

Christian Brannstrom

Lucas Seghezzo

Adryane Gorayeb

DESCARBONIZACIÓN EN AMÉRICA DEL SUR: CONEXIONES ENTRE BRASIL Y ARGENTINA



DESCARBONIZACIÓN EN AMÉRICA DEL SUR:
CONEXIONES ENTRE BRASIL Y ARGENTINA





UNIVERSIDAD DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

Rector

Cicília Raquel Maia Leite

Vicerrector

Francisco Dantas de Medeiros Neto

Director del Sistema Integrado de Bibliotecas

Jocelânia Marinho Maia de Oliveira

Jefe de Editorial Universitaria

Francisco Fabiano de Freitas Mendes



Consejo Editorial de Ediciones

José Elesbão de Almeida

Isabela Pinheiro Cavalcanti Lima

Kalidia Felipe de Lima Costa

Regina Célia Pereira Marques

Maria José Costa Fernandes

José Cezinaldo Rocha Bessa

Christian Brannstrom

Lucas Seghezzo

Adryane Gorayeb

(Organizadores)

DESCARBONIZACIÓN EN AMÉRICA DEL SUR: CONEXIONES ENTRE BRASIL Y ARGENTINA

Julio 2022

**DESCARBONIZACIÓN EN AMÉRICA DEL SUR:
CONEXIONES ENTRE BRASIL Y ARGENTINA**

© 2022 Copyright by **Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)**

Impreso en Brasil/ Printed in Brazil

Diagramación electrónica

Renan Rodrigues

Tradutores

Rodrigo Silva de Oliveira

Poliana Cristina Souza França

Revisión

Rodrigo Silva de Oliveira

Lucas L. Franco.

Portada

Luci Sacoleira

Impresión y acabado

Expressão Gráfica e Editora

Rua João Cordeiro, 1285 – Aldeota – Fortaleza – Ceará

CEP: 60110-300 – Tel: (085) 3464-2222

E-mail: arte@expressaografica.com.br

Catalogación de la Publicación en la Fuente.
Universidade del Estado de Rio Grande do Norte.

Descarbonización en América del Sur: conexiones entre Brasil y Argentina.
/ Christian Brannstrom, Lucas Seghezze y Adryane Gorayeb (Orgs). –
Mossoró, RN: Ediciones UERN, 2022.

460 p.

ISBN: 978-85-7621-326-0.

1. Energía Renovable - Descarbonización - América del Sur. 2. Energía eólica – Brasil - Impactos socioambientales. 3. Geografía ambiental. I. Brannstrom, Christian. II. Seghezze, Lucas. III. Gorayeb, Adryane. IV. Universidad del Estado de Rio Grande do Norte. V. Título.

UERN/BC

CDD: 333.794

CONTENIDOS

Presentación.....9

SECCIÓN: METODOLOGÍAS APLICADAS AL ANÁLISIS DE LA DESCARBONIZACIÓN DEL SUR GLOBAL

- 1. Análisis de la gobernanza de las energías renovables en América del Sur..... 14**
Christian Brannstrom, Lucas Seghezzo
- 2. El Análisis de Redes Sociales (ARS) como Herramienta para el Estudio y la Gestión de los Procesos de Descarbonización38**
Melisa Escosteguy, Carlos Ortega Insaurrealde, Lucas Seghezzo
- 3. Diagnóstico socioambiental participativo y cartografía social en la evaluación de impactos de la energía eólica..... 57**
Thomaz Xavier, Adryane Gorayeb, Christian Brannstrom
- 4. La Metodología Q para el Análisis Cualitativo-Cuantitativo de las Percepciones Sociales sobre las Energías Renovables82**
Lucas Seghezzo, Christian Brannstrom
- 5. Análisis del discurso y codificación (*coding*) con énfasis en los documentos oficiales de licenciamiento ambiental 104**
Wallason Farias de Souza, Antonio Jeovah de Andrade Meireles, Christian Brannstrom
- 6. Enfoques de economía política para la industria de generación eólica en el noreste de Brasil 130**
Mariana Traldi

- 7. Geoecología del paisaje, aplicada a la planificación ambiental de proyectos de producción de energía eólica 153**
Edson Vicente da Silva, Giovanna de Castro Silva, Anderson Marinho da Silva, Clarissa Dantas Moretz-Sohn, Larissa de Pinho Aragão, Carlos Henrique Sopchaki
- 8. Metodología de análisis del ruido provocado por parques eólicos.....171**
Lígia de Nazaré Aguiar, Ivan José Ary Júnior, Adryane Gorayeb
- 9. Metodología de evaluación da vulnerabilidad de acuíferos en parques eólicos.....190**
Raquel Moraes Silva, Maria da Conceição Rabelo Gomes, Luis Glauber Rodrigues, Adryane Gorayeb
- 10. Vulnerabilidad energética y socioeconómica en los hogares de Argentina 209**
Rodrigo Javier Duran, Miguel Angel Condori

SECCIÓN: TECNOLOGÍAS Y PERSPECTIVAS A FUTURO

- 11. ¿Descarbonización con justicia? Conceptos y enfoques 236**
Christian Brannstrom
- 12. Derecho a la energía eléctrica y posibles impactos ambientales y sociales 254**
Mozart Otávio Guedes Maia, Herivelto Fernandes Rocha, Aglaer Nasia Cabral Leocádio, Hugo Muniz Bolognesi, Carla Kazue Nakao Cavaliero, Sônia Regina da Cal Seixas
- 13. Perspectivas para el uso de energías renovables en el mundo y en Brasil.....279**
Hugo Muniz Bolognesi, Alyson Luz Pereira Rodrigues, Zoraide Souza Pessoa, Sonia Regina da Cal Seixas, Carla Kazue Nakao Cavaliero
- 14. Implicaciones geográficas del sector del hidrógeno verde en Brasil ... 299**
Christian Brannstrom, Adryane Gorayeb

- 15. Desafíos sociales y ambientales de la energía eólica offshore en Brasil 319**
Adryane Gorayeb, Christian Brannstrom, Marcelo Soares, Thomaz Xavier
- 16. Relaciones entre descarbonización, vulnerabilidades socioambientales e impactos regionales de la energía eólica en el contexto del noreste de Brasil: el caso de Rio Grande do Norte..... 335**
Zoraide Souza Pessoa, Luziene Dantas de Macedo, Rylanneive Leonardo Pontes Teixeira, Moema Hofstaetter, Yonara Claudia dos Santos, Eunice Ferreira Carvalho, Ellitamara Alves de Oliveira Melo
- 17. La expansión de parques eólicos en áreas protegidas en el estado de Rio Grande do Norte, Brasil..... 360**
Rodrigo Guimarães de Carvalho, Ramiro Gustavo Valera Camacho, Márcia Regina Farias da Silva, Dweynny Rodrigues Filgueira Gê, Fabiana Silva Medeiros Ferreira, Stênio Freitas Felix, Louize Nascimento, Osvaldo da Cunha, Maria Zilda Rosado Neta
- 18. Análisis de los marcos institucionales para la explotación de litio en Sudamérica 382**
Martín A. Iribarnegaray, Elizabeth Jiménez, Ingrid Garcés, Mauricio Lorca, Melisa L. Escosteguy, Walter F. Díaz Paz, Araceli Clavijo
- 19. Energía eólica en Argentina, distribución de sitios401**
Fernando Tilca, Juan Francisco Mathisson Malvasio
- 20. Transición energética y producción de litio: principales debates y desafíos para la gestión del agua en Argentina 417**
Walter F. Díaz Paz, Melisa L. Escosteguy, Araceli Clavijo, Lucas Seghezzo, Martín Iribarnegaray
- 21. Conexiones multiescalares para la producción de litio en Argentina.. 435**
Melisa Escosteguy, Walter Díaz Paz, Araceli Clavijo, Martín Iribarnegaray, Lucas Seghezzo

PRESENTACIÓN

La motivación que llevó a la organización de este trabajo por investigadores de instituciones radicadas en tres países (Estados Unidos, Argentina y Brasil) fue la de reunir metodologías que puedan ser aplicadas en investigación en Sudamérica y que aborden los aspectos de justicia social implicados en la transición energética en el Sur Global.

Las soluciones de descarbonización necesarias para evitar un aumento del calentamiento global de +2 grados centígrados requieren inversiones significativas en tecnología, ingeniería y capital humano (GEELS *et al.*, [2017](#)). El almacenamiento de energía en baterías a base de litio será fundamental para las rutas de descarbonización dependientes de fuentes renovables, provenientes de paneles fotovoltaicos y parques eólicos (SOVACOOOL *et al.*, [2020](#)). En el centro de estos desafíos energéticos y de cambio climático se encuentran dos suposiciones de consenso emergentes sobre la descarbonización: (1) las energías eólica y solar pueden satisfacer completamente las necesidades de electricidad del mundo si se implementan a gran escala (HANSEN *et al.*, [2019](#); LOWE; DRUMMOND, [2022](#)); y (2) es tecnológicamente viable el almacenamiento comercial de electricidad (eólica y solar) utilizando baterías (DEHGHANI-SANIJ *et al.*, [2019](#)), permitiendo el uso intensivo de energías renovables de forma permanente, segura y estable. Sin embargo, se generan nuevos riesgos para las personas y el medio ambiente debido a la mayor demanda de áreas para la implementación de parques de energía renovable y para la extracción de metales utilizados en la producción de baterías, especialmente el litio.

Este libro reúne veintiún capítulos, con enfoques de conocimientos teóricos y empíricos sobre los desafíos emergentes de la descarbonización en Brasil y Argentina, realizados por un grupo de investigadores brasileños (Universidad Federal do Ceará, Universidad Federal de Rio Grande do Norte, Universidad del Estado de Rio Grande do Norte, Universidad Estadual da Paraíba, Universidad de Campinas, Instituto Federal de Educación, Ciencias e Tecnología do Ceará y de São Paulo) y argentinos (de la Universidad Nacional de Salta [UNSA] y del Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional [INENCO]), vinculados al Observatorio de Energía Eólica, liderado por la Universidad Federal de Ceará, e integrantes del proyecto de investigación “CAPES/Programa de Cooperación Brasil Sur – Sur (COOBRASS), Decreto nº 5 de 2019, Proc. 88881.368924/2019-01 “Energía renovable y descarbonización en América del Sur: desafíos de la energía eólica en Brasil y del litio en Argentina”;

y CAPES/PRINT Proc. 88887.312019/2018-00: *Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate change.*

El propósito de este trabajo es proporcionar marcos conceptuales de investigación y metodologías para analizar caminos que busquen una descarbonización “justa” (MULVANEY, 2019; SOVACOOOL *et al.*, 2019a) para el Sur Global, especificando desafíos de sustentabilidad (SOVACOOOL *et al.*, 2020) y respondiendo a la necesidad de estudiar aspectos institucionales y de gobernanza de la descarbonización (EYRE *et al.*, 2018; STERN *et al.*, 2016), en relación a las perspectivas del litio argentino y de la energía eólica brasileña.

Sabemos que es necesario pensar en una agenda global para las ciencias sociales, y en particular para la Geografía de la Energía, que permita enfrentar los desafíos emergentes de conciliar la demanda energética con las metas del cambio climático (STERN *et al.*, 2016). En este contexto, es fundamental formar profesionales calificados con un enfoque holístico, principal objetivo del proyecto CAPES/COOPRASS, para que los jóvenes argentinos y brasileños sean capaces de encontrar soluciones a las posibles consecuencias negativas de la descarbonización, orientando la formulación de políticas públicas y el desarrollo tecnológico con el objetivo de democratizar los beneficios y reducir los daños. Un elemento crítico en el desarrollo del capital humano en los países sudamericanos es la formación de jóvenes investigadores en metodologías científicas rigurosas. Por ello, este libro fue concebido en dos versiones, portugués y español, para facilitar el acceso al contenido a estudiantes, investigadores, gestores, emprendedores y al público en general, considerando que América Latina es eminentemente hispanohablante y que los aspectos aquí discutidos son relevantes en contextos de otros países, como Bolivia y Chile, que forman parte del “triángulo del litio” junto con Argentina, o México, país que se destaca en el contexto regional por albergar conflictos entre poblaciones nativas y generación de energía eólica (DUNLAP, 2019; RAMÍREZ; BÖHN, 2021), lo que permite una comparación con la realidad del noreste brasileño.

Los capítulos presentan resultados parciales y metodologías de investigaciones desarrolladas durante disertaciones de maestría y tesis doctorales en Brasil y Argentina. Las metodologías presentadas en este libro tienen como objetivo sistematizar la recolección y análisis de datos sociales, con rigor y gran apoyo de la literatura internacional, con la idea de poder responder a las cuestiones sociales latinoamericanas relacionadas con los niveles de aceptación y rechazo a la implementación de proyectos de energía eólica y minería de litio en Brasil y Argentina. Esperamos que los capítulos de este libro ayuden a orientar a los investigadores que quieran profundizar en la inmensa bibliografía existente sobre descarbonización.

Brasil y el noreste brasileño, en particular, merecen atención debido a que la energía eólica representó, en junio de 2022, el 11,8% de la matriz eléctrica brasileña y se espera que alcance el 13,6% en 2025, según datos del Operador Nacional de Sistema

Eléctrico (ONS). En junio de 2022, había aproximadamente 9,2 GW de capacidad eólica provista a los estados de Ceará y Rio Grande do Norte, según el Sistema de Generación de Información de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL), lo que representa un *cluster* de parques eólicos mundialmente significativo. Por otro lado, el litio en los salares argentinos merece atención por el volumen de reservas y su importancia en la electromovilidad y la producción de baterías para almacenar electricidad de fuentes intermitentes, como los parques eólicos (SOVACOOOL *et al.*, [2020](#)). Vincular analíticamente los procesos de energía eólica y extracción de litio significa empezar a tener una mejor comprensión de dos elementos fundamentales para la descarbonización, lo que comienza a avanzar en una visión holística de los futuros sistemas de emisión cero. Esta visión holística no puede ser meramente técnica, ya que también debe considerar cuestiones relacionadas con la justicia – justicia social, ambiental y energética (MCCAULEY *et al.*, [2019](#); SOVACOOOL *et al.*, [2019a](#); SOVACOOOL *et al.*, [2019b](#)).

Finalmente, cabe señalar que este libro fue organizado durante la pandemia de COVID-19 (2020 – 2021), como una forma de reunir a investigadores de forma remota y promover debates sobre los aspectos sociales y ambientales involucrados en la transición de la matriz energética en el Sur Global, cumpliendo uno de los objetivos del proyecto financiado por CAPES. A pesar de la pandemia, las inversiones previstas, tanto en energía eólica como en extracción de litio, han avanzado en cuanto al volumen de recursos comprometidos, al número de grupos industriales, y al desarrollo tecnológico y territorial de las inversiones. Todo indica que la descarbonización es un buen negocio, que ofrece caminos para la acumulación de capital, pero también necesita ser objeto de investigaciones socioambientales, con énfasis en temas de gobernanza, justicia y territorio.

En noviembre de 2021, 120 líderes mundiales se reunieron en Glasgow, Escocia, para la 26ª Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP26). A pesar de la intensa agenda de negociaciones, esta conferencia solo pospuso los compromisos climáticos globales para 2022, en particular la reducción de las emisiones de carbono hasta un 50% y el mantenimiento del calentamiento global en un máximo de 1,5 °C para 2030. Brasil y Argentina están entre los muchos países cuyos planes existentes son inadecuados para alcanzar estos objetivos.

La noción de justicia, enfáticamente proclamada durante las protestas populares en la COP26, entendida como “justicia climática”, ve al cambio climático como un tema complejo de justicia social, no sólo como un problema ambiental. Por tal motivo, sabemos que es importante superar los desafíos que nos imponen las tecnologías y vislumbrar, con un enfoque holístico, soluciones para las políticas públicas de energías renovables y desarrollo tecnológico con el objetivo de democratizar los beneficios y reducir los daños, en términos sociales y ambientales.

Fortaleza, 16 de junio de 2022

Christian Brannstrom, Adryane Gorayeb y Lucas Seghezze

Referencias

- DEHGHANI-SANIJ, A. R.; THARUMALINGAM, E.; DUSSEAUULT, M. B.; FRASER, R. Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 104, p. 192-208, 2019.
- DUNLAP, A. *Renewing Destruction: Wind Energy Development, Conflict and Resistance in a Latin American Context*. **Rowman and Littlefield**, New York, 2019.
- EYRE, N.; DARBY, S. J.; GRÜNEWALD, P.; MCKENNA, E.; FORD, R. Reaching a 1.5°C target: socio-technical challenges for a rapid transition to low-carbon electricity systems. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**: 37620160462, 2018.
- GEELS, F. W.; SOVACOOOL, B. K.; SCHWANEN, T.; SORRELL, S. Sociotechnical transitions for deep decarbonization. **Science**, v. 357, n. 6357, p. 1242-1244, 2017.
- HANSEN, K.; BREYER, C.; LUND, H. Status and perspectives on 100% renewable energy systems. **Energy**, v. 175, p. 471-480, 2019.
- LOWE, R. J.; DRUMMOND, P. Solar, wind and logistic substitution in global energy supply to 2050 – barriers and implications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 153, p. 111720, 2022.
- MCCAULEY, D.; RAMASAR, V.; HEFFRON, R. J.; SOVACOOOL, B. K.; MEBRATU, D.; MUNDACA, L. Energy justice in the transition to low carbon energy systems: exploring key themes in interdisciplinary research, **Applied Energy**, v. 233-234, n. 916-921, 2019.
- MULVANEY, D. **Solar Power: innovation, sustainability, and environmental justice**. Berkeley: University of California Press, 2019.
- RAMIREZ, J.; BÖHM, S. Transactional colonialism in wind energy investments: Energy injustices against vulnerable people in the Isthmus of Tehuantepec, **Energy Research & Social Science**, v. 78, p. 102135, 2021.
- SOVACOOOL, B. K.; ALI, S. H.; RADLEY, M. B.; NEMERY, B.; OKATZ, J.; MULVANEY, D. Sustainable minerals and metals for a low-carbon future. **Science** v. 367, n. 6476, p. 30-33, 2020.
- SOVACOOOL, B. K.; HOOK, A.; MARTISKAINEN, M.; BAKER, L. H. The whole systems of energy injustice of four European low-carbon transitions. **Global Environmental Change** v. 58, p. 101958, 2019a.
- SOVACOOOL, B. K.; HOOK, A.; MARTISKAINEN, M.; BAKER, L. H. Decarbonisation and its discontents: a critical energy justice perspective on four low-carbon transitions. **Climate Change**, v. 155, n. 4, p. 591-619, 2019b.
- STERN, P. C.; SOVACOOOL, B. K.; DIETZ, T. Towards a science of climate and energy choices. **Nature Climate Change**, v.6, n. 547, 2016.

**SECCIÓN: METODOLOGÍAS
APLICADAS AL ANÁLISIS DE LA
DESCARBONIZACIÓN DEL SUR GLOBAL**

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DE LA GOBERNANZA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN AMÉRICA DEL SUR

Christian Brannstrom^{1 2}

*Lucas Seghezso*³

Resumen

La gobernanza ambiental abarca una amplia gama de actores dentro y fuera del gobierno que interactúan para desarrollar e implementar diferentes tipos de reglas que determinan o influyen sobre la manera en que los actores usan y descartan el agua, los bosques, el suelo y los minerales, entre otros recursos. Este capítulo resume los temas principales (gobernanza participativa y enfoques económicos, políticos e institucionales) en la literatura internacional sobre gobernanza ambiental. Aplicamos estos temas a algunos ejemplos de energía eólica en el estado de Ceará (Brasil), y de extracción de litio en Argentina, para demostrar la utilidad de la gobernanza para la comprensión de los actores, las instituciones, las redes, y el poder en los procesos de descarbonización. Destacamos algunas prioridades para futuras investigaciones sobre sistemas de energía renovable en América del Sur.

Palabras clave: Gobernanza. Energía renovable. Descarbonización. Litio. Energía eólica.

Introducción

La gobernanza ambiental es tanto una abstracción como un proceso observado de toma de decisiones en cuanto al acceso a los recursos naturales y la eliminación de subproductos. Como abstracción o concepto, se refiere a diferentes ideas sobre las interacciones deseadas entre el estado, la sociedad y las entidades del mercado que pueden definir los medios y objetivos de la política ambiental. Como proceso

1 Texas A&M University (TAMU), College Station, Estados Unidos. cbrannst@geos.tamu.edu

2 Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil.

3 Instituto de Investigaciones en Energías no Convencionales (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa), Salta, Argentina.

observado, la gobernanza ambiental describe las interacciones reales en los territorios y puede estructurarse en términos de cómo mejorar las interacciones o los resultados de las políticas implementadas.

En este libro, estamos especialmente interesados en dos recursos. El primero es el litio producido a partir de la salmuera de las salinas de gran altitud (sales) en la Cordillera de los Andes, que resultan de procesos biogeofísicos. La salmuera requiere varias etapas de extracción y procesamiento, comenzando con la extracción a través de pozos en las salinas, seguida de la evaporación y eliminación de sales no deseadas, tales como magnesio, sulfatos y boro (STERBA *et al.*, 2019). El litio es uno de los varios minerales y metales que tendrán una demanda “inmensa” por parte de la economía emergente de bajo carbono, de 43 MT en 2017 a 415 MT en 2050, debido a la composición de las baterías en los vehículos eléctricos y el almacenamiento de electricidad a gran escala (SOVACOOOL *et al.*, 2020). Más de dos tercios de las reservas explotables de litio del mundo se encuentran en los salares de Argentina, Bolivia y Chile, en áreas de gran altitud, ambientalmente sensibles y, en muchos lugares, muy cerca de pueblos originarios y de los recursos que ellos reclaman (GÖBEL, 2003; FORNILLO, 2019; OBSERVATORIO, 2021). El otro recurso es el viento que se mueve sobre el agua (*offshore*) y el continente (*onshore*) del noreste de Brasil, como resultado del calentamiento desigual de la tierra y el mar y la fuerza de Coriolis de la rotación de la Tierra. Este recurso es intermitente en el espacio y en el tiempo y, teniendo en cuenta que las turbinas eólicas (los medios para capturar este recurso y convertirlo en electricidad) residen en los niveles más bajos de la capa límite planetaria, surgen numerosos desafíos; Según Veers *et al.* (2019, p.1): “la evaluación de los efectos atmosféricos en los parques eólicos... [es] extremadamente difícil”.

Ambos son recursos heterogéneos, muy variables en el espacio (y en el tiempo, en el caso del viento); aun así, el litio y el viento son elementos clave de los sistemas energéticos descarbonizados o de cero emisiones (DAVIS *et al.*, 2018), fundamentales para evitar escenarios de cambio climático que superen los dos grados Celsius de calentamiento (OTTO, 2020).

¿Qué es la gobernanza?

Aunque el término “gobernanza” ha sido ampliamente utilizado durante casi veinte años en los círculos académicos y políticos, tiene significados diferentes e incluso contradictorios (IRIBARNEGARAY; SEGHEZZO, 2012). La gobernanza se refiere a los procesos de toma de decisiones mediante los cuales la sociedad define los problemas y los medios para resolverlos. El gobierno o el estado es claramente esencial en la mayoría de los procesos de gobernanza; sin embargo, “gobernanza” debe distinguirse de “gobierno”, como una gestión centralizada de la autoridad, y también de “gobernar” como un esfuerzo decidido para controlar o gestionar la sociedad (KEMP *et al.*, 2005).

La gobernanza puede considerarse un *continuum* entre los extremos del Estado y de la sociedad, cada uno con la capacidad de determinar los medios y objetivos de las políticas (JORDAN *et al.*, 2005). En un sistema centrado en el estado, el gobierno determinaría los medios y los objetivos. En un sistema centrado en la sociedad o gobernanza extrema, la sociedad determinaría los medios y objetivos de las políticas. Puede clasificarse como un sistema híbrido, en el cual la sociedad determina los fines, pero el estado determina los medios, o viceversa.

Una visión normativa de la gobernanza es la idea de “buena gobernanza”, popularizada por la afirmación del Banco Mundial (2005; 2007) de que los estados deben minimizar su tamaño y promover la estabilidad económica y financiera, basándose en el supuesto de que estas características estatales son deseables. Este concepto de buena gobernanza está cargado de connotaciones neoliberales, fomentando una mayor concentración de poder en unos pocos actores económicos y políticos y una drástica reducción de la capacidad de control de las agencias estatales (HORTON, 2012).

Otras ideas de gobernanza enfatizan los valores, normas y principios que sustentan la toma de decisiones y resaltan el papel central de los individuos y sus actitudes y comportamientos personales en el origen de los procesos de gobernanza (BARRY, 1999; DOBSON, 2007). Basándose en la teoría democrática y abrazando el pluralismo político, las teorías contemporáneas de la gobernanza también enfatizan las perspectivas sociopolíticas en varias escalas como la base de la interacción entre diferentes tipos de actores interesados en resolver problemas sociales (HOPPE, 2010).

El estudio empírico de la gobernanza tiene varios enfoques, que incluyen la noción de Ostrom (2009) del subsistema de gobernanza en un sistema socioecológico, la gobernanza interactiva, el “marco analítico de la gobernanza” (GAF – *Governance Analytical Framework*) (HUFTY, 2011), entre otras. La gobernanza interactiva ha sido definida como “el conjunto de interacciones promovidas para resolver problemas sociales y crear oportunidades, incluyendo la formulación y aplicación de principios que guían estas interacciones y el cuidado con las instituciones que las habilitan o controlan” (KOOIMAN; JENTOFT, 2009, p. 820). Las interacciones y las relaciones de poder entre actores institucionales e individuales están en el centro de la idea de gobernanza interactiva, al igual que los procesos dinámicos mediante los cuales se toman decisiones.

El GAF considera la gobernanza como un hecho social que merece estudio o como una categoría de hechos sociales involucrados en los procesos de interacción y toma de decisiones entre actores involucrados en un problema colectivo que conduce a la creación, refuerzo o reproducción de normas e instituciones sociales (HUFTY, 2011). El GAF se puede resumir como la interacción entre cinco categorías analíticas: problemas, actores, puntos nodales (o espacios de interacción), normas y procesos. Así como la gobernanza interactiva, el GAF enfatiza los procesos de toma de decisiones

como causa y consecuencia de la generación de normas sociales destinadas para resolver problemas, crear oportunidades y facilitar las relaciones humanas.

¿Qué es la gobernanza ambiental?

La gobernanza ambiental incluye los medios y objetivos que utilizan los actores en diferentes estructuras institucionales, con relaciones de poder desiguales, entre el Estado, el mercado y los actores sociales, para cumplir metas de distribución del acceso a los recursos ambientales en territorios definidos. Bridge y Perreault (2009, p. 492) definen la gobernanza ambiental como “el reflejo y proyección del poder económico y político a través de decisiones sobre el diseño (*design*), manipulación y control” de los recursos ambientales. Las acciones de los actores generalmente están influidas por procesos globales y casi siempre dependen de un trabajo discursivo significativo para encuadrar y justificar objetivos y medios. La gobernanza ambiental incluye actores sociales, integrados por grupos comunitarios, organizaciones no gubernamentales, comunidades epistémicas o de conocimiento, generalmente formadas por científicos, y medios de comunicación, además de actores estatales que operan en diferentes escalas espaciales (municipios, estados y territorios nacionales). En particular, la influencia de los actores sociales en los procesos de gobernanza es muy variable.

Los análisis de la gobernanza ambiental incluyen varias disciplinas (sociología, antropología, geografía y ciencias políticas) y varias definiciones aparentemente similares o casi idénticas entre sí. Los estudios de la gobernanza también incluyen varios tipos de proyectos de investigación, desde estudios cualitativos de casos locales hasta análisis de procesos de gobernanza ambiental global. En definitiva, es un campo amplio, difícil de caracterizar.

Un enfoque simple de la gobernanza ambiental es distinguir entre puntos de vista que priorizan el papel del poder en las tomas de decisiones y puntos de vista que priorizan las formas particulares por las cuales los actores están conectados en la toma de decisiones. Thaler *et al.* (2019, p.62) distinguen entre estudios de las economías políticas e institucionalistas. La investigación institucionalista sobre la gobernanza, en su opinión, se concentra en los “requisitos de diseño (*design*) institucional para la gobernanza sostenible de los recursos de uso común”. El enfoque institucionalista se refiere al concepto desarrollado por Lemos y Agrawal (2006), quienes identificaron las formas basándose en la escala cruzada e híbrida (internacional o global, descentralizada), con un enfoque en el mercado y en el individuo. La gobernanza híbrida incluye cogestión, asociaciones público-privadas y social-privadas. El concepto de gobernanza de Lemos y Agrawal (2006) también tiene la ventaja de que puede ser ilustrado en un triángulo simple, vinculando el Estado, el mercado (sector privado o empresarial) y la sociedad civil, lo que nos ayuda en la interpretación del caso de Ceará, discutido en el final de este capítulo.

El enfoque institucionalista ofrece una definición descriptiva de la gobernanza ambiental e identifica estrategias “híbridas emergentes” y de “gobernanza flexible”, generalmente llamadas de “gobernanza de asociación múltiple”, que vinculan el estado, el mercado y la sociedad en un intento de superar la incapacidad de un solo actor para enfrentar las complejidades de los problemas ambientales (LEMOS; AGRAWAL, 2009, p. 69). Una definición institucional similar proviene de Jacobi y Sulaiman (2016, p. 126), quienes definen la gobernanza como “estructuras institucionales que mejoran el compromiso individual y comunitario, ampliando la participación pública en la toma de decisiones y en la implementación de las acciones”. La dinámica resultante “implica interacción entre personas y grupos, intercambio de conocimientos, ambiente de confianza, reciprocidad, cooperación y trabajo en red, experimentación, innovación y aprendizaje constante, compartido y retroalimentado”.

Estas definiciones no varían de manera sustantiva con las definiciones alternativas de gobernanza. Por ejemplo, Wilder *et al.* (2020, p. 190) definen la “gobernanza adaptativa” como un “enfoque interactivo y dinámico que responde a condiciones de incertidumbre y complejidad”. La “gobernanza policéntrica” se define como “varias autoridades gubernamentales en diferentes escalas que no mantienen una relación jerárquica entre sí, pero que se dedican a la autoorganización y el ajuste mutuo” (MORRISON *et al.*, 2019, p. 1). Una interpretación de la economía política de la gobernanza ambiental comprende la gobernanza ambiental no como una gobernanza “de la naturaleza”, sino como una gobernanza “a través de la naturaleza” o, en otras palabras, como “el reflejo y la proyección del poder económico y político a través de decisiones sobre el diseño, manipulación y control de los procesos sionaturales” (BRIDGE; PERREAULT, 2009, p. 492). Thaler *et al.* (2019, p. 62) discuten esto basados en una visión de economía política de la gobernanza que “[enfatiza] nuevas formas de cierre y mercantilización y la reconfiguración de las estructuras regulatorias como elementos de la neoliberalización de la gobernanza ambiental”. Para Castro *et al.* (2016, p. 6), la gobernanza ambiental es el “proceso de formulación y contestación de imágenes y *designs*, e implementación de procedimientos y prácticas que dan forma al acceso, control y uso de los recursos naturales entre diferentes actores”.

En el modo de auto-gobernanza, popularizado por el Banco Mundial en la década de 1990, surgió una visión normativa de la gobernanza que enfatizaba

un pequeño papel para los estados nacionales y la dependencia principalmente en mecanismos basados en el mercado, como la privatización, corporaciones autodesarrolladas, guías de conducta, por ejemplo, responsabilidad social corporativa (CSR – *Corporate Social Responsibility*) y mecanismos voluntarios (esquemas de certificación y compensación) (Banco Mundial, 1992, 2007).

Para Castro *et al.* (2016, p. 6), el enfoque institucionalista es sinónimo de lo que ellos denominan “modo de auto-gobernanza”, preocupado por el estudio de “sistemas de gobernanza local moldeados a través de la acción colectiva para regular el acceso y el uso de los recursos naturales”. Ellos también describen un “modo de gobernanza participativa” que pretendía “profundizar la democracia y la ciudadanía de los nuevos gobiernos latinoamericanos”, arraigado en “discursos de justicia social, equidad y reducción de la pobreza y participación de las organizaciones de la sociedad civil”. De esta manera, la gobernanza “se basa en asociaciones entre actores relevantes para definir metas y proyectar e implementar iniciativas” y puede incluir cogestión y multisectoriales e instituciones de múltiples escalas. Así, la gobernanza ambiental participativa ocurre “en un espacio político disputado, donde diferentes actores luchan por fortalecer sus posiciones”.

La “gobernanza ambiental popular [*grassroots*]” (HOROWITZ; WATTS, 2017, p. 11) se divide en partes, donde la base (*grassroots*) es “la acción por un grupo vagamente definido y fluido de personas que abordan un problema localmente relevante por medio de procesos ‘esencialmente democráticos’”, aunque los autores señalan la complejidad del término “*grassroots*” debido a las organizaciones de fachada verde (*astroturf*) que están “controladas por corporaciones o gobiernos contra los cuales luchan grupos de base genuinos”. La gobernanza ambiental se define como “la toma de decisiones, por parte de actores estatales y no estatales, sobre la gestión y distribución de los recursos naturales y sus servicios ecológicos asociados, así como los daños ambientales” (HOROWITZ; WATTS, 2017, p. 13). Estos autores enfatizan la micropolítica en la gobernanza ambiental popular o *grassroots*, dejando a Andrews y McCarthy (2017, p. 190) la definición de micropolítica como la “formación de coaliciones de terratenientes”, en relación a una región productora de gas de esquisto en el noreste de los Estados Unidos, con especial atención a cómo estos grupos negociaron con las compañías de gas en cuanto a los contratos de arrendamiento necesarios para obtener acceso al gas natural contenido en rocas de esquisto. Así, el enfoque de la “micropolítica” se preocupa por las acciones y discursos dentro de las comunidades, enfocando los orígenes, discursos, redes y acciones de diversos grupos preocupados por un recurso energético.

Con algunas definiciones de gobernanza ambiental establecidas, podemos discutir algunos enfoques y aplicaciones. Hay al menos tres enfoques de la gobernanza relacionados con cuestiones económicas, políticas e institucionales. El primer enfoque lo podríamos llamar “discurso en la gobernanza”, el cual destaca la importancia de las construcciones y discursos sociales en la política ambiental y en la toma de decisiones. Hajer y Versteeg (2005, p. 178-80) enfatizan que el análisis del discurso ambiental promueve la idea de la “naturaleza como disputada”, reconociendo que los discursos son “precursores de los resultados de las políticas” y entendiendo cómo los discursos limitan las opciones de las políticas.

Un segundo enfoque enfatiza la política que produce la gobernanza. Por ejemplo, Thaler *et al.* (2019) sugieren que el enfoque “seguir la política” se centra en las múltiples escalas espaciales de experimentación y adopción de políticas. Esta investigación sobre “movilidades de políticas” (*policy mobilities*) argumenta que las políticas raramente se difunden dentro de un escenario institucional inerte, sino que se movilizan y cambian a través de fronteras políticas, impulsadas por especialistas y selectivamente apropiadas por los formuladores de las políticas (PECK; THEODORE, 2010, 2012). Por ejemplo, Fry y Brannstrom (2017) mostraron cómo las características complejas de la perforación urbana para la obtención de gas natural en el norte de Texas (EUA), incentivaron la movilidad política entre los gobiernos municipales hasta que los “pozos polémicos” centraron la atención en cuestiones económicas, sociales y ambientales específicas. Ruseva *et al.* (2019) resumieron otras aplicaciones de teorías que se ajustan a este enfoque político.

Hufty (2011, p. 405) presenta un tercer enfoque (Cuadro 1), que interpreta la gobernanza como “un hecho social” que “no es normativo ni prescriptivo”, sino “un fenómeno observable”. El énfasis de Hufty en las “normas sociales” es un poco diferente al de otros estudiosos de la gobernanza. Él las define como legales, habituales o informales, abarcando meta-normas (principios), normas constitutivas (estatutos organizacionales o institucionales) y normas regulatorias (reglas que delimitan la conducta). El GAF, desarrollado a partir de experiencias de gobernanza ambiental en América Latina, tiene un gran potencial para comprender y explicar los procesos de gobernanza en esta región. El GAF propone un método para la observación y análisis de procesos de gobernanza basado en criterios de una ontología realista, un enfoque interdisciplinario, un proceso de investigación reflexivo y la capacidad de ser comparativo, generalizable y operacionalizable.

Cuadro 1 - Herramientas analíticas en el marco analítico de gobernanza

Marco analítico de gobernanza	Supuestos, ejemplos o desafíos
Definición del problema	Los problemas son construcciones sociales. ¿Deberían los investigadores aceptar los problemas definidos por los actores?
Comprendiendo las normas sociales	Las reglas son legales, habituales o informales; hay meta-normas, normas constitutivas y normas reguladoras.
Diferenciando los actores	Identificación de actores; evaluación de la influencia de los actores; interacciones entre los actores.
Investigando los puntos nodales	Espacios físicos o virtuales de interacción.
Analizando los procesos	Los actores interactúan en puntos nodales a lo largo del tiempo.

Fuente: Hufty (2011).

Las relaciones de poder también son fundamentales para el GAF, aunque las luchas por el poder entre las diferentes partes interesadas en un tema específico no siempre son igualmente relevantes. Para propósitos de gobernanza, todos los tipos de poder (coercitivo, utilitario y normativo) pueden ser relevantes. El poder “normativo” o “social” parece especialmente pertinente, en particular cuando los atributos simbólicos de este tipo de poder se relacionan con (la generación de) normas formales o informales que conducen a la construcción de un círculo virtuoso (o vicioso) hacia sistemas de gestión más sostenibles (o insostenibles). Según el GAF, un análisis cuidadoso del contexto histórico, social y político es importante para identificar a los actores, poderosos o no, y para describir los tipos específicos de prácticas de gobernanza en un lugar determinado. Para explorar algunas de las luchas de poder generadas en la interfase entre las cuestiones sociales y ambientales, y para examinar las ideas y discursos sostenidos por diferentes actores cuando se enfrentan a una determinada decisión política, el GAF recurre a enfoques metodológicos como la ecología política (PEET; WATTS, [1996](#); ROBBINS, [2012](#)).

Al combinar la idea de gobernanza de Hufty ([2011](#)) resumida en el GAF con un enfoque de sustentabilidad discutido en Seghezzi ([2009](#)), Iribarnegaray y Seghezzi ([2012](#), p. 2927) presentaron una nueva definición de la idea de “gobernanza para la sustentabilidad”. Ellos la definieron como “un proceso de toma de decisiones interactivo y adaptativo mediante el cual ciudadanos individuales, instituciones y otros actores sociales discuten abierta y democráticamente su situación, problemas e ideas e influyen en la evolución de la sociedad a largo plazo generando y gestionando planes y estrategias destinadas a asegurar la distribución equitativa de los recursos, respetar los derechos humanos y la diversidad cultural y proteger la naturaleza”.

Enfoques sobre economía política para la gobernanza de energía

Algunos trabajos emergentes sobre la economía política geográfica para la transición energética y la descarbonización (HUBER; MCCARTHY, [2017](#); MCCARTHY, [2015](#); PEARSE, [2021](#); BRIDGE; GAILING, [2020](#)) sugieren varias áreas nuevas de investigación para una comprensión más profunda de la gobernanza de la descarbonización. Por ejemplo, Bridge y Gailing ([2020](#)) señalan que los sistemas energéticos suelen entenderse como tecnología, infraestructura e instituciones (políticas); sin embargo, la aplicación de la economía política geográfica a las categorías espaciales de paisaje, territorio y lugar plantea varias cuestiones que enriquecen nuestra comprensión de los sistemas energéticos ([Cuadro 2](#)). La suposición básica es que las transiciones de energía son “procesos de creación de espacio”. Un parque eólico, por ejemplo, tiene la función de “reproducir relaciones de poder económico y político”, además de producir electrones y exhibir una determinada forma espacial (en el [Capítulo 6](#), Mariana Traldi muestra en detalle este proceso de acumulación). Con respecto a la gobernanza, Bridge y Gailing ([2020](#), p. 1042) argumentan que “los lugares,

las escalas y las espacialidades de los sistemas energéticos son los principales lugares contemporáneos de lucha”.

Cuadro 2 - Aplicación de la economía política geográfica a las categorías espaciales

Categoría espacial	Cuestiones de política económica geográfica
Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Qué son los procesos de construcción de infraestructura y recursos? - ¿Cuáles son los procesos de inversión y desinversión en recursos energéticos y de infraestructura?
Territorio	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Qué son los procesos de territorialización (por ejemplo, hacer fronteras y definir/delimitar espacios)? - ¿Cómo se organiza espacialmente el poder social y/o político a través de los sistemas energéticos?
Lugar	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cómo el lugar informa o produce identidad y significado con respecto a la captura y transformación de la energía? - ¿Cómo el lugar informa la innovación y la creación de trayectorias? - ¿Cómo el lugar informa las interacciones, políticas y prácticas?

Fuente: Bridge y Gailing (2020).

En el estudio comparativo de Hochstetler (2021) se hace un enfoque de la economía política diferente para la gobernanza de la transición energética en África del Sur y Brasil. Su análisis comprende cuatro elementos de la economía política (Cuadro 3) como un medio para “analizar el *status quo* múltiple y las coaliciones reformistas que se forman en torno a la energía eólica y solar... estas coaliciones se fundamentan en una base generalizable subyacentes en intereses e instituciones... los resultados... se elaboran de formas dependientes de la trayectoria (*path dependent ways*) fuera de las economías políticas de energía distintas en las economías nacionales” (p. 14). Para Hochstetler, “la energía eólica y solar son fundamentales para las estrategias de mitigación del cambio climático” y, por lo tanto, están en conflicto con la generación de energía a base de hidrocarburos. La autora ve los dos lados de este problema organizados en coaliciones con socios estatales, empresas y actores sociales. Con respecto a la política industrial, se cree que la acción sobre la energía eólica y solar conducirá a una “espiral verde”, en la cual las coaliciones de industrias involucradas con los fabricantes de energía eólica y solar, en alianza con sindicatos y fabricantes de piezas, presionan al estado para darles apoyo continuo. Hochstetler también considera el costo y la distribución de la electricidad, lo que puede ser particularmente relevante para los países de ingresos medianos. Finalmente, ella incluye un análisis de costos y beneficios para las comunidades con proyectos de energía eólica y solar. En general, la transición energética “convoca actores y disputas” en estas cuatro áreas de la política, que “interactúan con las características más coyunturales del país y las luchas de la coalición para producir la dinámica real de cada economía política [nacional]” (p. 221).

Es importante resaltar que la noción de economía política que aborda Hochstetler (2021) no es la misma que la de Traldi (Capítulo 6). Traldi destaca “las estrategias utilizadas por los capitalistas... buscando acelerar el proceso de acumulación de capital y elevar su tasa de ganancia” en el sector eólico, mientras que Hochstetler (2021, p. 8) prioriza los intereses privados y públicos en la construcción de políticas energéticas.

Cuadro 3 - Enfoque de economía política para la descarbonización a través de la generación de energía eólica y solar

Tema político	Intereses	Actores estatales	Actores sociales
Cambios Climáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Intereses futuros amplios y difusos - Costos concentrados en el sector de hidrocarburos 	<ul style="list-style-type: none"> - Medio Ambiente, Energía y Ministerios de Relaciones Exteriores 	<ul style="list-style-type: none"> - ONG que busca la descarbonización - Industrias de hidrocarburos
Política Industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Innovación, empleo y crecimiento económico 	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo y Ministerios de Energía - Instituciones financieras 	<ul style="list-style-type: none"> - Asociaciones industriales y empresas - Instituciones no estatales
Política Social	<ul style="list-style-type: none"> - Costos para los consumidores. - Costos para las empresas de energía 	<ul style="list-style-type: none"> - Servicios públicos y regulatorios 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumidores industriales y domésticos
Política Local	<ul style="list-style-type: none"> - Costos y beneficios para las comunidades de receptoras 	<ul style="list-style-type: none"> - Ministerios de Medio Ambiente y Planificación - Agencias de concesión de licencias 	<ul style="list-style-type: none"> - Comunidades receptoras - Activistas ambientales

Fuente: Hochstetler (2021).

Aplicación de la gobernanza ambiental a las energías renovables en América del Sur

Sugerimos comenzar a aplicar estos enfoques a partir de una redefinición del problema. Cabe señalar que las prácticas discursivas y de encuadramiento que definen los problemas son muy relevantes. Con respecto al GAF, debemos preguntarnos sobre las normas sociales que sustentan las estructuras institucionales. Esto nos lleva a un dominio complejo que es específico del lugar y del país; depende del conocimiento detallado del panorama institucional en el que están integradas la extracción y la infraestructura de energías renovables. Considerando el GAF, nos interesan las normas sociales, pero en un sentido institucionalista, nos interesan las reglas formales o

informales que guían y restringen comportamientos que pueden resultar en acciones relacionadas con la descarbonización.

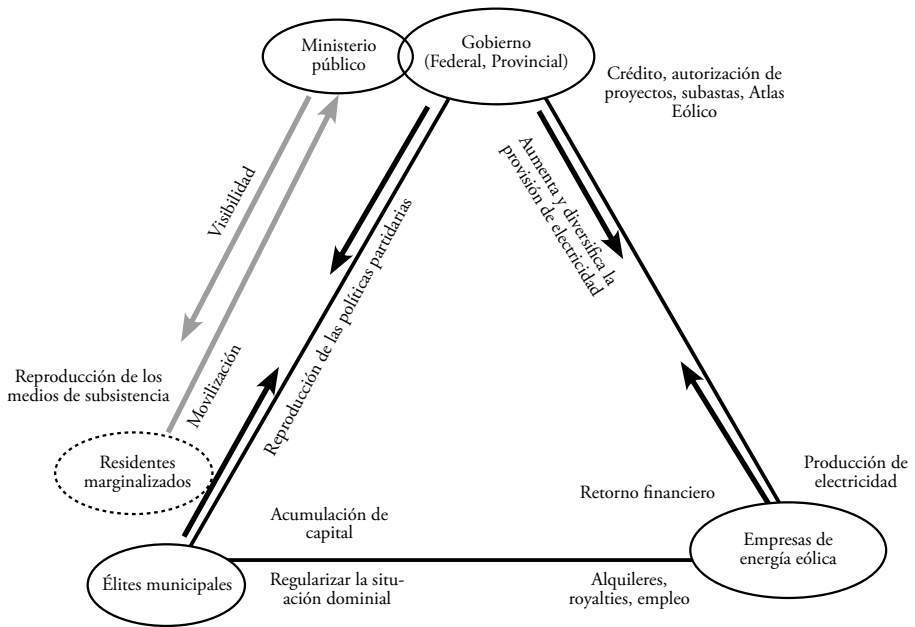
Las otras tareas analíticas son la necesidad de diferenciar a los actores, identificar los puntos nodales y determinar los procesos de interacción de los actores. Si la gobernanza es un “hecho social”, entonces las personas y las organizaciones juegan un papel en la definición, organización, debate y promoción de esos hechos sociales que componen la gobernanza. Con los actores identificados, podemos observar los lugares donde ellos interactúan, como conferencias de negocios y audiencias públicas. Comprender el proceso de estas interacciones ayuda a aclarar las jerarquías de poder y de acceso a la información entre los actores.

Gobernanza de la Energía Eólica en Ceará

Nuestro análisis preliminar de la gobernanza de los parques eólicos en Ceará sugiere procesos de gobernanza emergentes, que mostramos a través de la visión de gobernanza de Lemos y Agrawal (2006) ([Figura 1](#)).

Las empresas de energía eólica impulsan la electricidad y las élites municipales y estatales lucran, de manera unilateral y concentrada, a partir de la instalación y operación de parques eólicos, a través de los arrendamientos (a menudo provenientes de procesos turbios e ilegales de adquisición de tierras federales) y pagos (de la generación de energía de cada torre eólica), tal como identificamos en publicaciones anteriores (BRANNSTROM *et al.*, [2017](#); GORAYEB *et al.*, [2018](#)).

Figura 1 - Sistema de gobernanza de la energía eólica en el litoral del estado de Ceará (Brasil), basado en la definición de gobernanza de Lemos y Agrawal (2006) y siguiendo conceptos de ecología política.



Fuente: Autoría propia.

Las empresas en el contexto brasileño son grandes (BAYER, 2018) y representan un “reposicionamiento de los actores empresariales” ya influyentes en la energía y en la infraestructura de Brasil (SOARES *et al.*, 2021, p. 6). Es relevante para la gobernanza que Brasil haya utilizado la política eólica para promover la industrialización a través de requisitos de contenido nacional sobre los componentes de las turbinas eólicas, en lugar de fomentar modelos institucionales que favorezcan la propiedad comunitaria de los parques eólicos. El sistema de subastas y otras opciones institucionales favorecieron a las grandes empresas. Como resultado, “las elecciones comunitarias se sitúan dentro de marcos regulatorios que han desalentado la propiedad comunitaria” de los parques eólicos (HOCHSTETLER, 2021, p. 181).

Destacamos tres procesos dentro de esta estructura de gobernanza. Primero, el gobierno federal crea créditos, ofrece subastas y pone a disposición información para promover la generación de energía eólica, justificando sus acciones a través de la diversificación de oferta de energía eléctrica. Este diálogo se dirige a empresas de energía eólica, nacionales e internacionales, que implementen parques eólicos para generar energía eléctrica, buscando un retorno del capital invertido. Los parques eólicos generan rentas para los propietarios que tienen contratos de arrendamiento,

ya que las empresas buscan arrendar terrenos en lugar de comprarlos. Las empresas presentan discursos optimistas sobre la creación de empleo en los parques eólicos. Hay informes de que las empresas pagan *royalties* y arrendamientos a los propietarios (SOBRINHO *et al.*, 2022; BRANNSTROM *et al.*, 2022), pero no están muy claros los alquileres de carreteras, subestaciones y otras infraestructuras necesarias.

Las empresas de energía eólica producen electricidad y las élites municipales y estatales se benefician, de manera unilateral y concentrada, de la instalación y operación de parques eólicos, a través de rentas (a menudo a través de procesos turbios e ilegales de adquisición de tierras federales) y *royalties* (sobre la generación de electricidad de cada torre eólica, por mes). Estas élites, a su vez, crean títulos para que se instalen los parques eólicos, buscando acumular más capital. Los residentes marginados e invisibilizados, que han habitado tierras de la Unión durante siglos y desarrollado modos de vida basados en la agricultura familiar, la pesca artesanal y el extractivismo, dependen de los recursos naturales para producir sus medios de subsistencia, y se movilizan para llamar la atención del Ministerio Público. El Ministerio Público puede, pero no siempre lo hace, visibilizar a los invisibilizados y actuar como “mediador” entre el poder público, las élites, dispuestas a acumular capital a través de procesos de apropiación por expropiación, y las poblaciones locales que intentan mantener su supervivencia en el territorio (MEIRELES *et al.*, 2013; GORAYEB *et al.*, 2016). Cabe mencionar que, muchas veces, el poder público y las élites municipales y estatales se confunden en un solo rol, con los representantes políticos utilizando la “maquinaria” pública y el marco legal para visibilizar proyectos de intereses privados (ARAÚJO *et al.*, 2020).

Hochstetler (2021, p. 207) encontró, a partir de informes y redes sociales, que el 25% de los 600 parques eólicos de Brasil enfrentaron algún tipo de movilización de oposición, principalmente en la región noreste. Las movilizaciones involucraron a miembros de la comunidad receptora movilizadas a través de “diversos aliados” en un marco de oportunidades políticas, incluyendo actores judiciales, organizaciones no gubernamentales, medios de comunicación y autoridades electas. El origen de los conflictos se puede ubicar en que, a nivel comunitario, existe una gran divergencia entre las élites municipales y los residentes marginados o “invisibilizados”, según Leroy y Meireles (2013). Las élites, ya sean empresarios, agricultores, agentes inmobiliarios o representantes electos, negocian con políticos que conocen los pormenores del emprendimiento mucho antes que los otros residentes. Estas élites buscan las tierras necesarias, por medios lícitos e ilícitos, para ofrecerlas a las empresas de energía eólica. Las élites también facilitan la obtención de licencias ambientales, emitiendo declaraciones favorables y realizando audiencias públicas, si se dan, con personas a favor del emprendimiento (ARAÚJO *et al.*, 2020; GORAYEB; BRANNSTROM, 2020; GORAYEB *et al.*, 2018). Los residentes marginados o “invisibilizados” se sienten amenazados por el hecho de que el emprendimiento comprometa total o

parcialmente sus medios de subsistencia, debido al bloqueo del acceso a las dunas, manglares o al mar (BROWN, 2011; MEIRELES *et al.*, 2013; CHAVES *et al.*, 2017). Los moradores “invisibilizados” no tienen apoyo a través de la política electoral, sino a través de otros grupos, como líderes eclesiásticos, sindicatos y movimientos sociales que, a su vez, cuentan con respaldo legal en el Ministerio Público, por parte del fiscal público responsable. La movilización política se lleva a cabo en una variedad de formas, siempre buscando formas de generar visibilidad de las amenazas a los medios de subsistencia causadas por el parque eólico. Sin embargo, el Ministerio Público no cuenta con mecanismos para cambiar la política fundamental que dio inicio al emprendimiento.

Debido a la necesidad de grandes extensiones de tierras para la producción de energía eólica, cuando los parques eólicos se instalan en áreas con inseguridad agraria, la élite local, siempre en articulación con órganos estatales y élites regionales, tiende a desarrollar acciones fraudulentas y corruptas, creando títulos de propiedad “regularizados” por medios ilícitos o sometiendo y quitando propiedades de pequeños agricultores con títulos, pero que no tienen poder de negociación, asesoría adecuada y conocimiento de los valores de compra y venta de sus propiedades, negociándolas muy por debajo del valor de mercado. Como muestran Santana y Silva (2021), analizando una zona rural de Pernambuco, la presencia de parques eólicos puede provocar cambios sociales.

Si analizamos el crecimiento de la producción de energía eólica en Brasil, notamos que, a partir de 2001, las empresas priorizaron la instalación de parques eólicos en el litoral del nordeste del país y en el interior de Bahía, aprovechando las áreas donde prevalece la inseguridad agraria, es decir, donde es posible obtener grandes extensiones de tierra a un precio por debajo del mercado. También destacamos cómo los gobiernos federal y estatal autorizan subsidios y otorgan licencias ambientales a parques eólicos, además de brindarles datos técnicos esenciales (velocidad y dirección del viento) por medio del Atlas Eólico (AMARANTE *et al.*, 2001) para aumentar el suministro de energía eléctrica en el país.

