógeno comenzó a investigar esta tecnología con el objetivo de elaborar estándares de seguridad para su manejo a lo largo de toda la cadena de valor. En 2006, el Estado nacional sancionó la Ley de Promoción del Hidrógeno (Ley n° 26.123) que declara de interés nacional el desarrollo de esta tecnología y la producción, uso y aplicación del hidrógeno como combustible. Esta ley, además, crea el Fondo Nacional de Fomento del Hidrógeno y define un régimen fiscal promocional para los sujetos que se dediquen a su producción y uso. Sin embargo, esta ley no se limita al hidrógeno bajo en emisiones, sino que propone “impulsar el estudio de la obtención del hidrógeno a partir del uso de energías renovables y no renovables, el montaje de plantas pilotos para la generación de energía a partir del hidrógeno mediante procesos no contaminantes” (art. 3). A pesar de ser una ley pionera, esta nunca se reglamentó y, ante el vencimiento de su plazo de ejecución, el gobierno nacional comenzó a elaborar un nuevo proyecto de ley denominado Economía del Hidrógeno. Este proyecto propone un marco normativo que impulse la producción de hidrógeno bajo en emisiones y el desarrollo de fabricantes y proveedores de equipos y servicios locales para este sector. En esta línea, el gobierno nacional conformó en el 2020 la Mesa Interministerial del Hidrógeno, un espacio institucional de participación público-privado dedicado a elaborar una estrategia nacional del hidrógeno y políticas públicas de largo plazo que potencien las capacidades industriales, tecnológicas y laborales asociadas a este sector que posee el país.

Actualmente, Hychico es la única empresa en Argentina que produce hidrógeno verde con fines comerciales. Su planta tiene dos electrolizadores con una capacidad total de 120 Nm³/h de hidrógeno y 60 Nm³/h de oxígeno.

21. El hidrógeno bajo en emisiones incluye el hidrógeno verde, producido mediante la electrólisis del agua utilizando electricidad procedente de EFR, el hidrógeno azul que se obtiene como el hidrógeno gris, pero captura el dióxido de carbono y lo almacena bajo tierra en lugar de liberarlo a la atmósfera, y el hidrógeno rosa que utiliza la energía nuclear para lograr la hidrólisis (Zabaloy, Guzowski y Didriksen, 2021).

El hidrógeno que genera es de alta pureza, lo que lo hace especialmente apto para su uso en celdas de combustible.²² Existen también iniciativas para la producción de hidrógeno verde lideradas por el Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology de Alemania y el gobierno de la provincia de Río Negro y por la empresa Energía Argentina en la provincia de Buenos Aires. El primero con destino a la generación de electricidad para el sector residencial y el segundo como insumo de las industrias del polo petroquímico de la ciudad de Bahía Blanca (Mateo y Suster, 2021). Para desarrollar la cadena de valor del hidrógeno verde en el país, Y-TEC creó el Consorcio para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno en Argentina (H2ar) que busca conformar espacios colaborativos de aprendizaje e innovación entre empresas, nacionales e internacionales, grandes y medianas, radicadas en el país.²³ Actualmente, las empresas Profertil, YPF, TOPSOE e YPF Luz están desarrollando un proyecto, en fase de estudio de factibilidad, para la producción y exportación de amoníaco verde. La industria del hidrógeno verde forma parte de los sectores identificados como relevantes en el Plan Argentina Productiva 2030 (Argentina, 2023), debido a su potencial demanda interna y externa y su complementariedad con la industria de la energía eólica.

6 RESULTADOS: ANÁLISIS COMPARATIVO SECTORIAL

Las industrias analizadas producen vectores energéticos complementarios entre sí y, por lo tanto, necesarios para el diseño de una transición energética integral. La promoción de su consumo y desarrollo tecnológico, según las condiciones que las enmarcan, forma parte del diseño político de esta estrategia cuando los Estados se comprometen con los principios del cuatrilema energético. Sin embargo, transformar este proceso en una plataforma para el desarrollo de nuevas competencias requiere articular múltiples aspectos internos y externos a las firmas.