Gobernanza del litio en América del Sur

Acerca de la extracción de litio en Sudamérica, podemos hacer algunas observaciones a partir del análisis inicial de los procesos de gobernanza. Una conclusión preliminar se refiere a las características fisicoquímicas (materialidad) del litio. Las características del litio “complican los esfuerzos para clasificarlo como un producto común en el mercado”, según Barandiarán (2019, p. 386), mientras que Sánchez-López (2019, p. 1332) describe el litio en los salares de Uyuni (Bolivia) como un “producto complejo” a causa de sus “características fisicoquímicas particulares” y a las condiciones climáticas. Bustos-Gallardo *et al.* (2021, p. 183) muestran que la extracción de litio está “incompletamente capitalizada” porque “depende muy

significativamente de los procesos hidrogeológicos de formación de salmuera en el subsuelo y de la eficiencia de las tasas de evaporación del ambiente” presentes en cuencas cerradas de gran altitud de las tierras altas de los Andes en Chile, Argentina y Bolivia. Estas características crean tres contradicciones ecológicas: (1) la extracción de salmuera de litio requiere agua, pero los procesos de bombeo y evaporación minan las condiciones de la salmuera de litio, degradando así la producción futura del mineral; (2) la insolación intensa reduce el costo de producción de litio, pero la dependencia de la climatología “introduce riesgo e incertidumbre en la tasa de producción”; y (3) el bombeo debe expandirse espacialmente para aumentar la producción, pero “la expansión del bombeo cambia la densidad de la salmuera y pone en riesgo las reservas de litio” (BUSTOS-GALLARDO *et al.*, 2021, p. 183-85).

En los tres países del “triángulo del litio” (Chile, Bolivia y Argentina), diferentes ideologías guían la gobernanza (DORN; RUIZ PEYRÉ, 2020).

En Chile, la política de extracción de litio incluye su estatus como “estratégico” con un rol estatal significativo que ubica la toma de decisiones en el poder ejecutivo del gobierno, que ha desarrollado alianzas público-privadas. Para Jerez *et al.* (2021, p. 5), este acuerdo de gobernanza del litio en Chile “ha estado lleno de conflictos y reclamos”, incluso “fraude al fisco, medio ambiente, daños, prácticas antisindicales, incumplimiento de contratos con la CORFO (Corporación de Fomento de la Producción – empresa estatal de Chile responsable de la producción de litio) y exportación ilegal de salmuera”. El enfoque neoliberal general del Estado chileno sobre la minería no se aplicó plenamente al litio, ya que el gobierno creó un espacio para un “rol activo” en el litio y no nacionalizó completamente su producción, sino que el régimen de Pinochet “abrió un espacio de maniobra equilibrado en el modelo político-económico neoliberal y le dio al litio un carácter nacional” (BUSTOS-GALLARDO *et al.*, 2021, p. 182).

Bolivia comenzó a nacionalizar el litio y otras actividades mineras, pero los emprendimientos comerciales, que dependen de asociaciones entre el estado boliviano y empresas extranjeras, aún no están operativos.

En Argentina, no existe una política nacional integral, ya que las provincias individuales ganaron derecho a explotar sus recursos naturales, después de una reforma constitucional en 1994 y por lo tanto pueden negociar directamente con empresas nacionales y extranjeras. Los gobiernos de las provincias de Salta y Catamarca abiertamente “facilitan” las inversiones de las compañías mineras privadas de litio, mientras que Jujuy declaró el litio como “estratégico” y pretende utilizar proyectos de litio para agregar valor económico local (DORN; RUIZ PEYRÉ, 2020, p. 72). Según estos autores (p. 76), más de 60 proyectos se encuentran actualmente en fase de “exploración avanzada” para la minería en 23 sitios en Argentina, principalmente en la provincia de Salta. Sin embargo, del total, sólo dos proyectos comenzaron la producción comercial completa. La gobernanza favorable a la exportación “cede el

control territorial a las corporaciones internacionales” que extraen litio y no promulgan la “protección ambiental o la preservación de las economías o culturas tradicionales”, a pesar de las reiteradas afirmaciones en contrario por parte de los funcionarios públicos (DORN; RUIZ PEYRÉ, [2020](#), p. 81).

Según otro trabajo, se puede concluir que las asimetrías de poder entre los actores en los salares argentinos son importantes y que se necesitan procesos de toma de decisiones más inclusivos para que la transición a la electromovilidad sea compatible con el desarrollo sostenible y la justicia social (ESCOSTEGUY *et al.*, [2021](#)).

Identificamos preocupaciones de justicia expresadas en diferentes tipos de documentos relacionados con la producción de litio. El análisis de datos cualitativos reveló la prevalencia de cuatro tipos diferentes de injusticia a nivel local, que reflejan las relaciones de poder subyacentes entre actores poderosos en diferentes escalas. Estos hallazgos indican que una transición justa a la electromovilidad debe comenzar con procesos de toma de decisiones más inclusivos en las áreas de extracción de litio (ESCOSTEGUY *et al.*, [2021](#)).

Resultados similares se observaron en Chile, donde Jerez *et al.* ([2021](#), p. 9) argumentan que la extracción de litio sobreexplota el agua escasa, niega una comprensión hidrológica de la salmuera de litio y su importancia para las funciones del ecosistema y no reconoce los puntos de vista de las comunidades indígenas sobre la importancia de las salinas, lo que lleva a “injusticias hídricas”.

Finalmente, a nivel discursivo, Voskoboynik y Andreucci ([2021](#), p. 15) ofrecen interpretaciones de materiales producidos por estados y empresas. Argumentan que las élites utilizan la extracción de litio como un “vehículo para el desarrollo y la emancipación nacional” asociado a “futuros inclusivos, prósperos, de carbono cero y post-petróleo”, que son ideas utilizadas para justificar las inversiones en litio y ocultar los impactos socioambientales de su extracción.

Comparación entre el litio y el viento

El litio y la energía eólica son esenciales para los sistemas de energía descarbonizados o de cero emisiones (DAVIS *et al.*, [2018](#)). Podemos ofrecer varias conclusiones comparativas preliminares ([Cuadro 4](#)). Como recursos naturales, el litio y el viento ofrecen diferentes características materiales que han sido gestionadas por los gobiernos de diferentes maneras, pero una característica común es que hay personas residen muy cerca de los lugares sobre los que fluye la energía eólica y se acumula la salmuera de litio. La participación de estas comunidades en los procesos de toma de decisiones debe ser una preocupación importante para los estudiosos de la gobernanza. Además, la distribución de beneficios y subproductos negativos también debe ser una preocupación crítica para los académicos interesados en la descarbonización socialmente justa y en los sistemas energéticos de cero emisiones, como mostramos en el [Capítulo 11](#).

Cuadro 4 - Comparación entre los principales conceptos de gobernanza ambiental con respecto al litio en Argentina y los parques eólicos en Brasil. CSR: *Corporate Social Responsibility* (Responsabilidad Social Corporativa)

Temas	Litio/Argentina	Eólica/Brasil
Recurso Natural	<ul style="list-style-type: none"> - La evaporación de la salmuera para la obtención del litio requiere una alta insolación para reducir los costos de producción. - Los salares son estatales, pero los procesos de concesión no son transparentes. - La explotación rara vez termina en producción, lo que lleva a la especulación financiera. - El litio a menudo se asocia con otros elementos valiosos que no aparecen en las declaraciones financieras y fiscales. 	<ul style="list-style-type: none"> - La energía eólica cinética requiere acceso a la tierra o al mar para ser captada. - Land grabbing (acaparamiento de tierras) facilita el acceso a la tierra para parques eólicos. - Las comunidades impactadas por los parques eólicos subsisten de los recursos naturales marinos y continentales.
Poder	<ul style="list-style-type: none"> - La acumulación de capital del litio rara vez ocurre cerca de las áreas de extracción. - La política y los intereses económicos impulsan este sector, con poca influencia de los actores locales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Las asimetrías de poder entre las comunidades y las élites políticas resultan en la acumulación de capital por las élites. - Las empresas "naranjas" (empresas utilizadas para ocultar bienes y activos de procedencia ilícita de la supervisión gubernamental) y la corrupción facilitan la implantación de parques eólicos. - Las comunidades receptoras no pueden exigir más información sobre los proyectos propuestos.
Relaciones sociales	<ul style="list-style-type: none"> - Hay redes complejas de relaciones en la región, las cuales complican las negociaciones entre las comunidades locales y los órganos estatales y nacionales, aumentando los riesgos de cooptación y manipulación. - Las empresas transnacionales ejercen una fuerte presión sobre los líderes locales para que acepten proyectos de minería a través de departamentos socioambientales cada vez más organizados y profesionalizados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Las comunidades reciben apoyo del Ministerio Público y de instituciones gubernamentales, no gubernamentales y religiosas. - Se realizan negociaciones entre élites políticas, consultoras y empresarios.

Discursos	<ul style="list-style-type: none"> - El discurso oficial es que el sector del litio ayudará a “desarrollar” la región y traerá el dinero necesario para sacar del estancamiento a las economías nacionales y estatales. - Las comunidades generalmente son divididas en su aceptación/rechazo de los proyectos de litio, generalmente utilizando el discurso de los beneficios laborales. - Los proyectos de litio a menudo se promueven como iniciativas verdes y sostenibles orientados a mitigar el cambio climático, estigmatizando a quienes se oponen a ellos como antiprogresistas o miopes. - Si bien todas las exportaciones de litio hasta ahora involucran productos de valor agregado relativamente bajo, nuevos proyectos se venden como el primer eslabón de una futura cadena industrial basada en el conocimiento que beneficiará enormemente a las economías locales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los discursos sobre “energías limpias y sostenibles” son producidos y reproducidos por las empresas, el Gobierno y las élites políticas. - Las comunidades afectadas tienen opiniones variadas sobre los beneficios y las desventajas de los parques eólicos. - Las élites utilizan el discurso de los beneficios laborales para aumentar el apoyo de la comunidad.
Instituciones	<ul style="list-style-type: none"> - Las inversiones de las empresas transnacionales dependen de los mercados globales. - Las agencias estatales son débiles. - Los incentivos estatales incluyen subvenciones y exenciones fiscales. - Las empresas participan en iniciativas de CSR* para sustituir al Estado, pero las inversiones son escasas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Poco conocimiento de la estructura de la industria de energía eólica. - Débil transparencia de los contratos de arrendamiento/alquiler. - No pago de <i>royalties</i>. - Marco legal para parques eólicos <i>offshore</i> en proceso.

Fuente: Autoría propia.

También parece que, en cuanto a la relación de poder, la acumulación de capital de la energía eólica y del litio ocurre lejos de las áreas de extracción. De acuerdo con Jerez *et al.* (2021, p. 2), “un aumento del extractivismo de litio contribuye a agravar la depredación del agua del Salar y genera crecientes fracturas etnoculturales en las comunidades indígenas... la electromovilidad, impulsada por la nueva economía verde y sus políticas de reducción de CO₂ en el Norte Global, crea una sombra colonial”. Bustos-Gallardo *et al.* (2021) muestran que el procesamiento de litio se lleva a cabo en lugares distantes de la fuente de salmuera de litio. Con respecto al viento, aún no sabemos cuáles son los principales nodos y lugares de acumulación, aunque tenemos algunos resultados de un enfoque de economía política, como destaca Mariana Traldi en el [Capítulo 6](#). Es claro que existen grandes asimetrías de energía entre las comunidades receptoras, que luchan por obtener información sobre proyectos eólicos, y las élites (ARAÚJO *et al.*, 2020; SANTANA; SILVA, 2021). Otros temas

emergentes, como los parques eólicos *offshore* y el hidrógeno verde, destacados en los Capítulos 15 y 16, también merecen investigación con enfoques de gobernanza.

En cuanto a las relaciones sociales, se evidencian negociaciones entre comunidades y funcionarios judiciales y organizaciones no gubernamentales, pero no necesariamente con operadores de parques eólicos. Como señala Hochstetler (2021, p. 212), los “beneficios concretos” para las comunidades receptoras obtenidos a través de negociaciones con los desarrolladores de parques eólicos “son, en el mejor de los casos, imprevisibles y pueden ser mínimos” en Brasil. Los desarrolladores de parques eólicos han hecho reclamos exagerados de empleo para los miembros de la comunidad local receptora del parque eólico (DANTAS *et al.*, 2019; FRATE *et al.*, 2019).

Las dimensiones discursivas también merecen comparación, pues en ambos casos son comunes las referencias a aspectos positivos: el viento es renovable y sostenible, mientras que el litio es fundamental para un futuro de electromovilidad de bajo carbono. Tanto el litio como el viento ayudan al mundo a cumplir con los compromisos contra el cambio climático. Ambos también son promovidos por estados y actores de la élite como promotores del desarrollo económico a través del aumento del empleo y de la actividad económica. Las empresas y las agencias estatales también utilizan los discursos ecológicos para dividir la sociedad civil y como una herramienta de negociación con comunidades locales sin poder y, a menudo, espacialmente desconectadas, lo que aumenta los riesgos de cooptación y manipulación de grupos vulnerables bajo la tutela de relaciones de beneficio mutuo específicas del área (HOLDO, 2019).

Observaciones finales

Todavía tenemos que desarrollar análisis integrales de la gobernanza eólica y del litio, pero hemos identificado la base teórica en varias publicaciones de gobernanza para los próximos pasos. Un análisis preliminar indica formas emergentes de gobernanza en Brasil y Argentina que muestran cómo las comunidades, las empresas y el Estado están conectados en relaciones diversas y desiguales de poder, conocimiento e influencia. Un marco comparativo emergente para analizar la gobernanza eólica y del litio apunta a la importancia de comprender cómo las instituciones permiten el acceso de ciertos grupos a la energía eólica y la salmuera de litio, al tiempo que limitan la participación de la mayoría de las comunidades receptoras en la toma de decisiones, minimizando su acceso a los beneficios materiales de la red de producción de litio pero, al mismo tiempo, esforzándose poco para prevenir o reducir los impactos socioambientales y proteger los servicios ecosistémicos y las culturas relevantes.

Las investigaciones futuras pueden tener como objetivo determinar, a través del análisis de redes sociales y otros métodos cualitativos y cuantitativos, las relaciones sociales a lo largo de las cadenas productivas de litio y viento e identificar a los

actores sociales relevantes. Trabajos futuros también pueden determinar elementos de reconocimiento, justicia participativa y distributiva en las relaciones entre las comunidades receptoras y los proyectos eólicos y de litio.

Este capítulo se basó en casos específicos de energía eólica y extracción de litio, pero creemos que se podrían realizar análisis similares para otros casos de aplicación de tecnologías y procesos de energía renovable en el Sur global, con respecto a las áreas (lugar, paisaje y territorialidad), insumos necesarios (metales, mano de obra e información), infraestructura (líneas de transmisión o subestaciones) e instituciones (políticas, reglamentos).

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del proyecto CAPES/Programa de Cooperación Brasil Sur – Sur (COOPBRASS), Decreto n° 5 de 2019, Proc. 88881.368924/2019-01 “Energía Renovable y Descarbonización en América del Sur: desafíos de la Energía Eólica/BR y del Litio/AR”, y al CAPES/PRINT Proc. 88887.312019/2018-00 “*Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate change*”. También agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina, a la Universidad Nacional de Salta (UNSa) y a la Red Suiza de Estudios Internacionales (SNIS) (Proyecto LITHIUM).

Referencias

- AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M.; ZACK, J. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2001.
- ARAÚJO, J. C. H.; SOUZA, W. F.; MEIRELES, A. J. A.; BRANNSTROM, C. Sustainability challenges of wind power deployment in coastal Ceará state, Brazil. **Sustainability**, v. 12, n. 14, p. 5562, 2020.
- BANCO MUNDIAL. **Governance and Development**; World Bank: Washington, USA, 2007.
- BANCO MUNDIAL. **Equity and Development**, World Development Report; World Bank: Washington, USA, 2005.
- BARANDIARÁN, J. Lithium and development imaginaries in Chile, Argentina and Bolivia. **World Development**, v. 113, p. 381-391, 2019.
- BARRY, J. Rethinking green politics. **Nature, Virtue and Progress**. Sage Publications: London, UK, 1999.
- BAYER, B. Experience with auctions for wind power in Brazil, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. 2, p. 2644-2658, 2018.
- BRIDGE, G.; GAILING, L. New energy spaces: Towards a geographical political economy of energy transition. **Economy and Space A**, v. 52, n. 6, p. 037-1050, 2020

- BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; SOUZA, W. A.; LEITE, N. S.; CHAVES, L. O.; GUIMARÃES, R.; GÊ, D. R. F. Perspectivas geográficas nas transformações do litoral brasileiro pela energia eólica. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 63, p. 3-28, 2018.
- BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J. S.; LOUREIRO, C. V.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V.; FREITAS, A. L. R.; OLIVEIRA, R. F. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 62-71, 2017.
- BRANNSTROM, C.; LEITE, N. S.; LAVOIE, A.; GORAYEB, A. What explains the community acceptance of wind energy? Exploring benefits, consultation, and livelihoods in coastal Brazil. **Energy Research & Social Science**, v. 83, p.102344, 2022.
- BRIDGE, G.; PERREAULT, T. Environmental governance. *In*: CASTREE, N.; DEMERITT, D.; LIVERMAN, D.; RHOADS, B. (ed.), **A Companion to Environmental Geography**. Malden: Wiley-Blackwell, 2009, p. 475-497.
- BROWN, K. B. Wind power in northeastern Brazil: Local burdens, regional benefits and growing opposition. **Climate and Development**, v. 3, n. 4, p. 344-360, 2011.
- BUSTOS-GALLARDO, B.; BRIDGE, G.; PRIETO, M. Harvesting Lithium: water, brine and the industrial dynamics of production in the Salar de Atacama. **Geoforum**, n. 119, p. 177-189, 2021.
- CASTRO, F.; HOGENBOOM, B.; BAUD, M. Introduction: Environment and Society in Contemporary Latin America. *In*: CASTRO, F.; HOGENBOOM, B.; BAUD, M. (ed.) **Environmental Governance in Latin America**. Basingstoke: Palgrave Macmillan, p. 1-125, 2016.
- CHAVES, L.; BRANNSTROM, C.; SILVA E. V. Energia eólica e a criação de conflitos: Ocupação dos espaços de lazer em uma comunidade no nordeste do Brasil. **Revista Sociedade e Território**, v. 29, n. 2, p. 46-69, 2017.
- DANTAS, E. J. A.; ROSA, L. P.; SILVA, N. F.; PEREIRA, M. G. Wind Power on the Brazilian Northeast Coast, from the Whiff of Hope to Turbulent Convergence: The Case of the Galinhos Wind Farms. **Sustainability**, v. 11, n. 14, p. 3802, 2019.
- DAVIS, S. J. *et al.* Net-zero emissions energy systems. **Science**, v. 360, n. 2018, p. eaas9793, 2018.
- DOBSON, A. Environmental citizenship: towards sustainable development. **Sustainable Development**, n. 15, p. 276-285, 2007.
- DORN, F. M.; RUIZ PEYRÉ, F. Lithium as a strategic resource: Geopolitics, industrialization, and mining in Argentina. **Journal of Latin American Geography**, v. 19, n. 4, p. 68-90, out. 2020.
- ESCOSTEGUY, M.; DÍAZ PAZ, W. F.; IRIBARNEGARAY, M. A.; CLAVIJO, A.; ORTEGA INSAURRALDE, C.; STERN, H.; VENENCIA, C. D.; BRANNSTROM, C.; HUFTY, M.; SEGHEZZO, L. Will electro-mobility encourage injustices? The case of lithium production in the Argentine Puna. *In*: NADESAN, M. H.; PASQUALETTI, M. J.; KEAHEY, J. (ed.). **Democratizing energy: insecurities, risks, transitions**. Elsevier, 2021 (no prelo).
- FORNILLO, B. (ed.). **Litio en Sudamérica**. Buenos Aires: CLACSO, 2019.
- FRATE, C. A.; BRANNSTROM, C.; MORAIS, M. V. G.; CALDEIRA-PIRES, A. A. Procedural and distributive justice inform subjectivity regarding wind power: A case from Rio Grande do Norte, Brazil. **Energy Policy**, n. 132, p. 185-195, 2019.
- FRY, M.; BRANNSTROM, C. Emergent patterns and processes in urban hydrocarbon governance. **Energy Policy**, n. 111, p. 383-393, 2017.

- GÖBEL, B. Minería del litio en la Puna de Atacama: Interdependencias transregionales y conflictos locales. **Iberoamericana**, v. 13, n. 49, p. 135–149, 2013.
- GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. A. **Impactos socioambientais da implantação dos parques de energia eólica no Brasil**. Fortaleza: Edições UFC, 2019.
- GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MENDES, J. S.; MEIRELES, A. J. A. Wind power gone bad: Critiquing wind power planning processes in northeastern Brazil. **Energy Research and Social Science**, v. 40, p. 82-88, 2018.
- HAJER, M.; VERSTEEG, W. A decade of discourse analysis of environmental politics: Achievements, challenges, perspectives. **Journal of Environmental Policy & Planning**, v. 7, n. 3, p. 175-184, 2005.
- HOCHSTETLER, K. **Political Economies of Energy Transition: Wind and Solar Power in Brazil and South Africa**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2021.
- HOLDO, M. Cooptation and non-cooptation: elite strategies in response to social protest, **Social Movement Studies**, v. 18, n. 4, p. 444-462, 2019.
- HOPPE, R. **The Governance of Problems: Puzling, Powering, Participation**. The Policy Press: Bristol, UK, 2010.
- HOROWITZ, L. S.; WATTS, M. J. Introduction: Engaging with industry and governing the environment from the grassroots. In: HOROWITZ, L. S.; WATTS, M. J. (ed.) **Grassroots Environmental Governance: community engagements with industry**. New York: Routledge, 2017. p. 1-30.
- HORTON, L. Is World Bank “good governance” good for the poor? Central American experiences. **Comparative Sociology**, n. 11, p. 1-28, 2012.
- HUBER, M. T.; MCCARTHY, J. Beyond the subterranean energy regime? Fuel, land use and the production of space. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 42, n. 4, p. 655-668, 2017.
- HUFTY, M. Investigating policy processes: The Governance Analytical Framework (GAF). In: WIESMANN, U.; HURNI, H. (ed.) **Research for Sustainable Development: Foundations, Experiences, and Perspectives**. Perspectives of the Swiss National Centre of Competence in Research (NCCR) North-South, University of Bern, Bern, Switzerland: Geographica Bernensia, v. 6, 2011. p. 403–424.
- IRIBARNEGARAY, M. A.; SEGHEZZO, L. Governance, sustainability and decision making in water and sanitation management systems. **Sustainability**, v. 4, n. 11, p. 2922-2945, 2012.
- JACOBI, P. R.; SULAIMAN, S. N. Governança ambiental urbana em face das mudanças climáticas. **Revista USP**, n. 109, p. 133-142, abr./mai./jun. 2016.
- JEREZ, B.; GARCÉS, I.; TORRES, R. Lithium extractivism and water injustices in the Salar de Atacama, Chile: The colonial shadow of green electromobility, **Political Geography**, v. 87, p. 102382, 2021.
- JORDAN, A.; WURZEL, R. K. W.; ZITO, A. The rise of ‘new’ policy instruments in comparative perspective: Has governance eclipsed government? **Political Studies**, v. 53, p. 477-496, 2005.
- KEMP, R.; PARTO, S.; GIBSON, R. Governance for sustainable development: moving from theory to practice. **International Journal of Sustainable Development**, v. 8, p. 12-30, 2005.
- KOOIMAN, J.; JENTOFT, S. Meta-governance: values, norms and principles, and the making of hard choices. **Public Administration**, v. 87, n. 4, p. 818-836, 2009.

- LEMOS, M. C.; AGRAWAL, A. Environmental governance. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 31, p. 297-325, 2006.
- LEROY, J. P.; MEIRELES, J. Povos indígenas e comunidades tradicionais: Os visados territórios dos invisíveis. In: PORTO, M. F.; PACHECO, T.; LEROY, J. P. (ed.). **Injustiça ambiental e saúde no Brasil: O mapa de conflitos**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2013. p. 115-131.
- MCCARTHY, J. A socioecological fix to capitalist crisis and climate change? The possibilities and limits of renewable energy. **Environment and Planning**, v. 47, p. 2485-2502, 2015.
- MEIRELES, A. J. A.; GORAYEB, A.; SILVA, D. R. F.; LIMA, G. S. Socio-environmental impacts of wind farms on the traditional communities of the western coast of Ceará, in the Brazilian Northeast. **Journal of Coastal Research**, n. 65, p. 81-86, 2013.
- MORRISON, T. H.; ADGER, W. N.; BROWN, K.; LEMOS, M.C.; HUITEMA, D.; PHELPS, J.; EVANS, L.; COHEN, P.; SONG, A. M.; TURNER, R.; QUINN, T.; HUGHES, T. P. The black box of power in polycentric environmental governance, **Global Environmental Change**, v. 57, p. 101934, 2019.
- OBSERVATORIO PLURINACIONAL DE SALARES ANDINOS (ed.). **Salares Andinos: Ecología de saberes por la protección de nuestros salares y humedales**, Fundación Tantí, 2021.
- OSTROM, E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. **Science**, v. 325, n. 5939, p. 419-422, 2009.
- PEARSE, R. Theorising the political economy of energy transformations: Agency, structure, space, process. **New Political Economy**, v. 26, n. 6, p. 951-963, 2021.
- PECK, J.; THEODORE, N. Mobilizing policy: Models, methods, and mutations. **Geoforum**, v. 41, n. 2, p. 169-174, 2010.
- PECK, J.; THEODORE, N. Follow the policy: A distended case approach. **Environment and Planning A**, v. 44, n. 1, p. 21-30, 2012.
- PEET, R.; WATTS, M., (ed.). **Liberation Ecologies. Environment, Development, Social Movements**; Routledge: London, UK, 1996.
- ROBBINS, P. **Political ecology: A critical introduction** (2nd. ed.). Malden, MA: Wiley-Blackwell (Critical introductions to geography), 2012.
- RUSEVA, T.; FOSTER, M.; ARNOLD, G.; SIDDIKI, S.; YORK, A.; PUDNEY, R.; CHEN, Z. Applying Policy Process Theories to Environmental Governance Research: Themes and New Directions. **Policy Studies Journal**, v. 47, n. S1, 2019.
- SANCHEZ-LOPEZ, M. D. From a white desert to the largest world deposit of lithium: Symbolic meanings and materialities of the Uyuni Salt Flat in Bolivia. **Antipode**, v. 51, n. 4, p. 1318-1339, 2019.
- SANTANA, A. O.; SILVA, T. A. A. Produção de energia eólica em Pernambuco e a injustiça ambiental sobre comunidades rurais. **Revista Katálysis**, v. 24, n. 1, p. 245-254, 2021.
- SOARES, I. N.; GAVA, R.; OLIVEIRA, J. A. P. Political strategies in energy transitions: Exploring power dynamics, repertoires of interest groups and wind energy pathways in Brazil. **Energy Research & Social Science**, v. 76, p. 102076, 2021.
- SOBRINHO JUNIOR, M. F.; RAMIREZ HERNANDEZ, M. C.; ALBANO AMORA, S. S.; COSTA DE MORAIS, E. R. Perception of environmental impacts of wind farms in agricultural areas of Northeast Brazil. **Energies**, v. 15, n. 1, p. 101, 2022.

- SOVACOO, B. K.; ALI, S. H.; BAZILIAN, M.; RADLEY, B.; NEMERY, B.; OKATZ, J.; MULVANEY, D. Sustainable minerals and metals for a low-carbon future. **Science**, v. 367, n. 6476, p. 30-33, 2020.
- STERBA, J.; KRZEMIEŃ, A.; FERNÁNDEZ, P. R.; GARCÍA-MIRANDA, C. E.; VALVERDE, G. F. Lithium mining: Accelerating the transition to sustainable energy. **Resources Policy**, v. 62, p. 416-426, 2019.
- THALER, G. M.; VIANA, C.; TONI, F. From frontier governance to governance frontier: The political geography of Brazil's Amazon transition, **World Development**, v. 114, p. 59-72, 2019.
- VOSKOBOYNIK, D. M.; ANDREUCCI, D. Greening extractivism: Environmental discourses and resource governance in the 'Lithium Triangle'. **Environment and Planning E: Nature and Space**, 2021.
- WILDER, M. O.; VARADY, R. G.; GERLAK, A. K.; MUMME, S. P.; FLESSA, K. W.; ZUNIGA-TERAN, A. A.; SCOTT, C. A.; PABLOS, N. P.; MEGDAL, S. B. Hydrodiplomacy and adaptive governance at the U.S.-Mexico border: 75 years of tradition and innovation in trans-boundary water management, **Environmental Science & Policy**, v. 112, p. 189-202, 2020.
- WORLD BANK. **Governance and Development**. World Bank: Washington, USA, 2007.
- WORLD BANK. **Equity and Development**. World Development Report; World Bank: Washington, USA, 2005.

CAPÍTULO 2

EL ANÁLISIS DE REDES SOCIALES (ARS) COMO HERRAMIENTA PARA EL ESTUDIO Y LA GESTIÓN DE LOS PROCESOS DE DESCARBONIZACIÓN

Melisa Escosteguy¹

Carlos Ortega Insaurralde¹

Lucas Seghezso¹

Resumen

El Análisis de Redes Sociales (ARS) es una metodología cuali-cuantitativa utilizada para analizar diferentes tipos de interacciones entre actores. Mediante métodos formales, permite indagar en la estructura social, partiendo de la premisa de que la vida social es producida, en parte, a través de relaciones sociales y de los patrones creados por estas relaciones. El ARS ha sido ampliamente utilizado para abordar la gobernanza de recursos naturales y en muchos casos se ha aplicado en conjunto con otros métodos, tanto cualitativos como cuantitativos. En los últimos años se han desarrollado investigaciones que emplean el ARS para estudiar cuestiones vinculadas a los sistemas de energía y las transiciones energéticas sustentables. En este trabajo se presentan algunos conceptos y herramientas del ARS y se brindan ejemplos de sus distintas aplicaciones en estudios vinculados al cambio climático, la gobernanza de recursos naturales y los procesos de descarbonización. Finalmente, se propone una contribución al estudio de la producción del litio en Argentina.

Palabras clave: Análisis de redes sociales. Descarbonización. Justicia energética. Transición energética.

1 Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa), Salta, Argentina. meliescosteguy@gmail.com

Introducción

El cambio climático y la búsqueda de la sustentabilidad energética han generado una discusión a escala global sobre la necesidad de transiciones hacia fuentes de energía más sustentables o de carbono cero (GIELEN *et al.*, 2019). Aunque estas transiciones pueden parecer positivas a primera vista, hay evidencia de que pueden crear nuevas injusticias y vulnerabilidades (SOVACOOOL *et al.*, 2019; SOVACOOOL, 2021; ESCOSTEGUY *et al.*, 2021). Es por ello que está cobrando cada vez más importancia la idea de transiciones justas, la cual apunta a la necesidad de que estas sean lo más equitativas posibles asegurando trabajo decente, inclusión social, erradicación de la pobreza y protección ambiental (ZOGRAFOS; ROBBINS, 2020).

Las ciencias sociales pueden contribuir a una descarbonización socialmente justa al analizar los riesgos, las innovaciones tecnológicas, las jerarquías sociales, y la gestión y regulación de los sistemas de energía (STERN *et al.*, 2016). En este contexto, el estudio empírico de los roles de los actores y de las redes sociales que determinan las elecciones y la toma de decisiones es particularmente importante. El Análisis de Redes Sociales (ARS) es un método potencialmente apto para esta tarea, dado que provee un diagnóstico robusto de las posiciones de los actores y sus relaciones, ayudando a determinar los puntos apalancamiento para transformar los sistemas de energía, a la vez que permite identificar a los actores marginados de los procesos distributivos y de toma de decisiones. En combinación con el marco teórico de la justicia energética (MCCAULEY *et al.*, 2019; SOVACOOOL *et al.*, 2019), el ARS puede ser una herramienta descriptiva y analítica útil para el estudio y la gestión de los procesos de descarbonización orientados a alcanzar los objetivos englobados en la idea de transiciones justas y sustentables.

La perspectiva de las redes sociales agrupa teorías, modelos y aplicaciones expresadas en conceptos o procesos relacionales (WASSERMAN; FAUST, 1994). El ARS, en particular, es una metodología cuali-cuantitativa basada en el concepto de red social y utilizada para analizar diferentes tipos de interacciones entre actores o agentes (SCOTT, 1988). Es el análisis de sistemas de relaciones sociales representada a través de redes (CARRINGTON; SCOTT, 2011). Mediante métodos formales, provee un modelo útil de la estructura social, partiendo de la premisa de que la vida social es producida, en parte, a través de relaciones sociales y de los patrones creados por éstas (MARIN; WELLMAN, 2011). El ARS usa datos relacionales, es decir, información sobre los contactos, lazos, conexiones, adscripciones a grupos y encuentros, que relacionan a un agente con otro, siendo estas relaciones propiedades de los sistemas de agentes (SCOTT, 2000). Entre los principios básicos del ARS (WASSERMAN; FAUST, 1994) se puede mencionar que: (1) los actores y sus acciones son consideradas como interdependientes; (2) los vínculos son canales para la transferencia o el flujo de los recursos; (3) la estructura de la red establece oportunidades o límites para la acción individual; y (4) las estructuras son patrones duraderos de relaciones entre actores.

El rango de aplicaciones del ARS se encuentra en constante crecimiento (FREEMAN, [2004](#); SCOTT; CARRINGTON, [2011](#)) y han comenzado a emerger aplicaciones ambientales y energéticas. Estas aplicaciones se han focalizado en los problemas de gobernanza y “cogestión adaptativa” de los recursos naturales, donde importan los efectos de las redes sociales sobre los roles y la acción colectiva de los actores interesados (*stakeholders*) (BODIN; CRONA, [2009](#); PRELL *et al.*, [2009](#)).

En este capítulo se presentará la propuesta metodológica del ARS y se discutirá el rol de la metodología en estudios que se orienten a potenciar una transición energética justa utilizando el ejemplo de la red de producción global del litio en Argentina. Primero se presentan algunas precisiones y herramientas metodológicas. Luego, se brindan ejemplos de distintas aplicaciones del ARS en estudios vinculados al cambio climático, la gobernanza de recursos naturales y los procesos de descarbonización. Finalmente, se discute cómo el ARS puede contribuir al estudio de la producción del litio en Argentina.

Conceptos y herramientas para el análisis de datos relacionales a través del ARS

Representación de los datos relacionales

El ARS emerge a partir de la combinación de una serie de métodos que se enfocan en el estudio de los aspectos relacionales de la estructura social, y que dependen de la disponibilidad de información relacional (SCOTT, [2000](#)). Para representar datos relacionales, el ARS utiliza dos herramientas que provienen de las matemáticas: los grafos y las matrices (HANNEMAN; RIDDLE, [2011](#)). Los grafos que representan redes sociales están compuestos por un conjunto de vértices, también denominados nodos o actores, y un conjunto de aristas, también llamadas vínculos o relaciones, que conectan pares de vértices (BORGATTI *et al.*, [2018a](#)). En el caso de que se muestren relaciones asimétricas, las relaciones se representan con flechas unidireccionales (arcos), mientras que, para los datos simétricos, las relaciones se representan únicamente con una línea. La mayoría de los grafos de redes se dibujan en un eje X-Y, la ubicación de los nodos es arbitraria y puede acomodarse en función de lo que se desee mostrar. Para brindar información acerca del tipo de actor representado por cada nodo se utilizan distintos colores y/o tamaños. Los nodos pueden diferenciarse cualitativamente en función de sus atributos (género, escala en la que operan) – representados generalmente por colores –, y también cuantitativamente a partir del cálculo de algunas medidas que describen su posición en la red – más relaciones, mayor tamaño, por ejemplo. Las aristas o relaciones entre actores también pueden tener atributos y pueden, igualmente, representarse con diferentes colores y tamaños para expresar el tipo o la fuerza de la relación (HANNEMAN; RIDDLE, [2011](#)). Los grafos son

una forma simple y efectiva de representar redes, y en el caso de las redes pequeñas, pueden brindar una idea general acerca de las características de toda la red.

Cuando se analizan redes demasiado grandes o se busca obtener una descripción formal de las propiedades de la red, es necesario convertir la información relacional en números. Para ello, la información puede ser representada a través de matrices de distintos tipos (HANNEMAN; RIDDLE, [2011](#)). Los vectores son matrices que tienen solo una dimensión; en el ARS, los vectores se utilizan para presentar información acerca de los atributos de los actores. En las filas suelen aparecer todos los actores que intervienen en la red y los atributos en la siguiente columna. Las matrices cuadradas o de adyacencia son matrices con igual número de filas y columnas: en ambas aparece una lista de los mismos actores. Este tipo de matrices se utiliza para describir conexiones entre cada par de actores y es la matriz más utilizada en el ARS. Generalmente, es una matriz binaria, se utiliza un 1 si la relación está presente y un 0 si no hay relación. Estas matrices pueden ser simétricas (si A está vinculado con B, entonces lógicamente B tiene que estar vinculado con A), o bien asimétricas o direccionadas (si existe una relación entre A y B, pero no entre B y A). En este caso, y por convención, la dirección para leer las relaciones va desde las filas hacia las columnas: los actores dispuestos en las filas son quienes envían las relaciones, mientras que los actores en las columnas las reciben (BORGATTI *et al.*, [2018a](#)). Las matrices múltiples se utilizan para representar distintos tipos de relaciones. Si bien se recomienda utilizar matrices separadas para cada tipo de relación, existen dos enfoques (de reducción y de combinación) que permiten unificar varios tipos de relaciones en una sola matriz (ver BORGATTI *et al.*, [2018a](#)).

Tipos de red y definición de límites

En función de los datos con los que se cuente y del objetivo de la investigación, pueden desarrollarse redes de distintos tipos. Existen tres tipos de red clasificadas en base a la naturaleza y la cantidad de los conjuntos de actores que intervienen. Las *one-mode networks* son aquellas en las que se tiene en cuenta un único conjunto de actores - todos de la misma naturaleza (estudiantes de un colegio secundario u organizaciones) - y sus relaciones. Las *two-mode networks* están compuestas por dos conjuntos de actores de naturaleza distinta (estudiantes y organizaciones, por ejemplo) y las relaciones que los conectan. Dentro de este tipo de redes se encuentran también las *affiliation networks* en las que un conjunto está representado por actores y el otro por eventos, y las relaciones se establecen solo entre eventos y distintos subconjuntos de actores (WASSERMAN; FAUST, [1994](#)).

En paralelo a los tipos de red existen dos enfoques para estudiar una red. El enfoque *whole network* analiza la red como un todo, es una perspectiva “top down” que permite observar y medir aspectos de redes sociales completas y predecir algunas

de sus dinámicas (HANNEMAN; RIDDLE, 2011). Dado que para el estudio de algunos problemas o casos particulares puede ser importante poner el foco en actores individuales y sus conexiones, aparece el enfoque de las *ego-networks*, una perspectiva “bottom up”. Por *ego-networks* se entiende a un conjunto de nodos conectados a un nodo principal al que se denomina “ego”, y todas las relaciones que existen entre ellos (HANNEMAN; RIDDLE, 2005). Este enfoque es útil para comparar estructuras alrededor de distintos egos y para analizar la manera en que actores sociales particulares se ubican en una red de relaciones.

En conjunto con la definición del tipo de red y el enfoque para analizarla, es importante establecer los límites de la red que se quiere estudiar. Dónde dibujar los límites de una red que no parece estar demarcada naturalmente es un problema recurrente y se han propuesto dos estrategias para hacerlo. La estrategia realista propone tomar el punto de vista de los actores involucrados, una red es un hecho social siempre y cuando es experimentada conscientemente como tal por los actores que la componen; mientras que en la estrategia nominalista la red parte de los propósitos del investigador, el límite se establece de acuerdo al marco de referencia del observador (y no de los participantes) (EMIRBAYER, 1997). De acuerdo a esta segunda estrategia, cuando no se están estudiando grupos definidos naturalmente los límites de la red se establecen a partir de la pregunta de investigación (BORGATTI *et al.*, 2018a).

Obtención de datos relacionales

La selección del método a utilizar para obtener información relacional también conlleva algunos problemas en tanto que las relaciones sociales son producidas a partir de las definiciones generadas por los miembros del grupo acerca de determinada situación o contexto (SCOTT, 2000). La selección del instrumento de recolección dependerá, en última instancia, de las características del grupo, de la red que se intenta analizar, del tipo de relaciones a estudiar, de la pregunta de investigación (BORGATTI *et al.*, 2018a) y, si hubiera, de la información ya disponible. Entre las técnicas más empleadas para la recolección de datos se encuentran los cuestionarios o encuestas, las entrevistas, la observación y el trabajo de archivo (WASSERMAN; FAUST, 1994).

Los cuestionarios son uno de los instrumentos más comunes, sobre todo cuando los actores que se analizan son personas. Generalmente incluyen preguntas acerca de las relaciones que el encuestado sostiene con otros actores y son muy útiles para obtener información sobre toda la red. Pueden emplearse distintas técnicas para preguntar por relaciones. Una posibilidad es brindar al encuestado una lista de actores (*roster*) y pedirle que señale si mantiene vínculos con ellos. Para poder construir la lista, el investigador debe conocer quiénes son los actores involucrados en la red antes de comenzar a recolectar la información. Otra opción es utilizar la técnica de *free recall* en la que se pide al encuestado que mencione directamente a los actores con los que se relaciona en función de alguna relación en particular. De esta forma, son

los encuestados quienes brindan una lista de nombres. Si bien las listas de actores sirven para simplificar el cuestionario y evitar que quienes responden se olviden de mencionar a algunos actores, tienen las desventajas de que es necesario delimitar y conocer previamente la red y, si la red es muy grande, la encuesta puede ser muy extensa y pesada para quienes responden (BORGATTI *et al.*, [2018a](#)).

Por su parte, los métodos de recuperación (*recall methods*) son útiles para indagar acerca de redes pequeñas o *ego-networks*, pero dependen de que los encuestados recuerden y vuelquen todas las relaciones en el cuestionario y de que el investigador se asegure que coincidan los actores que pueden ser mencionados con nombres diferentes (MARSDEN, [2011](#)). Al utilizar *recall methods* se puede realizar una pregunta muy amplia en la que el encuestado mencione la cantidad de actores que recuerde o crea conveniente, o se le puede pedir que enumere cierto número de actores. Es muy frecuente con este método utilizar la técnica de bola de nieve (*snowball*), en la que los encuestados se van seleccionando a medida que son mencionados por uno o varios *egos*. Cuando se necesita conocer la intensidad o la fuerza de la relación, se puede solicitar a los encuestados que ordenen, prioricen o le asignen un valor a la relación (ver BORGATTI *et al.*, [2018a](#)).

Las entrevistas también pueden servir para la recolección de información relacional. Entrevistas en profundidad o semi-estructuradas se utilizan cuando no es posible realizar una encuesta y, al igual que estas últimas, pueden realizarse de manera presencial o de forma remota. Borgatti *et al.* ([2018a](#)) plantean que la realización de un trabajo etnográfico previo a la recolección de información es importante para explorar los tipos de relaciones existentes y los términos apropiados para diseñar los cuestionarios. También proponen que una vez formulados deben ser testeados para asegurarse que quienes responden comprendan claramente el sentido de la pregunta. Para estos autores, el trabajo etnográfico es útil además hacia el final del estudio para testear los resultados y ver si tienen validez desde el punto de vista de los actores involucrados. Esta práctica de realización de etnografía al comienzo y al final del trabajo es definida por los autores como el sándwich etnográfico. Por su parte, la observación es otra forma de obtener datos relacionales y es muy efectiva para recolectar información acerca de grupos pequeños que tienen interacciones cara a cara frecuentemente, o cuando los actores involucrados no pueden responder cuestionarios ni entrevistas (WASSERMAN; FAUST, [1994](#)).

Las fuentes históricas y el trabajo de archivo han sido empleados para el estudio de redes sociales. Las fuentes seleccionadas para recolectar los datos deben contener información relacional que pueda convertirse en redes (BORGATTI *et al.*, [2018a](#)). Algunas de estas fuentes son inherentemente relacionales (archivos de matrimonios o registros de transacciones), mientras que en otros casos las interacciones pueden identificarse a partir de fuentes menos estructuradas, codificando narrativas o registros escritos para encontrar nombres de distintos actores, eventos, locaciones. Una ventaja

de las fuentes históricas es su carácter longitudinal que permite estudiar redes a través del tiempo. De forma similar a la utilización de fuentes históricas, pueden utilizarse fuentes online. Muchos trabajos utilizan fuentes secundarias como artículos publicados en diarios, artículos científicos, o estadísticas para armar la red. En estos casos herramientas como la codificación son muy valiosas para organizar datos que en principio no están dispuestos de manera relacional.

Conceptos y medidas para analizar redes sociales

El ARS brinda una serie de herramientas, conceptos y medidas (o cálculos) que permiten analizar cuantitativamente la estructura de la red, la posición de los actores, la existencia de subgrupos y la intensidad de las relaciones, entre otras cosas. Estas herramientas pueden aplicarse al nivel de toda la red, de los actores o de las relaciones y pueden ser complementadas con abordajes cualitativos que ayuden a comprender mejor la estructura.

Medidas de toda la red

Para comenzar a analizar la red existen dos conceptos muy sencillos: el tamaño y la densidad. El tamaño de la red se mide contando el número de nodos presentes: en una red siempre existen $k * k-1$ pares ordenados de actores, donde k es el número de actores. La densidad de una red binaria es simplemente la proporción de todas las relaciones posibles que están de hecho presentes, es decir, la suma de las relaciones existentes dividida por el número de vínculos posibles. El tamaño y la densidad brindan un primer acercamiento a la estructura de la red, sin embargo, lo que realmente importa es conocer la forma en la que se estructuran las relaciones. Para ello, existen índices que muestran varios aspectos de las conexiones: accesibilidad, conectividad, distancia, reciprocidad, transitividad y *clustering* (HANNEMAN; RIDDLE, 2011).

En cuanto a la accesibilidad, se dice que un actor es accesible o alcanzable por otro si existe un conjunto de relaciones que los conectan, independientemente de si entre el actor de origen y de destino existen otros nodos. Cuando los datos son direccionados, existe la posibilidad de que el nodo A pueda llegar al nodo B, pero que B no pueda acceder a A. Cuando los datos son simétricos, en cambio, cada par de actores es alcanzable o no entre sí. El concepto de accesibilidad permite también identificar si existen divisiones o subpoblaciones en la red (actores que no pueden acceder a otros). La conectividad, hace referencia a los caminos que existen para conectar dos actores, estos actores tienen una alta conectividad si es que hay diferentes formas de que la señal enviada por alguno de ellos llegue al otro. La medida *point connectivity* mide el número de nodos que deben ser removidos de la red para que un actor se vuelva inalcanzable para otro, y es útil para poder entender aspectos como dependencia y vulnerabilidad en la red. La distancia, o distancia geodésica,

hace referencia a la longitud de la trayectoria entre dos actores; si dos actores son adyacentes, entonces la distancia entre ellos es 1 dado que se necesita un solo paso para que una señal (información, recursos, etc.) llegue de uno a otro. Para datos binarios, la distancia geodésica es el número de relaciones en el camino más corto posible para que un actor alcance a otro.

Cuando se analiza información direccionada es posible, además, abordar la reciprocidad de las relaciones. Las estructuras sociales más pequeñas existentes en una red se conocen como díadas: las relaciones entre dos actores. Existen tres tipos de díadas: nula (cuando no hay relación), en una dirección, o en ambas direcciones. Hasta qué punto una red se caracteriza por poseer relaciones o díadas recíprocas ayuda a comprender el grado de cohesión de la red. Si se pone el foco en las díadas se puede obtener una tasa de reciprocidad indagando la proporción de pares de actores que tienen relaciones recíprocas entre ellos. En cambio, si se pone el foco en las relaciones se puede indagar qué porcentaje de todos los vínculos posibles forman parte de estructuras recíprocas, y qué porcentaje del número total de vínculos reales participan en las relaciones recíprocas. Se suele asumir que las redes que poseen una predominancia de relaciones nulas o recíprocas son más estables que las que poseen muchas conexiones asimétricas ya que en las últimas pueden aparecer relaciones jerárquicas. Cuando se tienen en cuenta tríadas, es decir, tríos de actores, se puede analizar la transitividad: una tríada es transitiva cuando se espera que si A está relacionado con B y B está relacionado con C, entonces A esté relacionado con C. En el ARS se suele deducir que las redes que tienen mucha transitividad, tienden a tener una estructura grumosa, contienen nudos de nodos que están todos interrelacionados (BORGATTI *et al.*, 2018a).

Normalmente, en las redes muy grandes, existe una importante proporción del total de las relaciones que está altamente agrupada (*clustered*) en grupos más pequeños. Para calcular el grado en que una red no direccionada tiene zonas de alta y baja densidad se puede utilizar el denominado *clustering coefficient*. Esta medida calcula primero el *individual clustering coefficient*, la densidad de vínculos en la red ego de cada nodo (es decir, la densidad de vínculos entre los nodos conectados a un nodo determinado) y luego se promedia ese valor entre todos los nodos para obtener el *overall clustering coefficient*. Para calcular este coeficiente también se puede utilizar una medida ponderada (*weighted overall clustering coefficient*) (ver BORGATTI *et al.*, 2018a). Al tener en cuenta toda la red es posible analizar las conexiones que existen entre grupos y si es que existen subpoblaciones definidas por atributos compartidos o contextos similares. Existen medidas como la densidad de bloque - para indagar los patrones de interacción hacia adentro de los bloques y entre bloques de nodos del mismo tipo - y conceptos como clique, clan, plex, componente, facción para analizar cómo se estructuran las redes en función de grupos (un análisis completo de estas herramientas puede encontrarse en HANNEMAN; RIDDLE, 2011).

Medidas para los nodos o actores

Una de las herramientas más utilizadas para el análisis a nivel actor es la centralidad, una propiedad referida a la posición de los nodos en una red que, más que una única medida, es una familia de conceptos (BORGATTI *et al.*, 2018a). La centralidad podría definirse en primera instancia como la importancia estructural que tiene un nodo para la red. Sin embargo, existen distintas maneras en las que un nodo puede ser importante, ya sea porque recibe más rápido la información que circula, porque puede difundir rápidamente la información, porque asegura que la información llegue a actores que de otro modo quedarían fuera de la comunicación, etc. Estas distintas formas de importancia dieron origen a distintas medidas de centralidad y a distintos enfoques o procedimientos para calcularlas.

Algunos autores plantean que existe una relación entre la centralidad y el poder (HANNEMAN; RIDDLE, 2011). El poder puede ser considerado como una propiedad fundamental de las estructuras sociales. Si bien no hay demasiado consentimiento en cómo definirlo, una suposición común del enfoque de redes sociales es que el poder es relacional (BORGATTI *et al.*, 2018a), es decir, que es el resultado de distintos patrones de interacción. En este caso, los actores que son más centrales en una red podrían ser más influyentes y poderosos. Varios trabajos han adaptado distintas medidas de centralidad para analizar el poder, sin embargo, hasta qué punto la centralidad es un indicador de poder es aún un tema de debate. De cualquier modo, la centralidad es clave para contribuir al estudio de la forma en que los actores participan en una red, y cómo esto deriva en límites o en oportunidades para cada uno de ellos. Es común asumir que aquellos actores con menores limitaciones y mayores oportunidades se encuentran en posiciones más favorables. El enfoque más común para entender las causas o las fuentes de las ventajas y desventajas de un actor es la centralidad. Aquí mencionaremos solo las medidas de centralidad que aparecen más frecuentemente en la literatura.

Degree centrality es una de las medidas más simples de centralidad ya que calcula el número de relaciones que posee un actor. En una red direccionada se puede distinguir entre *in-degree* y *out-degree centrality*, teniendo en cuenta el número de relaciones que recibe un actor y el número de relaciones que envía, respectivamente. De estas medidas pueden derivarse algunas ideas acerca del prestigio y la influencia: un actor que recibe muchas relaciones puede ser definido como prestigioso y aquel que envía muchas relaciones puede considerarse influyente. Uno de los problemas de esta herramienta es que trata a todos los contactos de un actor como equivalentes o similares. En los casos en los que es útil analizar las conexiones de un actor a otros actores bien conectados, se utiliza la medida *eigenvector centrality*. Esta calcula la centralidad de un actor en relación a la suma de las centralidades de los actores con los que se conecta, primero se cuentan los vínculos de los actores y luego se vuelve a contar ponderando cada

contacto por su grado de centralidad (BORGATTI; BRASS, 2014). Si la red que estamos analizando es direccionada, existe una variación para analizar esta medida que se conoce como *beta centrality* y se describe en detalle en BONACICH; LLOYD (2001) y BORGATTI *et al.* (2018a).

Otra desventaja de la medida *degree centrality* es que solo toma en cuenta las relaciones inmediatas de un actor (HANNEMAN; RIDDLE, 2011). Cuando es necesario conocer también la centralidad en función de las conexiones indirectas con todos los actores de la red se aplica otra medida, *closeness centrality*. Este cálculo hace referencia a la propiedad de estar a una corta distancia de todos los demás nodos de la red. Por “distancia” aquí se entiende el número de nodos o actores que existen en el camino más corto entre dos nodos. En su forma más simple, *closeness centrality* suma las distancias de un nodo a todos los demás (BORGATTI; BRASS, 2014). Otra medida que examina los caminos más cortos es *betweenness centrality*, el recuento del número de veces que un nodo determinado se encuentra en el camino más corto entre otros dos nodos (FREEMAN, 1979). Así, esta medida se refiere al control que tiene un actor sobre los mejores caminos entre otros pares de nodos y alcanza su valor máximo cuando el nodo analizado se encuentra a lo largo de cada camino más corto entre cada par de nodos. Por esa razón, esta medida puede interpretarse como el potencial de control que tiene un nodo sobre los flujos a través de la red.

Medidas para las relaciones

A nivel de las relaciones también existen algunas herramientas que sirven para tener una idea general acerca de los vínculos que estructuran la red. Uno de los parámetros que suele tenerse en cuenta es la intensidad de la relación. Esta herramienta es principalmente una propiedad visual, ya que no se puede cuantificar. Algunos autores proponen que puede analizarse a partir de un análisis cualitativo, en el que pueden tenerse en cuenta seis dimensiones: alcance, frecuencia, duración, control, confianza e inversión en el entendimiento mutuo (NOOTEBOOM; GILSING, 2004).

Softwares utilizados

Generalmente, para trabajar con datos relacionales se utiliza algún software. Dado que los programas que existen para este fin son muchos, aquí describiremos sólo los tres más utilizados: UCINET, Pajek y Gephi (para una revisión más completa ver HUISMAN; VAN DUJIN, 2011).

UCINET 6 es un paquete completo para el análisis de datos de redes sociales. Utilizado mayormente en ciencias sociales para analizar datos sociométricos, permite trabajar con redes muy grandes y contiene un importante número de métodos para su análisis. Entre ellos se pueden mencionar varias rutinas analíticas para la detección de subgrupos, para calcular distintas medidas de centralidad, para trabajar con

ego-networks y para el análisis de *clusters*, equivalencia y modelos centro-periferia (HUISMAN; VAN DUJIN, 2011). UCINET acepta un gran número de datos y formatos de archivo, lo que facilita la carga y exportación de datos desde UCINET (BORGATTI *et al.*, 2018b). El programa se instala junto con NetDraw, un programa complementario para la visualización de la red. NetDraw cuenta con propiedades avanzadas para el desarrollo de gráficos y permite asignar características a los nodos y las líneas a partir de elementos como el color, el tamaño y la forma de los símbolos utilizados para representar los nodos y las líneas (BORGATTI *et al.*, 2018b).

Pajek es un paquete de programas para Windows, de libre acceso, que permite el análisis y la visualización de redes sociales muy grandes (BATAGELJ; MRVAR, 2010). Entre algunas de sus principales ventajas se encuentra la capacidad de reducir redes con una gran cantidad de actores en redes menores que pueden ser analizadas utilizando métodos más sofisticados, la presencia de herramientas de visualización muy poderosas (visualizaciones 2D y 3D) y la posibilidad de aplicar una selección de algoritmos de redes muy eficientes (HUISMAN; VAN DUJIN, 2011). Según sus desarrolladores (BATAGELJ; MRVAR, 2010), Pajek es esencialmente una colección de procedimientos basados en seis tipos de datos: red, partición, *cluster*, vector, permutación y jerarquía. Si bien no cuenta con rutinas para realizar análisis estadísticos, existe la opción de descargar R o SPSS desde Pajek. Información más detallada sobre el programa puede encontrarse en Mrvar y Batagelj (2016) y en el curso Exploratory Social Network Analysis With Pajek (DE NOOY *et al.*, 2018).

Gephi es un software libre para Windows, Linux y Mac OS X que provee herramientas de exploración y visualización de redes interactivas. Permite a los analistas de datos relacionales revelar intuitivamente patrones y tendencias en las redes analizadas ya que combina distintas funciones para explorar, analizar, espacializar, filtrar, agrupar, manipular y exportar todo tipo de grafos. Este programa permite trabajar con redes muy grandes (alrededor de 20.000 nodos) y mostrar gráficos muy amplios en tiempo real.

Posibles contribuciones del ARS al estudio de los procesos de descarbonización y la producción de litio en Argentina

En los últimos años han aumentado las investigaciones que emplean el ARS para estudiar cuestiones vinculadas al cambio climático, la gobernanza de recursos naturales y los procesos de descarbonización. Conocer la manera en que estos estudios aplican el enfoque de redes sociales es central para explorar cómo se podría utilizar el ARS en futuras investigaciones. En este apartado se presentan algunos ejemplos de publicaciones sobre la temática que fueron seleccionados a partir de la búsqueda de artículos científicos en el buscador Science Direct. Como resultado de la búsqueda se obtuvieron 81 artículos.

Teniendo en cuenta las herramientas y medidas detalladas en el apartado anterior, en el [Cuadro 1](#) se muestran algunos de los resultados de la búsqueda, seleccionados y clasificados en función de los temas, del método de recolección de información, de las medidas calculadas y del software utilizado. En general, hay una producción considerable de estudios que utilizan ARS aplicando distintos enfoques teóricos y, muy frecuentemente, en combinación con otros métodos. A su vez, hay una tendencia a recolectar los datos relacionales desde bases de datos online y a calcular medidas de centralidad. Esta última puede relacionarse con la idea de que los actores más centrales son los más influyentes, por lo que habría que tenerlos muy en cuenta a la hora de analizar la gestión de las transiciones. Vale la pena mencionar que muchos de los estudios sistematizados proponen una serie de recomendaciones o sugerencias para mejorar y hacer más efectivas las transiciones.

Cuadro 1 - Artículos seleccionados, ordenados en función del tema, método de recopilación de datos, medidas y software utilizado. Para las referencias bibliográficas ver Anexo

TEMAS	Innovación tecnológica		(AALDERING <i>et al.</i> , 2019 ; DE PAULO <i>et al.</i> , 2020 ; LI <i>et al.</i> , 2018 ; MINAS <i>et al.</i> , 2020 ; SCHERRER <i>et al.</i> , 2020)
	Gobernanza ambiental		(DIGREGORIO <i>et al.</i> , 2019 ; KRATZER, 2018 ; PISANI <i>et al.</i> , 2020)
	Mitigación del cambio climático		(ORTEGA DÍAZ; GUTIÉRREZ, 2018 ; WILLIAMS <i>et al.</i> , 2015 ; LA-ANTTILA <i>et al.</i> , 2018)
	Transición energética		(BUTH <i>et al.</i> , 2019 ; DANZI <i>et al.</i> , 2019 ; FALCONE <i>et al.</i> , 2018 ; HACKING; FLYNN, 2016 ; KHARANAGH <i>et al.</i> , 2019)
	Conflicto		(WHISHART, 2019)
RECOPIACIÓN DE DATOS	Bases de datos online		(AALDERING <i>et al.</i> , 2019 ; DE PAULO <i>et al.</i> , 2020 ; LI <i>et al.</i> , 2018 ; WILLIAMS <i>et al.</i> , 2015)
	Encuestas y cuestionarios		(SUN <i>et al.</i> , 2015)
	Entrevistas		(KRATZER <i>et al.</i> , 2018)
	Fuentes secundarias		(WISHART, 2019)
	Métodos-mixtos	Datos secundarios + entrevistas o encuestas	(DAHER <i>et al.</i> , 2020 ; DI GREGORIO <i>et al.</i> , 2019 ; FALCONE <i>et al.</i> , 2018 ; HACKING; FLYNN, 2016 ; ORTEGA DÍAZ; GUTIÉRREZ, 2018 ; SCHERRER <i>et al.</i> , 2020 ; LA-ANTILLA <i>et al.</i> , 2018)
		Entrevistas o encuestas + dibujo de redes	(BUTH <i>et al.</i> , 2019 ; MINAS <i>et al.</i> , 2020)
Bases de datos + entrevistas o encuestas		(DANZI <i>et al.</i> , 2019 ; MANDER <i>et al.</i> , 2017)	

MEDIDAS	Centrality	(AALDERING <i>et al.</i> , 2019; DANZI <i>et al.</i> , 2019; FALCONE <i>et al.</i> , 2018; HACKING; FLYNN, 2016; SCHERRER <i>et al.</i> , 2020; SUN <i>et al.</i> , 2015)
	Medidas de la red (forma, densidad, jerarquía, afinidad) + centrality	(DI GREGORIO <i>et al.</i> , 2019; MANDER <i>et al.</i> , 2017; MINAS <i>et al.</i> , 2020)
	Block model, modularity y clustering (combinadas siempre con otros cálculos)	(DE PAULO <i>et al.</i> , 2020; LI <i>et al.</i> , 2018; PISANI <i>et al.</i> , 2020; WISHART, 2019)
	Nivel red + nivel nodos + nivel actores	(BUTH <i>et al.</i> , 2019; DAHER <i>et al.</i> , 2020)
SOFTWARE	UCINET	(DAHER <i>et al.</i> , 2020; FALCONE <i>et al.</i> , 2018; HACKING; FLYNN, 2016; MANDER <i>et al.</i> , 2017; PISANI <i>et al.</i> , 2020; WISHART, 2019)
	Gephi	(AALDERING <i>et al.</i> , 2019; DE PAULO <i>et al.</i> , 2020; KRATZER, 2018; LI <i>et al.</i> , 2018; MINAS <i>et al.</i> , 2020; PISANI <i>et al.</i> , 2020; WILLIAMS <i>et al.</i> , 2015; WISHART, 2019)
	Pajek	(DI GREGORIO <i>et al.</i> , 2019)

Fuente: Autoría propia.

Al momento de escribir este capítulo, los autores han avanzado en la aplicación del ARS en combinación con el marco de la justicia energética al estudio de la ecología política de la red de producción de litio en la Argentina. El litio se ha convertido en un elemento clave para los procesos de descarbonización por su capacidad para almacenar energía proveniente de fuentes renovables y por su utilización en los vehículos eléctricos. El propósito general de la investigación es analizar cómo se distribuyen el poder y los impactos socio-ambientales dentro de esta red de producción.

En la primera fase de este estudio se han descrito y analizado las injusticias producidas por la extracción de litio en la Puna argentina (ESCOSTEGUY *et al.*, en prensa). En la segunda fase se identificaron los actores vinculados a la red de producción de litio utilizando documentación secundaria (informes de empresas, de gobierno, artículos periodísticos, artículos académicos) y registros de campo. Entre los actores seleccionados se incluyeron 44 comunidades locales, 12 instituciones municipales, 24 instituciones provinciales, 13 instituciones nacionales y 20 empresas. Una vez identificados los actores, se realizó un diagrama que incluyó a todos los actores de la red y sirvió para elaborar algunas hipótesis acerca de las posibles relaciones entre actores y la naturaleza de las mismas. A su vez, este diagrama sirvió para situar a los actores en la escala en la que operan y para diseñar un instrumento de recolección de datos relacionales.

En una tercera fase, entonces, se elaboró un cuestionario orientado a investigar las relaciones entre actores. Entre los ejes que aborda el cuestionario se encuentran la influencia percibida, las relaciones entre actores, la valoración de las relaciones, las percepciones sobre la producción de litio y los factores que podrían afectar su participación dentro de la red de producción (ver [Cuadro 2](#)). En el cuestionario se incluyó una lista completa de todos los actores identificados para facilitar la respuesta de los encuestados.

Cuadro 2 - Principales ejes y preguntas del cuestionario

Influencia percibida	¿Cuánta influencia cree que tiene en la toma de decisiones sobre la producción de litio?
Relaciones entre actores	¿Se ha reunido o ha contactado con alguna de las siguientes instituciones? Si es así, indique (a) la frecuencia de las reuniones o contactos, (b) si fue posible el intercambio de información y (c) si la relación permitió una colaboración en la toma de decisiones.
Valor de las relaciones	¿Con qué actores cree que la interacción fue más y menos eficiente?
Percepciones sobre litio	¿Cree que la producción de litio generará desarrollo local? En ese caso, ¿cómo imagina ese desarrollo?
Factores que pueden afectar negativamente	¿Cuáles de estos factores podría afectar su organización? (a) falta de información, (b) marco legal incompleto, (c) situación económica nacional, (d) impactos ambientales, (e) impactos sociales, (f) conflictos, (g) otros.

Fuente: Autoría propia.

El objetivo principal del ARS es describir la red de producción de litio, es decir, señalar qué lugar ocupan los actores involucrados, cómo se relacionan entre ellos y qué perspectivas tienen sobre la producción de litio. Algunas medidas de toda la red y de centralidad serán claves como punto de partida para estudiar la ecología política del litio en Argentina. Con este análisis cuantitativo sobre las relaciones se intentará generar algunas preguntas de investigación orientadas a indagar el sentido que los actores atribuyen a dichas relaciones.

De esta manera, en una cuarta fase, será fundamental combinar el ARS con otras metodologías como la etnografía. Esto permitirá entender qué implicancias tiene la distribución de los actores a través la red y cómo se configuran, perciben y resisten las injusticias y asimetrías de poder dentro de la red de producción del litio. También se espera poder brindar recomendaciones normativas que aporten al desarrollo de políticas públicas, a la incorporación de las comunidades locales en la toma de decisiones y contribuyan a una mejor gestión del recurso.

Conclusión

En este capítulo se presentó el método del ARS, comentando su origen y sus aplicaciones más frecuentes. También se desarrolló una presentación resumida de los conceptos y herramientas de los que se sirve el ARS para analizar la estructura social. Muchos de estos conceptos son utilizados para abordar las redes de relaciones que sostienen, impulsan o constriñen los procesos de descarbonización. Luego de una revisión de alrededor de 80 artículos científicos, se sistematizó la información más relevante mostrando algunos ejemplos útiles para futuras investigaciones sobre el tema. Finalmente, se exploró la forma en las que el ARS puede aplicarse en el caso de la producción de litio en Argentina.

La creciente cantidad de estudios de redes sociales vinculados a las transiciones energéticas responde al reconocimiento del potencial de considerar no sólo sus aspectos técnicos, sino también aquellos vinculados con el poder social, la economía, la cultura y los discursos. Hay un reconocimiento de la utilidad de las ciencias sociales, en conjunto con las ciencias biofísicas y las ingenierías, a la hora de abordar las problemáticas prácticas que emergen en los procesos de transición y en las políticas públicas orientadas a gobernar los sistemas de energía y reducir los impactos del cambio climático. Las relaciones entre los *stakeholders* y las redes que afectan positiva o negativamente a los procesos de gobernanza y gestión de los recursos naturales y los sistemas de energía se presentan como focos de investigación clave. En consecuencia, la potencialidad descriptiva y analítica de las redes sociales, vinculada a la perspectiva del marco de la justicia energética, aparecen como herramientas teóricas y metodológicas particularmente relevantes para el estudio y la gestión de los procesos de descarbonización y los objetivos englobados en la idea de transiciones justas y sustentables.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen el apoyo de las siguientes instituciones: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina, Universidad Nacional de Salta (UNSa), Departamento de Geografía de la Universidad de Texas A&M, Red Suiza de Estudios Internacionales (SNIS) (Proyecto “LITHIUM”), CAPES-PVE/BRASIL Proc. 88881.068108/2014-01 (Proyecto “Impactos da Energia Eólica no Litoral do Nordeste”), y PRONEM FUNCAP/CNPq Proc. PNE 0112-00068.01.00/16 (Proyecto “Análise socioambiental da implantação de parques eólicos no Nordeste: perspectivas para a sustentabilidade da geração de energia renovável no Brasil”). Agradecemos a las comunidades locales que nos recibieron y, particularmente, a quienes nos brindaron su tiempo y charlaron con nosotros.

Referencias

- BODIN, Ö.; CRONA, B. I. The role of social networks in natural resource governance: What relational patterns make a difference? **Global Environmental Change**, v. 19, n. 3, p. 366-374, 2009.
- BONACICH, P.; LLOYD, P. Eigenvector-like measures of centrality for asymmetric relations. **Social Networks**, n. 23, p. 191-201, 2001.
- BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G.; JOHNSON J. C. **Analysing Social Networks**. SAGE Publications Ltd., 2018a.
- BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G.; FREEMAN L. C. UCINET. *En*: ALHAJJ, R.; ROKNE, J., **Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining**, p. 3243-3249. Nueva York: Springer. 2018b.
- BORGATTI, S. P.; BRASS, D. Centrality: Concepts and Measures. *En*: Borgatti, S. P.; Brass D. (ed.), **Social Networks at Work**, 2020. p. 9-22.
- CARRINGTON, P. J.; SCOTT, J. Introduction. *In*: SCOTT, J.; CARRINGTON, P. J., **The SAGE Handbook of Social Network Analysis**, Londres: SAGE Publications Ltd. 2011. p. 1-8.
- DE NOOY, W.; MRVAR, A. Y.; BATAGELJ, V. **Exploratory Social Network Analysis with Pajek**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- EMIRBAYER, M. Manifesto for a relational sociology. **American Journal of Sociology**, v. 103, n. 2, p. 281-317, 1997.
- ESCOSTEGUY, M.; DIAZ PAZ, W. F.; IRIBARNEGARAY, M. A.; CLAVIJO, A.; ORTEGA INSAURRALDE, C.; STERN, H.; VENENCIA, C. D.; BRANNSTROM, C.; HUFTY, M.; SEGHEZZO, L. Will electro-mobility encourage injustices? The case of lithium production in the Argentine Puna. *En*: NADESAN, M. H.; PASQUALETTI, M. J.; KEAHEY, J. (ed.). **Energy democracies for sustainable futures**. [s. l.]: Elsevier Science, 2022 en prensa.
- FREEMAN, L. C. Centrality in social networks: Conceptual clarification. **Social Networks**, v. 1, n. 3 p. 215-239, 1979.
- FREEMAN, L. C. **The development of Social Network Analysis**. A study in the sociology of science. Vancouver: Empirical Press, 2004.
- FREEMAN, L. C. The development of Social Network Analysis- with an emphasis on recent events. *En*: SCOTT, J.; CARRINGTON, P. J. **The SAGE Handbook of Social Network Analysis**. Londres: SAGE Publications Ltd., 2011. p. 26-39.
- GIELEN, D.; BOSHELL, F.; SAYGIN, D.; BAZILIAN, M. D.; WAGNER, N.; GORINI, R. The role of renewable energy in the global energy transformation. **Energy Strategy Reviews**, v. 24, p. 38-50, 2019.
- HANNEMAN, R.; RIDDLE, M., **Introduction to Social Network Methods**. Riverside: University of California, 2005. Disponible en: <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/nettext/>. Último acceso: 15 feb. 2021.
- HANNEMAN, R.; RIDDLE, M. A brief introduction to analyzing social network data. *In*: SCOTT, J.; CARRINGTON P. J. **The SAGE Handbook of Social Network Analysis**. Londres: SAGE Publications Ltd. 2011. p. 331-339.
- HUISMAN, M.; VAN DUIJN, M. A. J. A Reader's Guide to SNA Software. *In*: SCOTT, J.; CARRINGTON P. J., **The SAGE Handbook of Social Network Analysis**. Londres: SAGE Publications Ltd. 2011. p. 578-600

- MARSDEN, P. V. Survey Methods for Network Data. *En*: SCOTT, J.; CARRINGTON P. J., **The SAGE Handbook of Social Network Analysis**. 371-388. Londres: SAGE Publications Ltd, 2011.
- MCCAULEY, D.; RAMASAR, V.; HEFFRON, R. J.; SOVACOO, B. K.; MEBRATU, D.; MUNDACA, L. Energy justice in the transition to low carbon energy systems: Exploring key themes in interdisciplinary research. **Applied Energy**, v. 233, p. 916-921, 2019.
- MRVAR, A.; BATAGELJ, V. Analysis and visualization of large networks with program package Pajek. **Complex Adapt Systems Modeling**, v. 4, p. 6, 2016.
- NOOTEBOOM, B.; GILSING, V. Density and strength of ties in innovation networks: a competence and governance view. **ERIM Report series Research in management**, 2004.
- PRELL, C.; HUBACEK, K.; REED, M. Stakeholder Analysis and Social Network Analysis in Natural Resource Management. **Society & Natural Resources**, v. 22, n. 6, p. 501-518, 2009.
- SCOTT, J. Social Network Analysis. **Sociology**, v. 22, n. 1, p. 109-127, 1988.
- SCOTT, J. Software Review: A Toolkit for Social Network Analysis. **Acta Sociologica**, v. 39, n. 2, p. 211-216, 1996.
- SCOTT, J. Social Network Analysis. **A Handbook**. Londres: SAGE Publications Ltd, 2000.
- SOVACOO, B. K. Who are the victims of low-carbon transitions? Towards a political ecology of climate change mitigation. **Energy Research & Social Science**, v. 73, p.101916, 2021.
- SOVACOO, B. K.; BURKE, M.; BAKER, L.; KUMAR KOTIKALAPUDI, C.; WLOKAS, H. New frontiers and conceptual frameworks for energy justice. **Energy Policy**, v. 105, p. 677-691, 2017.
- SOVACOO, B. K.; MARTISKAINEN, M.; HOOK, A.; BAKER, L. Decarbonization and its discontents: A critical energy justice perspective on four low-carbon transitions. **Climatic Change**, v. 155, n. 4, p. 581-619, 2019.
- SOVACOO, B. K.; RYAN, S. E.; STERN, P. C.; JANDA, K.; ROCHLIN, G.; SPRENG, D.; PASQUALETTI, M. J.; WILHITE, H.; LUTZENHISER, L. Integrating social science in energy research. **Energy Research & Social Science**, v. 6, p. 95-99, 2015.
- STERN, P. C.; SOVACOO, B.K.; DIETZ, T. Towards a science of climate and energy choices. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 6, p. 547-555, 2016.
- WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social Network Analysis**. Methods and applications. Nueva York: Cambridge University Press, 1994.
- WELLMAN, B.; MARIN, A. Social Network Analysis: An introduction. *En*: SCOTT, J.; CARRINGTON P. J., **The SAGE Handbook of Social Network Analysis**. Londres: SAGE Publications Ltd, 2011. p. 11-25.
- ZOGRAFOS, C.; ROBBINS, P. Green Sacrifice Zones, or Why a Green New Deal Cannot Ignore the Cost Shifts of Just Transitions. **One Earth**, v. 3, n. 5, p. 543-546, 2020.

Referencias de software

- Gephi: BASTIAN, M.; HEYMANN, S.; JACOMY, M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. **Third International AAAI Conference on Weblogs and Social Media**. v. 3, n. 1, 2009.
- NetDraw: BORGATTI, S. P. **NetDraw: Graph Visualization Software**. Harvard: Analytic Technologies, 2002.

Pajak: BATAGELJ, V.; MRVAR, A. **Pajak - Package for Large Networks**. Ljubljana: University of Ljubljana, 2010.

UCINET: BORGATTI, S. P., EVERETT, M. G.; FREEMAN, L. C. **Ucinet for Windows**: Software for Social Network Analysis. Harvard, MA: Analytic Technologies, 2002.

Anexo: Referencias - Cuadro 1

AALDERING, L. J., LEKER, J.; SONG, C. H. Analysis of technological knowledge stock and prediction of its future development potential: The case of lithium-ion batteries. **Journal of Cleaner Production**, v. 223, p. 301-311, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.174>

BUTH, M. C.; WIECZOREK, A. J.; VERBONG, G. P. J. The promise of peer-to-peer trading? The potential impact of blockchain on the actor configuration in the Dutch electricity system. **Energy Research & Social Science**, v. 53, p. 194-205, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.02.021>

DAHER, B.; HANNIBAL, B.; MOHTAR, R. H.; PORTNEY, K. Toward understanding the convergence of researcher and stakeholder perspectives related to water-energy-food (WEF) challenges: The case of San Antonio, Texas. **Environmental Science & Policy**, v. 104, p. 20-35, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.020>.

DANŽI, C.; TESTA, G.; STELLA, G.; FOTI, V. T.; TIMPANARO, G. Potential and location of an anaerobic digestion plant using prickly pear biomass in semi-arid Mediterranean environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, p. 119396, 2020. **Error! A referência de hiperlink não é válida.** DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119396>.

DE PAULO, A. F.; PORTO, G. S. Evolution of collaborative networks of solar energy applied technologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 310-320, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.344>.

DI GREGORIO, M.; FATORELLI, L.; PAAVOLA, J.; LOCATELLI, B.; PRAMOVA, E.; NURROCHMAT, D. R.; MAY, P. H.; BROCKHAUS, M.; SARI, I. M.; KUSUMADEWI, S. D. Multi-level governance and power in climate change policy networks. **Global Environmental Change**, v. 54, p. 64-77, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.10.003>.

FALCONE, P. M.; LOPOLITO, A.; SICA, E. The networking dynamics of the Italian biofuel industry in time of crisis: Finding an effective instrument mix for fostering a sustainable energy transition. **Energy Policy**, v. 112, p. 334-348, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.036>

HACKING, N.; FLYNN, A. Networks, power and knowledge in the planning system: A case study of energy from waste. **Progress in Planning**, v. 113, p. 1-37, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.progress.2015.12.001> <https://doi.org/10.1016/j.progress.2015.12.001>.

KHARANAGH, S. G.; BANIHABIB, M. E.; JAVADI, S. An MCDM-based social network analysis of water governance to determine actors' power in water-food-energy nexus. **Journal of Hidrology**, v. 581, p. 124382, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124382>.

KRATZER, A. Biosphere reserves as model regions for sustainability transitions? Insights into the peripheral mountain area Grosses Walsertal (Austria). **Applied Geography**, v. 90, p. 321-330, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.04.003>.

LI, H. X.; PATEL, D.; AL-HUSSEIN, M.; YU, H.; GÜL, M. Stakeholder studies and the social networks of NetZero energy homes (NZEHS). **Sustainable Cities and Society**, v. 38, p. 9-17, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.014>.

- MANDER, S.; CUNNINGHAM, R.; LEVER, L.; GOUGH, C. Comparing Online and Offline Knowledge Networks of Carbon Capture and Storage. **Energy Procedia**, v. 114, p. 7326-7332, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1863>.
- MINAS, A. M.; MANDER, S.; MCLACHLAN, C. How can we engage farmers in bioenergy development? Building a social innovation strategy for rice straw bioenergy in the Philippines and Vietnam. **Energy Research & Social Science**, v. 70, p. 101717, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101717>.
- ORTEGA DÍAZ, A.; GUTIÉRREZ, E. C. Competing actors in the climate change arena in Mexico: A network analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 215, p. 239-247, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.056>.
- PISANI, E.; ANDRIOLLO, E.; MASIERO, M.; SECCO, L. Intermediary organisations in collaborative environmental governance: Evidence of the EU-funded LIFE sub-programme for the environment (LIFE-ENV). **Heliyon**, v. 6, n. 7, p. e04251, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04251>.
- SCHERRER, A.; PLÖTZ, P.; VAN LAERHOVEN, F. Power from above? Assessing actor-related barriers to the implementation of trolley truck technology in Germany. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 34, p. 221-236, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.01.005>.
- SUN, H.; ZHANG, Y.; WANG, Y.; LI, L.; SHENG, Y. A social stakeholder support assessment of low-carbon transport policy based on multi-actor multi-criteria analysis: The case of Tianjin. **Transport Policy**, v. 41, p. 103-116, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.01.006>.
- WILLIAMS, H. T. P.; MCMURRAY, J. R.; KURZ, T.; LAMBERT, H. F. Network analysis reveals open forums and echo chambers in social media discussions of climate change. **Global Environmental Change**, v. 32, p. 126-138, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.03.006>.
- WISHART, R. Class capacities and climate politics: Coal and conflict in the United States energy policy-planning network. **Energy Research & Social Science**, v. 48, p. 151-165, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.09.005>.
- YLÄ-ANTTILA, T.; GRONOW, A.; STODDART, M. C. J.; BROADBENT, J.; SCHNEIDER, V.; TINDALL, D. B. Climate change policy networks: Why and how to compare them across countries. **Energy Research & Social Science**, v. 45, p. 258-265, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.020>.

CAPÍTULO 3

DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL PARTICIPATIVO Y CARTOGRAFÍA SOCIAL EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE LA ENERGÍA EÓLICA

Thomaz Xavier¹

Adryane Gorayeb¹

Christian Brannstrom^{1,2}

Resumen

Existen reportes de diferentes impactos socioambientales que involucran poblaciones cercanas a los emprendimientos. En este sentido, es importante establecer metodologías cualitativas que analicen los impactos sociales y ambientales de la implementación de parques eólicos, a nivel comunitario, a partir de las percepciones de los pobladores que viven cerca de estos emprendimientos. Aquí demostramos la posibilidad de que el Diagnóstico Socioambiental Participativo (DSP) funcione a través del uso de FODA (Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas) y mapas sociales. Entre los datos que se pueden adquirir y que ya han sido registrados en estudios previos, destacan: área con interés cultural, simbólico y económico en lugares cercanos a parques eólicos; lugares de pesca y zonas de cultivo; rutas de salida y retorno de embarcaciones artesanales, en el caso de parques eólicos *offshore*; bloqueos de caminos utilizados históricamente por los habitantes, cerrando el acceso a lagos utilizados para el ocio y la pesca, en el caso de los parques eólicos *onshore*. La relevancia del DSP para la comprensión de los impactos a nivel comunitario es clara y el uso de metodologías participativas puede contribuir al establecimiento de proyectos más alineados con la realidad socioambiental local. Cabe señalar que la información presentada en los mapas sociales y matrices FODA, así como en otros enfoques participativos, presenta limitaciones que deben ser reconocidas. Los resultados transmiten la opinión geoespacial de una parte de la sociedad y, debido a eso existe la posibilidad, aunque

1 Universidad Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil. thomwillian@gmail.com

2 Texas A&M University (TAMU), College Station, Estados Unidos.

sea mínima, de que los procedimientos adoptados proporcionen datos no válidos y poco fiables por tratarse de un fenómeno social que depende de diferentes procesos.

Palabras clave: Cartografía social. Justicia. Impactos socioambientales. Matrices FODA. Energía eólica.

Introducción

Los enfoques socioambientales aplicados a la descarbonización necesitan metodologías participativas para que podamos avanzar hacia una descarbonización justa, que no implique el despojo de las comunidades cercanas a la infraestructura energética necesaria (SOVACOOOL *et al.*, [2021](#)). Sin embargo, en el contexto brasileño, los trabajos que abordan estas metodologías cualitativas en el escenario de la energía eólica son incipientes. Así, este capítulo busca (1) atender la necesidad de avances en los estudios brasileños sobre metodologías participativas que destaquen los potenciales impactos socioambientales directos e indirectos de los parques eólicos, con el objetivo de producir datos para la correcta definición del área del proyecto; (2) destacar el reconocimiento de cuáles serán las posibles interferencias en la vida cotidiana de las comunidades receptoras; y (3) desarrollar la necesidad de metodologías para la producción de datos socioambientales, con el objetivo de proporcionar conocimientos que subsidien el desarrollo equitativo del sector eólico brasileño. Específicamente, demostramos la posibilidad de actuación que el Diagnóstico Socioambiental Participativo (DSP) a través del uso de FODA (Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas) y mapas sociales. El trabajo aquí propuesto buscó combinar el empleo de la Cartografía Social con matrices de prioridad como propuesta metodológica del DSP previsto en el Término de Referencia (TR) estándar para licenciamiento ambiental específico para proyectos eólicos marinos (IBAMA, [2020](#)).

Es relevante indicar estrategias de desarrollo sostenible de la matriz eólica nacional (*onshore* y *offshore*) que puedan ser adoptadas y que se basen en paradigmas de equidad social. En este capítulo sugerimos un enfoque de investigación cualitativo a través de la metodología propuesta (DSP), como una forma de identificar las principales características y necesidades de las comunidades receptoras de parques eólicos e incorporarlas a las rutinas de planificación y operación de estos emprendimientos. Es importante destacar que, en la literatura brasileña e internacional, existen pocos trabajos que aborden estas metodologías en el análisis de impactos socioambientales de proyectos de energías renovables. Citamos como estudio preliminar la publicación del capítulo de Xavier, Gorayeb y Brannstrom ([2020](#)), en el libro *Geografía Marina: Océanos y Costas en la Perspectiva de los Geógrafos*, y el [capítulo 16](#) de este trabajo.

Diagnóstico Socioambiental Participativo (DSP)

Las personas tienen derecho a participar en la toma de decisiones de las intervenciones planificadas que afectarán sus vidas. El conocimiento y las experiencias locales son valiosos y pueden utilizarse para mejorar tales intervenciones (VANCLAY, 2003; PUZATCHENKO, 2006). La centralidad del proceso debe girar en torno a la preocupación por los efectos en la vida cotidiana de quienes verán modificadas sus actividades comunes, siendo el propio conocimiento local el medio para sortear/minimizar las negatividades y, principalmente, potenciar los beneficios (REILLY; O'HAGAN; DALTON, 2016).

Vanclay *et al.* (2015) refuerzan que el uso de enfoques y métodos participativos, además de brindar una mejor comprensión de los valores, conocimientos y experiencias locales, promueve: (a) oportunidad para la validación de datos; (b) ayudar a las comunidades afectadas a comprender la intervención planificada y sus implicaciones, ayudándolas a planificar cambios para adaptarse más fácilmente y lidiar con los impactos probables; (c) posibilidad de subsidios para resolver conflictos por el uso de los recursos; (d) asistencia para mejorar el *design* del proyecto y obtener el apoyo de la comunidad para los objetivos y la implementación del proyecto (es decir, una “licencia social para operar”), evitando así la acción de protestas contra el proyecto, el desgaste psicológico provocado por el estrés, etc. Se entiende que tal licencia no debe entenderse como un acto permisivo ingenuo. Sin embargo, con el uso de metodologías apropiadas para la participación, debe entenderse como un medio para promover la inclusión real de los residentes locales, lo que presupone la firma de acuerdos, cuando sea posible, para apoyar las aspiraciones de las comunidades. Esto incluye la apertura de espacios de diálogo a lo largo del proceso. Además, los procedimientos participativos no deben entenderse como un medio completo para resolver todos los problemas asociados, sino como un “proceso diferenciado de relaciones humanas, (...) de construcción compartida de conocimiento entre agentes externos y grupos sociales impactados por un emprendimiento” (GOMES, 2001, p. 67).

Por lo tanto, se entiende que los diagnósticos participativos pueden ser utilizados con mayor fuerza para promover un reconocimiento robusto de la realidad local. Las herramientas participativas se convierten entonces en medios para involucrar a las poblaciones potencialmente afectadas, demostrando una capacidad de articulación, a diferencia de los procesos no participativos, que terminan segregando a las comunidades locales (FARIA; SILVA, 2017). Las personas tienden a demostrar una mayor aceptabilidad de los proyectos, cuyas acciones los involucran desde las etapas iniciales (concepción del proyecto) hasta las fases de seguimiento, o incluso durante el retiro del emprendimiento - desmantelamiento – cuando ese existe (KVAM, 2018).

Al mismo tiempo, el proceso de aceptación no debe reducirse únicamente a metodologías de convencimiento a las comunidades locales, por el contrario, carece del

uso de los medios necesarios para una comunicación efectiva para que las poblaciones puedan saber lo que realmente se avecina.

Con respecto a los países en desarrollo, como Brasil, anticipar impactos a través de procesos participativos es, según Ab'Saber (2006), un instrumento para: revelar condiciones de autosuficiencia en el reconocimiento del territorio; señalar la fuerza de la presión social sobre el buen uso de los instrumentos jurídicos, garantizar la calidad ambiental y la ordenación del territorio; y evaluar el potencial de la legislación disponible, con posibilidad de aplicación en casos prácticos.

Según Sánchez (2013), se han utilizado algunos enfoques complementarios para definir temas relevantes en los procesos de estudios de impacto, estos son: la importancia de los recursos naturales o culturales y la vulnerabilidad que presentan las comunidades humanas potencialmente afectadas, la experiencia profesional de analistas y opinión pública y conocimiento local. En este sentido, el autor informa que “la opinión pública necesita ser recolectada con técnicas adecuadas y ser ‘traducida’ o transformada en lineamientos [...]” (SÁNCHEZ, 2013, p. 168, énfasis agregado). Sin embargo, en la práctica, los modelos de inclusión social no se han llevado a cabo de manera eficiente (HANNA *et al.*, 2014; FARIA; SILVA, 2017; KVAM, 2018).

En cuanto al uso de matrices cualitativas para diagnósticos participativos, se utilizan principalmente en análisis relacionados con temas territoriales y en el estudio de factores socioambientales. Verdejo (2006) presentó el Diagnóstico Rural Participativo (DRP) con el objetivo de asegurar la participación de los beneficiarios de la Política Nacional de Asistencia Técnica y Extensión Rural (Pnater) en todas las etapas de su desarrollo. Guimarães, Lourenço y Lourenço (2007) ofrecieron una guía metodológica para la aplicación de diagnósticos participativos, con el objetivo de identificar restricciones y oportunidades para el desarrollo de sistemas de producción rural.

En cuanto al uso de diagnósticos participativos en conjunto con la elaboración de cartografías participativas, como las aquí reivindicadas, Meireles y Gorayeb (2014) reportan su uso en experiencias relacionadas con estrategias metodológicas para la elaboración de mapas sociales por parte de comunidades afectadas por obras proyectadas para la Copa del Mundo de 2014, en Fortaleza.

El diagnóstico socioambiental participativo aparece en el contexto de la Instrucción Normativa N° 2 de 27 de marzo de 2012 (BRASIL, 2012). Así, la Guía para el Desarrollo de Programas de Educación Ambiental en Licencias Ambientales Federales - GEPEA-LAF (BRASIL, 2019) informa que la DSP presenta resultados sistematizados, a partir de la aplicación de un conjunto de procedimientos metodológicos participativos con capacidad de recoger y proporcionar los análisis de datos primarios entre grupos, individuos y segmentos sociales, dentro del área de influencia del emprendimiento, cuya identificación se realiza en estudios ambientales. Además, se menciona que el DSP debe poder “actualizarse y/o adaptarse, siempre que el empresario lo considere necesario o lo solicite el organismo licenciador” (MMA, 2019, p. 13).

Según GEPEA-LAF (MMA, 2019, p. 14), los principales objetivos del DSP son:

I. Identificar y caracterizar los problemas y conflictos ambientales que estén directa o indirectamente relacionados con los impactos generados por los emprendimientos;

II. Identificar y caracterizar los problemas y conflictos ambientales que no están relacionados con los impactos de los emprendimientos;

III. Identificar y caracterizar el potencial socioambiental presente en los lugares objeto del diagnóstico;

IV. caracterizar los sujetos prioritarios de la acción educativa e identificar acciones y proyectos de educación ambiental no formal en el área de estudio;

V. Identificar socios potenciales para el desarrollo del proyecto.

En este contexto, con el objetivo de la correcta aplicación de la legislación vigente en el ámbito de la LAF, el trabajo adaptó el análisis FODA (denominado Matriz FODA, o simplemente FODA) como herramienta auxiliar en la construcción del diagnóstico socioambiental participativo previsto en la concesión de licencias de emprendimientos con un considerable potencial degradante, como es el caso de los emprendimientos energéticos.

Matriz FODA

El análisis FODA consiste en cruzar las informaciones en cuatro ejes, con el fin de obtener un marco que permita trazar estrategias importantes para el futuro de una organización (CHIAVENATO, [2003](#)), es decir, una matriz de prioridades. El término FODA se refiere a Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats*), respectivamente. Aunque la literatura internacional lo atribuye a la Universidad de Stanford, el lugar de concepción de esta herramienta es incierto (FRIESNER, [2011](#)). En su génesis, hace al menos cincuenta años, la herramienta estuvo exclusivamente ligada a la gestión de corporaciones como mecanismo de diagnóstico empresarial, principalmente para la construcción de estrategias encaminadas a mejorar los procesos de las organizaciones (HELMS; NIXON, [2010](#)). Los autores afirman que

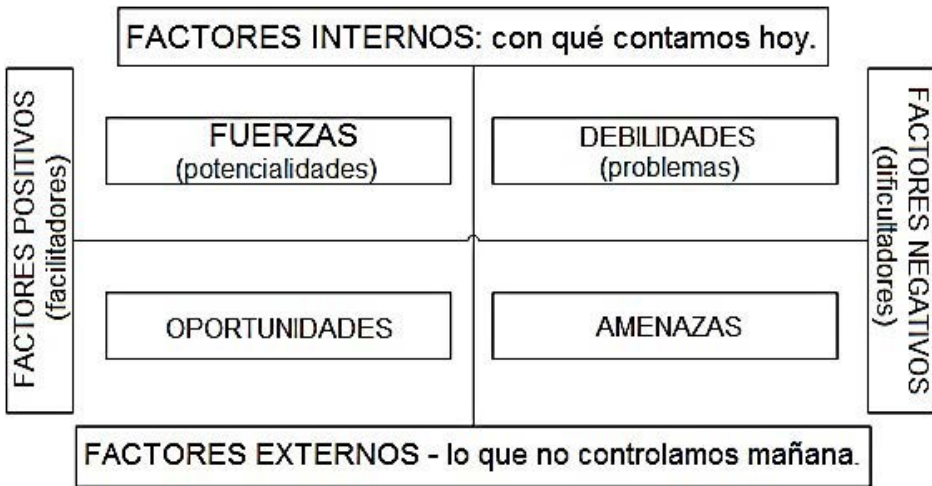
su simplicidad y acrónimo atractivo perpetúa su uso en los negocios y otros sectores, ya que la herramienta se utiliza para evaluar alternativas y situaciones de decisión complejas (HELMS; NIXON, [2010](#), p. 216, nuestra traducción).

Es una herramienta que permite la construcción de indicadores internos y externos de forma rápida, a partir de una lluvia de ideas sobre el organismo de análisis. Tal organismo puede ser una empresa, una sociedad, una comunidad, un sector en particular, etc. Su elaboración puede provenir de maneras colectivas/participativas o individualmente desde la perspectiva del investigador/desarrollador (YAVUZ; BAYCAN, [2013](#)). De acuerdo con Buarque ([2002](#)), la información producida a través

del FODA puede ayudar en la preparación y estructuración de los datos cualitativos adquiridos, señalando dónde está la organización ahora y hacia dónde puede ir en el futuro. También según el autor, las herramientas utilizadas como técnicas de planificación, como el caso de FODA, deben ser vistas como medios que no agotarán todos los elementos existentes, sino como componentes que apoyarán el tratamiento de la información preliminar, permitiendo mejores rumbos.

Al ser una herramienta que permite la recopilación de ideas de manera participativa, los puntos positivos y negativos, internos y externos del FODA, sacan a la luz perspectivas reales de los actores sociales involucrados en el proceso (YAVUZ; BAYCAN, 2013). La [Figura 1](#) muestra brevemente las relaciones de información producidas por FODA.

Figura 1 - Diagrama de afinidad de las informaciones desde la perspectiva de las Matrices FODA y sus relaciones con factores internos y externos, positivos y negativos



Fuente: Adaptado de Buarque (2002).

Los factores internos están directamente relacionados con la estructura del organismo analizado. Los externos, en cambio, se refieren a elementos que no le son inherentes, pero que presentan un mínimo de afinidad por su configuración y dinámica. Al mismo tiempo, el diagrama de afinidad se divide entre factores negativos y positivos. Según Buarque (2002), dependiendo del contexto analizado, tales factores resaltarán los elementos que dificultan (negativos) o facilitan (positivos) la búsqueda del desarrollo del organismo en cuestión.

Las fuerzas (internas) y las oportunidades (externas) son factores positivos. En las fuerzas se enumeran, básicamente, los puntos que dan consistencia a la estructura organizacional en cuestión. Es decir, todas las posibles razones que motivan su existencia.

Las oportunidades, por su parte, están relacionadas con acciones que potencialmente pueden ampliar las ganancias del organismo en sus direcciones actuales y futuras, cuya iniciativa pertenece a organizaciones/sujetos externos.

Por otro lado, en los factores negativos se encuentran las debilidades (internas) y las amenazas (externas). En las debilidades se enumeran los problemas que comprometen la estructura actual y que son necesariamente tangibles para el organismo. Es decir, factores que están directamente asociados a miembros y estructuras internas. Las amenazas, por su parte, son todas las iniciativas que pueden causar problemas por parte de organismos externos, comprometiendo su funcionalidad. Las amenazas suelen presentarse en una perspectiva futura, ya sea a corto o largo plazo (BUARQUE, 2002).

En el caso aquí analizado, es decir, análisis de impactos socioambientales potenciales, se entiende que el FODA puede ayudar en la producción de información sobre las comunidades cercanas a las áreas de los parques eólicos, indicando posibles prioridades y temas a considerar en el alcance de prospección de impactos y en la producción de evidencias sobre el uso de los territorios. Los factores negativos pueden converger al énfasis de los puntos débiles de los potenciales impactos que las comunidades sufrirán con la inserción del proyecto, posibilitando la comprensión de los dominios sinérgicos y más sensibles. Además, las amenazas pueden brindar una comprensión integral de la posible acumulación de impactos negativos con otros riesgos potenciales a escala local y regional. Los factores positivos, por otro lado, se inclinan hacia los beneficios potenciales que se pueden maximizar durante las diferentes fases de los proyectos.

En este sentido, el proponente y el poder público, a través de los reguladores y licenciantes, pueden utilizar la información obtenida por la matriz para promover decisiones más asertivas en diferentes áreas de proyectos energéticos (VIEGAS; MONIZ; SANTOS, 2014). Un ejemplo, agregando a esta idea, son las medidas compensatorias. La definición de modelos compensatorios, a través de información que imprima las aspiraciones de las comunidades involucradas, puede llenar los vacíos existentes en la promoción de compensaciones que agregan valor social directo (CAROLINO, 2017) y que, en cierto nivel, pueden tocar temas relacionados con la justicia distributiva.

Aplicaciones de matrices FODA en contextos socioambientales

La aplicación del FODA ha proporcionado una gestión eficaz en diferentes dominios socioambientales. Yavuz y Baycan (2013) lo utilizaron, junto con AHP (Analytic Hierarchy Process), para encontrar, a través de las percepciones de los habitantes locales, las mejores estrategias para la gestión de la cuenca hidrográfica del Lago Beysehir en Turquía. Según los autores, las herramientas proporcionaron: (1) apoyo para las opciones de planificación que encuentran el punto óptimo entre el valor económico y el valor ambiental; (2) posibilidad de desarrollar directrices para una colaboración efectiva entre los *stakeholders*, reduciendo así los conflictos; (3)

proporcionar un proceso de toma de decisiones simple, transparente y rápido; y (5) disposición de *insights* sobre lo que se puede hacer para aumentar la probabilidad de éxito en la gestión (YAVUZ; BAYCAN, 2013).

El trabajo de Bull *et al.* (2016) empleó el FODA para evaluar la estructura de aplicación de los servicios ecosistémicos, a partir de la aplicación de un cuestionario en Internet con la red de investigadores YESS (*Young Ecosystem Services Specialists*). Según los autores, la herramienta pudo identificar cinco áreas estratégicas para el desarrollo e implementación de los servicios ecosistémicos.

Almasi, Milow y Zakaria (2018), al agregar métodos cuantitativos en el análisis FODA producido, demostraron un modelo eficiente de múltiples partes interesadas, lo que resultó en 16 estrategias para la gestión de bosques de manglares en la isla Carey (Pulau Carey, Malasia). Según los autores, el análisis permitió definir 4 estrategias “más importantes”, cuyos objetivos “estaban relacionados con la capacitación, involucramiento y participación de los *stakeholders* locales en el proceso de conservación de los bosques” (p. 295).

Aún es posible encontrar, en la literatura, el uso de esta herramienta en la investigación de la aptitud de áreas de parques eólicos *offshore* para la actividad acuícola (MEE, 2006). Si bien se sabe que, empíricamente, la acuicultura tiene características diferentes a la pesca artesanal, tal información permite inferir, por ejemplo, las posibilidades de interferencia o beneficio de la inserción del parque eólico sobre los peces y las actividades pesqueras. A través de la matriz FODA disponible abajo (Cuadro 1), es posible visualizar factores relacionados con la capacidad de coexistencia de ambas actividades en un mismo lugar. Es importante destacar que, para su construcción, el autor, primero elaboró matrices FODA individuales para parques eólicos *offshore* y para acuicultura en el Reino Unido (MEE, 2006). La investigación se llevó a cabo en un periodo en el que se iniciaba la actividad eólica marítima en el contexto del Reino Unido. Aunque hay particularidades intrínsecas a cada región, tal análisis puede correlacionarse con el momento actual de la inserción de parques eólicos *offshore* en Brasil.

Cuadro 1 - Matriz FODA sobre la inserción de la acuicultura en áreas de Parques Eólicos Offshore en el Reino Unido

Strengths (Fuerzas)	Weaknesses (Debilidades)
<ul style="list-style-type: none"> - Maximizar la producción por unidad de área en el mar es de interés para cualquier nación; - Reducción del impacto de los parques eólicos <i>offshore</i> en el sustento de los pescadores; - La falta de sitios de acuicultura en aguas costeras crea la necesidad de nuevos sitios; - La sustentabilidad del parque eólico depende de su convivencia con otros usuarios rentables del mar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sin antecedentes. - Un problema legislativo, ya que la Corona Británica - propietaria de los fondos marinos- prohíbe cualquier otra actividad lucrativa de los parques eólicos en la zona arrendada. - El desarrollo de parques eólicos es supervisado por gerentes <i>offshore</i> y gerentes ambientales que no tienen un conocimiento de dominio específico en acuicultura. Por lo tanto, es difícil para ellos entender que el equipo de acuicultura no tiene por qué interferir con la operación del parque eólico. - El equipo de acuicultura tradicional no es adecuado para los parques eólicos.
Opportunities (Oportunidades)	Threats (Amenazas)
<ul style="list-style-type: none"> - Ejemplo de implementación del enfoque ecosistémico y la planificación territorial marino (Proyecto piloto del mar de Irlanda en 2004). - Se pueden incrementar los ingresos por el arrendamiento de la superficie de los parques eólicos. - Las objeciones de la comunidad pesquera al desarrollo de parques eólicos pueden gestionarse proporcionando empleo. - La planificación del espacio marino requiere la coexistencia de tantas actividades como sea posible dentro de un espacio determinado. La acuicultura en áreas de parques eólicos es mejor que pescar, transportar o extraer agregados marinos, que son actividades no estáticas y, por lo tanto, molestaría la operación segura del parque eólico. 	<ul style="list-style-type: none"> - El conflicto con la pesca, el transporte marítimo y otros usuarios lucrativos del mar es inminente una vez que se permita la acuicultura dentro de los parques eólicos. - Este es un nuevo concepto que debe pasar por pruebas semicomerciales antes de que se pueda llevar a cabo una producción comercial a gran escala. - Existe un vacío legal, ya que, la Corona Británica no tiene una política para la planificación espacial marino (PEM) y otras actividades económicas dentro de los parques eólicos. Esto desanimará a los nuevos inversores. - Los financiadores requieren ejemplos de acuicultura en tiempo real en parques eólicos antes de poder financiar dichos proyectos.

Fuente: Adaptado de MEE (2006).

En el contexto de las comunidades pesqueras, Viegas, Moniz y Santos (2014) afirman que la aplicación del FODA “proporciona información privilegiada, [es] un pilar del pensamiento estratégico: ‘enfócate en las fortalezas, reconoce las debilidades, captura las oportunidades y protégete de amenazas’” (p. 258, nuestra traducción). Los autores evaluaron la contribución de los pescadores artesanales de pequeñas comunidades de la costa de Portugal a la gestión sostenible e integrada de la zona costera. A través de diálogos y entrevistas semiestructuradas, los autores desarrollaron matrices FODA para dos grupos: pescadores artesanales (“*Artisanal Fishermen*”) y asociativismo (“*Associativism*”).

La herramienta logró evidenciar que los pescadores artesanales atravesaban un momento turbulento en el periodo en que se realizó la investigación. Entre las conclusiones, señalan que el uso de la herramienta permitió la inclusión de los pescadores en la gestión de la zona costera de Portugal, convirtiéndose en un medio para reconocer y prevenir futuros problemas. Además, el empleo del FODA demostró que la participación de los pescadores en las asociaciones locales permitió ejercer una mayor articulación con las autoridades públicas. El trabajo realizado también demostró la necesidad de desarrollar procedimientos vinculados a la matriz FODA de manera que se promueva la constante actualización de la información obtenida, ya que, según los autores, la dinámica socioambiental existente en la zona costera sufre cambios constantes con el paso del tiempo.

A través de talleres, Cruz-González *et al.* (2018) utilizaron el DRP, con la ayuda de FODA, para analizar, con base en las gestiones comunitarias lideradas por pescadores locales, la evolución del manejo de las pesquerías de ostras a lo largo de la costa de Nayarit, México. El uso de FODA buscó evaluar factores sobre empresas privadas e industrias pesqueras en la región. Además, emplearon técnicas de mapeo participativo, cuyo material produjo información complementaria sobre las zonas de pesca más importantes a lo largo del año para los pescadores participantes.

Dicho esto, el uso de FODA en el universo aquí trabajado, puede avanzar en la producción de conocimiento al evaluar sus factores internos y externos para luego analizar los impactos socioambientales potenciales de los proyectos eólico-energéticos. Esencialmente, buscamos entender si el método antes mencionado puede servir como modelo en este proceso, permitiendo su empleo en situaciones correlacionadas. Además, el método tiene la ventaja de la simplicidad, el bajo costo de aplicación, la flexibilidad, la capacidad de integrar información y fomentar la colaboración desde diferentes perspectivas de la organización. Cabe señalar la existencia de vacíos en la literatura en cuanto al empleo de metodologías cualitativas y cuantitativas en el ámbito antes mencionado, lo que hace que la investigación sea original.

Mapeo participativo

El conocimiento espacial es un factor determinante en el dominio de los individuos sobre el lugar donde habitan. No solo por la provisión de información sobre sitios específicos, sino también por los significados y experiencias que las personas y comunidades tienen con el espacio (AKBAR *et al.*, 2020). Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Cartografía no es únicamente una de las herramientas básicas del desarrollo económico, sino que es la primera herramienta que se utiliza antes de trabajar con otras (ONU, 1949). En este sentido, la Cartografía Social (CS), a través de procedimientos que definen límites y áreas apreciadas por quien la práctica, imprime conexiones espaciales que generalmente no son consideradas por los métodos

comúnmente empleados. En otras palabras, reconstruye las tendencias históricas de las formas de manifestación de las relaciones de producción y reproducción social en diferentes ámbitos, ocurriendo a través de la reconstrucción de territorios y la apropiación de los recursos naturales disponibles.

En este sentido, esta rama cartográfica surge con la percepción de que los mapas influyen en la concepción de la identidad socioespacial, como señala Pickles (1999), presentando un potencial para el pensamiento crítico desde su idea inicial. Para Gorayeb, Meireles y Silva (2015), el mapa no es solo el fin, siendo a la vez objetivo y producto. Se convierte también en principio y medio, y sus motivaciones, procesos, etapas y representaciones son fundamentales en la elaboración del proceso.

AcseLRAD (2008) destaca que la CS posibilita que los grupos identifiquen elementos, comprendan fenómenos y representen espacialmente la realidad en la que viven bajo sus propias percepciones. Los mapas sociales se han convertido así en instrumentos contemporáneos de movilización en la medida en que presentan una alternativa en la comprensión de la realidad, la representación espacial y la conducta propositiva para el territorio. Es decir, en “contextos territoriales conflictivos y procesos localizados de organización de sujetos de grupos sociales y étnicos subalternos” (ACSELRAD; COLI, 2008, p. 24).

En esencia, se practica como contestación a los modelos hegemónicos, siendo una concepción territorial en la que las relaciones de poder se transforman a través de la participación de quienes habitan los territorios, cuyo interés colectivo se esfuerza por orientar políticas (ALBERDI, 2012), programas, planes y /o proyectos. Según Gorayeb, Meireles y Silva (2015), la CS, privilegia la constitución de saberes populares, simbólicos y culturales bajo los principios de lo colectivo, permitiendo que diferentes grupos sociales expresen sus ambiciones y voluntades. Además, promueve la eficiencia en la participación pública durante el proceso de su elaboración, debido a las interacciones entre los habitantes locales, permitiendo la potencialización de intercambios de conocimientos sobre el lugar donde habitan (ACSELRAD; COLI, 2008). Al respecto, AcseLRAD (2008) afirma que la participación en la producción de mapas fue una de las principales razones de la génesis de este campo cartográfico, ya que permite que los sujetos de representación tengan una relación directa con el poder de mapear. Así, su apropiación ha mostrado el potencial para darse en contextos de conflictos, impactos, demandas sociales y planificaciones participativas.