La demanda de EFR está creciendo a nivel global a una tasa media anual de 4,7% desde 2010, traccionada por las políticas y metas energéticas adoptadas por los Estados de 94 países (REN21, 2023). El dinamismo de esta demanda podría estimular la inversión y la producción de EFR y una creciente participación de estas industrias y sus proveedores en la estructura productiva. Además, la creciente diferenciación de esta demanda según sus fuentes, sus usos y su calidad favorece el cambio tecnológico en las industrias de EFR. Sin embargo, excepto por el biodiesel y, potencialmente, el hidrógeno verde y sus derivados, la demanda de EFR es, por lo general, satisfecha en mercados internos. Raramente estos vectores energéticos se comercializan en el mercado internacional, debido

22. Disponible en: <https://hychico.com.ar/eng/hydrogen-plant.php>.

23. Disponible en: <https://www.conicet.gov.ar/mas-de-30-empresas-ya-son-parte-de-la-plataforma-colaborativa-para-el-desarrollo-de-la-economia-del-hidrogeno-h2ar/>.

a la alta ubicuidad de algunos de estos recursos o a la ausencia de tecnología e infraestructura que lo posibilite (cuadro 2). El dinamismo de la demanda de EFR a nivel global, entonces, no es tanto una oportunidad para exportar EFR como para desarrollar y comercializar nuevas tecnologías asociadas a su producción, pero este proceso no puede estar desarticulado de los requerimientos de la demanda doméstica. Esta idea se refuerza al considerar las regulaciones ambientales y de calidad que, en casos como el biodiesel, establecen algunos países demandantes condicionando las exportaciones desde los países en desarrollo.

CUADRO 2
Caracterización de las condiciones de mercado de las industrias analizadas

Industria	Mercado			
	Usos actuales globales	Alcance del mercado	Demandante en mercado nacional	Competitividad por precio
Biogás	Energía eléctrica para la red y térmica con fines industriales, biometano para el transporte y la red con fines térmicos	Nacional	Estado nacional para la red eléctrica	No competitivo si excluye externalidades ambientales positivas
Biodiesel	Transporte liviano	Nacional e internacional	Proveedores de combustibles líquidos fósiles	Competitivo
Eólico	Energía eléctrica para la red y la producción de hidrógeno (potencial)	Nacional	Estado nacional y grandes consumidores privados (electricidad)	Competitivo
Hidrógeno (potencial)	Insumo industrial y agrícola	Nacional e internacional	Sector industrial	Aún no competitivo

Elaboración de las autoras.

En la búsqueda de alcanzar la etapa comercial, dar respuesta a las nuevas necesidades que plantea el mercado o lograr competitividad en relación con otros vectores energéticos, las industrias analizadas se encuentran en un proceso continuo, más o menos intensivo, de innovación a nivel global. La posibilidad de las empresas domésticas de participar en estos procesos dependería, según la teoría, de la existencia de una industria dedicada a la producción de EFR que, en la búsqueda por mejorar su competitividad, recurra a proveedores especializados locales para aprovechar los RRNN y conocimientos disponibles en el territorio. De esta forma, la ubicuidad y especificidad de estos recursos podrían dar lugar a espacios de innovación y aprendizaje tecnológico.

Sin embargo, a excepción del biogás producido a partir de biomasa residual, los RRNN utilizados en las industrias analizadas poseen niveles de especificidad media o baja (cuadro 3), por lo que su nivel de adaptación a las condiciones particulares de los RRNN y el entorno productivo no presenta grandes desafíos y el conocimiento que permite caracterizarlas es codificable y, por lo tanto, transmisible a empresas ubicadas en otros territorios.

CUADRO 3

Caracterización de las condiciones tecnológicas de las industrias analizadas

Industria	Tecnología	
	Ubicuidad y especificidad del RRNN	Proyección global de la tecnología
Biogás	Cultivos energéticos: baja y baja Otra biomasa: media y alta	Uso de biomasa residual. Reemplazo de gas con biometano
Biodiesel	Baja y baja	Biocombustibles de 2ª y 3ª generación. Uso en sector de transporte pesado
Eólico	Alta y media	Energía eólica <i>off-shore</i> y en aguas profundas
Hidrógeno (potencial)	Alta y baja	Lograr madurez comercial. Uso en el transporte

Elaboración de las autoras.