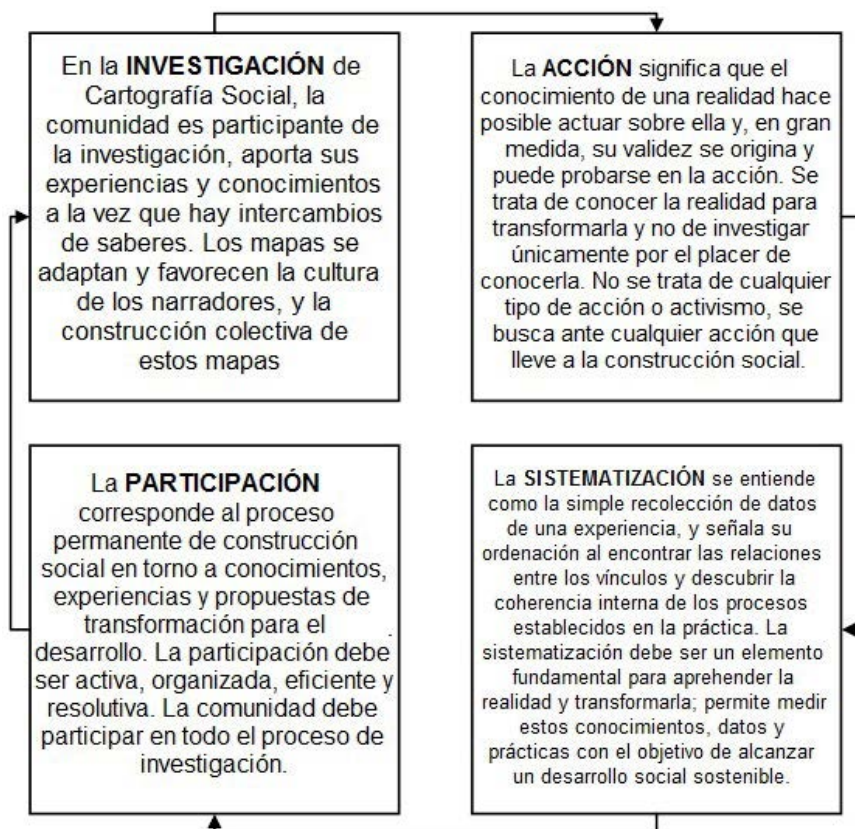
También es de destacar que fue debido a la constante expansión de los espacios y la diversificación de las formas de representarlos que se constituyó el campo de representación de la Cartografía Social (ACSELRAD, 2008). En este sentido, “es un hecho que tener información geográfica significa no solamente hacer valer su autoridad, sino también proteger la riqueza, cuidando que nadie más se apodere de ella (...)” (ACSELRAD, 2008, p. 10). La toma de posesión de un determinado espacio geográfico o incluso de información geográfica sobre un respectivo territorio,

se entiende aquí como cualquier forma con el potencial de perturbar las necesidades y deseos de quienes, histórica y originariamente, disfrutaban de ese espacio. De esta manera, las prácticas de mapeo participativo sustentadas en la Cartografía Social legitiman usos en el territorio, brindando sólidos argumentos contra intentos de apropiaciones indebidas y/o no deseadas.

Para Corbett *et al.* (2006), la producción cartográfica participativa puede darse por diferentes medios: cartografía efímera; cartografía a escala; croquis de cartografía; modelado 3D; fotomapas; sistemas multimedia; Sistema de Información Geográfica (SIG), etc. Según los autores, se entiende que el acto de esbozar, en la Cartografía Social, significa imprimir relaciones espaciales a partir de las observaciones y/o la memoria de quienes las practican. La cartografía a escala, al igual que los fotomapas, utiliza una base cartográfica preestablecida, que produce información y datos a partir de referencias geográficas y escalas relativamente exactas, lo que permite la comparación con otros mapas y la generación de datos georreferenciados. Las cartografías de esbozo y de escala, junto con SIG e imágenes satelitales (fotomapas), fueron adoptadas como prácticas cartográficas durante la aplicación metodológica de esta investigación, asumiendo que la unión de estas técnicas puede permitir avances en la producción de información espacial en el ámbito del análisis de los impactos potenciales de los parques eólicos.

Por los avances teórico-prácticos que se pretenden en esta investigación, es importante destacar que el marco metodológico que fundamenta la producción de la SC parte de la Investigación-Acción-Participativa sustentada en el concepto de territorio (POPAYAN, 2005). La [Figura 2](#) presenta las respectivas definiciones en este modelo de investigación.

Figura 2 - Organigrama de las etapas de la investigación-acción-participativa



Fuente: Adaptado de Popayán (2005) y Costa *et al.* (2016).

Así, durante la producción cartográfica, corresponde al investigador actuar como agente facilitador en el proceso de articulación comunitaria (HERLIHY; KNAPP, 2015; COSTA *et al.*, 2016). La acción debe conducir a los participantes a través de medios que faciliten la construcción de los esbozos del mapa. Al mismo tiempo, al utilizar mapas con referencias geográficas, es fundamental que, por un lado, se dé preferencia a la elaboración de piezas técnicas que faciliten el contacto de los participantes con los productos y, por otro lado, que no comprometa la soberanía de los participantes sobre la información proporcionada.

Herlihy y Knapp (2015, p. 304-305, nuestra traducción) afirman que:

La metodología de investigación participativa gira en torno a intercambios dialécticos entre “representantes de la comunidad” e “investigadores participativos”. Los representantes de la comunidad, llamados “investigadores locales” y “expertos en conocimiento local”,

aportan su propia experiencia a la empresa y trabajan directamente con los investigadores. Los investigadores participativos, llamados “facilitadores”, “asistentes técnicos” o “investigadores”, ayudan a los actores locales a articular sus objetivos en proyectos de investigación apropiados. Deben reconocer y respetar las habilidades de la población local para producir datos y comprender la investigación. Idealmente, debería haber un entendimiento recíproco entre los investigadores y los representantes de la comunidad acerca de las capacidades y limitaciones de cada uno para diseñar una metodología que use, pero no sobreestime, las habilidades y los recursos disponibles.

En este contexto, debe tenerse en cuenta la simbolización – símbolos que representan relaciones territoriales a partir de la percepción de los actores sociales – debe ser considerada como un medio por el cual los actores locales expresarán sus identidades territoriales. Además de ser utilizado como medio para oponerse a las acciones hegemónicas de los decisores con cargas negativas e injustas, el mapeo participativo, basado en la Cartografía Social, puede servir como instrumento de apoyo para la consolidación de las dinámicas existentes y la materialización de los territorios (ACSELRAD; COLI, [2008](#); JOLIVEAU, [2008](#)).

Fiabilidad y validez de la investigación cualitativa

Para Morse *et al.* ([2002](#)) la naturaleza de la verificación en la investigación cualitativa sigue el proceso de verificación, confirmación, certificación de los datos adquiridos. En general, los autores informan que “la verificación se refiere a los mecanismos utilizados durante el proceso de investigación para contribuir progresivamente a garantizar la confiabilidad y validez y, por lo tanto, el rigor de un estudio” (MORSE *et al.*, [2002](#), p. 17, nuestra traducción). Aún en esta lógica, informan que:

La investigación cualitativa es interactiva y no lineal, por lo que un buen investigador cualitativo avanza y retrocede entre el *design* y la implementación para garantizar la congruencia entre la formulación de preguntas, la literatura, el reclutamiento, las estrategias de recopilación de datos y el análisis. Los datos se verifican sistemáticamente, se mantiene el enfoque y el ajuste de datos y el análisis conceptual y el trabajo de interpretación se supervisan y confirman constantemente. Las estrategias de verificación ayudan al investigador a identificar cuándo continuar, detener o modificar el proceso de investigación para lograr confiabilidad y validez y asegurar el rigor. (MORSE *et al.*, [2002](#), p. 17, nuestra traducción).

Así, se entiende que la confiabilidad, “por su proceso de contextualización y flexibilidad, está relacionada con la consistencia de las articulaciones teóricas,

metodológicas y empíricas propuestas en el estudio” (ULLRICH *et al.*, 2012, p. 22). La validez, a su vez, entendida como la cualidad inherente en que la información produce los resultados esperados, en el contexto de la investigación cualitativa, puede definirse desde la lógica transaccional según Cho y Trend (2006, p. 321), es decir, como

un proceso interactivo entre el investigador, lo investigado y los datos recolectados que pretende alcanzar un nivel relativamente mayor de precisión y consenso a través de la revisión de hechos, sentimientos, experiencias y valores o creencias recolectados e interpretados.

Como una forma de ofrecer una síntesis, el Cuadro 2 ofrece ideas clave para aplicar la confiabilidad y la validez en la investigación participativa, con preguntas relevantes que los investigadores deben responder durante el diseño metodológico de la investigación, antes de ir al campo.

Cuadro 2 - Síntesis práctica de confiabilidad y validez en investigación

Fiabilidad		Validez	
Criterio	Descripción y operacionalización del criterio en la investigación cualitativa	Criterio	Pregunta
Descripción detallada	Descripción detallada de las situaciones delimitadas. Descripción del marco espacio-temporal del estudio, así como destacando las categorías de análisis en discusión.	Credibilidad	¿Los resultados de la encuesta reflejan la experiencia de los participantes o el contexto?
Duración de la estancia en el campo	Estancia en el campo en el tiempo, permitiendo captar las dinámicas sociales de forma longitudinal y transversal.	Autenticidad	¿La representación muestra preocupación con las diferencias de voces entre los participantes?
Saturación teórica	Búsqueda de los autores en el sentido de centralizar las discusiones teóricas.	Crítica	¿El proceso de investigación muestra enfoques críticos?
Triangulación de datos	Uso de diferentes estrategias de recolección y análisis de datos.	Integridad	¿La investigación reflexiona de forma recursiva y repetitiva sobre la validez del estudio?
Reproducción y evaluación de análisis.	Difusión y evaluación de análisis entre los pares.	Claridad	¿La investigación tiene decisiones metodológicas, interpretativos y sesgos de investigador explícitas?

Transparencia	Descripción detallada de todos los procedimientos utilizados en la investigación empírica y construcción teórica.	Vivacidad	¿Las densas descripciones son fieles y retratadas con astucia y claridad?
Limitación de búsqueda	Exposición de las limitaciones de la investigación.	Creatividad	¿Tiene el estudio una forma creativa de organizar, presentar y analizar los datos?
Coherencia	Coherencia entre los datos empíricos y la teoría que se está construyendo.	Profundidad	¿Los resultados abordan los temas de trabajo de manera integral y saturada?
Exploración de significados	Exploración de significados y fenómenos relacionados con el campo donde se realiza el estudio.	Congruencia	¿Son congruentes el proceso de investigación y los hallazgos? ¿Los temas encajan juntos? ¿Los resultados se ajustan al contexto?
Reflexividad	Articulación de las propuestas de estudio a la realidad social donde se desarrolla: reconociendo las diferentes posibilidades teórico-empíricas de análisis, y situando sociohistóricamente las elecciones realizadas por el investigador.	Sensitividad	¿La investigación fue sensible a la cultura, los contextos sociales y la naturaleza humana?

Fuente: Ullrich *et al.* (2012).

El Cuadro 3, a continuación, presenta diferentes criterios que se pueden observar para asegurar la confiabilidad y validez en la investigación cualitativa. Según Ullrich *et al.* (2012), los criterios de confiabilidad son aspectos a considerar según el contorno metodológico adoptado, no siendo necesario considerar todos los puntos enumerados. En la tercera columna, reflexionamos sobre cómo nuestro equipo aplicó criterios de confiabilidad y validez en el trabajo de campo. Destacamos que existe una aplicación precisa de la reflexión continua dentro del equipo de investigación.

En cuanto a los criterios de validez, los autores demuestran que deben ser considerados, en la medida de lo posible, ya que orientan en la elaboración de los trabajos. Más adelante, se explican los procedimientos adoptados para generar confiabilidad y asegurar validez en los datos de la investigación.

Cuadro 3 - Criterios de confiabilidad y validez en la investigación cualitativa, con aplicación a la cartografía social y FODA

Criterio de fiabilidad	Criterios de validez	Aplicación a la Cartografía Social y FODA
Descripción detallada	Credibilidad	Creación de un guión estructurado con preguntas de partida que guían el proceso de recolección de datos y <i>check list</i> con temas esenciales que deben ser abordados durante el proceso de construcción de mapas y matrices, interrelacionándolos con las categorías de análisis que guían la investigación. Exposición del corte espacio-temporal analizado.
Duración de la estancia en el campo	Autenticidad	Construcción colectiva, con representantes de los grupos focales, de un calendario que identifique los mejores momentos para reunir a los pescadores (generalmente por la tarde o noche, de lunes a sábado) y el tiempo dedicado a las reuniones (unas tres horas y media como máximo). Permitir la amplia participación de los diferentes colectivos existentes en el contexto territorial evaluado, posibilitando la adquisición de ideas plurales.
Saturación teórica	Crítica	Alineación de la práctica metodológica con las categorías de análisis previstas. Búsqueda de densificación entre teoría y práctica. Resuma qué enfoques críticos se pueden proporcionar a partir de los datos participativos adquiridos.
Triangulación de datos	Integridad	Adición de metodologías complementarias de investigación social, con grabación de voz, adquisición de imágenes (fotografías y pequeños videos), y elaboración de libros de registro, con el objetivo de orientar las transcripciones de los discursos y enfatizar elementos esenciales para la comprensión de la realidad local. Repetición de contenidos (aplicación de un único <i>check list</i> estandarizada con idénticas preguntas de partida) abordados durante la construcción colectiva de mapas y matrices.
Reproducción y evaluación de análisis	Claridad	Implementación de procedimientos replicables. Uso de ficha de campo predefinida, pero flexible para ajustes en diferentes realidades locales. Asegurar la ejecución de procesos que prevean la recolección integral de información de los participantes en sus múltiples facetas.
Transparencia	Vivacidad	Cumplimiento de las cuestiones éticas de la investigación, con (1) elaboración de material de difusión (escrito y en audio) con amplia difusión entre el grupo focal vía <i>WhatsApp</i> , especialmente; (2) explicación preliminar de los objetivos de la actividad que antecede a cada reunión de trabajo, con apertura para preguntas y dudas; (3) lectura en voz alta de los términos de libre consentimiento y participación pública en la investigación, destacando los posibles riesgos de la actividad y la legislación que regula el cumplimiento ético en la investigación brasileña con seres humanos del Consejo Nacional de Salud (CNS).

Limitación de búsqueda	Creatividad	Aclaración al grupo focal durante las descripciones iniciales de la actividad investigadora, el objetivo de la reunión, eminentemente científico, y desvinculando la acción a cualquier supuesto beneficio futuro, tales como: garantías de permanencia en los territorios; seguridad jurídica en el uso de los recursos naturales; ventajas durante las negociaciones de compensaciones ambientales, etc. Habilidad para improvisar en la adquisición de datos. Permitir que todas las formas de producción de información sean aceptadas y registradas.
Coherencia	Profundidad	Alineación de las actividades de campo con los objetivos teóricos de la investigación expuestos en la metodología del proyecto. La aplicación de la guía de campo ayuda en la conducción coherente de la investigación y preserva la sistematización de las reflexiones teóricas, vinculadas a los datos adquiridos durante el trabajo de campo. Compruebe si todavía hay vacíos en los resultados proporcionados.
Exploración de significados	Congruencia	Análisis comparativo de los datos adquiridos, discusión con resultados de otros trabajos académicos y profundización con informaciones técnicas adquiridas en instituciones (gubernamentales y no gubernamentales) relevantes al tema.
Reflexividad	Sensitividad	Inclusión de investigaciones y publicaciones recomendadas por el público participante de los talleres, así como recepción de material imagético (fotos y videos) y datos complementarios a la investigación (como coordenadas de lugares de pesca, por ejemplo) luego de las actividades presenciales, valorando los datos adquiridos por el público, e incorporándolos a los análisis. El avance de la educación formal en el país, en sus diversos niveles, y la generalización de los <i>smartphones</i> y del acceso a Internet, aunque sea intermitente, permiten al investigador utilizar productos de los propios participantes en actividades que reflejan, de manera más genuina, la percepción de las personas sobre los aspectos territoriales, sus problemas y potencialidades. Es importante citar correctamente estas contribuciones en mapas y textos, atribuyendo autoría y fechas de adquisición a los datos.

Fuente: Columnas 1 y 2, adaptado de Ullrich *et al.* (2012); columna 3, de autoría propia.

Además de la verificación, es interesante resaltar los aspectos éticos en la investigación, especialmente cuando se trata de la asimilación del conocimiento local de los participantes involucrados. En cuanto a las técnicas participativas empleadas, se considera imperativo considerar cinco principios esenciales: acceso, propiedad, confianza, validación y aplicación. Según Verplanke *et al.* (2016), estos principios

estructuran una lógica para los enfoques participativos, que comienza con la participación prudente de la comunidad y la recopilación de conocimientos locales para garantizar su documentación y preservación.

Además, los principios buscan asegurar que el conocimiento local sea utilizado para y por la comunidad y no se quede ocioso en un repositorio. Los autores discuten estos principios en el ámbito de SIGP, es decir, *Participatory Geographic Information Systems*. En ese sentido, se entiende que es solo otra denominación de las técnicas de mapeo participativo empleadas, lo que permite relacionarlas con los procedimientos adoptados. Por lo tanto, el [Cuadro 4](#) indica los problemas que deben observarse cuando se emplean técnicas de mapeo participativo.

Cuadro 4 - Principios participativos en el mapeo

Principios	Preguntas de...
Acceso	Preservación del conocimiento espacial local sobre las culturas; Fortalecimiento de la identidad local;
Propiedad	Generación o consolidación de empoderamiento; Inclusión de diferentes voces en una comunidad.
Confianza	Reconocimiento de la autoría y legitimidad de la propiedad del conocimiento espacial local; Seguridad y preocupaciones al usar o difundir el conocimiento espacial local adquirido.
Validación	El conocimiento producido es relevante para las necesidades de la población local;
Aplicación	El conocimiento espacial local se puede utilizar y generar información; Desarrollo de capacidades locales.

Fuente: Adaptado de Verplanke *et al.* (2016).

Los autores también informan que, en el ámbito de los principios de acceso y apropiación, los resultados deben ser accesibles a las comunidades, aportar las percepciones de los individuos – sentimientos, valores intangibles y culturales –, al tiempo que contribuyen a fortalecer y empoderar a la comunidad. Al considerar acciones éticas en este proceso, se debe preguntar si los datos producidos tienen el potencial de causar daño a las comunidades, brindando la posibilidad de abstenerse o negarse a participar en las actividades.

En cuanto a la confianza, es imperativo generar confianza mutua entre investigador e investigado para evitar la creación de sesgos en la interpretación de la información o de los datos. Cuanto mayor sea la confianza mutua, mayor será la posibilidad de registrar percepciones más profundas. Asimismo, para que la validación sea efectiva, debe existir confianza para que, durante el trabajo de verificación de la información generada, no existan interpretaciones falseadas y/o equivocadas.

El principio de aplicación, por otro lado, requiere que se realicen sesiones de capacitación para los participantes. Además, implica una mayor complejidad en la práctica, ya que puede involucrar aspectos intangibles. Otro punto es la dificultad de traducir determinadas situaciones en leyendas para el mapa. Así, la aplicación, por parte de la comunidad, puede resultar embarazosa, requiriendo mayor esfuerzo y demandando tiempo para la formación de los participantes.

Observaciones finales

La promoción de modelos participativos permite socializar las características de los proyectos de energías renovables, dando mayor transparencia a las ventajas y riesgos que su implementación puede ocasionar a las comunidades receptoras. La construcción de escenarios, de forma participativa, para la instalación y operación de los proyectos, pasa por caminos que acercan a las comunidades a la gestión de los territorios, el poder público y las decisiones, dando mayor legitimidad al proceso. La transición energética a fuentes renovables en el Sur Global necesita no solo considerar las necesidades del mercado, sino también obedecer a los principios del desarrollo sostenible y de la justicia procesal y distributiva, lo que solo será posible con la consideración de aspectos sociales intangibles, tales como las relacionadas con las demandas y necesidades de las comunidades según las percepciones de sus propios habitantes, en consonancia con sus tradiciones, en cuanto al uso de los recursos naturales y diferentes prismas culturales. Las metodologías participativas como el FODA y el mapeo social son herramientas esenciales (pero no las únicas) para lograr objetivos de descarbonización justos.

Se entiende que la participación social debe jugar un papel vital en la promoción y construcción de un diálogo honesto y transparente entre empresa, gobierno y sociedad, lo que se refiere a elementos de análisis específicos. Por ello, se convierten en interesantes herramientas de investigación para la aplicación de las metodologías cualitativas aquí propuestas. Para ello, se estima que se brindará la amplia participación de gobierno, desarrolladores, comunidades receptoras y otras instancias para resolver conflictos y promover el desarrollo de energías renovables, especialmente en el contexto de la “licencia social para operar” (VANCLAY *et al.*, 2015).

Los principales procesos para generar confiabilidad en datos cualitativos son: descripción detallada; triangulación de datos y exposición de las limitaciones de la investigación. La descripción detallada está directamente relacionada con la demostración en profundidad de las situaciones observadas durante la investigación. La triangulación de datos, que se refiere al uso de estrategias diferenciadas de recolección y análisis de datos (FLICK, 1992), puede ser adoptada de acuerdo con la visión de Kelle (2001), o sea, la producción de una imagen más completa del fenómeno evaluado contra lo que sería adquirida a través de un único método de adquisición

de datos. Como ya se mencionó, la adquisición de datos a través de las técnicas de Cartografía Social se puede agrupar con la elaboración de las Matrices FODA. Se entiende que los procedimientos adoptados, en conjunto, brindan una visión amplia de las interrelaciones socioespaciales necesarias para los objetivos propuestos. La exposición de las limitaciones de los resultados, cuya consideración se centra en la comprensión de los obstáculos impuestos por los procedimientos, debe ser considerada como parte integral de las reflexiones finales, con el objetivo, en cierta medida, de propiciar la reflexión sobre los mecanismos analíticos utilizados.

En cuanto a la validación, y considerando la idea de no linealidad en la investigación cualitativa, permitiendo el retorno, cuando sea necesario, a las etapas investigativas (ULLRICH *et al.*, 2012), los períodos de validación deben definirse *in loco* con las comunidades estudiadas. Esta estrategia tiene como objetivo generar mayor autenticidad en los datos, ya que posibilita la inserción de nuevas miradas en el proceso investigativo.

En cuanto a la propuesta DSP, la información presentada en los mapas sociales y en las matrices FODA, así como en otros enfoques participativos, presentan limitaciones que deben ser reconocidas. Los mapas sociales elaborados, así como otros mapas aplicados en diferentes campos del conocimiento, representan y transmiten la opinión geoespacial de una parte de la sociedad, que participó en el respectivo mapeo. Otra característica importante a considerar, especialmente para la producción de datos sociales, es la ejecución de actualizaciones constantes y una comunicación segura con los residentes locales. El modelo propuesto puede permitir la verificación permanente de los matices a los que está sujeta la sociedad en su proceso evolutivo, ya que se trata de un enfoque cualitativo con carácter no lineal (ULLRICH *et al.*, 2012). Se entiende, por tanto, que el DSP ejecutado expresa sólo el momento único en que se produjeron los datos.

Finalmente, es importante resaltar que existe la posibilidad, aunque sea mínima, de que los procedimientos adoptados proporcionen datos no válidos y poco confiables con el rigor esperado por tratarse de un fenómeno social, que depende de diferentes procesos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto CAPES/Programa de Cooperación Sur-Sur de Brasil (COOPBRASS) Aviso público n. 5 de 2019, Proc. 88881.368924/2019-01 “Energías Renovables y Descarbonización en América del Sur: desafíos de la Energía Eólica/BR y Litio/AR” y CAPES/PRINT Proc. 88887.312019/2018-00: Tecnologías y métodos socioambientales integrados para la sustentabilidad territorial: alternativas para las comunidades locales en el contexto del cambio climático.

Referencias

- AB'SABER, A. N. Bases Conceituais e Papel do Conhecimento na Previsão de Impactos. *In*: AB'SABER, A. N.; MÜLLER-PLANTENBERG, C. (org.) **Previsões de Impactos: O Estudo de Impacto Ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha.** 2. ed. São Paulo. Editora Universidade de São Paulo, 2006. p. 27-49.
- ACSELRAD, H. (org.). Cartografias sociais e território. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa e Planejamento urbano e Regional, 2008. 167 p.
- AKBAR, A. *et al.* Spatial knowledge: A potential to enhance public participation? **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 12, p. 5025, 2020.
- ALBERDI, R. **Aportes de la cartografía social al desarrollo sustentable: un enfoque desde el territorio.** 2012. 16 p.
- ALMASI, M.; MILOW, P.; ZAKARIA, R. M. Participatory mangrove forest management in the Carey Island, Malaysia. **Ukrainian Journal of Ecology**, v. 8, n. 3, p. 293-303, 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa nº 2, de 27 de março de 2012.** Estabelece as bases técnicas para programas de educação ambiental apresentados como medidas mitigadoras ou compensatórias, em cumprimento às condicionantes das licenças ambientais emitidas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/download/sala-de-imprensa/marcas-e-manuais/in-no-2-27-de-marco-de-2012-ibama.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021
- BRASIL. IBAMA - **Guia para Elaboração dos Programas de Educação Ambiental no Licenciamento Ambiental Federal** – GEPEA-LAF, 2019. Disponível em: <http://ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/publicacoes/2019-Ibama-Guia-para-Elaboracao-dos-Programas-de-EA-no-LAF-.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021
- BUARQUE, S. C. **Construindo o desenvolvimento local sustentável.** Rio de Janeiro: Garamond, 2002. 177 p.
- BULL, J. W. *et al.* Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats: A FODA analysis of the ecosystem services framework. **Ecosystem Services**, v. 17, p. 99–111, 2016.
- CAROLINO, A. K. O lugar do Social na Avaliação de Impacto Ambiental: regulação pública de grandes projetos e desafios para o planejamento regional. XVII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional. **Anais [...]** São Paulo: 2017. p. 1-20. Disponível em: http://anpur.org.br/xviienanpur/principal/publicacoes/XVII.ENANPUR_Anais/ST_Sesseos_Tematicas/ST%204/ST%204.1/ST%204.1-04.pdf. Acesso em: 25 abr. 2019.
- CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração.** 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 634 p. ISBN: 978-8535213485
- CHO, J.; TRENT, A. Validity in qualitative research revisited. **Qualitative Research**, v. 6, n. 3, p. 319-340, Aug. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1468794106065006>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- CORBETT, J.; RAMBALDI, G.; KYEM, P.; WEINER, D.; OLSON, R.; MUCHEMI, J.; MCCALL, M.; CHAMBERS, R. Overview: Mapping for Change - the emergence of a new practice. *In*: RAMBALDI, G.; CHAMBERS, R.; MCCALL, M.; FOX, J. (ed.). **Participatory Learning and Action.** [s. l.] International Institute for Environment and Development (IIED), 2006. p. 13–20.

- COSTA, N. O. **Cartografia Social: instrumento de luta e resistência no enfrentamento dos problemas socioambientais na reserva extrativista da prainha do canto verde, Beberibe – Ceará**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2016.
- CRUZ-GONZÁLEZ, F. J.; PATIÑO-VALENCIA, J. L.; LUNA-RAYA, M. C.; CISNEROS-MONTEMAYOR, A. M. Self-empowerment and successful co-management in an artisanal fishing community: Santa Cruz de Miramar, Mexico. **Ocean and Coastal Management**, v. 154, p. 96-102, 2018.
- FARIA, G. C.; SILVA, F. M. Participação pública no processo de avaliação de impacto ambiental no estado do Espírito Santo. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 43, p. 139–151, 2017.
- FERREIRA, A. C.; CARLOS, L.; BLASQUES, M. Avaliações a Respeito da Evolução das Capacidades Contratada e Instada e dos Custos da Energia Eólica no Brasil: Do PROINFA aos Leilões de Energia. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 5, n. 1, p. 82–91, 2014.
- FLICK, U. Triangulation Revisited: Strategy of Validation or Alternative? **Journal for the Theory of Social Behaviour**, v. 22, n. 2, p. 175–197, jun. 1992. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1468-5914.1992.tb00215.x>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- FRIESNER, T. **History of FODA Analysis**. 2011. Disponível em: <https://www.marketingteacher.com/history-of-FODA-analysis/>. Acesso em: 17 abr. 2019.
- GOMES, M. A. O. Diagnóstico Rápido Participativo (DRP): uma ferramenta de ação e aprendizagem coletiva. In: BROSE, M. (org.) **Metodologia participativa: uma introdução a 29 instrumentos**. 2. ed. Porto Alegre: Tomo Editorial, 2001. p. 67-80.
- GORAYEB, A.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V. Princípios básicos de Cartografia e Construção de Mapas Sociais. In: GORAYEB, A.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V. **Cartografia Social e Cidadania: experiências de mapeamento participativo dos territórios de comunidades urbanas e rurais**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2015.
- GUIMARÃES, R. R.; LOURENÇO, J. N. P.; LOURENÇO, F. S. **Métodos e técnicas de diagnóstico participativo em sistemas de uso da terra**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2007.
- HANNA, P.; VANCLAY, F.; LANGDON, E. J.; ARTS, J. Improving the effectiveness of impact assessment pertaining to Indigenous peoples in the Brazilian environmental licensing procedure. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 46, p. 58–67, 1 abr. 2014.
- HELMS, M. M.; NIXON, J. **Exploring FODA analysis – where are we now?** A review of academic research from the last decade, *Journal of Strategy and Management*, v. 3 n. 3, p. 215-251, 2010.
- HERLIHY, P. H.; KNAPP, G. Maps of, by, and for the Peoples of Latin America. **Human Organization**, v. 62, n. 4, p. 303–314, 2015.
- HIRSCHBERG, S. Greenhouse gas emission reduction options: Modeling and implications. **Energy**, v. 30, n. 11-12, p. 2025–2041, 2005.
- IBAMA. **TERMO DE REFERÊNCIA: Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental EIA/RIMA, Tipologia: COMPLEXOS EÓLICOS MARÍTIMOS (OFFSHORE)**. Nov. 2020. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/publicacoes/2020-11-TR_CEM.pdf. Acesso em: 29 jan. 2020.
- JOLIVEAU, T. O lugar do mapa nas abordagens participativas. In: ACSELRAD, H. (org.). **Cartografias sociais e território**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa e Planejamento urbano e Regional, 2008. p. 13-43.

- KELLE, U. Sociological Explanations between Micro and Macro and the Integration of Qualitative and Quantitative Methods, *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, v. 2, n. 1, p. 1-22, 2001.
- KVAM, R. **Avaliação de impacto social: Como integrar questões sociais a projetos de desenvolvimento**. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID. 2018, 152p. Disponível em: <https://publications.iadb.org/pt/avaliacao-de-impacto-social-como-integrar-questoes-sociais-projetos-de-desenvolvimento>. Acesso em: 02 abr. 2019.
- MEIRELES, A. J. A.; GORAYEB, A. **A cartografia social vem se consolidando como instrumento de defesa de direitos**. 09 fev. 2014. Disponível em: <http://www.mobilizadores.org.br/entrevistas/cartografia-social-vem-se-consolidando-com-instrumento-de-defesa-de-direitos/>. Acesso em: 24 nov. 2018.
- MEE, L. **Complementary Benefits of Alternative Energy: Suitability of Offshore Wind Farms as Aquaculture Sites Inshore Fisheries and Aquaculture Technology Innovation and Development**. v. 44, n. abr., p. 36, 2006. Disponível em: https://www.seafish.org/media/Publications/10517_Seafish_aquaculture_windfarms.pdf. Acesso em: 24 nov. 2018.
- MORSE, J. M.; BARRETT, M.; MAYAN, M.; OLSON, K.; SPIERS, J. Verification Strategies for Establishing Reliability and Validity in Qualitative Research. *International Journal of Qualitative Methods*, v. 1, n. 2, p. 13–22, 30 jun. 2002. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/160940690200100202>. Acesso em: 24 nov. 2018.
- PICKLES, J. Review Article: Social and Cultural Cartographies and the Spatial Turn in Social Theory. *Journal of Historical Geography*, v. 25, n. 1, p. 93–98, jan. 1999. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305748898901037>. Acesso em: 24 nov. 2018.
- POPAYAN – ASOCIACIÓN DE PROYETOS COMUNITARIOS. **Territorio y Cartografía Social**. 2005. 9p. Disponível em: http://www.iunma.edu.ar/doc/MB/lic_ts_mat_bibliografico/TRABAJO%20SOCIAL%20Y%20POL%20C3%8DTICAS%20SOCIALES/Modulo_0_Territorio.pdf. Acesso em: 05 jun 2019.
- PUZATCHENKO, I. G. Pressupostos para a avaliação das ações antrópicas sobre o meio ambiente. *In*: AB'SABER, A. N.; MÜLLER-PLANTENBERG, C. (org.) **Previsões de Impactos: O Estudo de Impacto Ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha**. 2. ed. São Paulo. Editora Universidade de São Paulo, 2006. p. 205-211
- REILLY, K.; O'HAGAN, A. M.; DALTON, G. Moving from consultation to participation: A case study of the involvement of fishermen in decisions relating to marine renewable energy projects on the island of Ireland. *Ocean and Coastal Management*, v. 134, p. 30-40, 2016
- SÁNCHEZ, L. E **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 583 p.
- SIMS, R. E. H.; ROGNER, H. H.; GREGORY, K. Carbon emission and mitigation cost comparisons between fossil fuel, nuclear and renewable energy resources for electricity generation. *Energy Policy*, v. 31, n. 13, p. 1315-1326, 2003.
- SOVACOOOL, B. K.; TURNHEIM, B.; HOOK, A.; BROCK, A.; MARTISKAINEN, M. Dispossessed by decarbonisation: Reducing vulnerability, injustice, and inequality in the lived experience of low-carbon pathways, *World Development*, v. 137, p. 105116, 2021.
- TRAPP, G. S.; RODRIGUES, L. H. Avaliação do custo sistêmico total da geração de energia eólica em face da substituição das fontes hidrelétrica e termoeétrica considerando as externalidades socioeconômicas e ambientais. *Gest. Prod.* v. 23, n. 3, p. 556-569, 2016.

- ULLRICH, D. R.; OLIVEIRA, J. S.; BASSO, K.; VISENTINI, M. S. Reflexões teóricas sobre confiabilidade e validade em pesquisas qualitativas: em direção à reflexividade analítica. **Análise**, Porto Alegre, v. 23, n. 1, p. 19-30, jan./abr. 2012
- UN - UNITED NATIONS. **Modern cartography**: base maps for world needs. Lake Success, New York: UN, Department of Social Affairs. 1949, 130p. Disponível em: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015015212338&view=1up&seq=22>. Acesso em: 22 jun. 2021.
- VANCLAY, F.; ESTEVES, A. M.; AUCAMP, I.; FRANKS, D. M. **Social Impact Assessment**: Guidance for assessing and managing the social impacts of projects. [s. l.] International Association for Impact Assessment, 2015.
- VERPLANKE, J.; MCCALL, M. K.; UBERHUAGA, C. ; RAMBALDI, G.; HAKLAY, M. A Shared Perspective for PGIS and VGI. **Cartographic Journal**, v. 53, n. 4, p. 308–317, 2 out. 2016. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00087041.2016.1227552>. Acesso em: 22 jun. 2021.
- VIEGAS, M. D. C.; MONIZ, A. B.; SANTOS, P.T. Artisanal Fishermen Contribution for the Integrated and Sustainable Coastal Management – Application of Strategic *FODA* Analysis. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 120, p. 257–267, mar. 2014.
- XAVIER, T.; GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Energia eólica offshore e pesca artesanal: impactos e desafios na costa oeste do Ceará, Brasil. *In*: Dieter Muehe Flavia Moraes Lins-de-Barros , Lidriana de Souza Pinheiro.. (org.). Geografia marinha [livro eletrônico]: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. 1ed. Rio de Janeiro: Caroline Fontelles Ternes, 2020, v. 1, p. 608-631. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1kC53ZLBkjbR1HDJc0LyTdfBgNUYH7NCZ/view>. Acesso em: 22 jun. 2021.
- YAVUZ, F.; BAYCAN, T. Use of *FODA* and analytic hierarchy process integration as a participatory decision making tool in watershed management. **Procedia Technology**, v. 8, 134-143, 2013.

CAPÍTULO 4

LA METODOLOGÍA Q PARA EL ANÁLISIS CUALI-CUANTITATIVO DE LAS PERCEPCIONES SOCIALES SOBRE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

*Lucas Seghezzo¹
Christian Brannstrom^{2 3}*

Resumen

Este capítulo brinda una guía metodológica básica sobre la utilización de la Metodología Q para estudiar la percepción social sobre temas socio-ambientales. La Metodología Q puede ayudar a entender la diversidad de opiniones y la amplia variedad de percepciones que generalmente existen sobre estos temas. Esta metodología es innovadora porque combina métodos cualitativos con el rigor estadístico del análisis cuantitativo. La Metodología Q es particularmente útil para revelar las opiniones de algunas minorías que son subestimadas o ignoradas por los grupos de mayor poder político o económico. A modo de ejemplo, se presentan brevemente resultados de dos casos de estudio sobre la aplicación de la Metodología Q al estudio de los impactos de la energía renovable en zonas específicas del noreste de Brasil. El uso de esta metodología permitió visibilizar las opiniones de diversos sectores tales como las comunidades costeras potencialmente afectadas por la instalación de parques eólicos (Caso 1) y el personal altamente técnico que trabaja en el sector energético (Caso 2), entre otros. Los resultados obtenidos en estos estudios pueden contribuir a que la toma de decisiones políticas sea más inclusiva y a que los sistemas energéticos del futuro sean más equilibrados, justos y sustentables.

Palabras clave: Metodología Q. Energías renovables. Percepción social. Análisis cualitativo. Análisis del discurso.

-
- 1 Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa), Salta, Argentina.lucas.seghezzo@gmail.com
 - 2 Texas A&M University (TAMU), College Station, Estados Unidos.
 - 3 Universidad Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil.

Introducción

Hay muchos problemas socio-ambientales que parecen imposibles de resolver. Estos problemas pueden generar conflictos sociales y dividir profundamente a las sociedades locales (LEWICKI *et al.*, 2003; WEBER *et al.*, 2017). Un claro ejemplo de problema aparentemente insoluble es la idea de que las actividades productivas son irreconciliables con la conservación del medio ambiente o con la protección de los modos de vida locales (ROBINSON, 2011). En muchos de estos casos, las opiniones suelen dividirse alrededor de discursos dicotómicos tipo “producción versus conservación” (MILLER *et al.*, 2011). Esos discursos articulan visiones divergentes que pueden estar basadas tanto en interpretaciones diferentes de la realidad como en posturas éticas incompatibles. En algunos casos, los actores que promueven esos debates lo hacen como una manera deliberada de manipular la opinión pública y forzar a la gente a optar entre dos alternativas aparentemente incompatibles para promover intereses económicos sectoriales y favorecer a determinados grupos de poder (ROBBINS, 2006). En cualquier caso, los debates planteados en esos términos antagónicos terminan ignorando, de manera consciente o no, la riqueza de opiniones y la amplia variedad de percepciones que suelen existir en la sociedad sobre prácticamente cualquier tema.

Pero conocer esa variedad de percepciones no es tarea fácil y es necesario aplicar métodos altamente rigurosos para no caer en una mera interpretación personal de lo que la sociedad supuestamente opina sobre un tema. Para ello, existe un marco teórico y metodológico que se podría denominar el estudio de la percepción social de las relaciones naturaleza-sociedad. Este campo de estudio no es nuevo (BROOKFIELD, 1969; GROSSMAN, 1977; PORTER, 1978), aunque su aplicación en las ciencias ambientales y la geografía humana fue relativamente menor hasta el redescubrimiento y la adopción gradual de la “Metodología Q” (BARRY; PROOPS, 1999; ADDAMS; PROOPS, 2000; ROBBINS; KRUEGER, 2000; EDEN *et al.*, 2005; ROBBINS, 2005). La Metodología Q se está utilizando para estudiar la percepción social sobre sustentabilidad y diferentes temas socio-ambientales, como mostraron recientemente Sneegas *et al.* (2021) mediante un análisis bibliométrico y una revisión sistemática de la bibliografía existente hasta la fecha. Entre los temas específicos que han sido estudiados mediante esta metodología se pueden mencionar la gobernanza ambiental (BRANNSTROM, 2011), la gestión del agua (VUGTEVEEN *et al.*, 2010; IRIBARNEGARAY *et al.*, 2014; 2021), las energías renovables (ELLIS *et al.*, 2007; CUPPEN *et al.*, 2010; BRANNSTROM *et al.*, 2011; FRATE; BRANNSTROM, 2017), el manejo de bosques (STEELMAN; MAGUIRE, 1999), la gestión de incendios forestales (RAY, 2011), la agricultura (DAVIES; HODGE, 2012; WALDER; KANTELHARDT, 2018), iniciativas vinculadas al cambio climático (LANSING, 2013), los servicios ecosistémicos (SCHOLTE *et al.*, 2015; HERMELINGMEIER;

NICHOLAS, [2017](#); MAKI SY *et al.*, [2018](#)), la conservación de la biodiversidad (NIEDZIAŁKOWSKI *et al.*, [2018](#)), y los procesos de deforestación (HUARANCA *et al.*, [2019](#)), entre otros.

La Metodología Q para el análisis de la percepción social

La Metodología Q es una técnica para el análisis de la percepción social que combina métodos cualitativos con el rigor estadístico del análisis cuantitativo (MCKEOWN; THOMAS, [1988](#); BROWN, [1996](#)). Esta técnica se centra en las personas, o en los grupos de personas que piensan de manera similar, más que en sus opiniones en particular y permite obtener una medición relativamente “cuantitativa” de la subjetividad humana (WATTS; STENNER, [2012](#)). A diferencia de las encuestas tradicionales, la Metodología Q no analiza la opinión de una gran proporción de la población sobre algún tema específico, sino que busca comprender la percepción que, sobre ese tema, tienen determinados actores considerados relevantes y con una opinión potencialmente diferente entre sí.

En la Metodología Q, las perspectivas sociales se identifican analizando el grado de acuerdo o desacuerdo que un número relativamente pequeño de participantes, que son seleccionados de manera deliberada y no al azar, manifiesta en relación a un conjunto de frases vinculadas al tema de estudio. Las frases que se presentan a los participantes pueden ser complejas y deben ser interpretadas siempre en el contexto del resto de las frases, no de manera aislada. Esa complejidad implica que las frases pueden tener significados diferentes para diferentes participantes, en función de su experiencia y conocimiento del tema. Por esta razón, se dice que la Metodología Q tiene el potencial de develar las racionalidades individuales que muchas veces permanecen ocultas en las encuestas convencionales (STEELMAN; MAGUIRE, [1999](#); ZABALA; PASCUAL, [2016](#)). Cuando los patrones de respuesta se analizan mediante análisis factorial, es posible detectar correlaciones entre los participantes que tienen puntos de vista similares y pertenecen, por lo tanto, a la misma “perspectiva social” (STEPHENSON, [1965](#)). Cada perspectiva (factor o factor arquetípico) es un promedio ponderado que representa las opiniones de todos aquellos participantes que muestran alta correlación entre ellos. Los factores pueden verse como generalizaciones de las actitudes que tienen las personas con respecto a un tema determinado, lo cual permite realizar comparaciones entre ellos a partir de los resultados del análisis estadístico. Como señalaron Brannstrom *et al.* ([2011](#)), el uso de la Metodología Q en la investigación científica no sólo permite identificar perspectivas sociales de manera empírica, sino que además promueve la interacción entre investigadores y encuestados de una manera que puede conducir a la generación de nuevo conocimiento sobre los temas en estudio.

La Metodología Q fue definida por su inventor, el físico y psicólogo William Stephenson, como el conjunto de principios sicométricos y operacionales combinados con aplicaciones estadísticas especializadas que permiten un análisis sistemático y riguroso de la subjetividad humana (STEPHENSON, 1965). Stephenson trabajaba en la Universidad de Oxford y presentó esta metodología por primera vez en 1935 en una carta a la revista *Nature*. Este método se usa en estudios sobre psicología, sociología y, más recientemente, en ciencias ambientales. La Metodología Q entiende a la subjetividad como la manera en que cada persona tiene y comunica sus puntos de vista. La subjetividad es auto-referenciada y se vincula, por definición, con un “sujeto”, lo cual implica que está directamente relacionada con la persona y su marco de referencia geográfico, histórico, cultural, y personal. Se acepta que, de no mediar situaciones de manipulación externa, cada persona habla por sí misma y expresa lo que piensa sin limitaciones. Esto significa que la subjetividad es “operante”, o sea que la forma de pensar de una persona la lleva a “operar” en la realidad de una manera determinada. Esta característica es lo que da el sustento teórico a la Metodología Q como una manera de detectar esa subjetividad operante con métodos estadísticos y matemáticos.

Si bien la subjetividad es difícil de demostrar fehacientemente, ya que una persona podría responder de una manera que no se corresponda con lo que realmente piensa sobre un tema, lo que hace la Metodología Q es analizar la estructura de esa subjetividad con el objeto de observarla, compararla y estudiarla. En este sentido, no importa si lo que una persona responde es lo que realmente piensa, porque el estudio analiza lo que esa persona responde (su “discurso”), bajo el supuesto de que ese discurso refleja lo que piensa. En un estudio Q bien ejecutado, los participantes generalmente terminan expresando su verdadera opinión sobre el tema de estudio por dos razones principales: (a) las personas seleccionadas tienen una opinión fuerte al respecto del tema bajo estudio ya que fueron seleccionadas justamente en función de esa premisa; y (b) las frases que deben clasificar en función de su grado de acuerdo o desacuerdo no tienen respuestas obvias o “correctas” ya que todas las respuestas son igualmente válidas o socialmente aceptables, lo cual reduce al mínimo la posibilidad de obtener respuestas estratégicas o inducidas por el encuestador.

El origen del nombre de esta metodología no está totalmente claro, pero la versión más aceptada es que Stephenson usó esta letra para diferenciarla de las metodologías tipo “R”, o sea la estadística convencional en la cual se usa mucho el coeficiente “r” o “R” (coeficiente de correlación de Pearson). En una típica encuesta R se buscan patrones en las respuestas de los participantes (a lo sumo ordenadas según edad, género, nacionalidad). Un estudio tipo R se basa casi siempre en sólo una o pocas preguntas simples, con respuestas que generalmente no dependen del contexto (por ejemplo, por quién se va a votar en las próximas elecciones). En contraposición, un estudio Q busca patrones entre los participantes, no en las respuestas. En una investigación tipo R, la población es la población propiamente dicha, la muestra es

la gente que responde a la encuesta, y las variables son las preguntas que se hacen durante las entrevistas. En cambio, los sujetos y las variables están invertidas en la Metodología Q: los “sujetos” son la muestra de frases que se deben clasificar y las “variables” pasan a ser ahora los propios participantes de las encuestas (en rigor, sus patrones de respuesta). La “población” Q será entonces todas las frases que constituyen el universo de posibles opiniones que existen sobre el tema de estudio en el lugar y en el tiempo en el que se realiza la investigación (TULER; WEBLER, [2015](#)).

Conceptos básicos de la Metodología Q

Es importante conocer algunos términos técnicos que se utilizan dentro de la Metodología Q (WEBLER *et al.*, [2009](#)).

Discurso. Un estudio Q ayuda a identificar perspectivas sociales o actitudes sobre un tema analizando los discursos de un grupo de personas. El discurso completo (*concourse*) sería entonces el universo de aspectos, opiniones y discursos vinculados al tema que se quiere estudiar.

Frases. Las frases, afirmaciones, proposiciones o enunciados (*statements*) es la muestra que se selecciona a partir del discurso completo, es decir de todos los posibles conceptos cortos vinculados al tema en el lugar de estudio. Las frases siempre forman parte de un tema mayor y pueden originarse en textos, ideas, o distintas fuentes tales como diarios, páginas web, entrevistas, consulta a expertos, etc. Las características de las frases Q es que tienen significados complejos, dobles o múltiples, se pueden interpretar de maneras diferentes por diferentes participantes, y se deben interpretar en el contexto del tema, no de manera aislada. En contraposición, las preguntas típicas de las encuestas R es que son simples, se pregunta sobre una y sólo una cosa a la vez, deben ser explícitas para que todos las interpreten de igual manera, y cada pregunta es generalmente independiente de las otras. En algunos estudios se han utilizado también fotografías vinculadas a algún mensaje en particular como reemplazo de las frases.

Participantes. Las personas entrevistadas son los participantes (*participants*) que deberán clasificar las frases en función de su grado de acuerdo o desacuerdo con ellas. Como se indicó anteriormente, los participantes no son una muestra representativa de la población y deben representar la amplitud de opiniones existente sobre el tema en estudio. En ese sentido, no importa tanto el número de personas en cada perspectiva social, sino el número total de posibles perspectivas sociales existentes en el lugar de estudio. Se deben incluir actores de todos los grupos de interés existentes en la población y se seleccionan aquellos participantes que tienen algo interesante para decir (una opinión), no al azar. La Metodología Q permite la participación igualitaria de

actores de diverso origen y nivel educativo, desde miembros de comunidades marginalizadas hasta el personal altamente calificado de las empresas o emprendimientos productivos. Con respecto al número de participantes requerido en un estudio Q, existen básicamente 2 reglas: (a) Redundancia de participantes; y (b) Redundancia de frases. La redundancia de participantes exige que por cada posible perspectiva social que se estima que podría existir sobre el tema de estudio, deberían entrevistarse entre 4 a 6 participantes. Es decir que si, en opinión de los investigadores a cargo del estudio, se esperan, por ejemplo, 3 posibles perspectivas sociales, el número de participantes necesario deberá ser entre 12 y 18 (pueden ser más pero no menos). Por otra parte, la redundancia de las frases indica que debe haber menos participantes que frases, en una relación de aproximadamente 3:1 (3 frases por participante). Esta relación nunca puede ser menor a 2:1. Por ejemplo, para un estudio en el que se seleccionaron 20 participantes, se deberán identificar unas 60 frases para respetar la relación de 3:1.

Patrones. Los patrones de respuesta (*sorts*) son los arreglos de frases que realiza cada participante durante la entrevista. Cada patrón reflejará entonces una perspectiva individual. Como se indicó más arriba, los patrones de respuesta son las variables del análisis Q.

Factores. Las perspectivas sociales (*social perspectives*) o factores (*factors*) surgen del análisis cuantitativo y de la interpretación cualitativa de los patrones por el equipo investigador. El análisis factorial, que se realiza en un software especial, se basa en el análisis estadístico de los factores. El producto de este análisis es la identificación de los factores o perspectivas sociales, que se podrían interpretar como “familias” de patrones de respuesta similares. El análisis de los factores es una mezcla de análisis cualitativo y cuantitativo ya que, una vez que se identifican los factores, el equipo a cargo del estudio debe interpretar estos factores analizando en detalle las respuestas y tratando de encontrar relaciones y vínculos entre las calificaciones dadas a diferentes frases. Está claro que nunca habrá una única solución a un análisis Q ya que diferentes investigadores pueden realizar una interpretación ligeramente diferente de las respuestas, aunque siempre dentro de ciertos límites impuestos por el análisis factorial. Se puede decir que las perspectivas sociales son generalizaciones de las actitudes que tienen las personas sobre un tema y que permiten comparar estas actitudes sin importar la cantidad de gente que se identifica con ellas. La identificación e interpretación de las perspectivas sociales requiere conocimiento exhaustivo del tema no sólo para interpretar las perspectivas más pertinentes, sino también para identificar aquellos factores que surgen del análisis factorial pero que, a juicio de los investigadores, no tienen sentido en el contexto del estudio. Es necesario aclarar que el método matemático de análisis ayuda a identificar las perspectivas, pero no a interpretarlas, algo que es tarea ineludible del equipo de investigación. Las perspectivas sociales que

surgen de un estudio Q son patrones coherentes de opinión sobre un tema o discurso y está claro que las perspectivas individuales estarán más o menos relacionadas con las perspectivas sociales en las que se encuentran incluidas. Esta relación se mide con la “concordancia” o “carga” (*loading*) de cada perspectiva individual en la perspectiva modelo a la que pertenece. Algunas perspectivas individuales con mucha concordancia son las que pueden “definir” una perspectiva social. El análisis factorial es complejo y no entraremos en los detalles matemáticos de su ejecución.

Pasos clave durante un estudio Q

Un estudio Q completo se puede resumir en una serie de ocho pasos clave (algunos autores los resumen en cuatro), de los cuales algunos son obligatorios, pero otros pueden ser opcionales y seguirse sólo en casos específicos [ver Webler *et al.* (2009) y Sneegeas *et al.* (2021), para más detalles metodológicos]:

1. Establecer los objetivos
2. Identificar las frases pertinentes (Q-set)
3. Seleccionar a los participantes (P-set)
4. Realizar las entrevistas
5. Ejecutar el análisis factorial
6. Interpretar los resultados
7. Validar los resultados en entrevistas con participantes clave
8. Complementar los resultados con encuestas tradicionales

Establecer los objetivos. Se debe definir claramente el objetivo del estudio y la pregunta central de la investigación. En estudios socio-ambientales, el objetivo central de un estudio Q suele vincularse a un contexto específico o a una determinada situación local que genera la necesidad de describir y entender mejor las diferentes perspectivas sociales existentes sobre un tema concreto. En general, aunque no siempre, los estudios Q se han realizado con la idea de contribuir a la toma de decisiones sobre un tema determinado, de visibilizar la opinión de algunas minorías vulnerables, o de reducir impactos o injusticias socio-ambientales asociadas a determinados emprendimientos económicos o productivos.

Identificar las frases pertinentes (Q-set). Una vez definidos claramente los objetivos del estudio, se deben elegir las frases más representativas del discurso existente sobre el tema o área de subjetividad en particular. Inicialmente, se pueden obtener frases a partir de entrevistas previas con actores locales relevantes. Estas entrevistas pueden servir para aclarar algunos aspectos sobre el contexto local (socio-ambiental, político, histórico, geográfico, etc.) y son absolutamente indispensables si los investigadores no

conocen este contexto en profundidad. Si bien estas entrevistas pueden prolongar el análisis, en general mejoran la precisión del tema de estudio y la identificación de los discursos existentes para la generación de las frases. En general, sin embargo, las frases provienen de fuentes impresas como diarios, boletines, debates públicos, audiencias, y artículos científicos, entre otras fuentes. En general se recopilan más de 100 frases (DRYZEK; BEREJIKIAN, 1993; VAN EETEN, 2000; WOOLLEY; MCGINNIS, 2000) y para su selección final se utiliza una combinación de diseño inductivo o deductivo (ADDAMS; PROOPS, 2000) para reducir el conjunto inicial de frases a un número manejable, por lo general entre 20 y 60, siguiendo los lineamientos indicados más arriba (aunque pueden ser más si se considera adecuado). Con menos de 20 frases es difícil expresar de manera clara puntos de vista complejos y con muchas más de 60 la entrevista se puede hacer demasiado larga.