La posibilidad de las empresas domésticas de participar en las CGVs de estas tecnologías dependería, entonces, de la existencia de otras condiciones como su trayectoria tecnológica, proximidad geográfica y la existencia de políticas públicas integrales que no solo dinamicen la demanda sino también el desarrollo de nuevas tecnologías y proveedores locales. En este sentido, aun cuando en la mayoría de las industrias analizadas las CGVs son coordinadas por empresas extranjeras de tamaño variable que se desempeñan como tecnólogos o fabricantes de piezas claves, existen espacios para el cambio tecnológico y el desarrollo de capacidades a nivel local (cuadro 4). Estos espacios inciden, en general, sobre la cadena local y se concentran en las etapas de gestión y producción de RRNN con la aplicación de la biotecnología, en las etapas de instalación con las obras electromecánicas, y en otros eslabones más periféricos a la cadena de valor, pero transversales, como las TICs. En la industria del hidrógeno las oportunidades de innovación son, por el momento, difusas, pero muchos países centrales y de la región ya se encuentran consolidando sus capacidades con el desarrollo de prototipos y plantas pilotos.

CUADRO 4

Caracterización de las condiciones organizacionales de las industrias analizadas

Industria	Organizacional	
	Empresas especializadas domésticas	Coordinación CGV
Biogás	PyMEs con participación en eslabones específicos de la cadena de valor local	Tecnólogos extranjeros, con socios y competidores en el mercado local
Biodiesel	PyMEs con participación en la cadena de valor orientada al mercado interno	Grandes empresas agroexportadoras
Eólico	Grandes y medianas con participación en la cadena de valor local	Grandes firmas extranjeras fabricantes de aerogeneradores
Hidrógeno (potencial)	Grandes empresas y multinacionales impulsadas por H2ar	En definición

Elaboración de las autoras.

Las condiciones descritas previamente ponen de relevancia el papel de las instituciones en la creación y configuración de los mercados de EFR y de condiciones propicias para el desarrollo de proveedores locales especializados. Si bien la industria eólica y el biogás comparten un mismo régimen de promoción (Ley Nacional nº 27.191), algunas empresas domésticas vinculadas a la cadena eólica se han beneficiado de regulaciones adicionales que han facilitado su integración en la cadena de valor local (cuadro 5). La industria del biogás, por otra parte, no cuenta con un marco regulatorio específico que, reconociendo sus externalidades ambientales positivas y como base para la creación de biorrefinerías, impulse su crecimiento y el desarrollo de proveedores locales especializados. No obstante, debido a la madurez y la baja complejidad que presenta esta tecnología, sumado a las experiencias acumuladas por la industria local en los últimos 20 años, algunas estimaciones señalan que alrededor del 80% de la inversión que involucra hoy una planta de biogás podría ser provista por componentes nacionales.²⁴

Una excepción a la ausencia de normativa específica son los biocombustibles líquidos, cuyo régimen de promoción no solo creó un mercado interno, sino que definió la configuración de la industria al diferenciar a las empresas según el destino de su producción (mercado interno o externo), traccionando el desarrollo de proveedores especializados para este segmento de la industria (cuadro 5). Sin embargo, la innovación en el sector también proviene de la difusión de un nuevo cultivo en el sector agrícola, traccionado por una empresa de semillas multinacional y la aplicación de biotecnología, con escaso lugar aparente para la incorporación de empresas especializadas domésticas. Otra excepción podría ser el hidrógeno bajo en emisiones en torno al cual se está desarrollando un marco institucional promisorio no sólo para el crecimiento de la producción sino también para el desarrollo de una red de proveedores especializados.

CUADRO 5

Caracterización de las condiciones institucionales de las industrias analizadas

Industria	Institucional	
	Normas específicas del sector	Regulaciones ambientales (estándares)
Biogás	Ingreso biometano a los sistemas de transporte de gas natural. Programa Biogás	Sobre la gestión de la biomasa residual y productos derivados
Biodiesel	Régimen de promoción con incidencia en la configuración de la industria	Regulaciones externas que afectan exportaciones
Eólico	Tasas a la importación de partes específicas	No existen a nivel local
Hidrógeno (potencial)	Mesa interministerial; consorcio H2ar	Estándares internacionales

Elaboración de las autoras.

24. Disponible em: www.santafe.gov.ar/ms/enerfe/2021/05/21/bioenergias/.

7 CONCLUSIONES

En Argentina, el sector energético posee un papel clave en la economía tanto por su relevancia económica como por sus altos eslabonamientos hacia atrás que le permiten traccionar masa crítica para la creación de capacidades que permeen al resto de la economía. Hoy este entramado de relaciones se apoya en una matriz energética con una alta participación del gas natural, por lo que lograr una transición energética equilibrada respecto al cuatrilema energético no solo implica aprovechar las complementariedades que ofrecen las EFR y las capacidades tecno productivas y RRNN disponibles en el país, sino acompañar la transformación de todo un entramado productivo dinámico y complejo que hoy gira en torno a los recursos hidrocarburiíferos.

Las industrias asociadas a las EFR analizadas en este documento enfrentan condiciones de mercado, tecnológicas, organizacionales e institucionales heterogéneas, producto de las tendencias globales en materia tecnológica y de regulación ambiental, las trayectorias productivas de estas industrias a nivel nacional y los marcos institucionales, en muchos casos endebles, que las acompañan. El crecimiento y diversificación de la demanda de EFR plantea espacios para la innovación en estas industrias, pero estas son ventanas de oportunidad dinámicas, en términos de Perez y Soete (1988), que requieren condiciones locales que orienten y traccionen los esfuerzos de aprendizaje de las empresas domésticas. La demanda interna y, en algunos casos, externa cumple un papel clave en este proceso, pero otros aspectos también son esenciales, como un marco institucional coordinado que contemple políticas que promuevan tanto la formación y el desarrollo de nuevos mercados para las EFR, traccionando externalidades y derrames hacia el sector productivo doméstico, como el desarrollo deliberado de una oferta de proveedores de tecnología y servicios especializados, cuyos esfuerzos de innovación se encuentren incentivados por esquemas institucionales específicos. En este sentido, resulta clave entender el nivel y tipo de participación del Estado en los mercados y las industrias de EFR que dinamiza estos procesos específicamente en los países en desarrollo.

Adicionalmente, frente a los distintos grados de centralidad que tienen las empresas multinacionales que explotan o procesan RRNN y que controlan la tecnología, persiste la pregunta respecto al papel que tienen estas empresas en la creación de espacios de aprendizaje e innovación que involucren a firmas domésticas. Su presencia no parece definir el desarrollo de nuevas capacidades tecnológicas locales, pero podría incidir en la dinámica de estos procesos, sus posibilidades de éxito y su proyección internacional y los costos de aprendizaje de las firmas proveedoras. La institucionalidad inherente al Estado es un elemento importante para considerar como actor que posibilita (o no) las articulaciones entre las firmas domésticas e internacionales, así como la creación de espacios

sinérgicos, que promuevan el aprendizaje, la innovación y a partir de ello, el desarrollo competitivo de las industrias basadas en EFR.

Estos interrogantes invitan a retomar la pregunta central del enfoque teórico que enmarca este trabajo para analizar con mayor profundidad las condiciones que facilitan y la manera en que ocurren los procesos de aprendizaje e innovación que impulsan nuevas competencias domésticas, especialmente frente a la presencia de grandes firmas multinacionales que controlan los RRNN o la tecnología. En este sentido, la sistematización que presenta este trabajo es una invitación a seguir profundizando sobre las posibilidades que tienen estas industrias de transformarse en plataformas para la innovación, la seguridad energética, la equidad social o la sostenibilidad ambiental y las condiciones que limitan o potencian su aporte a cada una de estas dimensiones.