Es fundamental que las frases seleccionadas sean: (a) Relevantes, o sea que tengan un sentido claro para los participantes; (b) Entendibles, planteadas en lenguaje sencillo, aunque el contenido no debe ser necesariamente simple; y (c) Opinables, lo cual implica que deben motivar una reflexión y generar una opinión definida. Del universo inicial de frases se deberán seleccionar las más representativas y relevantes, imprimir todas, discutir fortalezas y debilidades, y seleccionar las frases más pertinentes. A veces las frases se dividen en distintas “categorías” (*foci*) que permiten entender mejor los distintos aspectos del problema bajo estudio. Las categorías pueden resultar de una clasificación específica realizada por los investigadores, pueden reflejar teorías ya existentes sobre el tema, o pueden surgir de un proceso de codificación de datos cualitativos aplicado al universo de frases recopiladas. A veces es necesario editar las frases para corregir cuestiones gramaticales o mejorar su comprensibilidad, pero en general se prefieren las frases textuales surgidas de las entrevistas o de las fuentes consultadas, como una manera de preservar no sólo los sentidos sino también las formas en que se habla del tema en el lugar. Es posible también que los investigadores generen frases propias sobre temas que no están todavía en el dominio público pero que pueden ser interesantes para la investigación. La decisión final la debe hacer el investigador en función de la filosofía del trabajo y los objetivos de la investigación. Se recomienda también balancear las frases “positivas” y “negativas” en la lista final seleccionada para evitar cualquier tipo de influencia en los participantes y evitar las dobles negaciones para que los resultados sean inequívocos (por ejemplo, una frase en negativo puede generar confusión en un participante que no está de acuerdo con ella).

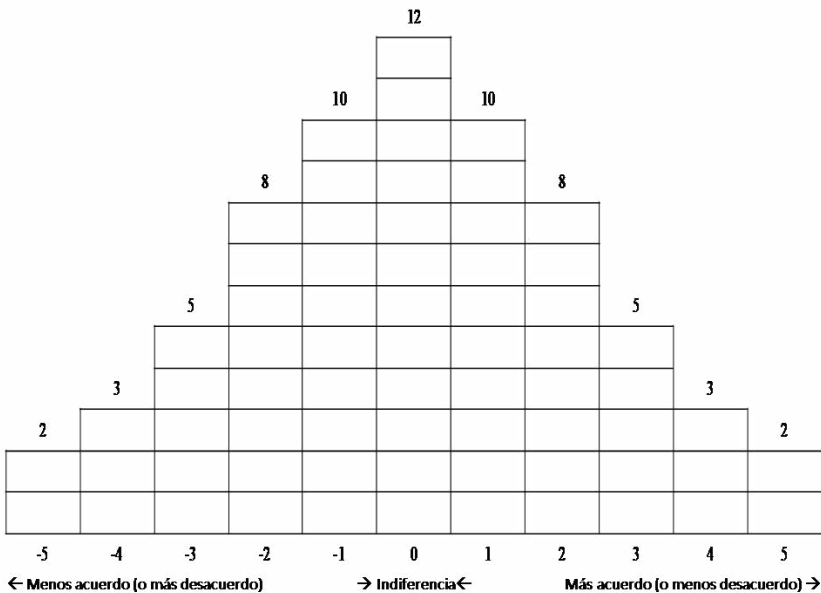
Seleccionar a los participantes (P-set). Se debe seleccionar adecuadamente a los participantes entre aquellos que tienen una opinión formada sobre el tema, tratando de reflejar la mayor amplitud posible de opiniones, por minoritarias que sean. En la Metodología Q se entrevista a un número relativamente pequeño de informantes

clave que se seleccionan mediante un muestreo intencional y no aleatorio. Webler *et al.* (2009) recomiendan participantes con opiniones bien formadas que representan diferentes puntos de vista.

Realizar las entrevistas. Las entrevistas de un estudio Q se pueden realizar de manera individual o a varios participantes a la vez. Durante las entrevistas, los participantes seleccionados deben distribuir las frases en una grilla de respuestas que refleja generalmente una distribución cuasi normal. En el ejemplo de la [Figura 1](#), se puede ver una distribución de 68 celdas en la que los encuestados deberán clasificar cada una de las frases en función de su grado de acuerdo o desacuerdo con ellas.

El máximo acuerdo (+5) contiene sólo 2 celdas, o sea que el entrevistado sólo podrá expresar su máximo acuerdo con 2 frases, y lo mismo sucede con el máximo desacuerdo (-5). El resto de las frases se deberá acomodar en los casilleros intermedios. Es necesario recordar a los entrevistados que la ubicación de las frases en las columnas es irrelevante, ya que todas las celdas de cada columna reciben la misma valoración. Se puede ver, por ejemplo, que hay lugar para 12 frases en la columna central (cero), que son las frases con las cuales el entrevistado no está ni de acuerdo ni en desacuerdo o que, por algún motivo, no pudo ubicar en el resto de las celdas.

Figura 1 - Ejemplo de una grilla cuasi normal que se utiliza en la Metodología Q. Los valores ubicados debajo de la grilla indican el grado de acuerdo o desacuerdo. Los números ubicados sobre la grilla indican la cantidad de posibles frases en cada columna



El punto cero de indiferencia o de “no relevancia” se llama también “cero distensivo” (*distensive zero*) y puede estar en el medio de la distribución o no. El hecho de que se intente forzar una distribución normal (en realidad la distribución es un poco más chata que una normal estadística) se fundamenta en que esta forma ayuda a los participantes a revelar sus preferencias. De cualquier manera, la forma de la distribución seleccionada no afecta el análisis estadístico. En los estudios Q tradicionales, la grilla de respuesta y las tarjetas con las frases se imprimen y se acomodan físicamente en la grilla, que es luego utilizada como la prueba de la clasificación realizada por cada participante. Es también de rigor sacar una fotografía de la distribución para que los participantes conserven una prueba de sus respuestas. También existen versiones digitales que se pueden llenar en una computadora y enviar los resultados de manera remota. Los participantes de un estudio Q pueden mantener su anonimato, ya que sólo importa su afiliación a un determinado grupo social y no su identidad. Durante la entrevista también se pueden realizar preguntas para obtener justificaciones sobre la clasificación realizada y enriquecer luego la interpretación de las perspectivas sociales (ROBBINS, 2005).

Ejecutar el análisis factorial. El análisis factorial se realiza para analizar los patrones de respuesta y encontrar correlaciones entre ellos que permitan armar grupos relativamente homogéneos (los factores o perspectivas sociales). Generalmente se utiliza un software específico como el PQMethod 2.20, un programa de libre acceso desarrollado por Peter Schmolck de la Universidad Federal de Munich, Alemania⁴, o el Ken-Q Analysis 1.0.6, una aplicación disponible en internet que es compatible con Windows⁵. El programa realiza tres procesos estadísticos básicos: calcula la matriz de correlación, extrae y rota los factores significativos mediante análisis de componentes principales, y define los valores de cada factor modelo (valores Z) (ADDAMS; PROOPS, 2000). Normalmente, se extraen de dos a cuatro factores después de la rotación utilizando una serie de criterios estadísticos definidos (SNEEGAS *et al.*, 2021). Entre ellos, que el valor propio (Eigenvalue) de la matriz sea superior a 1, que los factores tengan sentido desde el punto de vista teórico además de significación estadística, y que haya al menos 2 o 3 participantes por perspectiva social.

Interpretar los resultados. Una vez realizado el análisis factorial, se debe realizar una interpretación cualitativa de los resultados obtenidos. Normalmente, las frases más sustanciales o distintivas estadísticamente (*distinguishing statements*) y que hayan recibido calificaciones más extremas (máximo acuerdo o desacuerdo) son las más

4 Disponible en: <http://schmolck.userweb.mwn.de/qmethod/downpqwin.htm>. Último acceso: 7 febrero 2021.

5 Disponible en: <https://shawnbanasick.github.io/ken-q-analysis/>. Último acceso: 15 febrero 2021.

útiles para describir cualitativamente los factores. Interpretar los factores y asignarles una denominación clara y concisa es probablemente “la fase más problemática” de la metodología Q, según Eden *et al.* (2005, p. 419). Para la descripción de los factores es importante indicar claramente cuál es la frase que sustenta cada característica del factor mediante la mención del número de frase (por ejemplo #1 o #23), el valor normalizado asignado a esa frase en ese factor (por ejemplo, entre -5 y +5) y su significación estadística (* para $p < 0,05$ y ** para $p < 0,01$). En general, no se recomienda utilizar frases sin significación estadística para describir los factores, aunque en algunos casos pueden servir para reforzar la narrativa. Como se verá en la descripción de los estudios de caso, los factores se suelen identificar con un nombre simple que describa sucintamente sus características dominantes (por ejemplo “ambientalismo crítico” o “producción agrícola para la economía global”). No se deben usar nombres para los factores que remitan a la identidad de los participantes (por ejemplo “productores” o “académicos”) ya que no necesariamente esta identidad va a determinar la pertenencia a una perspectiva social determinada. Como indican Webler *et al.* (2009: 35), “uno de los usos interesantes de la Metodología Q es ayudar a los grupos a entender en qué están de acuerdo y en qué no”. Por tal motivo, se puede proporcionar también un análisis comparativo entre las perspectivas para comprender mejor las diferencias y similitudes entre ellas. Con este fin, puede ser útil tener en cuenta no sólo los puntos de desacuerdo entre las perspectivas, resaltados por las frases distintivas, sino también los puntos de acuerdo reflejados en las frases de consenso estadísticamente relevantes (*consensus statements*). Además, es importante para el debate y la negociación política reconocer que algunas ideas pueden no ser conflictivas, aunque no sean necesariamente consensuadas entre las perspectivas. Una atención cuidadosa a estas tres categorías de frases (frases distintivas, frases de consenso, y frases no conflictivas) podría ser importante para organizar el debate, enfocarse en los temas más importantes, ayudar a alcanzar compromisos políticos y, eventualmente, superar posiciones aparentemente irreconciliables como las que se dan muchas veces en los debates socio-ambientales. Se pueden identificar estas áreas específicas de consenso y disenso haciendo un uso más completo de la información proporcionada por el software Q.

Validar los resultados en entrevistas con participantes clave. La validación de los resultados obtenidos es un paso opcional, aunque es altamente recomendado. Esta validación se hace generalmente mediante la realización de entrevistas semi-estructuradas con algunos participantes clave, cuyos patrones de respuesta más se asemejan a los patrones modelo que definieron las perspectivas sociales (ROBBINS; KRUEGER, 2000; ROBBINS, 2006). También es buena práctica y recomendable desde el punto de vista ético informar a todos los participantes de los resultados obtenidos al finalizar el estudio.

Complementar los resultados con encuestas tradicionales. Finalmente, y en un paso opcional que raramente se realiza luego de un estudio Q, se pueden realizar encuestas de tipo R para conocer la proporción de personas de la población local que respaldan cada perspectiva social. Es necesario saber siempre que los resultados Q y R pueden ser muy distintos y se debe ser cuidadoso con las generalizaciones. En algunos casos, también podría ser necesario repetir los estudios Q a los efectos de identificar alguna perspectiva que, por algún motivo, haya sido ignorada en los estudios previos. En algunos estudios, los resultados del estudio Q pueden servir para estructurar mejor algunos talleres participativos con actores locales.

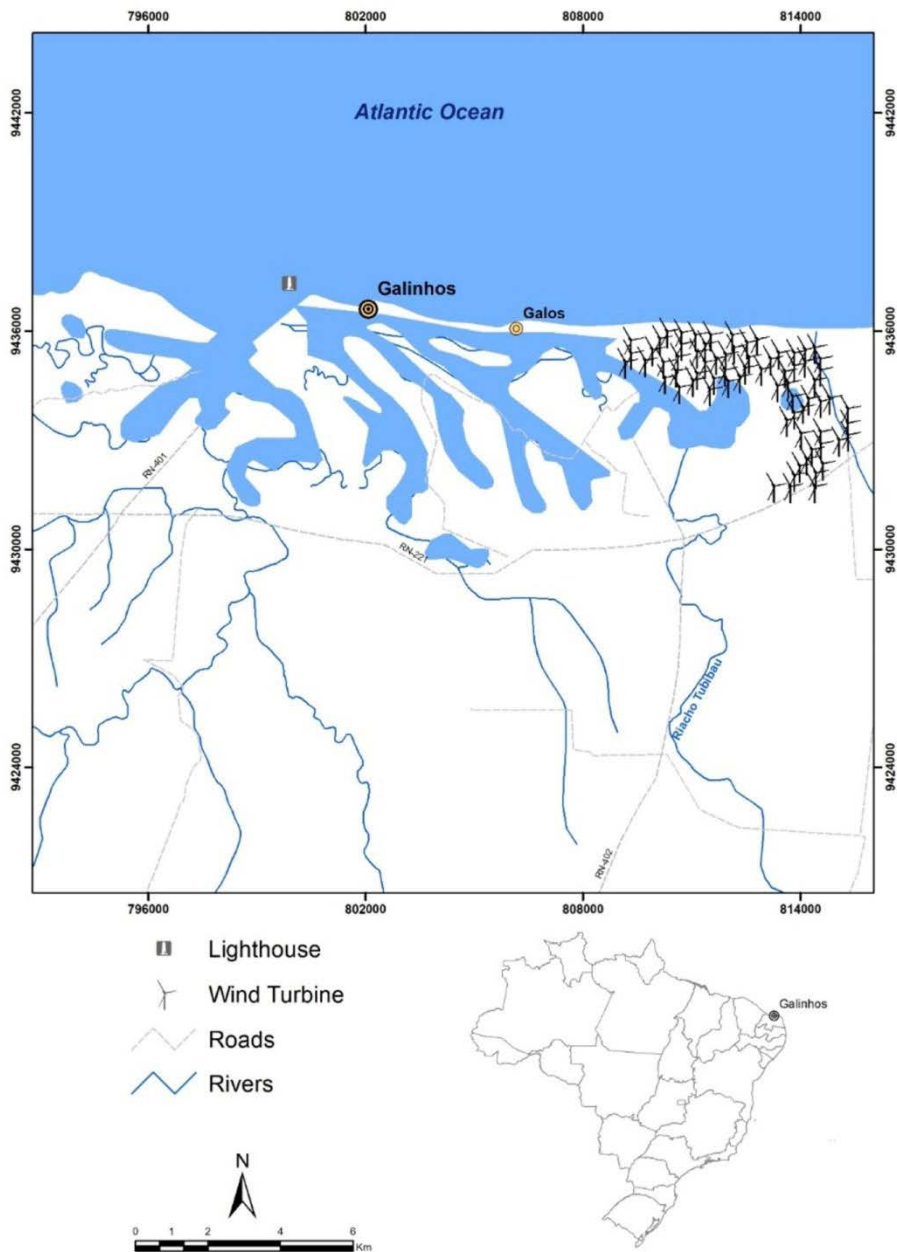
Aplicación de la Metodología Q al estudio de los impactos de la energía renovable

Caso 1: Justicia energética en el estado de Rio Grande do Norte, Brasil

Este caso es un ejemplo de cómo se pueden entender, a escala local, algunos proyectos de parques eólicos en términos de algunos problemas de justicia “distributiva” y “procesal” (MCCAULEY *et al.*, [2019](#); SOVACOOOL *et al.*, [2017](#)). Este trabajo utilizó la Metodología Q para identificar y describir las opiniones subjetivas existentes sobre la justicia distributiva y procesal de algunos parques eólicos en el estado de Rio Grande do Norte, Brasil ([Figura 2](#); [Figura 3](#)) (FRATE *et al.*, [2019](#)).

Las cuestiones específicas de justicia planteadas por una comunidad dedicada a la pesca costera y el turismo pueden ayudar a ampliar nuestra comprensión sobre la aceptación de los parques eólicos en el Sur Global (BROWN [2011](#); HUESCA-PÉREZ *et al.*, [2016](#); BRANNSTROM *et al.*, [2017](#); GORAYEB *et al.*, [2018](#); LAKHANPAL, [2019](#); ZÁRATE-TOLEDO *et al.*, [2019](#); VELASCO-HERREJON; BAUWENS, [2020](#)).

Figura 2 - Ubicación del estudio de caso en Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil



Fuente: Frate *et al.* (2019).

Figura 3 - Vista del parque eólico desde una de las lagunas de agua dulce que desembocan en la costa de Galinhos



Fotografía: Christian Brannstrom, mayo de 2016.

En el parque eólico de Galinhos se identificaron cuatro perspectivas sociales (factores) que se distinguen entre sí por cuestiones relacionadas a la justicia distributiva y procesal. Estas perspectivas se denominaron: (1) Cuestionar los beneficios de la energía eólica; (2) Impulsar los parques eólicos; (3) Aceptar compensación por electricidad; y (4) Cuestionar los procesos de los parques eólicos. Las primeras tres perspectivas sociales diferían sobre cómo los encuestados percibían quiénes eran los beneficiarios de los parques eólicos, sobre la importancia relativa de los impactos positivos, y sobre si realmente había impactos negativos como consecuencia de la instalación de los parques eólicos. La cuarta perspectiva social se definió por violaciones a los principios de justicia procesal, especialmente la presencia de personas ajenas a las comunidades en las audiencias públicas, y el escaso acceso a la información sobre el proyecto.

Este trabajo muestra la manera en que diferentes actores pueden utilizar aspectos específicos, y a veces contradictorios, de las preocupaciones locales sobre justicia para apoyar u oponerse a proyectos tales como los parques eólicos. Este estudio de caso está en línea con los temas estudiados por Walker y Baxter (2017), que se enfocaron en los numerosos factores de justicia procedimental y distributiva que influyen en

la aceptación o el rechazo local de la energía eólica. Los resultados de Galinhos indican que algunas preocupaciones sobre justicia distributiva, como empleo y medio ambiente, pueden terminar sirviendo a intereses opuestos. Por un lado, se convierten en una fácil justificación para apoyar a los parques eólicos, con argumentos de que aumentó la mano de obra y la actividad económica sin afectar al medio ambiente. Por otro lado, los críticos argumentan que el empleo sólo alcanzó a pocas personas, que el parque no impulsó el turismo, y que hubo impactos ambientales negativos. En cualquier caso, se sabe que, en países de ingresos bajos y medios, la mera promesa de empleo puede polarizar inmediatamente a los miembros de una comunidad. Algunas violaciones a la justicia procesal, tales como falta de transparencia en la información y manipulación de audiencias públicas, generan oposición a los parques eólicos porque estas violaciones confirman un sentimiento más amplio de marginación política. El caso Galinhos sugiere que en Brasil es todavía demasiado pronto para saber con certeza si los aspectos de justicia distributiva o procesal son realmente determinantes para el apoyo o la oposición a los parques eólicos, en particular porque los sitios de alto potencial eólico también son sitios con altos niveles de desigualdad económica, bajo nivel educativo, dependencia de recursos naturales básicos para la subsistencia, y marginación política.

El caso Galinhos, a partir del análisis por la Metodología Q, ofrece algunas enseñanzas para el desarrollo de los parques eólicos en Brasil y en otros países de la región. Primero, las empresas de energía y sus aliados políticos deben darse cuenta de que la información y las audiencias públicas representan oportunidades clave para definir la oposición o el apoyo a los parques eólicos. En segundo lugar, es importante compartir información con el Ministerio Público (abogados y fiscales de estado) sobre los impactos sociales, políticos y ambientales de la energía eólica. La participación temprana del Ministerio Público podría minimizar algunos problemas de justicia procesal y distributiva, reducir la desconfianza entre los distintos actores, y prevenir la corrupción en los procesos de toma de decisiones. En tercer lugar, los supuestos beneficios laborales, económicos y estéticos de las turbinas eólicas son siempre discutibles y cada sector tendrá puntos de vista preexistentes sobre estos temas. El posible empleo que se genera en estas iniciativas puede constituir una demanda de justicia distributiva, pero los beneficios del empleo son a veces insuficientes para justificar por sí solos la instalación de un parque eólico. En lugar de utilizar el empleo como la única razón para generar apoyo a un parque, las empresas deberían invertir en beneficios más concretos y generalizados, tales como la conexión eléctrica directa entre la comunidad y el parque eólico, reducciones en las facturas de electricidad para las comunidades afectadas por los parques eólicos, y otros programas sociales más permanentes. Cuarto, los desarrolladores de parques eólicos deben aceptar que algunos impactos ambientales negativos se sentirán de manera desigual en las comunidades locales y deben informar sobre este tema de manera directa y honesta. La idea de

que los parques eólicos, por tratarse de energía renovable, son automáticamente “sustentables” y que, por lo tanto, carecen de impactos negativos, será siempre discutida por las comunidades locales que son las que perciben directamente los impactos negativos de estas iniciativas en su ambiente cercano y en sus modos de vida. Por último, este estudio sugiere que los típicos estudios de impacto ambiental que generalmente se requieren para el otorgamiento de la licencia social y ambiental a los proyectos energéticos no son suficientes por sí solos para garantizar la justicia ambiental en el Sur Global. Por el contrario, muchas veces estos estudios, cuando son hechos sin tener en cuenta las realidades y percepciones locales, han ayudado a crear conflictos en lugar de promover la justicia social y ambiental. Como conclusión, este caso indica que una mejor inclusión de aspectos vinculados a la justicia distributiva y procesal en los procesos de toma de decisiones debería reducir los conflictos y mejorar la aceptación de los parques eólicos en el Sur Global.

Caso 2: Barreras a la energía eólica en el estado de Ceará, Brasil

En este estudio se entrevistaron a diferentes actores vinculados al sistema eléctrico del estado de Ceará, Brasil, para entender cómo se perciben las barreras existentes a la difusión de los parques eólicos de gran escala que se están instalando en la región (FRATE; BRANNSTROM, [2019](#)) ([Figura 4](#)).

Figura 4 - Ejemplos de parques eólicos cercanos a pequeñas comunidades rurales o costeras en las comunidades Cumbe (izquierda, agosto de 2017) y Xavier (derecha, agosto de 2015), en el estado de Ceará, Brasil



Fotografías: Christian Brannstrom, agosto, 2015, 2017.

En trabajos anteriores ya se habían identificado algunas barreras para la expansión de la energía eólica mediante el uso de entrevistas cualitativas (DIÓGENES *et al.*, [2019](#)). En este caso, utilizando la Metodología Q, se determinaron opiniones estadísticamente significativas entre diferentes actores del sector energético local

(planificadores, reguladores, administradores de redes, distribuidoras de energía, fabricantes de turbinas eólicas, industriales, y empresarios) con respecto a los desafíos técnicos y organizativos (barreras) para la difusión de la energía eólica a gran escala en el estado de Ceará. Los resultados del trabajo pueden ayudar a identificar y definir estas barreras, priorizarlas, y entenderlas en el contexto de las limitaciones y oportunidades institucionales y regionales. Las opiniones obtenidas son siempre heterogéneas y situadas, en lugar de homogéneas y generalizadas, y no siempre se relacionan con organizaciones o grupos interesados en la energía eólica. El conocimiento de la naturaleza compleja de las opiniones de los interesados puede ayudar a desarrollar estrategias para promover políticas más favorables para la energía eólica en el subsistema eléctrico de la región.

En este trabajo se identificaron cuatro perspectivas sociales (factores) relacionadas con los desafíos de la expansión de la energía eólica en el noreste de Brasil, identificadas con los siguientes nombres: (1) Fracasos debido a la red; (2) Desafíos ambientales; (3) Planificación para el viento; y (4) Participar en el viento. Estas perspectivas sociales enfatizan diferentes barreras para la expansión eólica. “Fracasar debido a la red” muestra preocupación por los costos de las futuras líneas de transmisión y la capacidad de abastecimiento a pequeña escala. Esta perspectiva muestra preocupación sobre la capacidad del operador de la red para operar en un entorno hidro-termo-eólico y ve a la misma red actual como una posible barrera. “Desafíos ambientales” se ocupa más de cuestiones organizativas, de la necesidad de cambiar el paradigma hidrotermal que comparte el personal técnico del sector eléctrico, y de la necesidad de flexibilizar los estudios de impacto ambiental. Este punto de vista también cree que la oposición ambiental tiene capacidad para bloquear la concesión de licencias de nuevos parques eólicos y cuestiona la motivación de algunos grupos opositores. La “Planificación para el viento” no considera la capacidad de reserva en las plantas hidroeléctricas como un factor limitante para la expansión de la energía eólica. Al mismo tiempo, esta perspectiva sostiene que el fortalecimiento de la capacidad predictiva del recurso eólico podría facilitar la expansión. La opinión de que los modelos predictivos necesitan mejoras sugiere la importancia de la inversión estatal en este aspecto clave de la integración de la energía eólica en una red nacional (NIMMAGADDA *et al.*, 2014). La perspectiva “Participar en el viento” es la única que incluye referencias explícitas y sugerencias sobre temas de planificación energética.

Las perspectivas sociales analizadas en este trabajo se suman a un debate reciente sobre aspectos técnicos y de ingeniería relacionados con escenarios de alta penetración de la energía eólica en Brasil (FARIA; JARAMILLO, 2017; DE JONG *et al.*, 2017; MIRANDA *et al.*, 2017), proporcionando la primera evidencia empírica de que la comprensión subjetiva de las barreras técnicas e institucionales no es uniforme entre los actores clave del sector de la energía eólica. Las perspectivas sociales que se analizaron tienen ideas centrales diferentes (pero no contradictorias) sobre las barreras

técnicas y de ingeniería para la penetración de la energía eólica. La resolución de estas diferentes barreras requeriría intervenciones políticas diversas por parte de los tomadores de decisiones. Las tensiones entre las perspectivas sociales se relacionan también con un sistema federal que carece de políticas y planificación coordinadas entre los gobiernos nacionales y estatales. Los encuestados no se mostraron muy preocupados por cuestiones relacionadas con la oposición de las comunidades locales, probablemente porque estas quejas se han mantenido localizadas y no han llegado a sus respectivas instituciones, o porque creen que son los funcionarios locales los que deben resolver estos problemas. En términos de diseño de investigación, este estudio muestra la utilidad de la Metodología Q para identificar percepción social en sectores altamente técnicos y para ofrecer resultados que pueden ser también utilizados en las ciencias sociales que estudian cuestiones vinculadas con políticas y planificación energética.

Comentarios finales

La Metodología Q se utiliza para estudiar la percepción social sobre diferentes temas socio-ambientales y puede ayudar a entender la diversidad de opiniones y la amplia variedad de percepciones que generalmente existen sobre estos temas. Esta metodología es innovadora porque combina métodos cualitativos con el rigor estadístico del análisis cuantitativo y se focaliza en las personas, o los grupos de personas que opinan de manera similar, más que en las opiniones en particular. A diferencia de las encuestas tradicionales, a la Metodología Q no le interesa la proporción de la población que opina de una manera determinada sobre algún tema específico, sino que busca identificar la diversidad de opiniones existentes sobre ese tema. Por ello, es muy útil para revelar las opiniones de las minorías que son generalmente subestimadas o directamente ignoradas por los grupos de mayor poder político o económico. La metodología Q no permite generalizar sobre la cantidad de personas que comparten una determinada subjetividad en una población, pero es altamente compatible con otras metodologías cualitativas tales como encuestas, grupos focales, y participación observante, entre otras. De esta manera, es una metodología que agrega valor al estudio de la percepción social de las energías renovables que se suele abordar desde otras ciencias sociales. La Metodología Q no debe ser la única opción para este tipo de investigaciones sociales, sino más bien una alternativa que puede generar una aproximación nueva al conocimiento de estos temas complejos. En los casos descriptos se muestra cómo la Metodología Q permitió identificar diferentes perspectivas sociales sobre los impactos de la aplicación de la energía renovable en zonas específicas del noreste de Brasil. El uso de esta metodología permitió visibilizar las opiniones de diversos sectores tales como las comunidades costeras potencialmente afectadas por la instalación de parques eólicos (Caso 1) y el personal altamente técnico que trabaja en

el sector energético (Caso 2), entre otros grupos de opinión. Los resultados obtenidos en estos estudios pueden contribuir a que la toma de decisiones políticas sea más inclusiva y promover sistemas energéticos más equilibrados, justos y sustentables.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen el apoyo de las siguientes instituciones: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina, Universidad Nacional de Salta (UNSa), Departamento de Geografía de la Universidad de Texas A&M, Red Suiza de Estudios Internacionales (SNIS) (Proyecto “LITHIUM”), CAPES-PVE/BRASIL Proc. 88881.068108/2014-01 (Proyecto “Impactos da Energia Eólica no Litoral do Nordeste”), y PRONEM FUNCAP/CNPq Proc. PNE 0112-00068.01.00/16 (Proyecto “Análise socioambiental da implantação de parques eólicos no Nordeste: perspectivas para a sustentabilidade da geração de energia renovável no Brasil”).

Referencias

- ADDAMS, H.; PROOPS, J., (ed.). **Social discourses and environmental policy: an application of Q methodology**. Edward Elgar Publishing, Cheltenham and Northampton, MA, 2000.
- BARRY, J.; PROOPS, J. Seeking sustainability discourses with Q methodology. **Ecological Economics**, v. 28, p. 337-345, 1999.
- BRANNSTROM, C. A Q-method analysis of environmental governance discourses in Brazil's northeastern soy frontier. **The Professional Geographer**, v. 63, n. 4, p. 531-549, 2011.
- BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J. S.; LOUREIRO, C.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V.; FREITAS, A. L. R.; OLIVEIRA, R. F. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 62-71, 2017.
- BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; PERSONS, N. Social perspectives on wind-power development in west Texas. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 101, n. 4, p. 839-851, 2011.
- BROOKFIELD, H.C. On the environment as perceived. **Progress in Geography**, v. 1, p. 51-80, 1969.
- BROWN, K. B. Wind power in northeastern Brazil: local burdens, regional benefits and growing opposition. **Climate and Development**, v. 3, p. 344-60, 2011.
- BROWN, S. R. Q methodology and qualitative research. **Qualitative Health Research**, v. 6, n. 4, p. 561-567, 1996.
- CUPPEN, E.; BREUKERS, S.; HISSCHEMÖLLER, M.; BERGSMA, E. Q methodology to select participants for a stakeholder dialogue on energy options from biomass in the Netherlands. **Ecological Economics**, v. 69, n. 3, 579-591, 2010.
- DAVIES, B. B.; HODGE, I. D. Shifting environmental perspectives in agriculture: Repeated Q analysis and the stability of preference structures. **Ecological Economics**, v. 83, p. 51-57, 2012.
- DIÓGENES, J. R. F.; CLARO, J.; RODRIGUES, J. C. Barriers to onshore wind farm implementation in Brazil. **Energy Policy**, v. 128, p. 253-266, 2019.

- DRYZEK, J. S.; BEREJIKIAN, J. Reconstructive democratic theory. **American Political Science Review**, v. 87, n. 1, p. 48-60, 1993.
- EDEN, S.; DONALDSON, A.; WALKER, G. Structuring subjectivities? Using Q methodology in human geography. **Area**, v. 37, n. 4, p. 413-422, 2005.
- VAN EETEN, M. Recasting environmental controversies: A Q study of the expansion of Amsterdam airport. In: ADDAMS, H.; PROOPS, J. (ed.). **Social Discourse and Environmental Policy: An Application of Q Methodology**. Cheltenham: Edward Elgar, 2000. p. 41-70.
- ELLIS, G.; BARRY, J.; ROBINSON, C. Many ways to say 'no', different ways to say 'yes': Applying Q-Methodology to understand public acceptance of wind farm proposals. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 50, n. 4, p. 517-551, 2007.
- FARIA, F. A. M.; JARAMILLO, P. The future of power generation in Brazil: An analysis of alternatives to Amazonian hydropower development. **Energy for Sustainable Development**, v. 41, p. 24-35, 2017.
- FRATE, C. A.; BRANNSTROM, C. Stakeholder subjectivities regarding barriers and drivers to the introduction of utility-scale solar photovoltaic power in Brazil. **Energy Policy**, v. 111, p. 346-352, 2017.
- FRATE, C. A.; BRANNSTROM, C. How do stakeholders perceive barriers to large-scale wind power diffusion? A Q-method case study from Ceará state, Brazil. **Energies**, v. 12, p. 2063, 2019.
- FRATE, C. A.; BRANNSTROM, C.; MORAIS, M. V. G.; CALDEIRA-PIRES, A. A. Procedural and distributive justice inform subjectivity regarding wind power: A case from Rio Grande do Norte, Brazil. **Energy Policy**, v. 132, p. 185-195, 2019.
- GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. A.; MENDES, J. S. Wind power gone bad: Critiquing wind power planning processes in northeastern Brazil. **Energy Research & Social Science**, v. 40, p. 82-88, 2018.
- GROSSMAN, L. Man-environment relationships in anthropology and geography. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 67, n. 1, p. 126-144, 1977.
- HERMELINGMEIER, V.; NICHOLAS, K. A. Identifying five different perspectives on the ecosystem services concept using Q methodology. **Ecological Economics**, v. 136, p. 255-265, 2017.
- HUARANCA, L. L.; IRIBARNEGARAY, M. A.; ALBESA, F.; VOLANTE, J. N.; BRANNSTROM, C.; SEGHEZZO, L. Social perspectives on deforestation, land use change, and economic development in an expanding agricultural frontier in northern Argentina. **Ecological Economics**, v. 165, p. 106424, 2019.
- HUESCA-PÉREZ, M.E.; SHEINBAUM-PARDO, C.; KÖPPEL, J. Social implications of siting wind energy in a disadvantaged region – The case of the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 58, p. 952-965, 2016.
- IRIBARNEGARAY, M. A.; LA ZERDA, M. F. E.; HUTTON, C. M.; BRANNSTROM, C.; LIBERAL, V. I.; TEJERINA, W. A.; SEGHEZZO, L. Water-conservation policies in perspective: insights from a Q-method study in Salta, Argentina. **Water Policy**, v. 16, p. 897-916, 2014.
- IRIBARNEGARAY, M. A.; SULLIVAN, A.; RODRIGUEZ-ALVAREZ, M. S.; BRANNSTROM, C.; SEGHEZZO, L.; WHITE, D. Identifying diverging sustainability meanings for water policy: A Q-method study in Phoenix, Arizona. **Water Policy**, v. 23, n. 2, p. 291-309, 2021.
- DE JONG, P.; DARGAVILLE, R.; SILVER, J.; UTEMBE, S.; KIPERSTOK, A.; TORRES, E. A. Forecasting high proportions of wind energy supplying the Brazilian Northeast electricity grid. **Applied Energy**, v. 195, p. 538-555, 2017.

- LAKHANPAL, S. Contesting renewable energy in the global south: A case-study of local opposition to a wind power project in the Western Ghats of India. **Environmental Development**, v. 30, p. 51-60, 2019.
- LANSING, D. M. Not all baselines are created equal: A Q methodology analysis of stakeholder perspectives of additionality in a carbon forestry offset project in Costa Rica. **Global Environmental Change**, v. 23, p. 654-663, 2013.
- LEWICKI, R. J.; GRAY, B.; ELLIOTT, M. **Making sense of intractable environmental conflicts: frames and cases**. Washington, DC: Island Press, 2003.
- MCCAULEY, D.; RAMASAR, V.; HEFFRON, R.J.; SOVACOO, B. K.; MEBRATU, D.; MUNDACA, L. Energy justice in the transition to low carbon energy systems: Exploring key themes in interdisciplinary research. **Applied Energy**, v. 233-234, p. 916-921, 2019.
- MCKEOWN, B.; THOMAS, D. Q methodology. Quantitative Applications in the Social Sciences. **Sage Publications**, Newbury Park, Londres, Nueva Delhi, 1988.
- MILLER, T. R.; MINTEER, B. A.; MALAN, L. C. The new conservation debate: The view from practical ethics. **Biological Conservation**, v. 144, p. 948-957, 2011.
- MIRANDA, R.; SORIA, R.; SCHAEER, R.; SZKLO, A.; SAPORTA, L. Contributions to the analysis of "Integrating large scale wind power into the electricity grid in the Northeast of Brazil" [Energy 100 (2016), 401-415]. **Energy**, v. 118, p. 1198-1209, 2017.
- NIEDZIAŁKOWSKI, K.; KOMAR, E.; PIETRZYK-KASZYŃSKA, A.; OLSZAŃSKA, A.; GRODZIŃSKA-JURCZAK, M. Discourses on public participation in protected areas governance: Application of Q methodology in Poland. **Ecological Economics**, v. 145, p. 401-409, 2018.
- NIMMAGADDA, S.; ISLAM, A.; BAYNE, S. B.; WALKER, R. P.; CABALLERO, L. G.; CAMANES, A. F. A study of recent changes in Southwest Power Pool and Electric Reliability Council of Texas and its impact on the US wind industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 36, p. 350-361, 2014.
- PORTER, P. W. Geography as human ecology. A decade of progress in a quarter century. **The American Behavioral Scientist**, v. 22, n. 1, p. 15-39, 1978.
- RAY, L. Using Q methodology to identify local perspectives on wildfires in two Koyukon Athabaskan communities in rural Alaska. **Sustainability: Science, Practice, and Policy**, v. 7, n. 2, p. 18-29, 2011.
- ROBBINS, P. Q methodology. In: KEMPF-LEONARD, K. (ed.). **Encyclopedia of Social Measurement**. San Diego (CA):Academic, 2005. v. 3, p. 209-215.
- ROBBINS, P. The politics of barstool biology: Environmental knowledge and power in greater Northern Yellowstone. **Geoforum**, v. 37, p. 185-199, 2006.
- ROBBINS, P.; KRUEGER, R. Beyond bias? The promise and limits of Q Method in Human Geography. **Professional Geographer**, v. 52, n. 4, p. 636-648, 2000.
- ROBINSON, J.G. Ethical pluralism, pragmatism, and sustainability in conservation practice. **Biological Conservation**, v. 144, p. 958-965, 2011.
- SCHOLTE, S. S. K.; VAN TEEFFELLEN, A. J. A.; VERBURG, P. H. Integrating socio-cultural perspectives into ecosystem service valuation: A review of concepts and methods. **Ecological Economics**, v. 114, p. 67-78, 2015.

- SNEEGAS, G.; BECKNER, S.; BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; LEE, K.; SEGHEZZO, L. Using Q-methodology in environmental sustainability research: A bibliometric analysis and systematic review. **Ecological Economics**, v. 180, p. 106864, 2021.
- SOVACOO, B. K.; BURKE, M.; BAKER, L.; KOTIKALAPUDI, C. K.; WLOKAS, H. New frontiers and conceptual frameworks for energy justice. **Energy Policy**, v. 105, p. 677-691, 2017.
- STEELMAN, T. A.; MAGUIRE, L. A. Understanding participant perspectives: Q-Methodology in national forest management. **Journal of Policy Analysis and Management**, v. 18, n. 3, p. 361-388, 1999.
- SY, M. M.; REY-VALETTE, H.; SIMIER, M.; PASQUALINI, V.; FIGUIÈRESE, C.; DE WIT, R. Identifying consensus on coastal lagoons ecosystem services and conservation priorities for an effective decision making: A Q approach. **Ecological Economics**, v. 154, p. 1-13, 2018.
- STEPHENSON, W. Definition of opinion, attitude and belief. **The Psychological Record**, v. 15, p. 281-288, 1965.
- TULER, S.; WEBLER, T. Competing perspectives on a process for making remediation and stewardship decisions at the Rocky Flats environmental technology site. *In: Long-term management of contaminated sites*, 2015. p. 49-77. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0196-1152\(06\)13002-1](https://doi.org/10.1016/S0196-1152(06)13002-1).
- VELASCO-HERREJON, P.; BAUWENS, T. Energy justice from the bottom up: A capability approach to community acceptance of wind energy in Mexico. **Energy Research & Social Science**, v. 70, p. 101711, 2020.
- VUGTEVEEN, P.; LENDERS, H. J. R.; DEVILEE, J. L. A.; LEUVEN, R. S. E.; VAN DER VEEREN, R. J. H. M.; WIERING, M.A.; HENDRIKS, A. J. Stakeholder value orientations in water management. **Society and Natural Resources**, v. 23, n. 9, p. 805-821, 2010.
- WALDER, P.; KANTELHARDT, J. The environmental behaviour of farmers – Capturing the diversity of perspectives with a Q Methodological approach. **Ecological Economics**, v. 143, p. 55-63, 2018.
- WALKER, C.; BAXTER, J. It's easy to throw rocks at a corporation: wind energy development and distributive justice in Canada. **Journal of Environmental Policy and Planning**, v. 19, p. 754-768, 2017.
- WATTS, S.; STENNER, P. **Doing Q methodological research: theory, method and interpretation**. Los Angeles: SAGE, 2012.
- WEBER, E. P.; LACH, D.; STEEL, B. S. **New strategies for wicked problems: science and solutions in the twenty-first century**. Corvallis: Oregon State University Press, 2017.
- WEBLER, T.; DANIELSON, S.; TULER, S. **Using Q method to reveal social perspectives in environmental research**. Greenfield: Social and Environmental Research Institute, 2009.
- WOOLLEY, J.T.; MCGINNIS, M. V. The conflicting discourses of restoration. **Society and Natural Resources**, v. 13, n. 4, p. 339-357, 2000.
- ZABALA, A.; PASCUAL, U. Bootstrapping Q methodology to improve the understanding of human perspectives. **PLOS ONE**, v. 11, n. 2, p. 1-19, 2016.
- ZÁRATE-TOLEDO, E.; PATIÑO, R.; FRAGA, J. Justice, social exclusion and indigenous opposition: A case study of wind energy development on the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. **Energy Research & Social Science**, v. 54, p. 1-11, 2019.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DEL DISCURSO Y CODIFICACIÓN (*CODING*) CON ÉNFASIS EN LOS DOCUMENTOS OFICIALES DE LICENCIAMIENTO AMBIENTAL

Wallason Farias de Souza¹

Antonio Jeovah de Andrade Meireles¹

Christian Brannstrom²

Resumen

Los estudios ambientales son documentos importantes en el proceso de licenciamiento ambiental de las empresas del sector eléctrico y pueden ser analizados más allá de sus características técnicas. Estos estudios ambientales necesarios para la aprobación de la viabilidad ambiental de los emprendimientos pueden ser analizados desde el discurso que sostienen e interpretando los intereses e intenciones detrás de este discurso. En este capítulo se señala el uso de programas informáticos para el análisis de datos cualitativos (*Qualitative Data Analysis Software – QDAS*) como una herramienta importante en el análisis de discursos en los estudios ambientales utilizados para obtener la licencia ambiental. Estos estudios cuentan con información relevante sobre la lógica discursiva adoptada por empresarios, consultoras, inversionistas y demás interesados para justificar la implementación de emprendimientos e impulsar el uso de una determinada matriz energética. Los QDAS (ATLAS.ti, MaxQDA, WebQDA, Nvivo etc.) son capaces de analizar una mayor cantidad de textos con mejor calidad. Se presentan algunos ejemplos de análisis de discursos utilizados en Informes Ambientales Simplificados para el licenciamiento ambiental de parques eólicos en el Estado de Ceará, Brasil, mostrando resultados encontrados sobre evidencias de *green grabbing* desde la dimensión de financiarización de la naturaleza. Estos programas indican posibilidades de codificación y categorización automatizada de segmentos, cuantificación de palabras, términos relevantes y su ubicación en contexto, nubes de palabras, redes

1 Universidad Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil. wallason.farias@gmail.com

2 Texas A&M University (TAMU), College Station, Estados Unidos.

semánticas y redes de descripción que pueden ofrecer herramientas importantes para comprender los discursos utilizados para justificar la implementación de empresas que se puede utilizar en varios documentos textuales y en diferentes contextos.

Palabras clave: Análisis del discurso. Coding. *Green grabbing*. Energía eólica. QDAS.

Introducción

El discurso ambiental que motiva el uso de fuentes renovables para la generación de electricidad, que permita reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mientras responde a la necesidad de crecimiento y diversificación de la matriz eléctrica brasileña en medio de una crisis energética, llevaron a los esfuerzos del gobierno en las últimas dos décadas por aprovechar mejor el potencial de algunas regiones del país para la producción de energía eléctrica a partir de la energía eólica. Las reflexiones sobre el análisis y la codificación del discurso se han hecho presentes en la Geografía con el empleo cada vez más frecuente de programas computacionales del tipo *Computer-Assisted Qualitative Data Analysis Software* (CAQDAS) y procedimientos de codificación de texto, que permiten la organización, exploración y análisis de grandes bases de datos y la construcción y fundamentación de teorías de forma simplificada y con ayuda computacional. Salvo por un análisis preliminar (GORAYEB *et al.*, 2018), se desconocía, hasta el desarrollo de esta investigación, el contenido y los discursos que formaban parte de los Informes Ambientales Simplificados (IAS), en portugués *Relatório Ambiental Simplificado* (RAS), para parques eólicos en Ceará.

Este capítulo describe las bases conceptuales en Geografía Humana para codificar textos y los procedimientos técnicos para realizar un estudio con el *Qualitative Data Analysis Software* (QDAS) y resume algunos estudios que realizan análisis del discurso sobre temas de geografía energética. Luego, el texto explica los detalles metodológicos para hacer el análisis del discurso a través de un QDAS. Estas metodologías se aplicaron al análisis de 18 IAS, identificando evidencias discursivas del *green grabbing* y los problemas y deficiencias de comunicación de estos estudios, incluidos los discursos sobre “crisis” (ARAÚJO *et al.*, 2020).

Análisis del discurso a través de softwares: una breve introducción

El análisis del discurso es una metodología utilizada en las ciencias humanas y sociales desde hace varios años. En Geografía Humana, Waitt (2005), Peace y Van Hoven (2005) y Cope (2005) describieron la práctica del *coding* (codificación de expresiones clave) y el uso de programas computacionales capaces de facilitar y mejorar los análisis para realizar el análisis de discursos a partir de textos. Sobre el análisis del discurso, Waitt (2005) hace consideraciones relevantes desde la perspectiva de Michel Foucault. Para Foucault, el análisis del discurso consta de tres pasos principales:

(1) explorar los resultados del discurso en términos de acciones, percepciones y actitudes en lugar del simple análisis de textos; (2) identificar el marco normativo general dentro de un conjunto de declaraciones producidas y comunicadas dentro de cada construcción personal, sus enunciados y pensamientos; y (3) descubrir el soporte o los mecanismos internos que mantienen ciertas estructuras y reglas sobre las declaraciones acerca de personas, animales, plantas, eventos o el sentido común, en lugar de descubrir la verdad o el origen de una declaración.

Según Cope (2005), los geógrafos están cada vez más comprometidos no solo con la investigación cualitativa, sino también con el pensamiento crítico y la escritura sobre metodologías, incluidas las formas de evaluar, organizar y dar sentido a sus datos a través de procesos de codificación (manuales o computacionales). Peace y Van Hoven (2005) afirman que la participación de geógrafos humanos y científicos sociales con apoyo computacional, posible gracias al análisis estructurado de datos cualitativos, es relativamente reciente, citando como ejemplo programas informáticos como CAQDAS. Los diferentes tipos de programas y criterios de selección para la investigación deben basarse en el tiempo, los objetivos, los recursos y las habilidades.

Estos autores destacan las ventajas y preocupaciones de trabajar con un CAQDAS y las habilidades del investigador. Las ventajas señaladas son la gestión de grandes cantidades de datos, codificación y recuperación convenientes, búsqueda de texto de forma precisa, identificación rápida de casos desviados, más tiempo para explorar datos crudos y una relación amigable con los datos (creatividad). Como preocupaciones destacan, entre otras, la obsesión por el volumen de datos, el análisis mecánico de los datos con el software tomando el control y la pérdida de la visión general.

Vale la pena señalar las diferencias entre dos conceptos íntimamente relacionados: el análisis de contenido (*content analysis*) y el análisis del discurso (*discourse analysis*). Waitt (2005) afirma que el análisis de contenido examina los textos como cosas que existen en sí mismas, que son aparentemente transparentes y pueden analizarse de forma aislada, procediendo a la codificación y cuantificación de prioridades de identificación y temas emergentes dentro de los textos. El análisis del discurso se enfoca en los efectos de un texto cultural particular sobre lo que un individuo podría hacer o pensar para descubrir su producción, contexto social y público objetivo, teniendo la “fuerza metodológica” para ir más allá del texto, el subtexto y la representación para descubrir cuestiones de relaciones que informan lo que la gente piensa y hace.

Un tipo de técnica muy utilizada en estos dos enfoques es la codificación, que tiene como principales objetivos la reducción de datos, la organización y creación de sistemas de búsqueda y análisis y la construcción de teorías. La codificación se pueden realizar de forma manual (en papel) o a través de un CAQDAS en documentos electrónicos, siendo ambas vías sistemas para identificar términos, frases o acciones que aparecen en un documento y contar cuántas veces aparecen y en qué contexto (COPE, 2005).

Para Waitt (2005), codificar implica identificar temas clave en un texto o documento para revelar cómo su productor/creador está inmerso dentro de una estructura discursiva específica. Para ello, sugiere una serie de preguntas iniciales:

- “¿Qué categorías de códigos sugiere la pregunta inicial?”
- “¿Qué efectos de las estructuras discursivas está codificando (actitudes, experiencias, percepciones o acciones)?”
- “¿Son el resultado de estructuras discursivas específicas de un lugar en particular?”
- “¿Qué categorías de códigos sugiere la literatura empírica y teórica más amplia de la que se derivó la pregunta inicial?”

Cope (2005) afirma que el tipo de codificación depende de los objetivos de investigación. A veces se utiliza de forma exploratoria e inductiva, como en una “teoría fundamentada” (*grounded theory*), donde el propósito es generar teorías a partir de datos empíricos, mientras que en otras ocasiones se utiliza para sustentar teorías o hipótesis de una forma más deductiva. Para este autor, la codificación comienza con códigos iniciales que provienen de preguntas de investigación, de la literatura sobre el tema y de las categorías inherentes al proyecto y luego avanza a través de códigos más interpretativos como patrones, relaciones y diferencias. Estos últimos son más reflexivos y se modifican a medida que surgen nuevos conceptos y temas.

En el mismo sentido, Waitt (2005) también sugiere tener una lista de temas y verificar cuántas veces ocurren en el texto a través de la codificación, que debe hacerse en varios ciclos y reclasificaciones analizando cómo el tema obtiene significado a través de las relaciones entre palabras y conexiones entre grupos de palabras en diferentes textos.

Análisis del discurso en los estudios energéticos

Los estudios que utilizaron el análisis del discurso en la geografía de la energía muestran los discursos políticos que motivaron la implementación de un determinado tipo de planta eléctrica o incluso la aceptación y oposición a un tipo de generación eléctrica en un determinado contrato. En estos estudios se identifican tres vías principales para lograr los resultados propuestos, a saber, el uso del método Q (FRATE, BRANNSTROM, 2015; COTTON, 2015; BRANNSTROM, JEPSON; PERSONS, 2011; FRATE; BRANNSTROM, 2019), el análisis de discursos de personas (entrevistas) y textos mediáticos (MURPHY *et al.*, 2018; COTTON; RATTLE; VAN ALSTINE, 2014; DAVINE; LAWHON; PIERCE, 2017; DANTAS *et al.*, 2019) y el análisis de documentos oficiales y toma de decisiones (ABBOTT, 2010), siendo este último menos común en la literatura.

La metodología Q (ver el [Capítulo 4](#)) consiste en una combinación de análisis cuantitativo y cualitativo que permite un estudio sistemático de las perspectivas sociales, sin depender de la afiliación grupal y abierto al análisis de alianzas discursivas, argumentos y cismas en el amplio espectro de actores involucrados en la gestión de recursos. Esta metodología parte de que la subjetividad es observable a través de la medición estadística asume que existen patrones ordenados de discurso que se pueden obtener a partir de los datos recolectados.

Por ejemplo, Brannstrom, Jepson y Persons (2011) utilizaron la metodología Q en un estudio sobre las perspectivas sociales del desarrollo de la energía eólica en el oeste de Texas, Estados Unidos. A partir de este análisis, se identificaron cinco grupos de opinión significativos, que van desde el apoyo a la energía eólica hasta la preocupación por los impactos negativos. Cotton (2015) empleó la metodología Q para visualizar los discursos de las partes interesadas sobre el *fracking* de gas de esquisto en el Reino Unido, examinando una variedad de impactos ambientales, de salud y socioeconómicos. El análisis tuvo como objetivo identificar las formas en que los diferentes grupos de partes interesadas perciben el fracking de shale gas y explorar las relaciones entre las perspectivas capturadas en el estudio empírico y las tipologías del medio ambiente en los discursos establecidos. Además, el estudio indagó si dichos grupos de partes interesadas tienen perspectivas marcadamente diferentes sobre ciertas preocupaciones ambientales para estimular un debate más amplio sobre la legitimidad democrática, los impactos ambientales y sociales y la aceptabilidad de las actividades de extracción de investigaron.

Las declaraciones fueron extraídas de datos de entrevistas de un estudio cualitativo del discurso político en el Reino Unido y de declaraciones escritas y verbales de fuentes secundarias (periódicos, comunicados de prensa, declaraciones del gobierno, publicaciones de ONGs). Los participantes fueron seleccionados sobre la base de un muestreo que tenía como objetivo descubrir una variedad de intereses de los actores-clave.

El segundo enfoque del análisis del discurso se centra en los discursos de las personas (entrevistas). Por ejemplo, Murphy *et al.* (2018) investigaron las perspectivas de las partes interesadas sobre el desarrollo económico en Texas a partir de la producción no convencional de petróleo y gas, fenómeno que tuvo un gran impacto en la creación de ciudades en áreas rurales. Para analizar la percepción de los principales interesados económicos de la región, se realizaron entrevistas semi-estructuradas a a quince actores-clave, seleccionados por su papel en el desarrollo económico de sus ciudades o municipios. Para los autores, las opiniones de los actores del desarrollo económico que interactúan regularmente con las empresas son muy relevantes porque indican cómo los residentes locales y las empresas petroleras experimentan un rápido crecimiento económico. Las entrevistas fueron transcritas y codificadas usando el

programa ATLAS.ti, utilizando un enfoque de teoría fundamentada para identificar temas emergentes.

Con base en este análisis, Murphy *et al.* (2018) identificaron las siguientes perspectivas: (1) “Dios, envíanos otro *boom* petrolero” por parte de funcionarios de desarrollo económico; (2) “carreteras: un montón de idiotas corriendo en línea recta”, en alusión a los daños causados a las carreteras; (3) “vivienda: aquí no hay lugar para albergar a la familia”, refiriéndose a la vivienda como un importante inhibidor del crecimiento futuro de sus comunidades; y (4) “mano de obra y salarios: sube tu salario para mantener a tu empleado”, mostrando que como industria petrolera pagaba muy bien, otras empresas tenían que subir salarios para tener trabajadores.

Otro ejemplo es el trabajo de Dantas *et al.* (2019) sobre las percepciones sobre la energía eólica en el Estado de Rio Grande do Norte, especificando el parque eólico de Galinhos. Los autores analizaron las narrativas divulgadas públicamente, expresadas por agentes del mercado, agentes gubernamentales, responsables por el cumplimiento legal y la gestión de las normas relacionadas con el control y mantenimiento de la calidad ambiental en el Estado. Además, se evaluaron las preocupaciones de la comunidad. A partir de estas narrativas se construyó un Cuadro representativo que muestra las percepciones de los actores sociales. Se presentó la “percepción de los inversores sobre las reacciones de la población de Galinhos”, con discursos públicos de representantes del Centro de Estrategias en Recursos Naturales y Energía (CERN), la Asociación Brasileña de Energía Eólica (ABEEÓLICA), la Federación de Industrias del Estado de Rio Grande do Norte (FIERN) y el Consorcio Brasventos. Los discursos de estos actores presentaron argumentos y desafíos al movimiento contra los parques, la legitimidad de los líderes y los argumentos que apuntaban a los impactos ambientales causados por los parques, reflejando “intereses locales oportunistas” (DANTAS *et al.*, 2019, p. 12).

El análisis de artículos periodísticos también representa una de las herramientas utilizadas en el análisis del discurso. Davine, Lawhon y Pierce (2017) utilizaron 50 artículos de uno de los periódicos de mayor circulación en Canadá para examinar los debates públicos sobre la extracción de arena bituminosa como un ejemplo de cómo se negocia el sitio para legitimar resultados específicos. Estos autores adoptaron un enfoque analítico orientado al punto de vista relacional, al examinar cómo múltiples perspectivas y posiciones coexisten y se exponen en momentos de contestación.

En una primera instancia, la búsqueda encontró 672 artículos, de los cuales 50 fueron muestreados y codificados aleatoriamente, lo que resultó en 63 instancias de encuadre. Encontraron posiciones divergentes de los discursos utilizados por el gobierno, la industria, los grupos indígenas, los ambientalistas y otras partes interesadas, en la medida en que estaban a favor o en contra del desarrollo de la extracción de arenas bituminosas.

Algo menos común en la literatura es el análisis del discurso de los documentos oficiales de licenciamiento y de alguna etapa del proceso de autorización de plantas eléctricas. Un estudio en esta dirección fue desarrollado por Abbott (2010), al analizar el discurso de los comentarios públicos durante el proceso de licenciamiento de parques eólicos en el condado de Kittitas, estado de Washington, Estados Unidos. Desde el enfoque de la ecología política, el estudio realizó un análisis cuantitativo simple del registro público de dos proyectos de energía eólica para ilustrar cómo la oposición local a la energía eólica se difundió a través de la ideología conservacionista. El autor destaca inicialmente el discurso conservacionista local relacionado con la idea de la energía eólica, vinculada a la conservación de la vida silvestre, una alternativa a los combustibles fósiles, el impacto paisajístico y la preservación agrícola en dos parques eólicos del estado. Se observó que los lugares físicos de energía eólica se clasifican en al menos cuatro formas diferentes: lugares de hábitat de vida silvestre, lugares para la producción de energía limpia, lugares de producción y estilos de vida culturalmente creativos, y lugares estéticos. El análisis cuantitativo de los comentarios de los cuadernos públicos de los dos parques eólicos proporcionó una imagen detallada de las representaciones discursivas relacionadas con la energía eólica. A través de la codificación de 146 documentos, se identificaron ocho categorías de temas derivados de la participación pública durante el proceso de licenciamiento: fauna terrestre, fauna aviar, cambio climático global, dependencia energética, contaminación, efectos visibles, valor de la propiedad y desarrollo económico. El estudio concluyó que el discurso de la conservación de la energía eólica depende de la región geográfica y la posición desde la cual se enmarca el discurso, y que los factores ambientales, y los factores políticos y económicos globales han agregado una nueva dimensión a las preocupaciones sobre la gobernanza regulatoria.

Luego de ver ejemplos de análisis del discurso y de procesos de codificación en estudios cualitativos dentro de la geografía energética, cabe mencionar que los CAQDAS son programas informáticos para la interpretación textual, siendo una herramienta de apoyo al proceso de análisis de datos cualitativo. El *software* libera al investigador de tareas que una computadora puede realizar de manera eficiente, como modificar códigos de palabras, codificar segmentos, recuperar datos según criterios, buscar palabras, contar el número de incidencias codificadas y proporcionar descripciones generales de varios pasos de un proyecto (FRIESE, 2014).

Friese (2014) señala que el uso de QDAS facilita el análisis sistemático de los datos y la formulación de preguntas que de otro modo no tendrían respuestas, ya que las tareas manuales consumirían mucho tiempo. Incluso grandes volúmenes de datos y diferentes tipos de medios se pueden estructurar e integrar rápidamente utilizando el programa, lo que también aumenta la calidad y la validez de los resultados.

Análisis del discurso de los estudios ambientales utilizados para el licenciamiento ambiental de parques eólicos

Este capítulo se basa en una investigación más amplia donde se analizaron los discursos de los IAS de emprendimientos de energía eólica en la costa de Ceará, con el objetivo de identificar si los parques eólicos representarían un caso de *green grabbing* (apropiación de tierras y recursos) en la costa de Ceará. Se utilizó un programa de análisis de datos cualitativos (ATLAS.ti) para codificar y analizar el discurso del *green grabbing* en 18 IAS, que suman 4.204 páginas, y se realizaron visitas de campo en los parques instalados en busca de evidencias materiales de apropiación. Los resultados encontrados en la IAS marcas discursivas de *green grabbing* con apropiación de tierras y recursos a partir de justificaciones y fines ambientales en la implementación de parques eólicos en la zona costera de Ceará, estudios ambientales con debilidades y alto nivel de repetición de contenido y evidencia de dotación material en los parques eólicos instalados. Los IAS fueron presentados como instrumentos frágiles para evaluar la viabilidad ambiental de los parques eólicos en la zona costera de Ceará, utilizando la retórica del *green grabbing* para justificar y minimizar los impactos socioambientales y la apropiación de tierras y recursos. En este capítulo se analizan los resultados encontrados para una de las dimensiones del *green grabbing*, la financiarización de la naturaleza, y las evidencias discursivas encontradas en los IAS.

El Informe Ambiental Simplificado

Los estudios ambientales del tipo IAS fueron instituidos por la Resolución nº 279/2001 del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y, desde entonces, se utilizan para evaluar la viabilidad ambiental de la implantación de parques eólicos en Ceará, considerándolos de bajo potencial impacto ambiental, lo que ha facilitado y acelerado la implementación de estos parques a lo largo de la costa de Ceará. Según estudios previos, la implementación de estos parques en la zona costera del Estado de Ceará generó impactos que afectaron el medio ambiente y las poblaciones locales. Gorayeb *et al.* (2018) iniciaron un acercamiento crítico al proceso de licenciamiento ambiental y análisis de un IAS para la instalación de un parque eólico en Ceará.

La elección del IAS como objeto de análisis se debió al hecho de que estos estudios han sido durante mucho tiempo los únicos instrumentos legales para evaluar los impactos ambientales de los parques eólicos en Ceará y Brasil. Los IAS son muy relevantes en la expansión de la energía eólica en Ceará, ya que representan una parte esencial del licenciamiento ambiental y crearon el camino legal para la instalación de varios parques eólicos, además de ser una pieza fundamental para viabilizar inversiones en estos proyectos.

La licencia ambiental en Brasil constituye un instrumento de la Política Ambiental Nacional, siendo establecida por la Resolución n° 1 de 23 de enero de 1986 y complementada por la Resolución n° 237 de 19 de diciembre de 1997, ambas de CONAMA. La primera resolución estableció el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y el Informe de Impacto Ambiental (IMA) como mecanismos obligatorios para obtener una licencia ambiental para actividades que modifican el medio ambiente (artículo 2).

La Resolución CONAMA 237/1997 también estableció como estudios ambientales todos los estudios de aspectos ambientales relacionados con la ubicación, instalación, operación y ampliación de una actividad o empresa, presentados para solicitar una licencia, citando el informe ambiental, el informe ambiental preliminar, el plan de manejo, el plan y proyecto de control ambiental, el plan de recuperación de áreas degradadas y el análisis preliminar de riesgos.

Según Gorayeb y Brannstrom (2016), el EIA-IMA fue el instrumento obligatorio para evaluar la factibilidad ambiental de los emprendimientos del sector eléctrico hasta 2001, cuando Brasil atravesó una crisis en este sector (“apagón”) y el gobierno instituyó una política para simplificar el licenciamiento ambiental de emprendimientos energéticos considerados de bajo potencial de impacto ambiental, incluidos los parques eólicos, que se utilizan como ejemplos de análisis en este trabajo. Así, el IAS fue instituido por la Resolución n° 279 del 27 de julio de 2001, convirtiéndose en el principal instrumento de evaluación de impactos ambientales para este sector.

Para el licenciamiento ambiental de parques eólicos en el Estado de Ceará, el requisito de la Superintendencia Estatal de Medio Ambiente de Ceará (SEMACE) actualmente se basa en la Resolución CONAMA N° de bajo potencial de impacto ambiental, es decir, considerados pequeños o medianos que se ubiquen en áreas de tablero precostero y que no se inserten en Áreas de Preservación Permanente (APP), presentar un estudio ambiental del tipo IAS. Sin embargo, la misma resolución estableció la necesidad de elaborar un EIA-IMA para proyectos de energía eólica grandes y/o ubicados cerca de Unidades de Conservación y/o sistemas ambientales costeros, como dunas y manglares (SEMACE, 2016). Dicha orientación ya ha sido implementada a nivel estatal por la Resolución COEMA N° 06/2018 y la Instrucción Normativa N° 01/2018.

Los estudios ambientales como los IAS pueden ser analizados más allá de sus características técnicas, como generalmente lo hace la investigación sobre estudios ambientales. Estos estudios ambientales, necesarios para la aprobación de la factibilidad ambiental de los emprendimientos, pueden ser analizados desde el discurso que portan e interpretando los intereses e intenciones detrás de estos discursos. Los estudios ambientales para evaluar la factibilidad ambiental de cualquier emprendimiento en el sector energético pueden servir para comprender los discursos de los interesados en la implementación de estos emprendimientos y las justificaciones y argumentos para impulsar el uso de determinada matriz energética.

Base conceptual: *green grabbing*

El análisis de discursos de un conjunto de estudios ambientales que pueden sumar miles de páginas puede resultar difícil sin la ayuda de un software. Con las herramientas de QDAS, se pueden obtener indicaciones que le permitirán al investigador tener buenos indicadores textuales que conforman los discursos de grupos interesados en la implementación de los emprendimientos propuestos. Sin embargo, el primer paso, antes de implementar las herramientas QDAS, sería implementar el sistema de *grounded theory*, que elabora el sistema de *coding* a partir de los datos, o utilizar una teoría a priori para aplicar y guiar la *coding* de datos cualitativos. En este trabajo, debido al volumen de datos cualitativos en el IAS que analizamos, optamos por implementar una teoría a priori, utilizando la bibliografía de *green grabbing* (FAIRHEAD; LEACH; SCOONES, 2012). Puede decirse que los ecosistemas y territorios han sido apropiados en diversas partes del mundo a través de una financiarización y apropiación de la tierra y los recursos ambientales, con la participación del Estado como agente mediador e importante en la flexibilización de las leyes, lo cual se justifica por la ocurrencia de crisis en diferentes sectores económicos.

Apropiación significa la transferencia de la propiedad y los derechos de uso y control de los recursos. Para estos autores, la discusión sobre el *green grabbing* involucra algunas preguntas clave, tales como: (1) ¿en qué medida y de qué manera el *green grabbing* constituye una nueva forma de apropiación de la naturaleza? (2) ¿Cómo y cuándo se manifestó la circulación del capital verde en el espacio a través de qué dinámicas políticas y discursivas? (3) ¿Cuáles son las implicaciones para la ecología, el paisaje y los medios de vida? (4) ¿Quién está ganando y quién está perdiendo y cuáles son las reestructuraciones de las relaciones sociales, los derechos y las autoridades? ¿Con qué interés?

Una aproximación sobre *green grabbing* debe analizar la articulación material y discursiva del discurso sociedad/naturaleza emergente y los nuevos modos, lógicas, mecanismos y consecuencias de la apropiación de la tierra y los recursos, además de sus implicaciones para los modos de vida de las poblaciones locales. Para ello, se deben considerar tres dimensiones emergentes: (1) económica; (2) discursiva y (3) material (FAIRHEAD; LEACH; SCOONES, 2012).

La interacción de cuatro procesos contribuye a esta concentración a través de nuevas formas de acumulación por desposesión: (1) gestión y manipulación de crisis, (2) financiarización, (3) un nuevo papel del Estado y (4) apropiación/privatización. Estas cuatro dimensiones clave de Harvey son esenciales para comprender la *green grabbing* (HARVEY, 2003, 2005 *apud* FAIRHEAD; LEACH; SCOONES, 2012). El Cuadro 1 muestra cómo traducimos los conceptos de Fairhead *et al.* (2012) para utilizarlos como códigos en el software cualitativo los códigos en *software* cualitativo.

Tabla 1 - Descripción del *green grabbing* con aplicación al *coding* de los IAS por *software* cualitativo

Nuevas formas de “Acumulación por desposesión”	Ejemplos basados en el <i>green grabbing</i>	Preguntas para el <i>coding</i> de los IAS
Privatización / Apropiación	<ul style="list-style-type: none"> - Se reproducen formas de apropiación coloniales y neocoloniales. - La propiedad pública pasa a ser privada. - Derecho a la propiedad – desalojos forzosos o motivados por el mercado. - Contratos de arrendamiento/ posesión. - Nuevos sectores de producción y acumulación de capital. - Conflictos sociales. 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuáles son las pistas de ocupación ilegal de tierras? - ¿Uso de empresas, naranjas, contratos? - ¿Se mencionan los usos locales/tradicionales del área reclamada? ¿Y las comunidades locales? - ¿Cuáles son los productos cartográficos?
Financiarización de la naturaleza	<ul style="list-style-type: none"> - La naturaleza se convierte en commodity. Economía verde. - Pago de servicios ambientales. - Noción ecológica reemplazada por capital natural y servicios ecosistémicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Quiénes son y cuál es el papel de las consultorías ambientales? - ¿Cuáles son las señales de ocupación de los sistemas ambientales costeros como fuente de ganancias? - ¿Hay uso de datos del Estado por parte del emprendimiento? - ¿Se omiten características ambientales?
Uso y manipulación de las “crisis”	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción y perpetuación del sentido de crisis. - Las “crisis” producen condiciones políticas y económicas para las acciones del Estado. - Las “crisis” como justificación de la apropiación de tierras. 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Hay alguna referencia a la crisis energética del 2001? - ¿Hay alguna referencia a la urgencia política o nacional? - ¿Hay relación con la “crisis ambiental” y su relación con la energía? ¿O se justifica el emprendimiento a través de esta “crisis”?
Nuevo papel del Estado	<ul style="list-style-type: none"> - Redistribución de la riqueza entre los actores. - Negociación y firma de contratos. - Políticas fiscales. - Beneficios para inversores nacionales e internacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Hay referencias a financiamientos del BNDES, subastas? - ¿Se refiere a la necesidad de renovables? - ¿Se abordan políticas para incentivar la generación de energía por parte de productores independientes? - ¿Flexibilidad de la legislación ambiental? - ¿Cuál es la posición de las secretarías municipales y organismos ambientales?

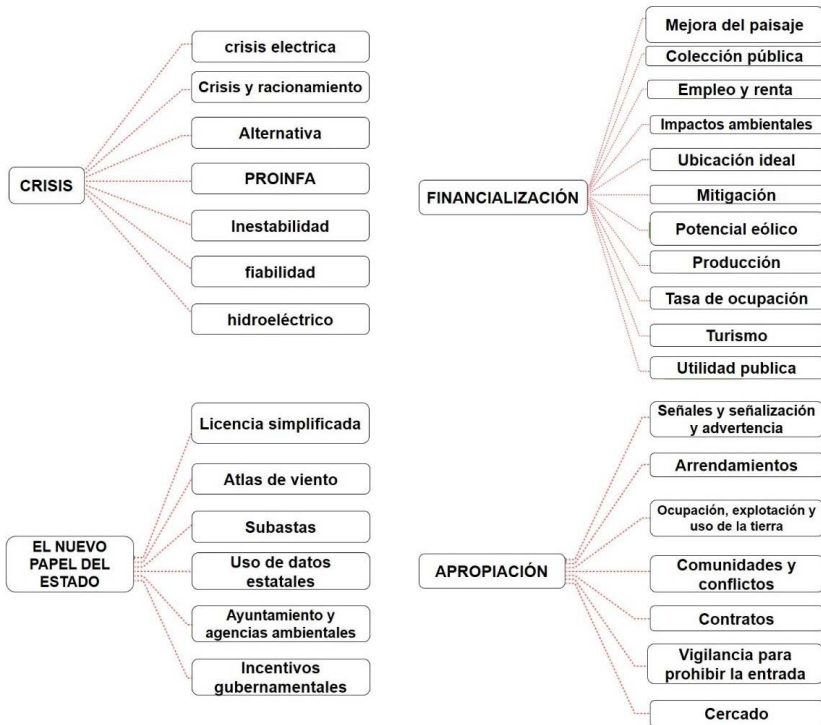
Fonte: 1ª e 2ª columnas: Harvey (2005) e Fairhead *et al.* (2012); 3ª columna: Souza (2020).

Procedimientos metodológicos

Con base en un análisis preliminar, siguiendo los principios de la *grounded theory*, podemos hacer una lectura detallada del IAS ([Cuadro 2](#)) y enumerar un conjunto de palabras clave que representan los temas ([Figura 1](#)). Sin embargo, para este estudio, aplicamos los conceptos de *green grabbing* como los códigos sugeridos para la codificación en el QDAS que se pueden agrupar como subtemas de un tema más amplio, creando una red semántica o mapa de códigos.

La [Figura 1](#) presenta la estructura de análisis de los IAS para la evaluación de la viabilidad ambiental de los parques eólicos.

Figura 1 - Red semántica con estructura de análisis IAS en ATLAS.ti



Fonte: Souza ([2020](#)).

La definición de palabras clave también se puede realizar de forma semiautomática, considerando todos los documentos insertados en el proyecto. Los programas tipo QDAS permiten cuantificar las palabras más frecuentes en archivos de texto. El usuario puede crear filtros y excluir palabras no significativas, generando una lista

de, por ejemplo, las cien palabras más frecuentes en todos los documentos y, a partir de ahí, interpretar aquellas palabras que más caracterizan los discursos adoptados en los estudios ambientales.

Tabla 2 - IAS para parques eólicos analizados en el trabajo. En la primera columna, el número se refiere al IAS en el software

IAS n° (año)	Municipio	Capacidad instalada (MW)	Número de turbinas	Sistema ambiental	Fase/Status
1 (2013)	Acaraú	24.0	12	Tablero	Licencia obtenida; No construido
2 (2014)	Itarema	29.7	11	Dunas en movimiento	Licencia obtenida; No construido
3 (2014)	Itarema	29.7	11	Tablero	Licencia obtenida; No construido
4 (2008)	Paraipaba	12.6	6	Tablero	Licencia obtenida; No construido
5 (2002)	Acaraú	28.8	32	Playas y dunas	En Operación (13 turbinas)
6 (2002)	S.G. do Amarante	13.5	15	Dunas en movimiento	No licenciado;
7 (2003)	Acarati	3.3	18	Dunas en movimiento	En Operación (2 turbinas)
8 (2014)	Acaraú	16.8	8	Tablero	Licencia obtenida; No construido
9 (2014)	Acaraú	18.9	9	Tablero	Licencia obtenida; No construido
10 (2014)	Acaraú	23.1	11	Tablero	Licencia obtenida; No construido
11 (2014)	Acaraú	18.9	9	Tablero	Licencia obtenida; No construido
12 (2014)	Acaraú	23.1	11	Tablero	Licencia obtenida; No construido
13 (2014)	Itarema	29.7	11	Tablero e <i>floodplain</i>	Licencia obtenida; No construido
14 (2002)	Camocim	105.5	50	Dunas en movimiento	En Operación (48 turbinas)
15 (2008)	Aracati	31.5	15	Dunas en movimiento	En operación
16 (2008)	Aracati	45.6	24	Dunas en movimiento	En operación
17 (2003)	Aracati	57.0	57	Dunas en movimiento	Licencia obtenida; No construido
18 (2008)	Aracati	57.0	57	Dunas en movimiento	En Operación (28 turbinas)

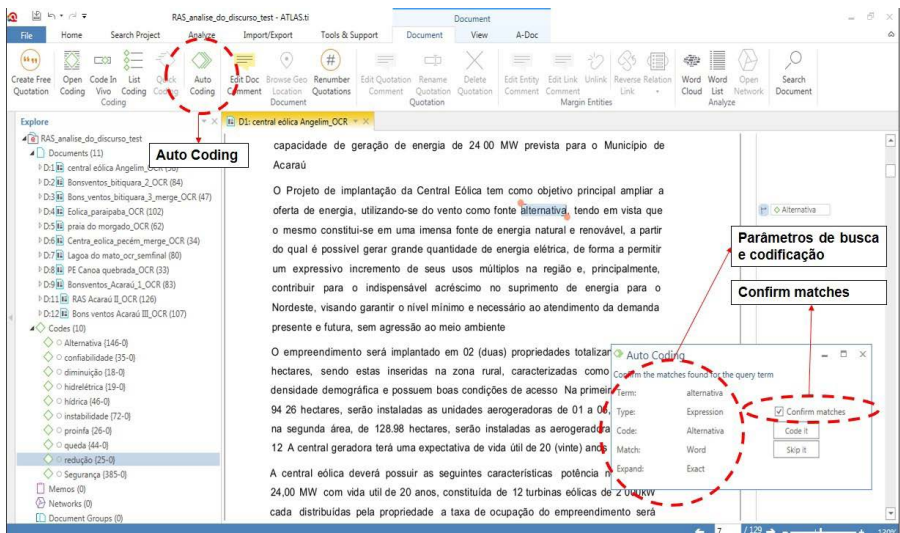
Fonte: Souza (2020).

Con la definición de palabras clave, es posible buscar estos términos en miles de páginas al mismo tiempo y la codificar de forma automática o semiautomática estos términos como evidencia de los discursos contenidos en el estudio ambiental. Esta tarea optimiza la lectura de un volumen significativo de textos, dirigiendo el foco a los términos clave y partes más representativas.

El programa ATLAS.ti, por ejemplo, permite la codificación automática de palabras, expresiones, partes y párrafos a partir de palabras, verbos o raíces informadas por el usuario (función de *autocoding*). Esta codificación puede o no pasar la validación del usuario (*confirm matches*) a través de una confirmación de codificación. Es decir, el programa encuentra evidencias discursivas, pero es el usuario quien define si se trata o no de una referencia real de un determinado discurso identificado. La [Figura 2](#) permite la visualización de la pantalla de trabajo del programa ATLAS.ti, mostrando un análisis semiautomático del texto mediante autocodificación de palabras y posterior confirmación.

Posteriormente, las partes codificadas podrán servir de base para Cuadros resumen sobre el número total de ocurrencias y con ejemplos representativos de los discursos identificados, destacando un número de identificación (ID) y el contexto del estudio ambiental en el que fueron utilizados. A partir de estas síntesis, se pueden interpretar los pasajes y discursos adoptados en los estudios ambientales.

Figura 2 - Pantalla de trabajo de ATLAS.ti



Fuente: Souza (2020).

Resultados

Financiarización de la naturaleza

La evidencia del *green grabbing* fue encontrada a nivel discursivo por la codificación de los 18 IAS, con claras referencias a las dimensiones de la crisis, el nuevo papel del Estado, la financiarización de la naturaleza y la apropiación de la tierra y los recursos. También se encontraron otras dimensiones que no estaban previstas en los conceptos de *green grabbing* o que no son posibles de analizar solo en estudios ambientales.

En este capítulo, solo destacamos la dimensión de financiarización de la naturaleza y sus ocurrencias en los IAS analizados. En este sentido, el medio ambiente pasa a ser entendido desde un punto de vista estrictamente económico, aun cuando esté en juego la conservación y preservación de la naturaleza.

Los códigos utilizados para obtener los resultados de evidencia de esta dimensión en el IAS se obtuvieron a partir de preguntas como: ¿Qué son y cuál es el papel de las consultorías ambientales? ¿Cuáles son los indicios de ocupación de los sistemas ambientales costeros como fuente de ganancias? ¿Hay uso de datos del Estado por parte del emprendimiento? ¿Se han omitido las características ambientales del área reclamada?

El papel de la consultoría ambiental y del IAS se destaca al inicio de los informes, teniendo la función de identificar al emprendedor y caracterizar el emprendimiento, con detalles técnicos, tecnologías y equipamientos, además de brindar un diagnóstico ambiental y describir los aspectos legales del proyecto.

Con frecuencia se utilizaban *checklists* para analizar los impactos ambientales y evaluar la factibilidad ambiental del emprendimiento, asignando valores a los impactos positivos y negativos según su carácter (beneficioso o adverso), magnitud (pequeña, mediana o grande) y duración (corta, media o larga). Dicha metodología asignó valores a los impactos que pueden ser sumamente variables según la subjetividad del individuo y su ubicación.

La discusión sobre la viabilidad ambiental del emprendimiento fue abordada casi siempre desde un punto de vista positivo, siendo poco considerados los aspectos negativos. Los informes presentan a los parques eólicos como una de las formas más compatibles con el medio ambiente para generar energía, siendo compatible con otras actividades y con la preservación y conservación del medio ambiente.

En varios otros puntos de los textos se destaca la posibilidad de que la empresa dé “mayor atractivo” al paisaje local, promoviendo una “potenciación” o “mejora paisajística” que podría “contribuir al turismo en la región”. Sin embargo, los propios estudios sugieren en algunos pasajes que la percepción del emprendimiento involucra la subjetividad y las concepciones filosóficas de los individuos. Algunos estudios

destacan la “inexistencia de monumentos arqueológicos” en el área del parque sin describir, sin embargo, los procedimientos que llevaron a esta conclusión, bajo la justificación de que se trata de un área sedimentaria reciente. Sin embargo, reportes de pobladores de comunidades cercanas a parques eólicos argumentan que se han encontrado objetos (artefactos arqueológicos) que muestran la ocupación de ese espacio por parte de civilizaciones precoloniales, además de algunos estudios que muestran la existencia de sitios arqueológicos en campos de dunas en el Nordeste Brasileño (SILVA, 2003; MEIRELES, 2011; MENDES-JÚNIOR, 2013; SIMÕES, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

En otras situaciones, el ruido producido por las turbinas se considera irrelevante dada la distancia a las casas y la disipación por los vientos y los cambios en el perfil del relieve de las dunas y en la dinámica sedimentaria, protegiendo las franjas de preservación de arroyos y lagos.

La parte más directa de la financiarización de la naturaleza se evidencia cuando se aborda la “productividad de la tierra”, afirmando que el proyecto resultará en productividad en la tierra, siendo que sin el emprendimiento “la actividad productiva en el sitio es irrelevante, por lo que se aprovecharán los recursos ambientales sin degradar el medio ambiente”.

El pronóstico también revela el discurso de la financiarización, considerando numerosos beneficios si se instala el emprendimiento y pronosticando un mal futuro desde el punto de vista socioambiental, si el emprendimiento no se instala, con conservación ambiental en un corto período de tiempo hasta una “nueva oportunidad de inversión”, con la futura ocupación por otra empresa similar o por empresas turísticas con ocupación total o parcial por actividades humanas.

El análisis del discurso en los IAS siguiendo la lógica de la financiarización de la naturaleza comprendió 20 códigos, agrupándolos en dos subtemas, tenemos: (1) la financiarización de los vientos; (2) la financiarización de la naturaleza y el reduccionismo de los impactos ambientales justificados por los beneficios socioeconómicos locales, ocurriendo en todos los IAS analizados. El Cuadro 3 sistematiza y cuantifica las ocurrencias del discurso de financiarización de la naturaleza. A continuación, se detallan las ocurrencias de financiarización de la naturaleza en función del “potencial y productividad de los vientos”.

Tabla 3 - Síntesis de la codificación realizada en los IAS para el discurso de “financiarización de la naturaleza”

Subtema	Términos para la codificación automática (términos y radicales)	Ocurrencias		
		Iniciales	Confirmación	Frecuencia
La financiarización de la naturaleza basada en la “potencialidad y productividad de los vientos”	Producción Productividad	891	387	18/18
	Potencial Intensidad Velocidad	1156	592	18/18
	Vocación Ubicación Costa	375	178*	18/18
La financiarización de la naturaleza y el reduccionismo de los impactos ambientales justificados por los beneficios socioeconómicos locales	Impacto ambiental	1470	1330	18/18
	Mitigación y compensación ambiental	374	306	18/18
	Tasa de ocupación Área afectada Área de influencia	328	126	17/18
	Valorización del paisaje	37	16	10/18
	Incremento del turismo ecológico	198	21	12/18
	Recaudación de impuestos	282	253	18/18
	Utilidad pública	65	62	12/18
	Empleo e renta	444	263	18/18
Total	-	5620	3504	18/18

Fuente: Souza (2020).

La financiarización de la naturaleza basada en la “potencialidad y productividad de los vientos”

La preferencia por la ubicación costera es evidente al observar la distribución de los parques eólicos en el Estado de Ceará. Las razones de esta preferencia tienen su explicación en la justificación de la mejor calidad de los vientos cuanto más cerca de la línea de costa. Además, el aspecto más favorable de la tenencia de la tierra debe ser un factor que motive la ocupación de las zonas costeras. Así, toda la superficie afectada por vientos de mejor calidad para la generación eléctrica por energía eólica se ha convertido en un área apta para la instalación de parques eólicos a ojos de emprendedores e incluso de las administraciones públicas.

En el caso del Estado de Ceará, estas áreas “más favorables” se ubican cerca de la línea de costa y comprenden sistemas ambientales de alta inestabilidad morfodinámica y variabilidad espaciotemporal, como franjas de playa, campos de dunas y llanuras fluviomarinas.

Sin embargo, la ubicación costera de los proyectos con la ocupación de esos sistemas ambientales fue señalada muchas veces como un “requisito o ventaja técnica del proyecto”, siendo las dunas puntos idóneos para la ubicación de los aerogeneradores, dada la incidencia de los vientos y altitud.

Con base en estas ideas, el discurso de financiarización de la naturaleza por la calidad de los vientos fue percibido en los IAS a través del uso de términos como *potencial, producción, productividad, intensidad, litoral, vocación, valorización y ubicación*. En los textos se enfatiza el hecho de que los vientos de la zona costera son un factor de suma importancia para la generación y aprovechamiento de la energía eléctrica, haciendo productivo ese medio desde el punto de vista económico.

Dada la necesidad de generación eléctrica provocada por la crisis del sector y el “desconocimiento” por parte de la sociedad y los poderes públicos de los posibles impactos de estos emprendimientos en los sistemas ambientales costeros, se instalaron numerosos parques eólicos en zonas ambientalmente frágiles, tales como playas, dunas, manglares.

La autocodificación de los IAS a través de esos términos clave posibilitó hallazgos que evidenciaron la idea de financiarización de los vientos y, obviamente, del ámbito territorial en el que operan en la zona costera. Los segmentos que contienen esos códigos refuerzan los discursos de (1) la ventaja/requisito técnico del proyecto; (2) ubicación ideal debido a los vientos potenciales; (3) vocación de mayor producción/productividad eléctrica en la zona costera.

Algunos apartados llevan a entender que el proyecto propuesto no sería viable si no estuviera ubicado en la zona costera, señalando esta característica como una “ventaja” o incluso como un “requisito técnico” y “justificación de ubicación” del proyecto propuesto ([Tabla 4](#)).

Tabla 4 - Ocurrencias del discurso sobre la exigencia técnica del proyecto para ubicarse en la zona costera

ID	Sección de los IAS	Tramo en los IAS (códigos en negrita)	IAS de ocurrencias
2.01	ASPECTOS GENERALES: Justificación de la ubicación	La ubicación de la Estación Generadora Eólica en la franja costera se destaca como uno del emprendimiento, destacando que el Estado de Ceará es notable en toda su franja costera , <u>exigencia técnica</u> dotada de un intenso potencial eólico y que va disminuyendo paulatinamente a medida que se adentra en el interior del continente.	1 y 7
2.02	ALTERNATIVAS LOCALES	El Estado de Ceará está dotado de un intenso y notable potencial eólico en toda su franja costera , disminuyendo paulatinamente a medida que se ingresa al interior del Estado, de forma que la ubicación del emprendimiento en la franja costera ya se perfila como un <u>requisito/ventaja técnica</u> del proyecto.	2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14
2.03	ALTERNATIVAS LOCALES	La ubicación del emprendimiento en la franja costera surge como <u>requisito técnico</u> del emprendimiento, destacando que el Estado de Ceará está dotado de un intenso y notable potencial eólico en toda su franja costera , disminuyendo gradualmente a medida que se ingresa al interior del continente. El área seleccionada para el emprendimiento se ubica en la franja costera , que comprende una franja que se extiende de Este a Oeste, desde las inmediaciones de la línea de costa hacia el interior.	7

Fuente: Souza (2020).

Se sigue enfatizando la costa como una “ubicación geográfica ideal” cuando se presentan las conclusiones y recomendaciones para el emprendimiento, señalando cualquier otra ubicación costera en el Estado como una alternativa viable, pero nada más. En otras palabras, para ser económicamente viable, el emprendimiento necesariamente debe estar ubicado en la zona de mayor incidencia de vientos, ocupando así los sistemas ambientales costeros para generar más electricidad y ser más rentable (Tabla 5).

Los argumentos para la exigencia de la ubicación costera son que la intensidad de los vientos disminuye cuanto más lejos de la costa, o la cercanía a la infraestructura necesaria para la distribución de energía eléctrica con el concesionario local (subestaciones), la disponibilidad de “terrenos libres” de barreras contra el viento y “condiciones ambientales favorables”.

Tabla 5 - Ocurrencias del discurso de ubicación o situación geográfica ideal en la zona costera

ID	Sección de los IAS	Tramo en los IAS (códigos en negrita)	IAS de ocurrencias
2.04	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	La ubicación del emprendimiento, se justifica por los siguientes aspectos: situación geográfica ideal , ya que la zona se encuentra cerca de la playa, donde los vientos del Este son constantes, proximidad a una subestación de bajada que permitirá la interconexión con el sistema de electrificación de COELCE, disponibilidad de terrenos libres de barreras naturales o artificiales entre el área y el océano, además de otras ventajas como bajo potencial biológico, variación altimétrica y red de electrificación, además de otras ventajas como baja rugosidad del terreno y condiciones ambientales favorables.	5, 6, 7 y 14
2.05	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	La ubicación del emprendimiento se justifica por los siguientes aspectos: situación geográfica ideal , ya que el área se encuentra cerca de la zona costera, sin barreras naturales o artificiales significativas, poca aspereza del terreno; la existencia de subestaciones en la región, para el flujo de generación de energía eólica-eléctrica, el cumplimiento topográfico y geotécnico del terreno y la disponibilidad de terrenos con dimensiones y condiciones ambientales favorables para el desarrollo del proyecto.	2, 3, 4, 8*, 9*, 10*, 11* 12* y 13.
2.06	ASPECTOS GENERALES: justificación de la ubicación	Los factores que resultaron en la selección del área del proyecto entre las varias áreas potenciales seleccionadas en la costa de Ceará son los siguientes: situación geográfica ideal , cerca de la playa, en un ambiente favorecido por las corrientes eólicas.	1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13

Fuente: Elaboración propia.

El uso de los términos “potencial” y “producción” en los IAS contemplan un discurso directamente relacionado con la economía, reforzando el potencial de los vientos costeros para la producción de energía eléctrica a través de los emprendimientos propuestos. Entre las variaciones de significados, el término “potencial” se refiere a una expresión de posibilidad, que puede o no ocurrir, mientras que el término “producción” puede entenderse como la “primera etapa de una serie de procesos económicos que conducen a bienes y servicios a las personas”.

En el discurso incorporado los IAS, el uso del término producción se refiere a la producción eléctrica por energía eólica, con consecuencias sociales y económicas positivas. Hay una financiarización de los vientos, donde se entienden casi exclusivamente como la materia prima para la producción de energía eléctrica (Tabla 6).

Así, las zonas sujetas a la acción de los vientos favorables a la producción de electricidad por parques eólicos, es decir, zonas con alto potencial de producción de electricidad por fuente eólica, se han vuelto susceptibles a la ocupación de sus sistemas ambientales por parques eólicos.

Tabla 6 - Ocurrencias del discurso de financiarización eólica, destacando el potencial de producción eléctrica de la costa

ID	Sección de los IAS	Tramo en los IAS (códigos en negrita)	IAS de ocurrencias
2.07	IMPACTOS AMBIENTALES: evaluación de impactos ambientales	El proyecto propone la producción de energía eléctrica a través del potencial eólico de la región que se reflejará positivamente en la economía de la región.	1 y 16
2.08	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA	El estudio de factibilidad económica del emprendimiento se basa en el levantamiento de parámetros eólicos en la región, así como el dimensionamiento del potencial de producción de energía eléctrica, teniendo el viento como fuente alternativa para complementar las demandas del Estado de Ceará.	2, 3, 8, 9, 10, 11, 12 y 13
2.09	IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	De esta forma, el proyecto básico plantea la producción de energía eléctrica a través de la exploración de una fuente alternativa de energía, el viento, con gran disponibilidad en la región.	2, 3, 4, 5, 13
2.10	IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES: operación	El emprendimiento explorará el mayor potencial de energía alternativa existente en Ceará para la producción de energía eléctrica, siendo una fuente viable en términos ambientales y económicos.	2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 14
2.11	CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO: Estudios de viabilidad ambiental	La ubicación escogida para la producción de energía eléctrica a partir de aerogeneradores cumple varias premisas, anteriormente relacionadas, y necesarias para el desarrollo del proyecto: La ubicación cercana a la playa donde los vientos son más constantes e intensos.	15, 16, 17 y 18
2.12	PLANES DE CONTROL AMBIENTAL: Plan de protección de playas, dunas...	Nuestro litoral tiene una enorme vocación por la producción de energía eólica, no únicamente por la abundancia de viento sino también por la frecuencia de comunidades aisladas, a tal punto que el acceso a otra fuente de energía sería costoso o contaminante.	15, 16, 17 y 18

2.13	IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES: caracterización eólica de la región	Para definir el potencial eólico, además de los levantamientos regionales mediante la instalación de torres de medición de la dirección y velocidad del viento en zonas estratégicas, que permitan la caracterización a escala regional, se instaló una torre de medición en el área del proyecto. Este estudio fue importante para la selección de áreas con el potencial más adecuado para el aprovechamiento de los vientos como fuente de energía alternativa para la generación de electricidad.	2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13
2.14	JUSTIFICACIÓN DEL EMPRENDIMIENTO	El recurso eólico utilizable para la generación de energía eléctrica es una riqueza natural y abundante en el Estado de Ceará. Este potencial puede ser utilizado gradualmente en los límites técnicos de inserción de la capacidad eólica en el sistema eléctrico regional. Los vientos son suficientes para abastecer de energía eléctrica para el bienestar y desarrollo de las futuras generaciones del Nordeste.	4, 5, 8, 9, 10, 11, 12

Fuente: Elaboración propia.

Algunos segmentos destacan el aprovechamiento de la energía eólica y otras posibilidades de aprovechamiento del suelo, destacando el uso simultáneo del área para la generación de energía eléctrica y otras actividades como la agricultura y la ganadería.

ID 2.15 -... en lo que se refiere al uso y ocupación del suelo, la actividad de producción de energía eólica-eléctrica permite la posibilidad de explotar el suelo con actividades agrícolas, actividad principalmente de cultivos permanentes, por lo que es previsible la continuidad de la actividad de cultivo de coco en el sitio.

ID 2.16 - En cuanto al uso y ocupación del suelo, se estima una ocupación inferior al 5% del área total, incluyendo los patios de montaje/mantenimiento y las vías de acceso de interconexión de aerogeneradores, y se estima la actividad de producción de energía eléctrica a través de un parque eólico es compatible con el uso simultáneo del área para el desarrollo de otras actividades, incluyendo la ganadería y la agricultura con cultivos temporales.

Con base en este discurso, hubo una nueva comprensión del papel de los vientos en la zona costera, entendiéndolo ya no solo como un agente importante en la dinámica natural de las olas del mar o en el transporte de sedimentos, sino como un agente potencial para producir electricidad y convertirla en beneficio.

En consecuencia, la financiarización de los vientos llevó a la financiarización de otros sistemas ambientales costeros y la apropiación de tierras y recursos justificados por la producción de electricidad a partir de una fuente limpia y renovable.

Conclusiones

La hipótesis de este capítulo de que los parques eólicos representan un fenómeno de *green grabbing* en la costa de Ceará podría confirmarse mediante el uso del *software* de análisis de datos cualitativos (ATLAS.ti) y la identificación de evidencias discursivas en estudios ambientales (IAS).

Hubo apropiación de tierras y recursos con fines y justificaciones ambientales. A esta conclusión se llegó analizando los estudios ambientales IAS en busca de evidencias discursivas de *green grabbing* en el contenido textual de los estudios a través de cuatro dimensiones clave: (1) manipulación del sentido de crisis; (2) nuevo papel del Estado; (3) financiarización de la naturaleza y (4) apropiación de tierras y recursos. La evidencia de *green grabbing* también se materializó en los parques eólicos instalados, lo que se notó en el trabajo de campo en cuatro parques eólicos.

Se presentaron algunos resultados en cuanto a la financiarización de la naturaleza, que se caracterizó por la delimitación de áreas extensas en los sistemas ambientales costeros, argumentando que la viabilidad ambiental era siempre desde un punto de vista positivo, donde se minimizaban los impactos socioambientales negativos y se entendían a los recursos naturales bajo la lógica económico-financiera.

La metodología indicada en este capítulo sugiere que el uso de programas de análisis cualitativo de datos (QDAS) permite el análisis de un gran volumen de texto de forma automatizada, facilitando al usuario identificar referencias textuales que evidencian los discursos adoptados por los grupos interesados en la implantación de emprendimientos en el sector eléctrico.

La metodología de análisis del discurso mediante QDAS puede incorporarse a otras investigaciones en el área de licenciamiento ambiental para actividades o emprendimientos, no solo del sector eléctrico, identificando discursos que orienten o justifiquen la factibilidad ambiental de estos emprendimientos. Cabe destacar que otros documentos textuales pueden ser utilizados para analizar los discursos de los interesados en la ejecución de emprendimientos, tales como actas de audiencias públicas, artículos periodísticos, dictámenes técnicos, licencias ambientales o incluso la comparación de diferentes estudios ambientales para diferentes tipos de empresas.

Frente a la referencia teórica presentado sobre el uso de programas de codificación y análisis de datos cualitativos en ciencias humanas y sociales, vale la pena resaltar el aspecto innovador de analizar los estudios ambientales utilizando la codificación y el análisis del discurso como herramientas para profundizar los discursos en el contexto de la energía eólica brasileña y apoyar el uso de la metodología en otras aplicaciones.

La elección del programa QDAS más adecuado para el análisis depende de una serie de factores como el objetivo, el tiempo, los recursos y materiales disponibles y la habilidad de los usuarios implicados, pudiendo incluso ser innecesario el uso de un programa informático, pero manteniendo las estrategias de codificación y el análisis del discurso.

Es tarea del usuario interpretar los datos obtenidos a partir de la codificación y el uso de QDAS para poder comprender los discursos utilizados en los estudios ambientales para el licenciamiento ambiental o cualquier otro documento textual. A partir de este análisis, el usuario podrá comprender las intenciones y justificaciones utilizadas en el discurso de los grupos interesados en la implementación de emprendimientos y promover el uso de un determinado tipo de fuente de energía.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Coordinación para el Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior (CAPES) por el financiamiento de una beca de doctorado y doctorado sándwich; el financiamiento de proyectos CAPES PGPSE Proc. 88887.123947/2016-00: Sistemas Ambientales Costeros y ocupación económica del Nordeste, CAPAS PVE Proc. 88887.125221/2015-00: Impactos de la Energía Eólica en la Costa Nordeste: perspectivas para la construcción de una visión integrada de producción de energía “limpia” en Brasil, CAPES PRINT Proc. 88887.312019/2018-00: Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate change; y el proyecto PRONEM FUNCAP/CNPq Proc. PNE 0112-00068.01.00/16: Análisis socioambiental de la implementación de parques eólicos en el Nordeste: perspectivas para la sostenibilidad de la generación de energía renovable en Brasil. También agradecen a Lucas Seghezzeo por sus comentarios y sugerencias en la versión preliminar de este capítulo.

Referencias

- ABBOTT, J. A. The localized and scaled discourse of conservation for wind power in Kittitas County, Washington. **Society and Natural Resources**, v. 23, n. 10, p. 969-985, 2010.
- ARAÚJO, J. C. H.; SOUZA, W. F.; MEIRELES, A. J. A.; BRANNSTROM, C. Sustainability challenges of wind-power deployment in coastal Ceará state, Brazil. **Sustainability**, v. 12, n. 14, p. 5562, 2020.
- BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; PERSONS, N. Social perspectives on wind-power development in West Texas. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 101, n. 4, p. 839-851, 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em: 01 dez. 2016.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº. 237, de 19 de dezembro de 1997**. Define conceitos de licenciamento ambiental, estudos ambientais e impacto ambiental regional. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em: 01 dez. 2016.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº. 279, de 27 de julho de 2001**. 2001b. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res01/res27901.html>. Acesso em: 01 dez. 2016.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 462, de 24 de julho de 2014**. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=703>. Acesso em: 01 fev. 2020
- CEARÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente – COEMA. **Instrução Normativa COEMA nº 1, de 13/11/2018**. Fortaleza, CE, 22 de nov. 2018. Estabelece procedimentos e conteúdo mínimo para estudos atrelados ao licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar fotovoltaica, e por fonte eólica em superfície terrestre, previstos na Resolução Coema nº 06, de 06 de setembro de 2018 e Resolução Coema nº 07, de 06 de setembro de 2018 respectivamente. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=369605>. Acesso em: 2 mar. 2020.
- CEARÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente – COEMA. **Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente nº 06, de 6 de setembro de 2018**. Fortaleza, CE, 18 de set. 2018. Dispõe sobre a simplificação e atualização dos procedimentos, critérios e parâmetros aplicados aos processos de licenciamento e autorização ambiental no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE para os empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar no Estado do Ceará. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=367553>. Acesso em: 2 mar. 2020.
- COPE, M. Coding qualitative data. **Qualitative research methods in human geography**, v. 2, p. 223-233, 2005.
- COTTON, M. Stakeholder perspectives on shale gas fracking: a Q-method study of environmental discourses. **Environment and Planning A**, v. 47, n. 9, p. 1944-1962, 2015.
- COTTON, M; RATTLE, I; VAN ALSTINE, J. Shale gas policy in the United Kingdom: An argumentative discourse analysis. **Energy Policy**, v. 73, p. 427-438, 2014.
- DANTAS, E. J. D. A.; ROSA, L. P.; SILVA, N. F. D.; PEREIRA, M. G. Wind Power on the Brazilian Northeast Coast, from the Whiff of Hope to Turbulent Convergence: The Case of the Galinhos Wind Farms. **Sustainability**, v. 11, n. 14, p. 3802, 2019.
- DAVINE, T; LAWHON, M; PIERCE, J. Place-making at a national scale: Framing tar sands extraction as “Canadian” in The Globe and Mail. **The Canadian Geographer/Le Géographe Canadien**, v. 61, n. 3, p. 428-439, 2017.
- FAIRHEAD, J.; LEACH, M.; SCOONES, L. Green grabbing: A new appropriation of nature? **Journal of Peasant Studies**, v. 39, n. 2, p. 237-261, 2012.
- FRATE, C. A.; BRANNSTROM, C.; DE MORAIS, M. V. G.; CALDEIRA-PIRES, A. Procedural and distributive justice inform subjectivity regarding wind power: A case from Rio Grande do Norte, Brazil. **Energy Policy**, v. 132, p. 185-195, 2019.
- FRATE, C. A; BRANNSTROM, C. How do stakeholders perceive barriers to large-scale wind power diffusion? A Q-method case study from ceará state, Brazil. **Energies**, v. 12, n. 11, p. 2063, 2019.

- FRIESE, S. **Qualitative data analysis with ATLAS.ti**. SAGE Publications Limited, 2014.
- GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Caminhos para uma gestão participativa dos recursos energéticos de matriz renovável (parques eólicos) no nordeste do Brasil. **Mercator** (Fortaleza), v. 15, n. 1, p. 101-115, 2016.
- GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. A.; MENDES, J. S. Wind power gone bad: Critiquing wind power planning processes in northeastern Brazil. **Energy research & social science**, v. 40, p. 82-88, 2018.
- HARVEY, D. **A brief history of neoliberalism**, Oxford: Oxford University Press, 2005.
- MEIRELES, A. J. A. Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais. **Confins - Revista Franco-Brasileira de Geografia**. [online], v. 11, n. 11, 2011. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/6970?lang=pt>. Acesso em: 02 mar. 2020.
- MENDES JÚNIOR, J. Q. Dinâmica das dunas e processo eólico no sítio arqueológico Seu Bode, Luís Correia, Piauí. **Mneme-Revista de Humanidades**, v. 14, n. 32, 2014.
- MURPHY, T.; BRANNSTROM, C.; FRY, M.; EWERS, M. Economic-Development stakeholder perspectives on boomtown dynamics in the eagle ford shale, Texas. **Geographical Review**, v. 108, n. 1, p. 24-44, 2018.
- OLIVEIRA, A. L.; ALBUQUERQUE, M.; SILVA, R. A.; ARAÚJO, S. G. Praia de Ponta Grossa: vestígios arqueológicos da ocupação humana. Fortaleza: [s. n.], 2012.
- PEACE, R.; VAN HOVEN, B. Computers, qualitative data, and geographic research. In: I. Hay (ed.). **Qualitative research methods in human geography**. Oxford-New York: Oxford University Press. v. 2, p. 234-247, 2005.
- SEMACE. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. **Reestruturação e atualização do mapeamento do projeto zoneamento ecológico-econômico do Ceará**: Zona costeira e Unidades de Conservação costeiras, 2016. Disponível em: <http://www.semace.ce.gov.br/institucional/servicos-institucional/zoneamento-ecologico-economico-ze/>. Acesso em: 10 abr 2017.
- SILVA, M. L. **Caracterização dos sítios arqueológicos em dunas do litoral oriental do Rio Grande do Norte**. 2003. 133p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em História) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- SIMÕES, F. L. R. Arqueologia da Paisagem nas Dunas Holocênicas: **O Estudo de Caso do Sítio Cardoso** (Lagoa Redonda, Pirambu, SE). 2014. 170f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Arqueológica) – Universidade Federal de Sergipe, Laranjeiras, 2014.
- SOUZA, W. F. **Implicações socioambientais dos estudos ambientais (RAS) utilizados no licenciamento ambiental de parques eólicos no Ceará – Brasil**. 2020. 269f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.
- WAITT, G. R. Doing Discourse Analysis. In: I. Hay (ed.). **Qualitative research methods in human geography**. U.K.: Oxford University Press, p. 163-191, 2005.

CAPÍTULO 6

ENFOQUES DE ECONOMÍA POLÍTICA PARA LA INDUSTRIA DE GENERACIÓN EÓLICA EN EL NORESTE DE BRASIL

Mariana Traldi¹

Resumen

La descarbonización ofrece múltiples oportunidades para la inversión y acumulación de capital, por lo que requiere análisis y enfoques especializados. La Economía Política, al buscar comprender los procesos en su totalidad y desde las contradicciones inherentes a los mismos, ofrece importantes herramientas para la desmitificación del proceso de descarbonización. En este capítulo analizamos el eje empresarial de la generación eólica en el semiárido brasileño a partir del concepto marxista del tiempo de rotación del capital y su correlación con la acumulación de capital. Así, buscamos identificar y analizar las estrategias utilizadas por los capitalistas que invierten en el sector y las limitaciones que enfrentan en la búsqueda de acelerar el proceso de acumulación de capital y elevar su tasa de ganancia. Se advierte que este eje empresarial se caracteriza por ser intensivo en superficie y capital fijo, además de ser altamente automatizado y dependiente de la explotación de las riquezas naturales, cuya disponibilidad está dada por dinámicas naturales aún no controladas por el hombre. Además, la necesidad de realizar inversiones en capital fijo cuyo tiempo de rotación es largo exige que los capitalistas, tanto del eje empresarial de fabricación de equipos como de los que trabajan en la generación de energía, controlen rígidamente el proceso de obsolescencia de sus equipos y máquinas, con el fin de evitar que se vuelvan obsoletos antes de que su valor se transfiera por completo a la mercancía electricidad. Tales determinaciones y particularidades explican que los capitalistas que actúan en la generación eólica en Brasil desarrollen estrategias destinadas a aniquilar el largo tiempo de rotación del capital en el sector y acelerar la acumulación de capital. Este capítulo analiza algunas de esas estrategias, con especial atención al financiamiento otorgado por el BNDES a los propietarios de parques eólicos y la apropiación una ganancia extra en forma

1 Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de São Paulo (IFSP), São Paulo, Brasil. mariana.traldi@ifsp.edu.br

de renta de la tierra a través de contratos de arrendamiento eólico, incluso si no son propietarios de la tierra.

Palabras clave: Economía política. Tiempo de rotación de capital. Energía eólica.

Introducción

La industria eléctrica mundial puede entenderse, a efectos analíticos, como un gran complejo industrial que se subdivide en tres ejes empresariales: eje de fabricación de equipos; eje de generación, transmisión y distribución de energía; y eje de construcción de infraestructura (GONÇALVES-JÚNIOR, 2007; TRALDI, 2019). Este capítulo analiza el segundo eje empresarial, específicamente la industria de generación eólica desde la Economía Política.