REFERENCIAS

AGGIO, C.; VERRE, V.; GATTO, F. **Innovación y marcos regulatorios en energías renovables: el caso de la energía eólica en la Argentina**. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CIECTI, 2018.

ANDERSEN, A. D. *et al.* Building multi-system nexuses in low-carbon transitions: conflicts and asymmetric adjustments in Norwegian ferry electrification. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 120, n. 47, 2023.

ANDERSEN, A. D.; MARÍN, A.; SIMENSEN, E. O. Innovation in natural resource-based industries: a pathway to development? Introduction to special issue. **Innovation and Development**, v. 8, n. 1, p. 1-27, 2018.

ANDERSEN, A.; WICKEN, O. **Natural resource knowledge idiosyncrasy, innovation, industry dynamics, and sustainability**. Oslo: TIK Centre, 2016. (Working Papers on Innovation Studies, n. 20161107). Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/tik/inowpp/20161107.html>.

ANLLÓ, G.; BISANG, R.; KATZ, J. **Aprendiendo con el agro argentino: de la ventaja comparativa a la ventaja competitiva – el rol de las KIBs**. Washington: BID, 2015. (Documento para Discusión, n. IDB-DP-319). Disponible en: <https://policycommons.net/artifacts/307395/aprendiendo-con-el-agro-argentino/1225964/>.

ARGENTINA. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Energía y Minería. **Plan de acción nacional de energía y cambio climático**. Buenos Aires: Presidencia de la Nación, 2017. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_de_accion_nacional_de_energia_y_cc_2.pdf.

_____. Ley 27.520, de 19 de diciembre de 2019. La presente ley establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para garantizar acciones, instrumentos y estrategias adecuadas de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático en todo el territorio nacional en los términos del artículo 41 de la Constitución Nacional. **Boletín Oficial de la República Argentina**, Buenos Aires, 20 dic. 2019. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27520-333515/texto>.

_____. Ley 27.640, de 21 de julio de 2021. Apruébese el Marco Regulatorio de Biocombustibles, el cual comprende todas las actividades de elaboración, almacenaje, comercialización y mezcla de biocombustibles, y tendrá vigencia hasta el 31 de diciembre de 2030, pudiendo el Poder Ejecutivo nacional extenderlo, por única vez, por cinco (5) años más a contar desde la mencionada fecha de vencimiento del mismo. **Boletín Oficial de la República Argentina**, Buenos Aires, 4 agosto 2021a. Disponible en: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/247667/20210804>.

_____. **Actualización de la meta de emisiones netas de Argentina al 2030**. Buenos Aires, Presidencia da Argentina, 2021b. Disponible en: <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-05/Actualizacio%CC%81n%20meta%20de%20emisiones%202030.pdf>.

_____. **Lineamientos para un Plan de Transición Energética al 2030**. Buenos Aires: Secretaría de Energía, 2021c. Disponible en: <https://www.servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/355000-359999/356100/res1036.pdf>.

_____. **Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático**. Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_-_adaptacion_y_mitigacion_al_cambio_climatico_1285pag_1.pdf.

_____. Ministerio de Economía. **Plan para el Desarrollo Productivo, Industrial y Tecnológico**: desarrollar la economía verde para una transición ambiental justa. Buenos Aires: ME, 2023. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/mision_2_0.pdf.

BOLSA DE COMERCIO DE ROSARIO. Dirección de Informaciones y Estudios Económicos. **Informativo Semanal**: Mercados. Santa Fe: Bolsa de Comercio de Rosario, 2019. (Edición n. 1926). Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/print/pdf/node/75250>.

CAMMESA – COMPAÑÍA ADMINISTRADORA DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA S.A. **Principales variables MEM:** resumen ejecutivo – enero a diciembre 2022 vs 2021. Santa Fe: Cammesa, 2023. Disponible en: microfe.cammesa.com/static-content/CammesaWeb/download-manager-files/NovedadesHome/Resumen%20Ejecutivo%20Ene%20a%20Dic%202022%20vs%202021.pdf.

CASTELAO CARUANA, M. E. **Plantas de bioenergía con fines eléctricos o térmicos en Argentina (activas o proyectadas).** Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (dataset). 2022. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/162064>.