Esta industria, encargada de la producción de energía eléctrica, se caracteriza por estar organizada, como las demás industrias de su época, en base a la relación de explotación del trabajo por el capital (MARX, 2013). Sin embargo, es única por requerir altas inversiones en capital fijo con un largo tiempo de rotación, siendo altamente automatizada, intensiva en área y dependiente de la apropiación de la riqueza natural.

Las limitaciones técnicas que subsisten para el almacenamiento de energía eléctrica a escala comercial, que determinan el consumo inmediato de energía eléctrica una vez producida; las limitaciones impuestas por la dinámica natural que dicta la velocidad del viento; el alto nivel de automatización existente en la generación de energía eólica, lo que se traduce en una menor utilización de capital variable; y la realización de altas inversiones en capital fijo, que exigen que los capitalistas que operan en este sector controlen rígidamente el proceso de obsolescencia de sus equipos y máquinas, limitará las posibilidades que tiene el eje empresarial de generación eólica para incrementar su tasa de ganancia y acelerar el proceso de acumulación de capital en su interior. Además, la captación de viento requiere la instalación de torres fijadas al suelo que se reparten por territorios con alto potencial eólico. Esta característica implica apropiación de tierras a gran escala y hace de esta industria una actividad intensiva también en área.

Tales determinaciones que animan a esta industria ayudan a explicar la forma en que los capitalistas actúan en este sector y las estrategias que utilizan para aniquilar el largo tiempo de rotación de capital dentro de él, con el fin de acelerar el proceso de acumulación de capital. Cabe destacar que, además, la energía eólica se perfila como un importante aliado en la lucha contra el cambio climático, al estar entre las fuentes de energía capaces de sustituir a los combustibles fósiles en un proceso que se ha denominado descarbonización. La descarbonización se refiere a la reducción de las emisiones de carbono a la atmósfera, especialmente de dióxido de carbono, y supone una transición energética del uso de fuentes fósiles al uso de fuentes renovables

y limpias. Así, al mismo tiempo que surge la industria eólica como solución a la crisis climática, se inaugura para el capital un nuevo frente de acumulación, lleno de nuevas oportunidades. La llamada industria verde, que incluye la industria eólica, crece y recibe incentivos casi al mismo ritmo y velocidad al mismo ritmo que avanza el desastre climático, aumentan los incentivos a la llamada industria verde, de la cual la industria eólica es parte el desastre climático.

En este contexto, la Economía Política se convierte en una importante herramienta de análisis, ya que es capaz desde la comprensión de la totalidad de este proceso, de identificar, en las más diversas escalas, los agentes involucrados, los flujos de capital y los nexos que los interconectan, revelando desde una perspectiva crítica las contradicciones inherentes a ellos. En este sentido, este capítulo se suma a una pequeña, pero creciente bibliografía, que se propone analizar, desde el punto de vista de la Economía Política, la expansión del uso de las energías renovables, sus consecuencias socioespaciales y su papel en el proceso de descarbonización y en la acumulación de capital (HUBER; MCCARTHY, [2017](#); MCCARTHY, [2015](#); PEARSE, [2020](#); BRIDGE; GAILING, [2020](#)).

Este capítulo se divide en 4 partes. En la primera, presentamos el concepto de tiempo de rotación del capital (MARX, [2014](#)), mostrando su aplicación para la generación eólica. En la segunda, tratamos el concepto de Complejo Industrial Eléctrico (GONÇALVES-JÚNIOR, [2007](#)), con el objetivo de ubicar y caracterizar la generación de energía eléctrica, especialmente la eólica en Brasil. En la tercera, discutimos algunas de las limitaciones impuestas a la generación eólica para acelerar el tiempo de producción, sus efectos y consecuencias para el tiempo de rotación del capital en este eje empresarial y las alternativas encontradas por los capitalistas en la búsqueda de la expansión de su tasa de ganancia, en este punto analizamos en detalle las financiaciones otorgadas por BNDES. En la cuarta y última parte, comparamos y discutimos la producción de energía eléctrica a partir de la apropiación de objetos de trabajo y materias primas preexistentes, revelando que el uso del viento garantiza una ganancia extra a quien se lo apropia. Finalmente, se presentan las conclusiones.

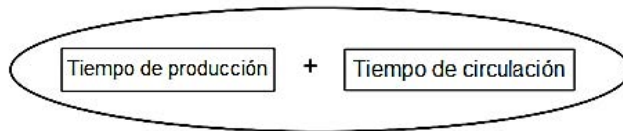
Tiempo de rotación del capital: concepto clave para analizar la organización de la industria eólica

El tiempo de rotación del capital es el tiempo que transcurre desde el momento en que el capitalista desembolsa el valor del capital en una forma determinada hasta el momento en que el valor del capital en proceso vuelve a su forma inicial añadida de más valor, repitiendo siempre el mismo proceso para para que el valor se eternice y se valorice como valor de capital (MARX, [2014](#), p. 237)².

2 Para el capitalista, el tiempo de rotación del capital es el período durante el cual tiene que adelantar el capital para valorizarlo y recuperarlo en su forma primitiva (MARX, [2014](#)).

La rotación es la repetición periódica de este proceso, y su duración está dada por la suma de su tiempo de producción más su tiempo de circulación (MARX, 2014, p. 237). Así, el tiempo de rotación del capital es el plazo que tarda el capital en valorizarse, es decir, es la suma del tiempo de producción más el tiempo de circulación de la mercancía (Figura 1).

Figura 1 - Duración de una rotación de capital



Fuente: De autoría propia.

Para los capitalistas, en términos hipotéticos, lo ideal sería que el tiempo de rotación del capital fuera siempre igual a cero, es decir, que tanto la etapa de producción como la de circulación fueran procesos instantáneos, de modo que la mercancía se produzca y consuma inmediatamente. Pero si esto no es posible, los capitalistas están interesados en acortar el tiempo total de rotación del capital tanto como sea posible, con el fin de acelerar el proceso de acumulación, multiplicando el máximo número de rotaciones en el menor tiempo posible, con el objetivo de que al reducir las se acelere e intensifique el proceso de acumulación, aumentando el número de rotaciones en el espacio y en el tiempo a partir de la reducción de su duración. En la generación de energía eléctrica no es diferente: los capitalistas que inviertan en ella buscarán la manera de reducir al mínimo posible el tiempo de rotación del capital invertido.

Sin embargo, en la producción de la mercancía electricidad, el tiempo de circulación ya se reduce al mínimo posible, esto se debe a que, dado el desarrollo tecnológico actual, aún no existe la posibilidad de almacenar energía eléctrica en grandes cantidades. Se advierte que actualmente existe un gran esfuerzo en el mundo para hacer tecnológicamente factible el almacenamiento de grandes cantidades de energía eléctrica y, aunque estos esfuerzos aún no han dado como resultado una tecnología que sea económicamente viable, muchas se encuentran en fase de experimentación y prueba. El almacenamiento de energía eléctrica lo realizan las baterías, que para ser producidas mueven una serie de otros sectores industriales y cadenas productivas, entre las que destaca la minería del litio, que también implica grandes inversiones de capital. Procesos como estos también empiezan a ser analizados desde la Economía Política (ver BUSTOS-GALLARDO *et al.*, 2021).

Así, al menos hasta ahora, toda la electricidad producida se vierte inmediatamente a la red de transporte y posteriormente a la red de distribución, consumiéndose instantáneamente. Cuando el almacenamiento de electricidad sea posible a escala comercial, ya sea utilizando baterías de litio u otros materiales y/u otras tecnologías,

el tiempo de respuesta del capital en la generación de energía eólica cambiará. Vale la pena recordar que el comportamiento del capital en almacenamiento debe obedecer a una lógica capitalista para recuperar las inversiones realizadas. Así, como sugiere McCarthy (2015), las oportunidades económico-financieras de la descarbonización ofrecen grandes posibilidades para que el capitalismo supere sus propias crisis de acumulación.

Como no es posible reducir el tiempo de circulación de la mercancía eléctrica, el capital buscará reducir su tiempo de producción para acelerar el proceso de acumulación de capital. Entre las posibles estrategias para reducir el tiempo de producción de energía eléctrica se encuentran: (1) aumentar la productividad, que puede lograrse acelerando la velocidad de producción o promoviendo avances tecnológicos; (2) reducir las inversiones en capital variable, que puede realizarse a través de la reducción de los salarios y/ la automatizando la actividad; (3) reducir al mínimo posible de las inversiones realizadas en medios de producción; (4) conseguir créditos de entidades financieras, evitando así el gasto de recursos propios.

Así, en este capítulo nos enfocamos en el tiempo de rotación del capital en la generación de energía eólica y las posibles estrategias adoptadas por los capitalistas que invierten en esta fuente de generación en la búsqueda constante de reducir el tiempo de rotación del capital en la esfera de la producción. De esta manera, buscamos comprender la organización de la producción y las estrategias de acción de los capitalistas en este eje empresarial, siempre teniendo en perspectiva el proceso de acumulación de capital. Por ello, es necesario abordar primero el concepto de Complejo Industrial Eléctrico (GONÇALVES-JÚNIOR, 2007) y sus ejes de negocio, situando la generación de energía eléctrica en un contexto más amplio.

Complejo Industrial Eléctrico: ejes de negocio y generación eólica en Brasil

Entendemos la industria eléctrica mundial como un gran complejo industrial que se subdivide en tres ejes de negocio: el eje de las empresas fabricantes de equipos eléctricos, el eje de las empresas que operan en la producción y distribución de bienes eléctricos y el eje de las empresas que operan en la industria construcción civil, que se especializan en la construcción de infraestructura para la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica (GONÇALVES-JÚNIOR, 2007; TRALDI, 2019).

La relación de producción que se establece en el eje empresarial que comprende las empresas fabricantes de equipos eléctricos, involucra, por un lado, a las grandes empresas transnacionales y sus filiales y, por otro, a todos los trabajadores que contribuyen a la producción de maquinaria y equipos eléctricos. Desde su surgimiento a fines del siglo XX, este mercado ha concentrado y centralizado la producción de equipos eléctricos en manos de un grupo restringido de empresas que operan bajo un régimen de cártel. Entre las principales corporaciones que componen este grupo se encuentran: Siemens (alemana), General Electric (GE) (estadounidense),

Westinghouse (estadounidense), ASEA-Brown Boveri (suiza-sueca), Philips (holandés), Toshiba (japonesa), Mitsubishi (japonesa), entre otros (MIRO, [1979](#); GONÇALVES-JUNIOR, [2007](#)). Estas empresas operan a escala global, apoyándose en una red global y numerosa de pequeñas y medianas empresas proveedoras de insumos, materias primas, componentes y piezas. Así, en un primer momento, se establece una relación de dependencia de las empresas filiales en relación con las grandes empresas y, en un segundo plano, una relación de competencia entre las pequeñas y medianas empresas, que se disputan el mercado de suministro de piezas y componentes eléctricos para las grandes corporaciones.

Entre los trabajadores que participan en este eje empresarial se encuentran los que trabajan en el desarrollo y diseño de productos, los que organizan la producción y los que trabajan directamente en la fabricación de piezas, equipos y máquinas en las líneas de producción. El proceso de diseño de máquinas y equipos se concentra casi siempre en los países de origen de estas grandes corporaciones y demanda mano de obra altamente calificada, lo que justifica el pago de salarios más altos a sus trabajadores, en comparación con los salarios que se pagan a los trabajadores que laboran en las otras etapas de producción. En general, los procesos de fabricación de estos componentes y piezas, que en su mayoría son realizados por pequeñas y medianas empresas, son intensivos en mano de obra y exigen una baja calificación de sus trabajadores, lo que justifica salarios más bajos en comparación con los salarios de los trabajadores que llevan a cabo las etapas de diseño y desarrollo de los productos. Desde el punto de vista del consumo, los países que integran el grupo de naciones semiperiféricas y periféricas también son importantes mercados de consumo para las grandes corporaciones que integran este eje empresarial.

La expansión de la industria eólica hacia Brasil también se explica por la necesidad de ampliar el mercado consumidor de la industria de equipos eólicos a nivel mundial que, habiendo encontrado cierto límite a la absorción de sus productos en Europa y Estados Unidos, pasó a buscar nuevos mercados. Grandes empresas como Wobben Wind Power, General Electric Wind, Acciona Windpower, entre otras, instalaron plantas de producción para ensamblar equipos en Brasil y/o subcontrataron a otras empresas para fabricar piezas que integran sus equipos. Como resultado, estas empresas pudieron: reducir sus costos de producción, especialmente en las etapas de producción que no requieren mano de obra calificada; acceder a exenciones y beneficios fiscales otorgados por los gobiernos federal, estatal y municipal; además de garantizar mejores condiciones de financiamiento para sus consumidores en la adquisición de equipos producidos por ellos, a través de líneas de crédito y financiamientos especiales otorgados por el Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES), Bando do Nordeste y el Plan de Aceleración del Crecimiento (PAC). En este sector productivo, es posible encontrar empresas brasileñas, como Aeris Energy, que fabrica palas de viento bajo pedidos para atender la demanda de las grandes empresas que fabrican aerogeneradores. La fabricación de torres eólicas forma parte de esta misma

lógica, con la diferencia de que resulta de la adaptación de otros sectores industriales que ya operaban en Brasil, como la industria de la construcción civil y la industria metalúrgica, por lo que no requiere la constitución de una nueva rama industrial.

Del eje empresarial que conforma el grupo de empresas que operan en la construcción de infraestructura para la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, participan grandes empresas de la industria de la construcción civil y sus trabajadores. En la industria de la construcción civil brasileña, existe un importante segmento que se especializa en la construcción de infraestructura para el sector eléctrico. Entre las más importantes empresas nacionales, cuyas operaciones van más allá del territorio brasileño, se encuentran: Camargo Corrêa, Odebrecht, OAS, Queiroz Galvão, Mendes Júnior, Contern, Galvão Engenharia, Cetenco, Serveng y J. Malucelli. Esta última, por ejemplo, tiene entre sus principales áreas de especialización la construcción de centrales hidroeléctricas, actuando también en la construcción de estructuras para la transmisión de energía eléctrica. En este eje empresarial se extrae plusvalía de los trabajadores en el proceso de construcción de infraestructura, como centrales hidroeléctricas y parques eólicos. La mercancía que producen es la infraestructura misma, producen un espacio tecnificado destinado a la producción y circulación de energía eléctrica. Este es un eje empresarial que ha sido estudiado en las Ciencias Humanas en Brasil, principalmente por trabajos que analizan la implementación de grandes centrales hidroeléctricas, como Belo Monte, Jirau y Santo Antônio, entre otras (TENOTÁ-MÓ, [2005](#); HERNÁNDEZ; MAGALHÃES, [2011](#); BERMAN, [2012](#); SEVÁ-FILHO, [2014](#); FIGUEIREDO; SARAIVA, [2018](#); SILVA; PAULA, [2018](#)).

En Brasil, el eje de negocios, que incluye empresas propietarias de infraestructura para la producción, transporte y distribución de energía eléctrica en el mundo, incluye empresas que, habiendo ganado una subasta de energía, ya sea para actuar en generación, transmisión o distribución, son responsables de la producción y /o la circulación de mercancías eléctricas. Entre los agentes que actúan en esta área de negocios en Brasil, encontramos una amplia variedad de empresas, públicas, privadas, extranjeras, brasileñas, empresas que tradicionalmente actúan en los más diversos sectores industriales (como automóviles, energía, construcción civil, fondos de pensiones y/o inversión, etc.), lo que justifica que este eje sea catalogado como altamente heterogéneo y complejo.

Cabe señalar que, en concreto, la generación de electricidad mediante el uso de fuentes de energía renovables tiene la particularidad de requerir altas inversiones en capital fijo con un largo tiempo de rotación, siendo altamente automatizada, intensiva en área y muy dependiente de la apropiación de una riqueza natural. Nuestra discusión, entonces, se enfoca en el proceso de acumulación del capital en el conjunto de las empresas de generación eólica, sin perder de vista el contexto más general del Complejo Industrial Eléctrico.

Tiempo de rotación de capital y obsolescencia programada en la industria eólica

Si los capitalistas buscan siempre acelerar el tiempo de rotación del capital para reducir al mínimo posible el tiempo de producción y el tiempo de circulación de la mercancía, y si el tiempo de circulación de la mercancía electricidad ya está reducido al mínimo posible, entonces solo le queda al capitalista que invierte en generación de energía eólica reducir el tiempo de producción de su mercancía.

Como se mencionó anteriormente, existen dos posibilidades para acelerar el tiempo de producción de la mercancía eléctrica: acelerar la velocidad de producción, ya sea aumentando la velocidad del viento, o promoviendo innovaciones tecnológicas que aumenten la eficiencia de la captura del viento, aumentando así la productividad; y/o reducir el tiempo que tarda el trabajador en producir cada unidad de MW, aumentando también así la productividad. Esto último será tratado en la siguiente sección.

Así, se podría aumentar la productividad aumentando la del viento, lo que sólo sería posible si el hombre fuera capaz de controlar la velocidad del viento. Esto se debe a que la generación de energía eólica tiene limitaciones de orden natural. La generación de energía eólica es decir, la velocidad de producción está limitada, entre otras cosas, por la dinámica natural de la atmósfera, la cual se da de acuerdo a unos patrones físico-naturales, por lo que no es, es posible acelerar el proceso de producción a partir de esta estrategia.

Otra posibilidad sería mejorar el rendimiento de los equipos y máquinas para conseguir una mayor eficiencia en la captación de viento, optimizando así la producción. Pero, como ya hemos comentado, las innovaciones tecnológicas para la generación de energía eléctrica son impulsadas por las empresas que integran el eje empresarial de la fabricación de equipos, por lo tanto, no será tan simple para los capitalistas de la generación actuar en esta esfera.

Ya hemos dicho que, el despliegue y la operación de parques eólicos es una actividad intensiva en capital fijo, que requiere la instalación de un conjunto de máquinas y equipos, entre ellos turbinas de viento, subestaciones y redes de transmisión de energía. Esto significa que, dado el elevado capital invertido en capital fijo, que en el caso de la generación de energía eólica se limita a la inversión realizada en la adquisición de equipos y máquinas y en la construcción de la unidad generadora, los bienes eléctricos tendrán que ser producidos y consumidos repetidas veces para que el capitalista recupere la cantidad total de capital inicialmente invertido, además, por supuesto, del mayor valor producido. Esto se deriva de una característica muy peculiar de las inversiones realizadas en capital fijo, en que el grado de fijeza del capital aumenta con la durabilidad de los medios de trabajo (HARVEY, [2013](#), p. 287).

Así, dado que el capital fijo es una forma de inversión de capital que tiene una circulación particular, cuanto más duradera sea la máquina, más lentamente transferirá valor al producto final. La durabilidad de los medios de trabajo depende, sobre todo, de la diferencia entre el valor del capital incorporado en ellos y la parte de esta magnitud de valor que el capital transfiere al producto en repetidos procesos de trabajo. Tan pronto como esta diferencia desaparece, el medio de trabajo se agota y con su valor de uso, también pierde su valor (MARX, 2014, p. 242-243). Sin embargo, además de la durabilidad de los equipos, desde un punto de vista físico, también se debe tener en cuenta el ritmo del cambio tecnológico, que puede provocar la obsolescencia de las máquinas y equipos antes de que hayan transferido completamente su valor a los bienes en el proceso de producción.

Si bien, en la actualidad, el proceso de desarrollo científico y tecnológico en las más diversas áreas del conocimiento se viene dando de manera acelerada, ello no significa que dicho proceso se esté dando necesariamente de manera desordenada como resultado único y exclusivo de la competencia entre capitalistas. Por el contrario, la búsqueda de la oligopolización en determinados sectores económicos con el objetivo de actuar en forma de cárteles, como es el caso del eje empresarial de la fabricación de equipos eólicos y más concretamente de la industria de turbinas de viento³, pone de manifiesto la necesidad de que estas empresas deben controlar el ritmo de lanzamiento de innovaciones tecnológicas en su sector, buscando así preservar el valor de sus líneas de producción y mercancías (MIRO, 1979; GONÇALVES-JUNIOR, 2007).

En la práctica, corporaciones que operan en este eje de negocio promueven la obsolescencia programada de los equipos eólicos, controlando así el tiempo de rotación del capital en su eje de acción y en el eje de acción de las empresas generadoras de energía, que forman parte de su mercado consumidor. Así, evitan que una determinada tecnología quede desactualizada u obsoleta antes de que se produzca el ciclo de rotación de capital, asegurando la mayor valorización posible del capital invertido por los capitalistas-consumidores antes de que la totalidad del monto invertido en capital fijo se transfiera íntegramente a las empresas en mercancías en el proceso de

3 Según el informe publicado en 2018 por FTI Consulting, entre los mayores fabricantes de turbinas de viento hasta 2017, por capacidad instalada acumulada en MW, se encontraban: la danesa Vestas (16,5%), la germano-española Siemens Gamesa (fusión) (15,2%) , la estadounidense General Electric (GE Renewable) (11,6%), la alemana Enercon (8,6%), la china Goldwind (7,9%), la germano-española Nordex Acciona (fusión) (4,4%), la china United Power (3,2%) , Sevia de Alemania (3,1 %), Suzlon de India (3 %) y Mingyang de China (2,6 %), Dongfang (2,3 %), Envision Energy (2,2 %), Sewind (1,8 %), XEMC (1,7 %) y CSIC Haizhuang (1,5%) y otros (14%) fueron abastecidos por otros fabricantes. Los cinco principales proveedores de turbinas de viento en Brasil en 2017, por MW, fueron: GE Renewable (35%), Siemens Gamesa (22%), Vestas (20%), Enercon (8%) y Nordex Acciona (8%) (ZHAO et al., 2018).

producción. En el caso concreto de las turbinas de viento, componente principal de un parque eólico, su vida útil está estimada por el sector en veinte años. Esto significa que el capitalista que trabaja en la generación de energía eólica producirá electricidad en promedio durante veinte años hasta que pueda recuperar su inversión inicial en capital fijo.

No podemos olvidar, sin embargo, que, si bien los equipos e infraestructuras que componen un parque eólico son medios de producción para el capitalista que invierte en generación eléctrica, para los capitalistas propietarios de las empresas que fabrican equipos eólicos son capital mercantil, es decir, es en su venta que el segundo grupo extrae el mayor valor. Según Harvey (2012a, p. 210), bajo el capitalismo, cuando las condiciones de acumulación son relativamente fáciles, la implementación de nuevos sistemas tiende a esperar que transcurra la vida “natural” de la fábrica y del trabajador, de modo que el incentivo para aplicar innovaciones es relativamente débil. Sin embargo, en tiempos de crisis económica, cuando se intensifica la competencia, los capitalistas individuales se ven obligados a reducir el tiempo de rotación de su capital, acelerando las etapas de producción, circulación y comercialización. Para asegurar su supervivencia, comienzan a emplear el proceso de “destrucción creativa” que se basa en la devaluación o destrucción forzada de activos antiguos para dar paso a otros nuevos. Como esto implica una pérdida de valor incluso para los capitalistas, poderosas fuerzas sociales se oponen a este proceso.

Así, las innovaciones que se promuevan en este sector siempre dependerán de las necesidades relacionadas con la tasa de beneficio de las empresas fabricantes de equipos. Si bien la vida útil de una turbina se estima en aproximadamente veinte años, puede terminar siendo reemplazada mucho antes debido al desarrollo e implementación de tecnología más moderna que sea capaz de aumentar la productividad. En ese caso, el capitalista o los capitalistas que tengan esta ventaja competitiva podrán obtener una ganancia extra hasta que sus competidores también comiencen a hacer uso de esta nueva tecnología.

Ante las dificultades impuestas a los sectores intensivos en capital fijo, una estrategia destacable para reducir el largo tiempo de rotación del capital en su etapa productiva ha sido la búsqueda de financiamiento, total o parcial, del capital inicial necesario, evitando así el gasto de capital propio. Dicho financiamiento se obtiene del sistema crediticio, pero las condiciones en que se ofrecerá también determinarán el éxito o el fracaso de esta estrategia. En este sentido, los capitalistas de la generación eólica siempre buscarán las mejores condiciones posibles, es decir, los menores costos posibles, que generalmente se encuentran en el sector público, ya sea a través de bancos o programas gubernamentales.

Como ejemplo, citamos los parques eólicos en operación en la región semiárida brasileña hasta 2017. La mayor parte del capital inicial necesario para su implementación se obtuvo del sector público, a través de líneas de crédito y financiación ofrecidas por BNDES y Banco do Nordeste, o a través del PAC (Programa de Aceleración del Crecimiento)⁴. Para comprender en qué medida el financiamiento integra las estrategias de los capitalistas que invierten en generación de energía eólica en el semiárido brasileño en la búsqueda de aniquilamiento o compensación por el largo tiempo de rotación de capital impuesto al sector por las razones ya expuestas, se analizaron 207 de financiamiento para parques eólicos, firmados con el BNDES hasta 2017. Cabe destacar que, hasta ese año, 270 parques eólicos estaban en operación en el semiárido brasileño, sin embargo, para 63 emprendimientos no se encontraron vigentes con el BNDES. Se destaca que algunos proyectos contaron con financiamiento otorgado por BNDES y PAC y/o Banco do Nordeste.

Al tratarse de bancos públicos y programas gubernamentales, el recurso proviene de fuentes de ingresos públicos, es decir, del pago de impuestos, tasas, contribuciones diversas, etc. Se sabe que las fuentes de financiamiento del PAC, por ejemplo, son diversas, no existiendo una sola fuente de financiamiento, que puede provenir del FGTS (*Fundo de Garantia do Tempo de Serviço*)⁵, de empresas estatales, entre otras fuentes. No pudimos obtener más información sobre las fuentes de fondos del Banco do Nordeste, ya que el banco alegó secreto. En el caso del BNDES, según informaciones proporcionadas por el propio banco⁶, para los 207 contratos analizados, la participación promedio del banco fue del 59,4%, variando del 17,9% al 80% (participación máxima permitida). En otras palabras, el Estado brasileño, a través del BNDES, financió una parte relevante de los emprendimientos eólicos con dinero

4 El PAC, un programa del gobierno federal lanzado en 2007 durante la segunda administración de Lula da Silva, promovió la reanudación de la planificación y ejecución de grandes proyectos de infraestructura social, urbana, logística y energética en todo Brasil, con inversión pública y privada, entre 2007 y 2018.

5 Es un fondo creado en 1967, junto con el fin de la estabilidad laboral, con el objetivo de proteger al trabajador despedido sin justa causa, mediante la apertura de una cuenta vinculada al contrato de trabajo y al trabajador la cantidad correspondiente al 8 % del salario. El FGTS está compuesto por el total de depósitos mensuales y los montos pertenecen a los trabajadores que, en algunas situaciones, como despido improcedente o compra de primera propiedad residencial, pueden tener el total depositado a su nombre. Su creación tenía dos objetivos: facilitar el despido de trabajadores y financiar la construcción de inmuebles. Fuente: Agencia Senado. Disponible en: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2017/05/05/em-1967-fgts-substituiu-estabilidade-no-emprego>. Consultado en: 29 de septiembre. 2021.

6 Obtuvimos esta información a través de la Ley de Acceso a la Información, con BNDES, solicitud de información registrada bajo el número 99903000086201982, en 18/02/2019. Plataforma e-SIC (Sistema Electrónico del Servicio de Información al Ciudadano). Disponible en: <https://esic.cgu.gov.br/sistema/site/index.aspx>.

público, en la gran mayoría de los contratos, del Fondo de Amparo al Trabajador (FAT). El FAT es un fondo público especial, de carácter contable-financiero, actualmente vinculado al Ministerio de Economía, destinado al costo del Programa de Seguro de Desempleo, Subsidio Salarial y al financiamiento de Programas de Desarrollo Económico. La principal fuente de recursos del FAT está constituida por los aportes de los empleadores y/o empresas al Programa de Integración Social (PIS) y al Programa de Formación Patrimonial de los Servidores Públicos (PASEP)⁷. Al menos el 40% de este fondo se destina a financiar Programas de Desarrollo Económico a cargo del BNDES.

Veamos, de los 207 contratos encontrados en el BNDES que se refieren a financiamientos ofrecidos a los parques eólicos investigados, sólo en 10 de ellos los montos financiados no tenían al FAT como fuente de financiamiento. En términos de montos, el 98,9% del monto financiado por BNDES tuvo como fuente de financiamiento al FAT. Cabe destacar que, en algunos casos, las líneas de crédito fueron ofrecidas por el BNDES, pero los contratos de crédito fueron firmados por instituciones de banca privada como intermediarios. Entre los beneficios que ofrece se encuentran largos períodos de gracia y amortización y bajas tasas de interés, condiciones que sólo se habrían obtenido a través de las instituciones financieras públicas. El Cuadro 1 muestra dos ejemplos de contratos de financiación firmados por el BNDES con empresas de generación eólica para emprendimientos ubicados en la región semiárida. En la columna “*Condiciones ofrecidas por BNDES*”, se detallan las condiciones de financiación ofrecidas por el banco, que, por cierto, son muy ventajosas para las empresas prestatarias. Entre estas condiciones se puede mencionar la amortización, tasas de interés bajas y períodos ventajosos de gracia.

7 Disponible en: <https://portalfat.mte.gov.br/codefat/resolucoes-2/resolucoes-por-assunto/geracao-de-emprego-e-renda/linhas-de-creditos-especiais/fat-giro-cooperativo-agricola/sobre-la-grasa/>. Consultado en: 10/05/2019.

Cuadro 1 - Financiamiento de emprendimientos eólicos en el interior del semiárido brasileño

Conjunto Eólico	Municipio	Empresa Propietaria	Inversión Inicial Prevista (R\$)	Instituciones Financieras Públicas (en millones de R\$)			Relación Inversión/Financiamiento (en %)	Condiciones ofrecidas por el BNDES
				BNDES	PAC u otra	Valor Total		
Santa Clara	Parazinho	CPFL Renovables	990,7	574,1	-	574,1	58	interés de 1,72% por año +TJLP, carencia de 28 meses y amortización de 192 meses (firmado en 12/2010)
Pelourinho	Caeté e Igarapora	Renovar Energía	144,6	76,4	144,6	221,0	153	R\$ 28.900.000,00 - interés 2,94% p.a.+TJLP, período de gracia entre 3 y 5 meses y amortización 1 mes (parcialmente firmado en 12/2012 y parte en 02/2013) + R\$ 47.500.000,00 - interés 2,98% p.a. +TJLP, carencia de 11 meses y amortización de 1 mes (firmado en 06/2013).

Organización propia. Fuente: ANEEL (2018); BNDES (2018) y PARACEMP (2017).

Destacamos la columna “*Relación Inversión versus Financiamiento*” que muestra la relación entre la inversión inicial prevista y el monto efectivamente financiado por BNDES. Cabe destacar que el monto referente a la inversión inicial prevista fue informado por las empresas generadoras en el formulario de registro de emprendimientos que fue entregado a ANEEL y EPE⁸ cuando se realizaron las subastas de generación.

Es importante resaltar que el valor estimado por las empresas está directamente relacionado con el valor del dólar al momento de la inscripción en la subasta, debido a que una parte importante de los equipos son importados o producidos con materias primas importadas, variando así, con el valor del dólar. Entendiendo que el lapso de tiempo entre la inscripción en la subasta y la contratación y construcción

8 El formulario puede ser consultado a través de una búsqueda en el sitio web de Consultas de Procedimientos de la ANEEL, realizada por el nombre de la empresa y optando por el proceso de Otorgamiento de las empresas. Disponible en: <http://www.aneel.gov.br/consulta-processual>.

del emprendimiento podría haber sido largo, lo que resultaría en una importante diferencia de valores, solicitamos al BNDES información más precisa, que revelaran el valor de la inversión total aportada por las empresas prestatarias en el momento de contratar la financiación. Sucede que el BNDES reivindicó la confidencialidad de la información, y sólo pudimos acceder a la proporción mínima, media y máxima financiada para el conjunto de emprendimientos por los que consultamos, ya que son un indicio de que los emprendimientos eólicos han estado recibiendo financiamiento por montos muy relevantes. Además, aunque pueda haber una variación en el tipo de valor del dólar que distorsione esa relación, los datos confirman la información proporcionada por el propio BNDES acerca de que existen emprendimientos cuya financiación otorgada puede llegar al 80% de la inversión inicial prevista.

Para revelar el carácter ventajoso para los prestatarios de las financiaciones del BNDES, simulamos los costos de las financiaciones obtenidas por el Conjunto Eólico Santa Clara, ubicado en el municipio de Parazinho - RN ([Cuadro 2](#)).

Cuadro 2 - Simulación de costos contractuales para BNDES en el contrato de financiación firmado con el Conjunto Eólico Santa Clara

Año	Situación	Tasa de interés (%)	TJLP año*	Posible costo del contrato para el prestatario de la financiación (R\$)	Inflación (IP-CA-IB-GE) (%)	Posible costo del contrato para BNDES (R\$)	Diferencia (R\$)
2010	Contratación	1,72	6%	0	5,91	33.929.191,79	-33.929.191,79
2011	Carencia	1,72	6%	0	6,50	37.316.369,99	-37.316.369,99
2012	Carencia	1,72	6%	0	5,84	33.527.323,19	-33.527.323,19
2013	Inicio de Pagos	1,72	5%	38.579.385,59	5,91	33.929.191,79	4.650.193,80
2014	Pago	1,72	5%	38.579.385,59	6,41	36.799.681,79	1.779.703,80
2015	Pago	1,72	6%	44.320.365,59	10,67	61.256.256,59	-16.935.891,00
2016	Pago	1,72	7,5%	52.931.835,59	6,29	36.110.764,19	16.821.071,40
2017	Pago	1,72	7%	50.061.345,59	2,95	16.935.891,00	33.125.454,59

*TJLP de abril a junio de cada año, dado que, con un período de carencia de 28 meses, el contrato tendría su primera cuota vencida en mayo de 2013. Organización propia. Fuente: BNDES ([2018](#)).

Según datos proporcionados por el BNDES, el Conjunto Eólico Santa Clara firmó un contrato de financiación con el BNDES en diciembre de 2010. El período de carencia estipulado fue de 28 meses, o sea, la empresa prestataria solamente comenzó a pagar la financiación en mayo de 2013 y terminará de pagarla en mayo de 2029 (192 meses de amortización, es decir, 16 años). Sucede que, como cualquier otro banco, el BNDES, al conceder crédito, cobra por ese servicio, siendo la tasa de interés más el índice de corrección la base de la ganancia de los bancos. En este caso específico, el BNDES fijó la tasa de interés en 1,72% anual y definió la TJLP (Tasa de Interés de Largo Plazo)⁹ como índice de corrección. Sin embargo, la TJLP, teniendo en cuenta la inflación actual, puede estar por debajo de ella. A diferencia de otros bancos, el BNDES se define como un banco estatal cuyo objetivo es promover el desarrollo nacional, lo que justifica que las condiciones de financiamiento que ofrece sean mejores que las de otros bancos.

El [Cuadro 1](#) revela que, dependiendo de la tasa de inflación del período, el prestatario tendrá un crédito y no una deuda que pagar, lo que dependerá de la inflación del período. Por ejemplo, en 2015, si nuestras estimaciones son correctas, la tasa de interés más la TJLP fue inferior a la tasa de inflación del mismo período, lo que en la práctica significó que el BNDES no obtuviera retorno sobre el préstamo. En suma, el BNDES dona dinero a las empresas cuando la inflación está por encima de la suma de la tasa de interés y la TJLP. Cuando la inflación está por debajo de la misma suma, el BNDES presta dinero a un costo muy bajo para el prestatario, lo que resulta en una tasa de ganancia muy pequeña en comparación con las cobradas por las instituciones financieras privadas.

Así, las empresas propietarias de parques eólicos, ante la elevada inversión inicial que realizan en capital fijo, aunque se beneficien del sistema crediticio facilitado y barato, tendrán que producir y vender electricidad durante un período prolongado para poder recuperar la inversión realizada. Sin embargo, cuentan con la ventaja de que no tienen que gastar capital propio para realizar la inversión inicial y obtener crédito a bajo costo, lo que a la larga les garantiza altas tasas de ganancia. Esto se debe a que no pueden cambiar la ecuación de otra manera, ni resuciendo los montos invertidos en capital variable - dada su baja participación en la composición orgánica del capital -, como veremos más adelante, ni acelerando el proceso de circulación, con el fin de acelerar el tiempo total de respuesta del capital.

9 Se define como el costo básico de las financiaciones concedidas por BNDES. La TJLP es fijada por el Consejo Monetario Nacional y publicada hasta el último día hábil del trimestre, inmediatamente anterior a su vigencia. En monedas contractuales, la TJLP se expresa en porcentaje anual.

Composición orgánica del capital, objetos de trabajo preexistentes y ganancia extra

A diferencia de la fabricación de equipos eólicos y la construcción de infraestructura energética, la generación de energía eólica es una actividad en la que prevalece la participación del capital constante en la composición orgánica del capital. Esto significa que, desde el punto de vista del proceso de valoración de la electricidad como mercancía, la participación del capital constante¹⁰ en el total de capital invertido supera la participación del capital variable¹¹. Esto se debe al alto nivel de automatización existente en la producción de energía eólica. Cabe mencionar que esta no es una característica exclusiva de la generación eólica, sino que se extiende a todas las formas de generación eléctrica (GONÇALVES-JUNIOR, [2007](#)).

Cabe destacar que, en el caso específico de la generación eólica, desde el punto de vista operativo, cualquier parque eólico puede ser operado de forma remota mediante el uso de una computadora o teléfono celular, lo que explica su reducida empleabilidad. En general, los parques eólicos en Brasil cuentan con un solo operador técnico, cuya principal responsabilidad es monitorear la operación del parque, que efectivamente se realiza de forma remota, y con una persona que vigila la unidad generadora y garantiza la integridad física de la misma. Si bien existen equipos de mantenimiento, estos generalmente forman parte de un servicio ofrecido por las empresas fabricantes de aerogeneradores y son itinerantes, realizando periódicamente visitas programadas de acuerdo al plan de mantenimiento contratado por la empresa propietaria de los parques eólicos (TRALDI, [2014](#); [2019](#)).

Del total del capital invertido en capital constante (medios de producción) en la producción de energía eólica, el cien por ciento se destina: la adquisición de maquinaria de equipo, a la construcción de la unidad generadora y garantizar el acceso a la tierra. Esto se debe a que, a diferencia de la generación térmica, que depende de la inversión en la adquisición de maquinaria y equipo y en materias primas (combustibles), la generación de energía a partir de la apropiación de objetos de trabajo preexistentes (MARX, [2014](#)), como el viento, el agua o la captación de radiación solar, cuando se utiliza en la producción de energía eléctrica, son captadas directamente del medio ambiente, sin que ello suponga un aporte de trabajo humano previo (MARX, [2013](#), p. 256). Esto exige al capitalista de costos de compra de

10 Es la parte del capital que se desembolsa en forma de medios de producción que funcionan como factores en el proceso de trabajo, pero no modifican su magnitud de valor en el proceso de producción (MARX, [2013](#), p. 286). Esto incluye materias primas y maquinaria en general.

11 “Es la parte del capital constituida por la fuerza de trabajo que modifica su valor en el proceso de producción. No sólo reproduce el equivalente de su propio valor, como producir un excedente, una plusvalía, que puede variar, siendo mayor o menor según las circunstancias. Esta parte del capital se transforma continuamente de una cantidad constante a una cantidad variable” (MARX, [2013](#), p. 286).

combustibles, dado que estos recursos naturales se apropian directamente del medio ambiente sin costo alguno y sin límites. En resumen, esto les garantiza un costo de producción menor que el que tienen los capitalistas que utilizan las materias primas para el mismo fin. Algunos autores se refieren a dicho proceso como trabajo no remunerado de la naturaleza (MOORE, [2011](#)).

La industria de la generación eólica depende en gran medida de la apropiación de una riqueza natural, el viento. En estos términos, la naturaleza, entendida aquí como las condiciones para la reproducción de la vida (fuente de los valores de uso), bajo el dominio del capital, se convierte en mercancía (fuente y expresión del valor de cambio) (LÖWY, [2005](#); MARX, [2013](#); PORTO-GONÇALVES, [2010](#)). El hecho de que esta industria establezca vínculos de dependencia tan fuertes con la oferta o disponibilidad de riquezas naturales, revela que su éxito también depende de la amplia apropiación, directa o indirecta, de la tierra. Como el viento no puede ser explotado, sino desde la superficie terrestre, el capitalista tendrá que controlar los territorios que tienen potencial eólico. Dado que el capitalista estará exento de pagar por su principal insumo, se le garantizará una ganancia suplementaria (MARX, [2017](#)), además del control total sobre sus costos de producción, sin estar a merced de los precios de los *commodities*, como el carbón, petróleo o gas natural.

La generación eólica, al igual que la hidráulica y la solar, depende de la disponibilidad de unas condiciones naturales muy concretas que sólo se dan en algunos lugares de la superficie terrestre y que no pueden adquirirse ni reproducirse artificialmente. Como resultado, la generación de energía eléctrica a partir de la apropiación de objetos de trabajo preexistentes (MARX, [2014](#)) tiene una mayor productividad que la que utiliza materias primas como combustible en centrales termoelectricas, ya que requiere menos tiempo total de trabajo para la producción de la misma unidad de electricidad. Es decir, el costo de producir electricidad a partir de objetos de trabajo preexistentes (costo individual) será menor que el costo de producir la misma cantidad de electricidad producida con materia prima en térmicas (precio de producción social) (GONÇALVES-JUNIOR, [2007](#)). Así, los capitalistas se beneficiarán de la obtención de una ganancia extra o suplementaria, que les está garantizada como resultado de una condición excepcionalmente favorable que sólo existe en algunas partes del planeta y que está al alcance sólo de una parte de los capitalistas.

Cabe señalar que, esta ganancia complementaria no resulta sólo de las ventajas obtenidas en la venta de mercancía eléctrica, ni tampoco del recurso natural, proviene de la diferencia que se establece entre el precio social promedio de producción, el cual está dado por el precio de la producción de las centrales termoelectricas alimentadas con combustibles fósiles, y el precio de producción individual de los productores favorecidos por la explotación de objetos de trabajo preexistentes que se obtienen gratuitamente.

Esto quiere decir que el propietario de una central que utiliza el viento como fuente obtiene una ganancia extra en la producción y venta de la mercancía eléctrica en comparación con la ganancia que obtiene el propietario de una central termoeléctrica alimentada a carbón, petróleo o gas natural, por ejemplo. Esto se debe a que, al producir la mercancía eléctrica, no incluye en su costo de producción los gastos con la obtención de la materia prima, sino que vende su mercancía, teniendo como referencia el mismo precio que el generador térmico que gasta capital para adquirir su materia prima.

Esta ganancia extra, que según la teoría marxista (LENZ, [1981](#); MARX, [2014](#)) sería apropiada por el terrateniente, será objeto de la codicia de los capitalistas que invierten en el sector de la generación eólica, que encuentran limitaciones para acelerar la larga rotación de capital en el sector y buscarán otras formas de expandir la acumulación de capital.

Conclusión

El concepto de tiempo de rotación del capital acuñado por Marx ([2014](#)) es, en este sentido, un concepto clave para que entendamos, desde la economía política, cómo se organizan y cómo actúan los capitalistas que invierten en el eje empresarial de la generación eólica en Brasil.

Considerando que el tiempo de rotación del capital es el tiempo que tarda el capital en valorizarse y volver a su forma inicial añadida de más valor, los capitalistas están interesados en acortar lo más posible el tiempo total de rotación del capital, con el fin de acelerar el proceso de acumulación, multiplicando el máximo número de rotaciones en el menor tiempo posible. A efectos metodológicos, el tiempo de rotación del capital puede dividirse en tiempo de producción de mercancías y tiempo de circulación de mercancías. Los capitalistas buscan siempre reducir el tiempo de rotación del capital en su sector al mínimo posible, pudiendo para ello actuar en dos frentes separados o concomitantes, reduciendo el tiempo de producción y/o el tiempo de circulación.

La generación de energía eólica es una actividad económica intensiva en capital fijo - con un tiempo de rotación larga - capital constante (baja empleabilidad) y en superficie, además de caracterizarse por ser altamente dependiente de una riqueza natural que es el viento. En la búsqueda de reducir el largo tiempo de rotación, el capitalista que invierte en generación eólica enfrentará algunas dificultades, entre ellas: el tiempo de producción que en la etapa tecnológica actual, está limitado por la velocidad natural de los vientos; la velocidad de implementación de las innovaciones tecnológicas que está estrictamente controlada por las empresas que forman parte del eje de fabricación de equipos; la automatización de la actividad, lo que se traduce en una baja participación del capital variable en la composición orgánica del capital;

y, por último, el tiempo de circulación, que ya se reduce al mínimo posible, y su consumo es casi instantáneo a la producción.

Ante las características y especificidades de este sector, el capitalista deberá buscar aniquilar el largo tiempo de rotación del capital en la generación eólica y aumentar su tasa de ganancia a través de otras estrategias. El [Cuadro 3](#) proporciona un resumen en la primera columna de las posibles estrategias a adoptar por todos los capitalistas para reducir el tiempo de rotación del capital y en la segunda columna se muestran las limitaciones y posibilidades para la aniquilación del largo tiempo de rotación del capital en el eje empresarial de la generación eólica.

Cuadro 3 - Estrategias de aniquilación del largo tiempo de rotación de capital en el ámbito de la producción en el eje de negocio de la generación eólica

Posibles Estrategias	Estrategias en Generación Eólica
<ul style="list-style-type: none"> Aumento de la productividad (producir más en menos tiempo): <ul style="list-style-type: none"> a) aceleración de la velocidad de producción; b) promoción de los avances tecnológicos al final 	<ul style="list-style-type: none"> a) el tiempo de producción es dado por la velocidad natural del viento; b) los avances tecnológicos están estrictamente controlados por la industria de equipos eólicos (proceso de obsolescencia programada).
<ul style="list-style-type: none"> Reducción de la inversión en capital variable (pagar salarios más bajos y/o automatizar la actividad). 	<ul style="list-style-type: none"> Actividad muy automatizada (la inversión en capital variable ya es muy baja).
<ul style="list-style-type: none"> Reducción al mínimo posible de las inversiones realizadas en medios de producción. 	<ul style="list-style-type: none"> Los contratos de arrendamiento evitan el gasto de capital en la adquisición de propiedades (reduce la inversión en capital fijo/inmovilización de capital) y también permiten la apropiación de la renta de la tierra.
<ul style="list-style-type: none"> Búsqueda de crédito con entidades financieras, evitando así el gasto de recursos propios. 	<ul style="list-style-type: none"> Obtención de financiación de entidades de crédito (líneas de crédito especiales destinadas a fomentar las energías renovables).

Fuente: TRALDI (2019).

Entre las estrategias desarrolladas por el sector se encuentran: (1) ejercer control sobre propiedades con alto potencial eólico, preferentemente a través de contratos de arrendamiento eólico, eliminando así la necesidad de inmovilizar capital por largos períodos y manteniendo el acceso y control a propiedades y bajos costos; (2) buscar crédito barato de instituciones financieras, especialmente instituciones públicas como BNDES, que, bajo la justificación de incentivar el uso de fuentes de energía renovable, ofrecen líneas especiales de crédito y financiamiento a bajo costo y con largos períodos de carencia y amortización; y (3) apropiarse de la ganancia extra que le garantiza la generación de electricidad a partir de la apropiación de un regalo de la naturaleza y la renta de la tierra, aunque no sea el propietario formal de la tierra (KAUTSKY,

1968; MARX, [2017](#)). Las principales estrategias presentadas en este capítulo fueron analizadas en detalle en la tesis doctoral (TRALDI, [2019](#)).

Así, el análisis presentado en este capítulo refuerza cómo los enfoques de Economía Política pueden enriquecer y desmitificar los estudios sobre descarbonización. Esto se debe a que la Economía Política busca comprender los procesos en su totalidad, evitando fragmentaciones que suelen ofrecer solo una visión parcial de la realidad. De esta forma, nuestro análisis está en línea con los análisis presentados por Huber y McCarthy ([2017](#)); McCarthy ([2015](#)); Pearse ([2020](#)); y Bridge y Gailing ([2020](#)) sobre el “regreso a la superficie” en la producción de energía bajo el capitalismo. Estos estudios han demostrado que la transición energética orientada hacia el desarrollo de fuentes renovables como en el caso de la región semiárida brasileña con la implantación de parques eólicas, puede dar lugar a nuevos conflictos e injusticias, a pesar de su contribución en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, al menos en el proceso de generación de energía, puede dar lugar a nuevos conflictos e injusticias. Cuando este proceso se lleva a cabo bajo la égida del modo de producción capitalista y de acuerdo con sus intereses, puede incrementar los conflictos por la tierra, reforzar las injusticias socio-espaciales existentes y/o producir nuevas injusticias, creando las condiciones necesarias para que se produzcan nuevas oleadas de despojo bienes, tierras y recursos.

Agradecimientos

Agradezco a la profesora Arlete Moysés Rodrigues por la dirección de la tesis doctoral de la que deriva este capítulo. También agradezco al Instituto Federal de São Paulo (IFSP) por otorgar licencia remunerada para doctorado entre 2016 y 2019 y por el apoyo de la Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamiento 001, mediante la concesión de una beca de Doctorado Sándwich.

Referencias

- ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial). **Mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil**. 2014. 141 f. Disponible em: <https://www.cier.org/es-uy/Lists/Informes/Mapeamento%20da%20Cadeia%20Produtiva%20da%20Ind%C3%BAstria%20E%C3%B3lica%20no%20Brasil.pdf>. Acceso em: 27 nov. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Banco de informações de geração**. Brasília, DF, 2016. Disponible em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15>. Acceso em: 08 set. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Banco de informação de geração**. Brasília, DF, 2018. Disponible em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp>. Acceso em: 16 fev. 2018.

- BERMANN, C. O projeto da usina hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma. **Novos Cadernos NAEA**, [s. l.], v. 15, n. 1, ago. 2012. ISSN 2179-7536. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/895>. Acesso em: 13 mar. 2019.
- BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL (BNDES). **Operações contratadas na forma direta e indireta não automática**. 2018. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/centraldedownloads>. Acesso em: 06 jul. 2018.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balço energético nacional 2006**. Ano base 2005 Relatório final. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, RJ, 2006. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3597239/01+-+BEN+2006+-+Ano+Base+2005+%28PD-F%29/0b5543a3-4e73-4fce-b089-730b9e16bd6a>. Acesso em: Acesso em: 23 maio 2015.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balço energético nacional, 2014**. Ano base 2013. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2014. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf. Acesso em: 23 maio 2015.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balço energético nacional 2016**. Ano base 2015. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, RJ, 2016. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf. Acesso em: 20 out. 2016.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balço energético nacional 2018**. Ano base 2017. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, RJ, 2018. 203p. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018_Int.pdf. Acesso em: 31 maio 2019.
- BRASIL, Ministério da Integração Nacional (MIN). **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. Brasília, DF, 2005. 32 p. Disponível em: http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=0aa2b9b5-aa4d-4b55-a6e1-82faf0762763&groupId=2491. Acesso em: 26 out. 2016.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Plano Nacional de Energia 2030**. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, DF, 2007. 369 p. Disponível em: http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf. Acesso em: 12 jul. 2015.
- BRIDGE, G.; GAILING, L. New energy spaces: Towards a geographical political economy of energy transition. **EPA: Economy and Space**. v. 52, n. 6. p. 1037-1050, 2020.
- BUSTOS-GALLARDO, B.; BRIDGE, G.; PRIETO, M. Harvesting Lithium: water, brine and the industrial dynamics of production in the Salar de Atacama. **Geoforum**, n. 119 p. 177-189, 2021.
- CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL). **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro: simulações 2013**. Rio de Janeiro, RJ, 2017. Disponível em: http://novoatlas.CEPEL.br/wp-content/uploads/2017/03/NovoAtlasdoPotencialEolico_BrasileiroSIM_2013.pdf. Acesso em: 06 out. 2017.
- FIGUEIREDO, A. C. P.; SARAIVA, L. J. C. A substituição em grandes projetos na Amazônia: o impacto do grande capital nos fluxos de mão de obra na UHE Belo Monte. **Nova Revista Amazônica**. v. 6, n. Especial, dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/nra/article/view/6462/5192>. Acesso em: 13 mar 2019.
- GONÇALVES JUNIOR, D. **Reformas na indústria elétrica brasileira: a disputa pelas “fontes” e o controle dos excedentes**. 2007. 416f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de São Paulo, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia PIPGE- EP/FEA/IEE/IF, São Paulo, São Paulo, 2007.

- HARVEY, David. **Spaces of capital: towards a critical geography**. New York, NY: Routledge, 2001. 429 p.
- HARVEY, David. **O novo imperialismo**. 4. ed. São Paulo, SP: Edições Loyola, 2010. 201 p.
- HARVEY, David. **Os limites do capital**. São Paulo, SP: Boitempo, 2013. 591 p.
- HERNÁNDEZ, F. F. M.; MAGALHÃES, S. B. Ciência, cientistas e democracia desfigurada: o caso Belo Monte. **Novos Cadernos NAEA**, [s. l.], v. 14, n. 1, out. 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/599>. Acesso em: 13 mar. 2019.
- HUBER, M. T.; MCCARTHY, J. Beyond the subterranean energy regime? Fuel, land use and the production of space. **Transactions Institute of British Geographers**, v. 42, n. 4, p. 655-668, 2017.
- KAUTSKY, K. **A questão agrária**. Tradução de C. Iperoig. Apresentação de Moniz Bandeira. Rio de Janeiro, RJ: Laemmert, 1968. 325p. Col. Clássicos do Socialismo, 2).
- LENZ, M. H. **A categoria econômica renda da terra**. Porto Alegre, RS: Fundação de Economia e Estatística, 1981. 102 p. (Tese).
- LÖWY, M. **Ecologia e socialismo**. São Paulo, SP: Cortez, 2005. 94 p. (Col. Questões da Nossa Época, v. 125).
- MARX, K. **O capital: crítica da economia política**. Tradução de Rubens Enderle. São Paulo, SP: Boitempo, 2013 (v.1. : enc.).
- MARX, K. **O capital: crítica da economia política**. Tradução de Rubens Enderle. São Paulo, SP: Boitempo, 2014 (v. 2.: enc.).
- MARX, K. **O capital: crítica da economia política**. Tradução de Rubens Enderle. São Paulo, SP: Boitempo, 2017 (v. 3.: enc.).
- MCCARTHY, J. A socioecological fix to capitalist crisis and climate change? The possibilities and limits of renewable energy. **Environment and Planning**. v. 47, p. 2485-2502, 2015.
- MIRO, K. R. **A ditadura dos carteis: anatomia de um subdesenvolvimento**. 15. ed. Rio de Janeiro, RJ: Civilização Brasileira, 1979. 272p. (Col. Retratos do Brasil, 102).
- MOORE, J. W. Transcending the metabolic rift: a theory of crises in the capitalist world-ecology. **The Journal of Peasant Studies**, v. 38: n. 1, p. 1-46, 2011.
- O'CONNOR, J. On the two contradictions of capitalism. **Capitalism Nature Socialism**, v. 2, n. 3. *Routledge*, 1991. p. 107-109.
- PEARSE, R. Theorising the Political Economy of Energy. Transformations: Agency, Structure, Space, Process. **New Political Economy**. p. 1-13, 2020.
- PORTO-GONÇALVES, C. W. Por uma ecologia política crítica da Amazônia. In: **Revista Margem a Esquerda**. Dossiê: imperialismo, ecologia e crise estrutural, n. 14, ano 2010. São Paulo, SP: Boitempo Editorial; 2003.
- PORTO-GONÇALVES, C. W. **A globalização da natureza e a natureza da globalização**. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ: Civilização Brasileira, 2017. 461 p.
- POULANTZAS, N. A. **Poder político e classes sociais**. 2. ed. São Paulo, SP: Martins Fontes, 1986. 354 p. (Novas direções).
- POULANTZAS, N. A. **Sobre el estado capitalista**. 2. ed. Barcelona: Laia, 1977. 146p. (Laia/paperback. Política, 1).