CASTELAO CARUANA, M. E.; DE VITA, M. La construcción de capacidades en las industrias basadas en recursos naturales: la bioenergía en Argentina. **Pymes, Innovación y Desarrollo**, v. 10, n. 2, p. 2-23, 2022. Disponible en: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/pid/article/view/38895>.

CASTRO, M. Biocombustibles en Argentina: factores que propician su producción y los debates contemporáneos sobre su funcionalidad. *In:* CARNIGLIA, E.; EMILIOZZI, A. (Org.). **Territorios latinoamericanos: ciudades, ruralidades y políticas de desarrollo.** Río Cuarto: UniRío, 2020. Disponible en: www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2020/06/Territorios-latinoamericanos-Ciudades-ruralidades-y-pol%C3%ADticas-de-desarrollo-UniR%C3%ADo-editora.pdf.

CIMOLI, M.; PORCILE, G. Sources of learning paths and technological capabilities: an introductory roadmap of development processes. **Economics of Innovation and New Technology**, v. 18, n. 7, p. 675-694, 2009.

CRESPI, G.; KATZ, J.; OLIVARI, J. Innovation, natural resource-based activities and growth in emerging economies: the formation and role of knowledge intensive service firms. **Innovation and Development**, v. 8, n. 1, p. 79-101, 2017.

GEELS, F. W. *et al.* The socio-technical dynamics of low-carbon transitions. **Joule**, v. 1, n. 3, p. 463-479, 2017.

GOLDSTEIN, E.; GUTMAN, G. **Biocombustibles y biotecnología:** contexto internacional, situación en Argentina. Buenos Aires: CEUR-CONICET, 2010. (Documento de Trabajo, n. 4/2010). Disponible en: www.ceur-conicet.gov.ar/archivos/publicaciones/biocombustibles2.pdf.

GRIGORYEV, L. M.; MEDZHIDOVA, D. D. Global energy trilemma. **Russian Journal of Economics**, v. 6, p. 437-462, 2020.

GUTMAN, V. Transición energética y comercio internacional: desafíos para América Latina y el Caribe. *In*: HERNÁNDEZ, J. L.; CIVITARESI, H. M.; SILVEIRA, L. L. da S. (Comp.). **Dinámicas territoriales en América Latina: la necesidad de repensar y proponer una nueva agenda de desarrollo regional posneoliberal**. Río Cuarto: UniRío, 2022. p. 11-25.

HERNÁNDEZ, J.; CASTRO, M. Biocombustibles en la Argentina: potencialidades y tensiones en el agregado de valor en el territorio. *In*: GORENSTEIN, S. (Coord.). **Territorios primarizados en la Argentina: viejas y nuevas fragilidades socioeconómicas**. Buenos Aires: CEUR-CONICET, 2020. p. 185-222.

HLPE-FSN – HIGH LEVEL PANEL OF EXPERTS ON FOOD SECURITY AND NUTRITION. **Los biocombustibles y la seguridad alimentaria: un informe del Grupo de Alto Nivel de Expertos en Seguridad Alimentaria y Nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial**. Roma: FAO, 2013. Disponible en: www.fao.org/3/a-i2952s.pdf.

HUENTELER, J. *et al.* Technology life-cycles in the energy sector, technological characteristics and the role of deployment for innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 104, p. 102-121, 2016.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Hydrogen in Latin America: from near-term opportunities to large-scale deployment**. Paris: IEA, 2019. (Technology Report). Disponible en: www.iea.org/reports/hydrogen-in-latin-america.

_____. **Energy technology perspectives 2020**. Paris: IEA, 2020. Disponible en: www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020.

_____. **Technology advances in liquid biofuels and renewable gas: summary and conclusions** Paris: IEA Bioenergy, 2022. Disponible en: www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2023/02/ExCo90_Workshop_Summary_final.pdf.

IICA – INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA. **Atlas de los biocombustibles líquidos 2020-2021**. IICA: San José, 2021. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/18661/BVE21097939e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Panorama de la innovación para un futuro impulsado por las energías renovables: soluciones para integrar las energías renovables variables**. Abu Dhabi: IRENA, 2019. Disponible en: www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Landscape_summary_ES.pdf.

_____. **Green hydrogen: a guide to policy making**. Abu Dhabi: IRENA, 2020. Disponible en: www.irena.org/publications/2020/Nov/Green-hydrogen.

_____. **Renewable technology innovation indicators:** mapping progress in costs, patents and standards. Abu Dhabi: IRENA, 2022a. Disponible en: www.irena.org/publications/2022/Mar/Renewable-Technology-Innovation-Indicators.

_____. **Green hydrogen for industry:** a guide to policy making. Abu Dhabi: IRENA, 2022b. Disponible en: www.irena.org/publications/2022/Mar/Green-Hydrogen-for-Industry.

KATZ, J. **Recursos naturales y crecimiento:** aspectos macro y microeconómicos, temas regulatorios, derechos ambientales e inclusión social. Santiago: CEPAL, 2020. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45513/1/S1901207_es.pdf.

KATZ, J.; PIETROBELLI, C. Natural resource-based growth, global value chains and domestic capabilities in the mining industry. **Resources Policy**, v. 58, p. 11-20, 2018.

KOOP, F. El combustible renovable que trae una gran oportunidad, ambiental y económica, para Argentina y América Latina. **Redacción**, 7 abr. 2021. Disponible en: <https://www.redaccion.com.ar/el-combustible-renovable-que-trae-una-gran-oportunidad-ambiental-y-economica-para-argentina-y-america-latina/>.

LAPLANE, M.; GONÇALVES, A. L.; SERRA, M. Recursos naturais e desenvolvimento econômico. In: BELLUZO, L. G. de M.; FRISCHTAK, C. R.; LAPLANE, M. (Org.). **Produção de commodities e desenvolvimento econômico**. Campinas: Unicamp; Vale, 2014. Disponible en: www.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/producao_de_commodities_e_desenvolvimento_economico.pdf.

LEMA, R.; QUADROS, R.; SCHMITZ, H. Reorganising global value chains and building innovation capabilities in Brazil and India. **Research Policy**, v. 44, n. 7, p. 1376-1386, 2015.

MARÍN, A.; NAVAS-ALEMÁN, L.; PEREZ, C. Natural resource industries as a platform for the development of knowledge intensive industries. **Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie**, v. 106, n. 2, p. 154-168, 2015.

MARÍN, A.; SIMENSEN, E. Innovation in natural resource-based industries: a pathway to development? Introduction to special issue. **Innovation and Development**, v. 8, n. 1, p. 1-27, 2018.

MARÍN, A.; STUBRIN, L.; KABABE, Y. La industria de biodiesel en Argentina: capacidades de innovación y sostenibilidad futura. **Desarrollo Económico**, v. 54, n. 312, p. 131-160, 2014.

MARTI, L.; PUERTAS, R. Sustainable energy development analysis: energy trilemma. **Sustainable Technology and Entrepreneurship**, v. 1, n. 1, p. 100007, 2022. Disponible en: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773032822000074.

MARTÍN, R. D. América Latina y la maldición de los recursos: el debate en la larga duración. **El Trimestre Económico**, v. 88, n. 351, p. 769-806, 2021. Disponible en: <https://www.eltrimestreeconomico.com.mx/index.php/te/article/view/1239>.

MASCARENHAS, T. *et al.* **Políticas de desarrollo productivo verde para la Argentina**. Buenos Aires: Fundación Fundar, 2021. Disponible en: www.fund.ar/wp-content/uploads/2021/11/Fundar-Poli%CC%81ticas-de-Desarrollo-Productivo-Verde-para-la-Argentina.pdf.

MATEO, J.; SUSTER, M. **Hacia la economía del hidrógeno**: perspectivas de la agenda internacional y las oportunidades locales. Buenos Aires: Ministerio de Desarrollo Productivo, 2021. (Serie de Documentos de Trabajo del Consejo para el Cambio Estructural, n. 7). Disponible en: www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/dt_7_-_hidrogeno.pdf.

MOLINA, M. *et al.* **La estructura productiva nacional**: un análisis de los encadenamientos y multiplicadores sobre la base de la matriz insumo-producto de 2015. Buenos Aires: Ministerio de Desarrollo Productivo, 2021. (Serie de Documentos de Trabajo del Centro de Estudios para la Producción XXI, n. 8). Disponible en: www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/09/dt_8_-_la_estructura_productiva_nacional.pdf.

NORTH, E. **Institutions, institutional change, and economic performance**. Washington: Cambridge University Press, 1990.

PEREZ, M.; PEREZ, R. Update 2022: a fundamental look at supply side energy reserves for the planet. **Solar Energy Advances**, v. 2, p. 100014, 2022.

PEREZ, C.; SOETE, L. Catching-up in technology: entry barriers and windows of opportunity. *In*: DOSI, G. (Ed.). **Technical change and economic theory**. London: Pinter, 1988.

REN21. **Renewables 2023**: global status report – renewables in energy demand. Paris: REN21, 2023. Paris: REN21, 2023. Disponible en: www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2023_Demand_Modules.pdf.

RIVAS, D.; ROBERT, V. **Cambio estructural y desarrollo**: eficiencia keynesiana y shumpeteriana en la industria manufacturera en la Argentina en el período 2003-2011. Buenos Aires: CEPAL, 2015. (Serie Estudios y Perspectivas CEPAL, n. 42). Disponible en: https://repository.eclac.org/bitstream/handle/11362/38244/S1500516_es.pdf.

RODRIK, D. Will new trade policies leave the developing world behind? **Project Syndicate**, Apr. 3, 2023. Disponible en: <https://www.project-syndicate.org/commentary/new-rich-country-trade-policies-developing-world-must-shape-own-future-by-dani-rodrik-2023-04>.

SABBATELLA, I. Transición energética: el cuatrilema argentino. *In*: BURGOS, M.; SABBATELLA, I. (Coord.). **Desarrollo y ambiente: problemas y debates desde la periferia**. Buenos Aires: Ediciones del CCC, 2023. p. 31-56.

STRUBIN, L. Innovation, learning and competence building in the mining industry: the case of knowledge intensive mining suppliers (KIMS) in Chile. **Resources Policy**, v. 54, p. 167-175, 2017.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIROMENT PROGRAMME. **Emissions gap report 2022: the closing window – climate crisis calls for rapid transformation of societies**. Nairobi: UNEP, 2022. Disponible en: www.unep.org/emissions-gap-report-2022.

URÍAS, R. E.; RAMOS, E. M.; GUERRERO, J. M. Los biocombustibles en América Latina. Actualidad y debates según las experiencias en Brasil, Argentina y México. **Revista Académica de Economía**, n. 201, 2014. Disponible en: <https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/la/14/biocombustibles.html>.

VERRE, V. *et al.* **Apoyo a la innovación: reflexiones sobre el diseño y la evaluación de los fondos de innovación tecnológica sectorial**. Buenos Aires: CIECTI, 2020.

WEC – WORLD ENERGY COUNCIL. **World energy trilemma index 2022**. London: WEC, 2022. Disponible en: www.worldenergy.org/assets/downloads/World_Energy_Trilemma_Index_2022.pdf?v=1669839605.

WEF – WORLD ECONOMIC FORUM. **Fostering effective energy transition: 2021 edition**. Genova: WEF, 2021. (Insight Report). Disponible en: www.weforum.org/reports/fostering-effective-energy-transition-2021/.

WILSON, C.; GRUBLER, A. The energy technology innovation system. *In*: GRUBLER, A.; WILSON, C. (Ed.). **Energy technology innovation: learning from historical successes and failures**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 11-29.

ZABALOY, M. F.; GUZOWSKI, C.; DIDRIKSEN, L. Hidrógeno verde en Argentina: desarrollo actual y perspectivas a future. **Energía y Desarrollo Sustentable: energías renovables en América del Sur**, v. 2, n. 6, p. 35-51, 2021.