- SANTOS, M. Da Política dos Estados à Política das Empresas. **Cadernos da Escola do legislativo de Minas Gerais**, 1997, [s. n.]. Disponível em: <http://ricardoantasjr.org/wp-content/uploads/2015/07/!%E2%80%9CDa-Pol%C3%ADrica-dos-Estados-%C3%A0-Pol%C3%ADrica-das-Empresas%E2%80%9D.-Milton-Santos.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2018.
- SANTOS, M. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal**. 16. ed. Rio de Janeiro, RJ: Record, 2008. 174 p. ISBN 9788501058782 (broch.).
- SEVÁ FILHO, A. O. Profanação hidrelétrica de Btyre/Xingu. Fios condutores e armadilhas (até setembro de 2012). *In*: de Oliveira, J. P.; Cohn, C. (org.). **Belo Monte e a questão indígena**. Associação Brasileira de Antropologia (ABA): Brasília, DF. 2014. p. 170-205.
- SILVA, Fabiano Moreira da; PAULA, Elder Andrade de. Usinas hidrelétricas sob os véus da “sustentabilidade”: os pescadores artesanais da Ponta do Abunã (RO) e a Usina Hidrelétrica de Jirau. **Novos Cadernos NAEA**, [s. l.], v. 21, n. 1, jul. 2018. p. 159-178. ISSN 1516-6481/2179-7536. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/3497>. Acesso em: 13 mar. 2019.
- SMITH, N. **Desenvolvimento desigual: natureza, capital e a produção de espaço**. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil, 1988. 250 p. Bibliografia: p. 243-250. ISBN 8528600726 (broch.).
- TENOTÁ-MÓ. **Alertas sobre as consequências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu**. São Paulo, SP: International Rivers Network, 2005. 344 p., il. ISBN 8599214012 (broch.).
- TOLMASQUIM, M. T. **Novo modelo do setor elétrico brasileiro**. Rio de Janeiro, RJ: Synergia, 2011. 290 p., il. ISBN 9788561325596 (broch.).
- TRALDI, M. **Novos usos do território no semiárido nordestino: implantação de parques eólicos e valorização seletiva nos municípios de Caetité (BA) e João Câmara (RN)**. 2014. 232 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/286604>. Acesso em: 3 jun. 2019.
- TRALDI, M. Implantação de parques eólicos no semiárido brasileiro e a promessa da geração de empregos. **Bahia Análise & Dados**, v. 27, 2017. p. 175-202.
- TRALDI, M. Os impactos socioeconômicos e territoriais resultantes da implantação e operação De parques eólicos no semiárido brasileiro. **Scripta Nova**, vol. XXII, nº 589, 2018. 1 de maio de 2018. Disponível em: <http://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/19729/23618>. Acesso em: 10 set. 2018.
- TRALDI, M. **Acumulação por despossessão: a privatização dos ventos para a produção de energia eólica no semiárido brasileiro**. 2019. 378p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, São Paulo. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/335160>. Acesso em: 30 nov. 2020.

CAPÍTULO 7

GEOECOLOGÍA DEL PAISAJE, APLICADA A LA PLANIFICACIÓN AMBIENTAL DE PROYECTOS DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EÓLICA

Edson Vicente da Silva¹

Giovanna de Castro Silva¹

Anderson Marinho da Silva¹

Clarissa Dantas Moretz-Sohn¹

Larissa de Pinho Aragão¹

Carlos Henrique Sopchaki¹

Resumen

La planificación ambiental no sólo debe atender los aspectos físico-biológicos y de los sistemas naturales, sino también asumir una mayor complejidad en términos de comodidad y calidad de vida, condiciones de salud pública, además de seguridad hídrica, energética y alimentaria. Así entonces, la geoecología del paisaje se consolida como una disciplina del Paisaje como una disciplina de análisis sistémico e integrado de los paisajes naturales y antrópicos en los territorios donde se pretende ejecutar proyectos de energías renovables de proyectos de energías renovables, estructuras y funcionalidades productivas debidamente planificadas. Se cree que la sustentabilidad de un paisaje está directamente asociada con su capacidad de volver a su estado inicial tras la eliminación de los tensores que actúan en la configuración de los impactos sobre los mismos. Es decir, cuando el paisaje asume estabilidad y persistencia ante un impacto para luego volver a sus condiciones normales. El capítulo presenta propuestas teórico-metodológicas sobre cómo aplicar medidas de planificación funcional para mitigar y monitorear los impactos socioambientales derivados de los emprendimientos de producción de energía eólica.

Palabras clave: Gestión y monitoreo ambiental. Centrales eólicos. Zonificación geoecológica.

1 Universidad Federal de Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil. cacauceara@gmail.com

Introducción

El consumo de energía desmedido y creciente en las áreas urbanas se debe principalmente a los efectos de la modernidad y su reflejo en el consumo y uso de equipos electrónicos y una creciente movilidad de personas y productos, además de la expansión de las actividades industriales. En las zonas rurales, la modernización de los medios de producción y el crecimiento exponencial de la agroindustria llevaron a un consumo de energía nunca antes alcanzado en el planeta.

En este contexto de buscar incrementar la producción de energía, surgen la energía eólica El litio no es energía, es un mineral con excelente comportamiento electroquímico, lo cual le atribuye una alta capacidad de conducción de energía. Por tal motivo se utiliza para la fabricación de acumuladores estacionarios de energía, que se convierten en objetos de este análisis que se refiere a la instalación, operación y mantenimiento de sus emprendimientos productivos. A la luz de la proposición de estrategias para un modelo adecuado de planificación ambiental con emprendimientos energéticos y su entorno geográfico, se plantea la aplicabilidad de la Geoecología del Paisaje, a partir de los procedimientos teórico-metodológicos expuestos por autores como Rodríguez y Silva (2016), Barragán (1997), Bertrand y Bertrand (2007), Cavalcanti y Viadana (2007), Diakonov (2002), Diakonov y Mamai (2008), Hildebrand Scheid (2009), Kaule (2001), Rougerie y Beroutchatchvili (1991), Sanchez Ruiz (2008), Tricart (1982) y Zacharias (2010).

Considerando que la planificación ambiental no sólo debe atender a los aspectos físico-biológicos y de los sistemas naturales, sino también asumir una mayor complejidad en términos de comodidad y calidad de vida, las condiciones de salud pública, además de la seguridad hídrica, energética y alimentaria, surge la necesidad de un enfoque que discute la complejidad y las relaciones sistémicas en las interacciones entre la sociedad (emprendimiento energética/población involucrada) y la naturaleza (lugar y alrededor del emprendimiento).

Es en este contexto que se propone la aplicabilidad de la Geoecología del Paisaje, que se consolida como una disciplina de análisis sistémico e integrado de los paisajes naturales antrópicos en los territorios donde se pretende ejecutar proyectos de energías renovables, estructuras y funcionalidades productivas debidamente planificadas.

Esta fundamentación teórico-metodológica se fundamenta en las categorías analíticas de la Geografía y la Ecología, tales como espacio y paisaje natural, espacio y paisaje cultural, a través de la concepción de ecosistemas, geosistemas y geoecosistemas, en sus distintas características y distintas escalas de abordaje espacial. Considera aspectos relacionados con la ubicación, identificación, estructura, funcionalidad, distribución, clasificación y representación de los componentes y fenómenos geográficos que interactúan espacialmente en las diferentes unidades de análisis geoecológico.

Este capítulo establece, de manera propositiva, los procedimientos geoecológicos que pueden y deben subsidiar los emprendimientos energéticos de instalación hasta el funcionamiento de las estructuras y el seguimiento de las actividades rutinarias. En resumen, se explican cada una de las fases de la planificación ambiental basada en la Geoecología del Paisaje, en resumen, siguiendo el concepto de la Geoecología del paisaje, se analizan las diferentes fases de la planificación ambiental: (1) organización e inventario, (2) análisis/zonificación ambiental, (3) diagnóstico/zonificación geoecológica, (4) pronóstico/zonificación funcional, (4) plan de manejo (5) ejecución y (6) monitoreo. Estas diferentes fases están debidamente detalladas, explicando los procesos de interpretación científica de los espacios de influencia de los emprendimientos, demostrando los productos y resultados a obtener y que subsidiar la planificación ambiental a instituir.

El paisaje como categoría espacial de análisis con vistas a la planificación ambiental

La Geoecología del Paisaje asume una significativa importancia por constituir una relevante base interdisciplinaria que atiende parte de las demandas necesarias para la planificación ambiental de los territorios. Puede considerarse como un sistema de métodos, procedimientos y técnicas de investigación, donde su principal objetivo es aportar conocimientos esenciales sobre el medio natural desde una perspectiva sistémica. Al abordar los conceptos teóricos y metodológicos de la Geoecología del Paisaje, se utilizan como principal base bibliográfica dos publicaciones: Rodríguez y Silva (2018) y Rodríguez, Silva y Cavalcanti (2017).

A partir de la delimitación y caracterización de las particularidades ambientales de cada una de las unidades de paisaje, es posible formular acciones encaminadas a optimizar las formas de uso y ocupación, proponiendo una gestión y manejo más adecuado. Con pleno conocimiento de las bases naturales de un territorio, es posible instituir programas de desarrollo económico y social, como la implementación de proyectos de energías renovables.

El conocimiento de la integración geoecológica de cada unidad permite la comprensión de las interrelaciones entre los aspectos estructurales-espaciales y dinámico-funcionales de los paisajes, ya sea tanto en sus aspectos naturales, como culturales y socioeconómicos. Como sistema ¿económico-social o socioeconómico?, el paisaje cultural se concibe como el producto inmediato a partir del cual se desarrolla la sociedad humana, caracterizado por sus relaciones espaciales, además de la capacidad funcional para el desarrollo de sus actividades económicas, sociales y culturales.

A la hora de analizar los paisajes de un determinado territorio, es necesario reconocer y conocer los procesos de circulación e intercambio de energía y sustancias en la superficie entre las distintas unidades de paisaje que acaban constituyendo la integridad de los geosistemas.

Las diferenciaciones espaciales resultan de particularidades específicas por sus funcionalidades y su propia dinámica evolutiva, las cuales también están influenciadas por procesos planetarios como la estacionalidad diaria. Esta complejidad de estructuras y procesos se presentan en la composición de un complejo mosaico de paisajes, que también sufren los efectos de franjas zonales y altitudinales.

En la formación de las diversidades paisajísticas locales se perciben las influencias de la exposición a la radiación solar y las masas de aire, así como la microzonalidad de las vertientes dirigidas por sus niveles topográficos y orientaciones de sotavento/barlovento y sotamar/barlamar.

El estudio de la paleogeografía constituye un elemento importante en el sentido de evaluar las condiciones geoambientales. Se considera que todos los geosistemas naturales constituyen categorías históricas, siendo el resultado de procesos efectivos en el pasado. Es decir, los estados de los paisajes actuales y futuros están determinados en gran medida por los cambios que han ocurrido/ocurrieron en el pasado.

Un análisis retrospectivo del paisaje permite conocer los cambios cíclicos ocurridos para proyectar posibles repeticiones, observar el desempeño de factores externos e internos en la evolución del paisaje e interpretar las tendencias hacia la estabilidad o inestabilidad, proporcionando así la construcción de un modelo geocológico pronóstico de los paisajes.

A través de un análisis retrospectivo-estructural del paisaje, Isachenko (1991) explica que es posible evaluar la cronología y condiciones de génesis, conocer cómo se articularon los elementos de la estructura del paisaje y sus influencias en su gradiente de estabilidad y dinámica. El análisis espacio-temporal busca interpretar las tendencias de desarrollo de los procesos y estructuras naturales a través del análisis de diferentes períodos dinámico-evolutivos de paisajes sucesivos en una determinada escala espacial y temporal.

Los tres enfoques permiten considerar que, para interpretar la edad de un determinado paisaje, es necesario inicialmente conocer la cronología de su estructura/componentes y de sus procesos/dinámicas históricamente existentes. Es posible identificar tres categorías cronológicas de paisajes: (1) jóvenes o progresistas; (2) maduros o conservadores y (3) reliquias o seniles.

En el caso de la costa de Ceará, es posible ejemplificar, en el caso del campo de dunas, paisajes jóvenes como las dunas móviles, paisajes maduros como las dunas fijas y, en el caso de los paisajes reliquias, las eolianitas. Esta clasificación, en parte, sirve como subsidio para la identificación de ambientes más o menos estables, y también de paisajes reliquias que deben ser protegidos, a pesar de los impactos ambientales negativos, en ocasiones irreversibles por la implementación de parques eólicos, como se reporta en zonas costeras en áreas de Ceará en Meireles (2011), Mendes, Gorayeb y Brannstrom (2015) y Loureiro, Gorayeb y Brannstrom (2015).

La sociedad está integrada plenamente con la naturaleza como resultado de sus acciones en la organización social, modificando los flujos e intercambios de materia, energía e información. Las actividades productivas son las principales causas de los cambios antrópicos en la naturaleza, ya que son la razón misma del desarrollo de la sociedad humana.

La antropización del paisaje, según Preobrazhenskii y Aleksandrova (1988), conduce a cambios que conducen a cambios estructurales en el funcionamiento y la dinámica de los mismos, provocando nuevas formas, tendencias y evolución progresiva de nuevos escenarios. Parece que, aun transformados por las acciones sociales, los paisajes siguen estando sujetos a las leyes de la naturaleza, aunque la sociedad puede imprimir nuevos rumbos y velocidades de cambios paisajísticos.

A pesar de no poder crear un nuevo paisaje natural, la sociedad presenta nuevos elementos que modifican los paisajes naturales, induciendo a la formación de paisajes culturales, que pueden desarrollarse de forma secuencial y progresiva, alterando estructuras y procesos de orden natural.

En Geocología del Paisaje se establecen criterios de clasificación antropogénica de las unidades de paisaje mediante el establecimiento de las siguientes categorías: paisajes naturales, paisajes antroponaturales y paisajes antrópicos.

Los primeros, los paisajes naturales, no han sufrido cambios significativos en su estructura y funcionalidad por acciones humanas que hayan cambiado en su esencia natural. Sin embargo, pueden sufrir consecuencias directas e indirectas de los procesos de cambios ambientales de carácter global y/o regional.

Los paisajes antroponaturales corresponden a las unidades que han sido modificadas o se derivan de las transformaciones ejercidas por la acción humana, principalmente sobre los componentes bióticos. La intensidad de las modificaciones pueden ser moderadas o fuertes, siendo en este último caso de difícil regeneración. Como paisajes tectogénicos, se identifican áreas que no sólo vieron transformados sus componentes biológicos, sino también sus condiciones físicas estructurales, como su base geológica, relieve y suelos. Como referencias se citan polígonos y distritos industriales y entornos derivados de una intensa ocupación histórico-geográfica que derivó en paisajes agotados y desertificados, por ejemplo. En relación con la energía eólica en Ceará, podemos mencionar el Complejo Industrial y Portuario de Pecém, que tiene propuestas para la instalación de estructuras que soportarán parques eólicos *offshore* diseñados para la costa oeste de Ceará y fábricas de producción de hidrógeno verde, además de ya albergar una fábrica de componentes de torres eólicas. Estos temas se exploran más a fondo en los capítulos [14](#) y [15](#) de este libro.

Procedimientos metodológicos de la geoecología en el análisis de un emprendimiento

En la concepción de Rodríguez y Silva (2017), al establecer un esquema metodológico con respecto a la Geoecología del Paisaje como instrumento de análisis territorial, es necesario: (1) conocer la organización del paisaje, (2) la clasificación y taxonomía de las estructuras del paisaje, (3) los factores que forman y transforman los paisajes y (4) los enfoques estructural, funcional e histórico-genético.

En segundo lugar, se evalúan las potencialidades intrínsecas de cada paisaje, definiendo su tipología funcional en función de los factores antrópicos y el aprovechamiento de los recursos naturales. También se observan los impactos geoecológicos resultantes de las actividades humanas, incluidas las funciones y cargas económicas.

En la fase propositiva enfocada a la planificación y protección ambiental, se considera la evaluación de la tecnología de uso y ocupación de los paisajes y la visualización de posibles alternativas en la formación de escenarios futuros. De esta manera, se entiende la organización estructural y funcional orientada a la ordenación espacial, cuando se incluyen estrategias de peritaje ecológico-geográfico y de monitoreo geosistémico regional.

En el caso de grandes emprendimientos, como es el caso de la generación de energía eólica, es efectiva una fuerte correlación entre los objetos técnicos y los elementos y procesos de un orden natural. Por tanto, dependiendo de las condiciones socioeconómicas impuestas al territorio, se produce una interacción espacial entre materia, energía e información, que se refleja en la realidad y funcionalidad espacial.

En el proceso de lectura del territorio, diagnóstico, pronóstico y monitoreo, se utiliza el Sistema de Información Geográfica (SIG), que consiste en registrar las manifestaciones territoriales, en las representaciones de la espacialidad de la información a diferentes escalas. Se busca una unificación de la información posible en un territorio dado, a partir de un enfoque sistémico de análisis y diagnóstico.

En su conjunto, el SIG tiene tres elementos principales: (1) un banco informativo/base de datos del territorio; (2) representar un bloque de modelos conceptuales y matemáticos y un bloque de imágenes; y (3) preparación y formulación de recomendaciones para la toma de decisiones. Trabajando junto con Geoecología del Paisaje, SIG proporciona información sobre: (1) estructura vertical de los componentes y partes morfológicas del paisaje; (2) estado del paisaje; (3) modificaciones y transformaciones antropogénicas del paisaje; y (4) flujos relacionados con los transportes de agua, aéreo, gravitacional y biótico del paisaje.

Cartografía de unidades geocológicas del paisaje

Las unidades de paisaje se caracterizan a partir de las interacciones resultantes de los procesos y estructuras activas, lo que conduce a una relativa homogeneidad de sus condiciones naturales y la estabilidad de las interrelaciones estructurales. Entre las propiedades específicas de los paisajes se destacan: (1) existencia de “tipos” geográficos, (2) propiedades de integridad y diferenciación, (3) posibilidad de repetibilidad, (4) semejanza estructural-morfológica sustancial, (5) homogeneidad relativa y (6) complejidad.

En cuanto a la comprensión de la dinámica procesual de los paisajes, es importante analizar las relaciones verticales y horizontales que actúan en la dinámica del territorio. En las relaciones verticales se consideran: (1) productividad biológica, (2) meso-relieve, (3) estructura vertical y (4) características del suelo y macro-relieve. Ya con las relaciones horizontales, existen: (1) escurrimiento superficial, (2) relieve, (3) estructura horizontal, (4) transporte de sustancias y (5) productividad biológica.

En la concepción de Richling y Mateo (1991), en general, los mapas de tipos de paisaje deben representarse desde escalas pequeñas (1:2.500.000) hasta escalas medianas (1:250.000). Aunque se pueden asumir cuatro escalas principales y niveles taxonómicos: (1) mapas muy generales (1:250.000 o más pequeños) – regiones grandes; (2) mapas generales (1:100.000 a 1:250.000) – ubicaciones y regiones; (3) mapas detallados (1:10.000 a 1:100.000) – departamentos, municipios y localidades; (3) mapas muy detallados (1:2.000 a 1:10.000) – facies.

En el caso de análisis de proyectos de producción de energía eólica, habrá una escala de representación de su realidad terrestre definida a partir de la dimensión territorial que ocupan, por definición de muestreo y controles de determinados sectores espaciales, o incluso por una interpretación de sus dimensiones locales o regionales.

También, según Richling y Mateo (1991), es posible efectuar representaciones en el sentido de ser: (1) reconstructivas como mapas de paisaje originales o primarios y mapas de evolución del paisaje, (2) estado actual contemporáneo del paisaje, (3) monitoreo del estado actual del paisaje y (4) pronóstico del estado y características del paisaje.

La elaboración de una cartografía representativa de los paisajes se realiza a partir de tres etapas principales: (1) preparatoria/de gabinete, (2) levantamiento de campo y (3) elaboración final de mapas. Rodríguez y Silva (2018) especifican, a continuación, cómo se debe ser efectivamente cada una de las etapas.

En la primera etapa, denominada preparatoria, es básicamente una tarea de gabinete y tiene como objetivo preparar la información necesaria para el trabajo de campo, estructurándose en: (1) recopilación, análisis y sistematización del trabajo previamente realizado; (2) fundamentación de la investigación, definiendo objetivos, materiales, métodos, escala de análisis, cronograma y recursos a utilizar; (3) análisis

de mapas temáticos, interpretaciones visuales y digitales de fotografías aéreas e imágenes satelitales; y (4) elaboración del mapa preliminar de los paisajes, mediante la integración de mapas básicos y temáticos y la información obtenida.

En el análisis geocológico del paisaje, uno de los principales productos fruto de la investigación es la elaboración de un mapa de paisajes naturales del territorio en cuestión. Por ello, es fundamental que, tras la conclusión de una primera propuesta de ejecución de un proyecto de energías renovables, se realicen las revisiones pertinentes de campo, así como la caracterización de los límites y condiciones intrínsecas de cada unidad geocológica. Inmediatamente después de las revisiones, se concluye su leyenda temática con las clasificaciones apropiadas de las unidades representadas dentro del entorno SIG.

Luego de construir un mapa de paisajes naturales, es necesario evaluar los procesos de transformación antropogénica de los paisajes. Es común distinguir dos tendencias principales en relación con las transformaciones estructurales de los paisajes y sus parámetros de geodiversidad: la homogeneización y la heterogeneización.

En la homogeneización del paisaje, los procesos están determinados por el predominio del mismo patrón de uso y ocupación y sus tecnologías. Tal patrón implica la simplificación de las estructuras del paisaje, reduciendo la geodiversidad, siendo un predominio en los grandes proyectos productivos y de modernización tecnológica, como es el caso de los parques de producción de energía eólica.

La heterogeneización del paisaje está dominada por el predominio de diferentes formas y grados de intensidad en el uso de los recursos naturales y la aplicación de diferentes tipos de tecnologías sobre un mismo tipo de paisaje. Este proceso dominante conduce a una mayor complejidad en la estructura de los paisajes y una expansión de los grados de geodiversidad.

Percibir e identificar la geodiversidad es fundamental para analizar otras formas y categorías de diferencias paisajísticas, como la biodiversidad y la diversidad socio-cultural. En otras palabras, es a partir de los gradientes de geodiversidad que se construyen las demás categorías de diversidad. Una vez modificada la estructura de la geodiversidad, habrá una dinámica en los atributos genético-funcionales y evolutivos.

El paradigma ambiental y el enfoque sistémico en la planificación de emprendimientos

Para la realización de investigaciones que aborden la implementación de una Planificación Ambiental, existe una multiplicidad de modelos metodológicos y métodos, los cuales se diversifican en función de los fundamentos teóricos y filosóficos a sustentar. Las diversificaciones de enfoque también dependen de las condiciones ambientales, del sistema político y administrativo activo y de la categoría espacial de análisis que se pretende adoptar.

Los paradigmas ambientales y de desarrollo sostenible, según Milbrath (1996), consideran diferentes hipótesis formadas a partir de especificidades basadas en visiones: (1) holística, entendiendo que los fenómenos del universo están intrínsecamente vinculados en diferentes niveles de totalidad; (2) sistémica, que incorpora la perspectiva cibernética cuanto a la totalidad, que se estructura en sistemas de diferente complejidad y jerarquía; (3) integrador-complejo, donde cada sistema representa una unidad dialéctica de las partes identificadas en el plan de la totalidad y acepta la idea de tener la propiedad de estructurarse y organizarse a sí mismo; y (4) dinámico-evolutivo, entendiendo que todas las partes del organismo o sistema encuentran su estabilidad a través de la capacidad de adaptación y búsqueda del equilibrio dinámico de un sistema.

Entre las categorías de análisis comúnmente utilizadas se encuentran: geosistemas, ecosistemas, paisajes naturales y culturales, biomas, cuencas hidrográficas, regiones políticas y administrativas, municipios y comunidades. Las dimensiones territoriales y su diversidad inducen, en parte, las categorías de análisis a adoptar, así como la escala de la investigación a realizar.

Considerando que los sistemas sociales y los sistemas naturales tienen sus propias características autónomas, presentando funcionalidades específicas e intrínsecas, con sus propias leyes y propiedades, los enfoques analíticos deben considerar las particularidades. Desde una visión sistémica, es posible concebir la existencia simultánea de dos totalidades: los sistemas naturales y los sistemas humanos.

Es posible incorporar dos enfoques a la hora de investigar el medio ambiente a través de un enfoque sistémico, que son el enfoque geocéntrico y el enfoque ecocéntrico. El enfoque ecocéntrico implica una interpretación de las condiciones ambientales, ofreciendo un análisis centrado en el sistema humano y las interrelaciones que se desarrollan con su entorno geográfico.

El análisis de los sistemas sociales/humanos involucra sus diferentes categorías espaciales, como espacio, territorio, paisaje, lugar y región. En este sentido, el ser humano y los grupos humanos son elementos fundamentales en las relaciones sistémicas con el medio externo y buscamos comprender los procesos de metabolismo, los flujos de materia, energía e información que se dan entre la sociedad y el medio externo (BOYDEN *et al.*, 1981). Los autores entienden que los diferentes grupos sociales tienen funciones sistémicas propias que involucran procesos de distribución, ingestión, conversión, almacenamiento, producción, impulsión, evacuación, asociación, codificación, decodificación y memoria del sistema.

Según Ignatov (2004), es necesario abordar el enfoque del paradigma de la complejidad sistémica, como base teórica y metodológica para una adecuada concepción ambiental.

El análisis del espacio geográfico implica el desarrollo de una interpretación integrada y actualizada, que conduce a una relectura de los principios y conceptos necesarios para la representación científica de la realidad espacial, resultante de las

interrelaciones entre naturaleza y sociedad. Castelló (2004) destaca que este nuevo enfoque va más allá de los principios conceptuales de las disciplinas, abarcando nuevos caminos a través de la transversalidad de conocimiento y saberes.

Delgado (2005) reporta la necesidad de una nueva ciencia aplicada a través de un enfoque sistémico, con un enfoque conciso en la interdisciplinariedad y en los conceptos de comprensión de la complejidad. El autor refiere que es necesario integrar diferentes grupos de investigación, de carácter técnico-científico, que puedan actuar de manera integrada a través de una perspectiva que involucre la ciencia de la complejidad, de una multidisciplinariedad que se centre en la transdisciplinariedad y que asuma el nuevo paradigma comprender y actuar de manera científica.

Autores como Rodríguez y Silva (2017) han afirmado, de manera relevante, que el análisis del espacio geográfico a través de un enfoque sistémico favorece la visión de un mundo multidimensional, en sus diferentes escalas y realidades. También se asume un sistema científico que revela los complejos fenómenos que actúan en la dinámica espacial.

A partir de la concepción del paisaje como unidad de análisis, es posible desentrañar las interacciones recíprocas entre la biocenosis, el medio físico y la sociedad. Los autores afirman que, a través de un enfoque en la complejidad y una visión sistémica, surge una nueva plataforma para comprender y detallar la realidad. Así, se aceptan nuevos conceptos y principios científicos, involucrando innovaciones tecnológicas que puedan contribuir a la aplicabilidad de nuevos principios, innovar en conceptos y nociones y, principalmente, utilizar métodos y procedimientos que puedan conducir a un camino hacia la construcción efectiva de alternativas para el desarrollo sostenible.

La concepción sistémica aplicada al análisis de los paisajes permite interpretar su estructura vertical y horizontal, sus funciones y posibles funcionalidades, la dinámica resultante de sus flujos de materia y energía, sus procesos evolutivos naturales y culturales, además de sus capacidades de autorregulación vinculadas a sus niveles de estabilidad ambiental debido a geomorfogénesis, pedogénesis y gradientes de fitoestabilidad.

En su visión amplia e interdisciplinaria, asume metodológicamente la interacción de diferentes categorías, que van desde los ecosistemas hasta las diferentes esferas del espacio geográfico, involucrando condiciones naturales, sociales, económicas y culturales, considerando sus aspectos integradores y propiedades sistémicas.

El análisis en cuestión trata de cómo un enfoque basado en los conceptos y métodos de la Geoecología del Paisaje puede contribuir a una mejor adecuación espacial y funcional de los proyectos de producción de energía eólica. También se informa cómo es posible, desde este enfoque científico, proyectar escenarios paisajísticos resultantes de esta actividad en ambientes adecuados, sumando posibilidades para la construcción de programas de monitoreo ambiental a mediano y largo plazo.

La búsqueda de la sustentabilidad socioambiental

Los nuevos conceptos de desarrollo asumen un enfoque transdisciplinario que considera la incorporación de la sustentabilidad en sus procesos activos. Para una mayor y mejor comprensión de la sustentabilidad, la categoría de territorio ofrece la posibilidad de articulación con otras espaciales.

La noción de territorio ofrece la posibilidad de realizar una lectura geográfica con la adecuada interpretación socioambiental, donde el soporte espacial permita la articulación de estructuras económicas, sociales y ambientales. A través de una fundamentación teórica y metodológica proporcionada por la Ciencia Geográfica, se viabiliza la construcción del concepto de desarrollo sostenible como categoría transdisciplinar (MONTTOYA, 2009).

Desde las bases teóricas de la Geoecología del Paisaje, la sustentabilidad geocológica y ambiental se centra en conceptos básicos que permiten reconocer y comprender aspectos de carácter estructural, funcional, relacional, evolutivo y productivo. A través de su visión espacial, es posible evaluar los sistemas naturales y culturales desde el contexto de las diferenciaciones espaciales, las interrelaciones espaciales y la integración en la superficie terrestre.

En la concepción de Aleksandrova *et al.* (1982) y Pollock-Elwand (2001), la concepción sistémica permite entender que un territorio evaluado corresponde a: (1) un sistema que contiene y reproduce servicios y recursos naturales, (2) un modo de vida y de sostener las actividades humanas, (3) una fuente de percepciones estéticas y valores éticos y culturales, (4) un trasfondo biológico y genético, y (5) un laboratorio natural con sus muchas propiedades.

Con base en el concepto de desarrollo sustentable, se considera la incorporación de la sustentabilidad ambiental en los procesos activos en todas las formas de desarrollo que operan en un determinado territorio. Según Castro (2003), para considerar el desarrollo a través de una concepción sistémica, los portadores del proceso de desarrollo deben involucrarse en el análisis territorial debido a su carácter sistémico y espacial.

Wallerstein (2003) especifica que tales portadores están representados a través de sistemas naturales, económicos y sociales, presentes y activos en un determinado territorio, y cada uno de ellos puede presentar diferentes niveles de sustentabilidad ambiental, económica y social. Cuando se trata específicamente de la sustentabilidad ambiental, se debe priorizar la sustentabilidad geocológica, buscando, a través de la planificación ambiental, articular la misma con otros diferentes niveles de sustentabilidad como la económica y la social (SANTOS; CAMPOS, 2003).

Parece que el paradigma ambiental ha inducido innovaciones a través del surgimiento de enfoques, planteamientos, concepciones teóricas y metodológicas en la investigación, que ahora son utilizados directamente en las estrategias de planificación y gestión territorial a través del denominado “paradigma de la sustentabilidad”.

Cabe señalar que la gestión de un territorio involucra tanto a los usuarios del medio ambiente como a los agentes sociales y económicos vinculados a los procesos de administración de uso y ocupación a diferentes escalas y dimensiones políticas y sectoriales. Se trata de procesos de orden natural, socioeconómicos, políticos y culturales, los cuales se diversifican a través de determinados instrumentos, reglamentos, normas, financiamiento y disposiciones institucionales y legales.

En este contexto, de diversidad de estructuras y procesos que representan los espacios territoriales, la complejidad y el enfoque sistémico constituyen demandas epistemológicas necesarias para una gestión integrada. Capitanichi (2001) enfatiza que el concepto de establecer unidades ambientales a través de la superposición de mapas analíticos está actualmente desactualizado, ya que se busca un concepto más subjetivista. El autor señala la necesidad de considerar la percepción como un elemento fundamental para la representación social que tiene una población en su territorio. Se agrega que también es necesario considerar las condiciones de vida de la población con su entorno que inciden en su calidad de vida.

En la concepción de Pesci (2000), la percepción ambiental es una categoría de conocimiento donde el medio ambiente es considerado como una construcción cultural, como un orden simbólico. Por lo tanto, es importante considerarlo en el análisis, diagnóstico e implementación de estrategias y gestión territorial, ya que involucra la visión de los habitantes locales y los agentes de transformación de los paisajes locales.

La planificación ambiental y la sustentabilidad del paisaje

Según Diakonov e Ivanov (1991), para identificar el verdadero potencial de los paisajes para volverse sostenibles, es necesario conocer su gradiente de estabilidad, que es una propiedad natural fundamental. La evaluación de esta estabilidad del paisajístico pasa por la capacidad de un paisaje: (1) conservarse a partir del potencial de sus geosistemas; (2) restablecer el funcionamiento normal después de que se haya producido un impacto humano; (3) resistir impactos externos y restaurar sus propiedades alteradas, (4) preservar el régimen de funcionamiento de los parámetros físico-químicos del sistema; y (5) preservar la permanencia de los bienes del paisaje, manteniendo ciertas funciones, aún bajo el efecto de impactos socioambientales.

Se cree que la sustentabilidad de un paisaje está directamente correlacionada con su capacidad de regresar a su estado inicial luego de la eliminación de los tensores que actúan en la configuración de los impactos sobre el mismo. Es decir, cuando el paisaje asume estabilidad y persistencia ante un impacto para luego volver a sus condiciones normales.

En resumen, la sustentabilidad de los paisajes es un atributo sintético que involucra los conceptos de estabilidad y solidez, referidos a la capacidad de un paisaje para asumir sus capacidades de mantenimiento como sistema y poder cumplir con sus

funciones sociales. En este sentido, es determinante el tipo de modelo de desarrollo presente o deseable que se desee para un determinado territorio.

En la concepción de la Geoecología del Paisaje, la sustentabilidad socioambiental depende de la posibilidad de los geosistemas de mantener sus capacidades estructurales y funcionales de acuerdo a una exploración adecuada a sus limitaciones y capacidad de carga. La sustentabilidad geoecológica se basa en los geosistemas y sus paisajes, por lo tanto, la necesidad de conocer sus limitaciones y potencialidades, a fin de establecer formas de uso adecuadas.

Se entiende que para determinar el gradiente de sustentabilidad de un paisaje es necesario analizar las condiciones geoecológicas de su entorno geográfico. Evaluar sus condiciones ambientales naturales, equidades sociales y formas de participación en la toma de decisiones, pueden constituir vías para comprender la evolución espacial en términos de mantenimiento, ampliación o reducción de la sustentabilidad socioambiental.

El concepto de sustentabilidad del paisaje recurre al uso de indicadores que permiten evaluar y visualizar cómo se incluye la sustentabilidad paisajística en el proceso de desarrollo. Según Serranos (1991), entre los indicadores que se pueden utilizar están: (1) vitalidad del paisaje: grado en que el paisaje sustenta las funciones económicas y sociales de un territorio; (2) sentido del paisaje: ajuste perceptivo y mental entre el paisaje y sus valores o conceptos; (3) adecuación del paisaje: capacidad de los espacios, canales y equipamientos de un paisaje para acomodar las actividades que la población realiza o desea realizar en el futuro; (4) acceso al paisaje: la posibilidad de llegar a las personas, actividades, recursos y servicios, incluyendo su cantidad y diversidad; (5) control del paisaje: grado en que el uso y acceso a los espacios, su funcionamiento, estado, creación y dirección pueden ser controlados por quienes los utilizan; y (6) eficiencia paisajística: costo en relación con el grado de consecuencia de las dimensiones ambientales enumeradas.

Las actuaciones humanas que han provocado un fuerte deterioro de la sustentabilidad natural de los paisajes están directamente relacionadas con la extracción e introducción de sustancias y energías en la naturaleza, la transformación de sustancias y de energía en la naturaleza, la artificialización ambiental a través de obras y emprendimientos, entre otras. Las transformaciones antropogénicas pueden afectar profundamente algunas propiedades naturales, modificando la estructura, el funcionamiento y la propia dinámica natural.

En términos generales, los cambios ambientales provocados por la acción humana pueden ser primarios o secundarios. Los primarios son provocados directamente por las acciones humanas, mientras que los secundarios son provocados por reacciones en cadenas promovidas por las modificaciones iniciales de origen antrópico.

En las transformaciones primarias ocurren cambios en las reservas y circulación de materia y energía en los sistemas naturales, como los estados físico-químicos

y biológicos, provocando cambios en la dinámica natural que, en consecuencia, provocarán cambios secundarios en la estructura, volúmenes, interrelaciones de los geocomponentes y en la productividad misma de los sistemas naturales.

Con la ruptura de parte de la sustentabilidad natural, las acciones humanas pueden ser perjudiciales para la propia sociedad, ya que conducen a una degradación cuali-cuantitativa de los recursos y funciones naturales. Incluso se produce una reducción progresiva de la geobiodiversidad del paisaje debido a la artificialización del entorno y su estructura y procesos naturales.

Esta ruptura de parte de la funcionalidad natural implicará efectos socioeconómicos negativos debido a la reducción de la productividad, las deficiencias en la salud de la población, el crecimiento del gasto en servicios sociales y los cambios en la demografía derivados de la promoción de los flujos migratorios, entre otras consecuencias.

Chávez (1993) explica que la planificación ambiental se opone radicalmente a la planificación tradicional o convencional. El convencional tiene un carácter sectorial, determinista y lineal, ofreciendo, en la mayoría de los casos, una única opción de gestión. La planificación ambiental, por su parte, se considera un instrumento directamente vinculado a las condiciones ambientales, asumiendo un carácter integrador, sistémico, multioplativo y probabilístico.

En la concepción de Richling (1994) y Rodríguez (1997), la planificación ambiental (1) se vincula a un diseño integrador, involucrando diferentes sistemas, escalas y objetos de análisis; (2) considera las diferencias en la organización y estructura territorial, la multioperabilidad y la diversidad; (3) observar la funcionalidad y la dinámica espacial; (4) considera la validación de la participación social en las estrategias de gestión; y (5) fomenta la capacidad institucional interna y externa en el proceso de ordenamiento territorial.

Al aplicar los diferentes procedimientos de análisis y diagnóstico geoecológico en un territorio donde se pretende establecer proyectos de emprendimientos de producción de energía eólica, se considera el contexto natural regional y sus interrelaciones geocosistémicas, de manera que se perciban sus posibles efectos en el entorno espacial del emprendimiento. Por otro lado, la evaluación geoecológica del área ocupada por el emprendimiento debe reconocer en detalle las propiedades estructurales y de funcionalidad de los geosistemas involucrados, definiendo las **áreas** posibles y de limitación de uso y ocupación.

Consideraciones finales

La creciente demanda de recursos energéticos es una realidad en el contexto global de inicio del tercer milenio. Con una nueva era de electromovilidad y cibernética, ingresamos al siglo XXI con un consumo energético que se expande del entorno urbano e industrial al rural y agroindustrial.

El funcionamiento de la economía depende totalmente del suministro de energía. Muchas de las formas de producción de energía alternativa se convierten en modelos de producción en masa, adquiriendo un carácter puramente económico, sin la debida preocupación por la sustentabilidad socioambiental.

Lo que en un principio se planeó como una producción de energía unifamiliar de bajo costo, ahora se ha convertido en emprendimientos gigantescos. Lógicamente, una ocupación espacialmente amplia e intensa ha provocado una serie de impactos socioambientales.

La proliferación de empresas de producción de energía renovable se ha expandido exponencialmente sobre la superficie terrestre, provocando diversos impactos socioambientales. Estos hechos están dando lugar a diferentes preguntas sobre la sustentabilidad real en el uso de formas de energía renovable en el Sur Global.

Se considera que las formas de energía renovable como la eólica y la solar son sustentables, pero las formas en que se producen terminan siendo bastante dañinas para el medio ambiente y para las comunidades tradicionales de las áreas explotadas y su entorno geográfico (ver Capítulos 15 y 16 de este libro), especialmente cuando el foco son los pescadores artesanales, indígenas y quilombolas.

Las etapas de construcción y operación de los emprendimientos terminan provocando cambios ambientales, muchas veces irreversibles, especialmente en las zonas costeras del Nordeste. En este sentido, los autores buscaron ofrecer subsidios teórico-metodológicos apoyados en la Geoecología de los Paisajes, de modo que se puedan desarrollar estudios previos sobre las condiciones ambientales para una mejor adecuación y funcionalidad de los emprendimientos.

La Geoecología de los Paisajes, por su carácter de ciencia interdisciplinaria, asume un enfoque sistémico y complejo, que permite evaluar todas las variables pertinentes a la implantación y operación de un emprendimiento de producción de energía eólica. En sus diferentes fases, brinda un análisis del entorno socioambiental del área del emprendimiento y su entorno geográfico inmediato. En la fase de organización, se dedica a evaluar tanto la estructura como la funcionalidad del proyecto, así como comprender las bases naturales y sociales del espacio en cuestión. Revisar y observar las posibles interrelaciones a desarrollar y los posibles impactos a ocurrir. A través del análisis y diagnóstico, interpreta todas las interacciones existentes entre el medio natural y las perturbaciones generadas por el emprendimiento, definiendo problemas, limitaciones y potencialidades socioambientales que pueden ocurrir.

Con base en el diagnóstico se pueden tomar medidas correctivas en el desarrollo de los emprendimientos, sugiriendo medidas mitigadoras y de monitoreo. Los mapas y cartas resultantes del análisis y diagnóstico geoecológico especializan la información a la escala que sea necesaria.

A través de la Geoecología del Paisaje es posible, y del monitoreo socioambiental, realizar proyecciones de escenarios que involucren las áreas de los parques eólicos y

sus territorios adyacentes. De este modo, se pretende ofrecer los caminos teórico-metodológicos que brinda la Geoecología de los Paisajes, en el sentido de ordenar y monitorear los espacios actualmente ocupados o evaluar los lugares a implantar los emprendimientos energéticos.

Finalmente, se propone que los estudios previos dirigidos a la instalación de emprendimientos de producción de energía presenten también un plan de monitoreo geoecológico, el cual brindará información para posibles proyecciones de escenarios por esta ocupación territorial específica.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del proyecto CAPES/Programa de Cooperación Sur-Sur de Brasil (COOPBRASS) Aviso público n. 5 de 2019, Proc. 88881.368924/2019-01 “Energías Renovables y Descarbonización en América del Sur: desafíos de la Energía Eólica/BR y Litio/AR” y CAPES/PRINT Proc. 88887.312019/2018-00: *Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate change*.

Referencias

- ALEKSANDROVA, T.; DANEVA, M.; HAASE, G.; DROSH, I. A. **Protección de los Paisajes**. Diccionario interpretativo; (en ruso). Moscú: Editorial Progress, 1982, 272 p.
- BARRAGÁN, J. M. M. **Medio ambiente y desarrollo en las áreas litorales: Guía práctica para la planificación y gestión integradas**. Barcelona, Oikostau, 1997. 160 p.
- BERTRAND, G.; BERTRAND, C. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá: Massoni, 2007.
- BOYDEN, S.; MILLAR, S.; NEWCOMBE, K.; O'NEILL, B. **The ecology of a city and its people: the case of Hong Kong**. Austrália: Australian National University Press Canberra, 1981. 446 p. Disponible em: <https://openresearch-repository.anu.edu.au/handle/1885/114952>. Acceso em: 15 dez. 2021.
- CAPITANICHI, C. (coord.). **Unidades ambientales urbanas: bases metodológicas para La comprensión integrada Del espacio urbano**. Universidade Vera-Cruzana: Instituto de Ecología, 2001. 276 p.
- CASTELLÓ, G. La **necesidad de um nuevo paradigma em la economía**: uma critica em clave interdisciplinar. Encuentros multidisciplinares. Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid, v.6, n.12; 2004, p 44-55.
- CASTRO, R. F. **Sistemas, estructuras y desarrollos**. Editorial de la Universidad Nacional a Distancia. San José: Costa Rica, 2003. 204p.
- CAVALCANTI, A. P. B.; VIADANA, A. G. **Organização do espaço e análise da paisagem**. Rio Claro: UNESP – IGCE, 2007.
- CHAVEZ, J. **Planificación ambiental y planificación tradicional**. México: Instituto Politécnico Nacional. 1993. 15p.

- DELGADO, J. A. **El análisis sistémico y su proyección multidisciplinar**. Encuentros Multidisciplinares, Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid, v. 7, n. 20, 2005, p. 40-50.
- DYAKONOV, K. N.; IVANOV, A. Estabilidade e inércia dos sistemas. **Revista da Universidade Estadual de Moscou**. Moscou, Série Geografia. n. 1, 1991, p. 28-35. (em russo).
- DIAKONOV, K. N.; MAMAI, I. **La escuela geográfica paisagística**. In: KASIMOV, N. S. (Redactor Principal) Las escuelas científicas geográficas de la Universidad de Moscú, Moscú : Casa editorial Gorodiets, 2008, p. 324-386 (en ruso).
- DIAKONOV, K. N. La interacción de las direcciones estructural, evolutiva y funcional en las investigaciones sobre los Paisajes; (en ruso). **Revista de la Universidad Estatal de Moscú**, 2002, n. 1, p. 13-21. (Serie Geografía).
- IGNATOV, E. I. **Morfo sistemas costeiros**. Moscú-Smolensk: Madzhenta, 2004. 352p. (em russo).
- ISACHENKO, A. G. **Ciência da Paisagem e Regionalização Físico-Geográfica**. Moscou: Vyshaya Shkola. 1991. 370p. (em russo).
- KAULE, G. **Umwelt planning**. (Planificación Ambiental), Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2001, 315 p.
- LOUREIRO, C. V.; GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Implantação de energia eólica e estimativa das perdas ambientais em um setor do litoral oeste do Ceará, Brasil. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 24-38, jul. 2015. ISSN 2178-0463. Disponível em: <http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/361>. Acesso em: 29 dez. 2021.
- RODRIGUEZ, J. M. M. Planejamento ambiental: bases conceituais, níveis e métodos. In: **Desenvolvimento Sustentável e Planejamento**: bases teóricas e conceituais. Fortaleza: UFC/Imprensa Universitária, 1997. p. 37-50.
- MEIRELES, A. J. A. Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais. **Confins** (Paris), v. 11, p. 1-23, 2011.
- MENDES, J. S.; GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Diagnóstico participativo e cartografia social aplicados aos estudos de impactos das usinas eólicas no litoral do Ceará: o caso da praia de Xavier, Camocim. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, n. 3, p. 243-254, jul. 2015. ISSN 2178-0463. Disponível em: <http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/510>. Acesso em: 29 dez. 2021.
- MILBRATH, L. W. **Learning to think environmentally while there is still time**. Albany: State University of New York, Press, 1996.
- MONTOYA, J. W. (ed) **Lecturas em teoria de la geografia**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2009, 379p.
- PESCI, R. **Del Titanic al velero: el aprendizaje de la complejidad ambiental**. FLACAM, La Plata, 2000. 34p.
- POLLOCK-ELWAND, N. Landscape policy and planning practice: the gap in understanding, Ontario, Canada. **Landscape Research**, v. 26, p. 99-118, 2001.
- PREOBRAZHENSKII, V. S.; ALEKSANDROVA, T. D. (ed.). **Fundamentos geocológicos da projeção e do planejamento territorial**. Moscou: Editora da Academia de Ciências da URSS, 1988. 114p. (em russo)
- RICHLING, A. (ed.). **Landscape research and its applications in environmental management**. Poland: University of Warsaw, 1994. 212 p.

- RICHLING, A; MATEO, J. **Utilización de los métodos físico-geográficos como complejos de las investigaciones de Cuba y Polonia.** Actas latinoamericanas de Varsovia, Warszawa, Polónia, 1991, T. 9, p. 21-45.
- RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. (org.) **Geoecologia das Paisagens:** uma visão geossistêmica da análise ambiental. 5 ed. Fortaleza: Edições UFC, 2017.
- RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental:** subsídios da geoecologia das paisagens e da teoria geossistêmica. 2 ed. Fortaleza: Edições UFC, 2016.
- RODRIGUEZ, M. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geoecologia das paisagens e da teoria geossistêmica.** 3. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2018.
- ROUGERIE, G.; BEROUTCHVILI, N. **Geosystemes et paysages.** Paris: Colin Editores, 1991.
- SANCHEZ R., G. **Planificación moderna de ciudades.** México, DF; Editorial Trillas, 2008, 304 p.
- SANTOS, M. C.; CAMPOS, A. C. Estratégias para o desenvolvimento sustentável do turismo. In ----- **Turismo comunitário e responsabilidade socioambiental.** Fortaleza: EDUECE, 2003, p. 161-172.
- SCHEID, A. H. La ordenación del territorio en la agenda política europea. In: PÉREZ-MONEO, L. S.; VINUESA, M. A. T. (coord.). **Água, Território y Paisage: De los Instrumentos Programados a la Planificación Aplicada,** 2009. p. 121-142.
- SERRANOS, A. La variable ambiental en los planes de ordenación del territorio. **Revista Situación.** Bilbao, España, 1991, n. 2, p. 123-126.
- TRICART, J. A. **Paisagem e ecologia.** Inter-Fácies, São José do Rio Preto, n. 76, p. 1-55, 1982.
- WALLERSTEIN, I. **Sistema mundo y mundo sistémico.** Panamá: Universidad de Panamá, 2003. 170p.
- ZACHARIAS, A. A. **A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental.** São Paulo: Ed. da UNESP, 2010.

CAPÍTULO 8

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL RUIDO PROVOCADO POR PARQUES EÓLICOS¹

Lígia de Nazaré Aguiar²

Ivan José Ary Júnior²

Adryane Gorayeb²

Resumen

El Ceará tenía, en diciembre de 2021, 99 parques eólicos en operación, con una potencia total instalada de 2,5 GW, según datos de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL). Varias centrales están ubicadas cerca de comunidades costeras locales, especialmente de pescadores artesanales. Estos emprendimientos traen consigo características extrañas a los ambientes naturales de las comunidades, por ejemplo, el ruido. Este aspecto no está ampliamente abordado en la legislación brasileña, que no tiene parámetros específicos para el ruido de los aerogeneradores. Por lo tanto, la investigación buscó desarrollar una metodología que permita analizar la distribución del ruido de las torres eólicas en las comunidades cercanas. El ruido se midió principalmente de acuerdo con las especificaciones de la norma *IEEE Instrumentation for wind turbine aero acoustic noise measurement techniques*. Las mediciones se realizaron en la Comunidad Xavier, Camocim-CE, durante el día y la noche y en las estaciones seca y lluviosa para comprender mejor la influencia de los aspectos ambientales en el ruido del parque eólico. Cabe destacar que no había medición de ruido antes de la instalación del emprendimiento, lo que imposibilitó comparar el ambiente sonoro antes y después del parque. Esta metodología, considerando factores técnicos, espaciales y ambientales, tiene el potencial de comprender fielmente los niveles de ruido generados por los parques eólicos en las comunidades. Sin embargo, se recomienda su aplicación en diferentes realidades para impulsar resultados más concluyentes sobre el tema.

Palabras clave: Medición de ruido. Metodología. Energía eólica.

-
- 1 El texto fue adaptado del artículo: Silva, L. de N. A.; Gorayeb, A.; Brannstrom, C.; Ary Junior, I. J. (2020). Análise do ruído e percepção dos impactos causados por parque eólico na comunidade Xavier, Camocim, litoral oeste do Ceará. *Geoambiente* 38: 84-105. doi: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.i38.63835>
 - 2 Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil. ligiaaguiarsilva@gmail.com

Ruidos de parques eólicos

La presencia de un parque eólico, como todo emprendimiento, genera impactos en el entorno en el que se inserta, entre los que destaca el ruido de las torres eólicas. El ruido tiene la misma formación que el sonido, es decir, se origina a través de estímulos de las cuerdas vocales o de un equipo que genera una diferencia de presión de aire, y al ser transmitido por partículas, llegan al oído humano en forma de sonido. Se clasifica como ruido aquel sonido desagradable o que no tiene significado auditivo (MAIA, [2010](#)).

En los parques eólicos, el ruido puede surgir de dos formas. El ruido de origen mecánico aparece en la caja de engranajes, lugar encargado de multiplicar el giro de las palas para el aerogenerador, y tiene un patrón de propagación asimétrico, siendo fácilmente identificable. En los equipos más nuevos, los fabricantes están realizando cambios, a través de la amortiguación de vibraciones y la mejora de diferentes componentes mecánicos, en un intento por suavizarlos (MAIA, [2010](#)).

También existe el ruido de origen aerodinámico provocado por el movimiento de las palas e influido por la velocidad del viento que incide sobre la turbina de viento (TERCIOTE, [2002](#)). El ruido aerodinámico es predominante en los aerogeneradores y tiende a ser aún más dominante con el aumento de las dimensiones de las palas, a diferencia del ruido mecánico, que no aumenta en función del tamaño de las palas tan rápidamente como el ruido aerodinámico (SIMÕES, [2015](#)).

Sin embargo, algunos factores externos al aerogenerador pueden influir en ellos. Elementos como el gradiente de velocidad y dirección del viento, así como la topografía y la rugosidad del terreno son considerados en los estudios de propagación del sonido de Maia ([2010](#)) y Aör, Garrigues y Senat (2014). La posición de las turbinas en relación con el flujo de viento también puede cambiar el nivel de ruido que llega a las comunidades cercanas. En la posición *upwind*, el viento fluye desde las palas hacia la nacelle, y en *downwind* el viento pasa a través de la nacelle y luego a través de las palas. Este último es menos utilizado, ya que acentúa el efecto de sombra y aumenta el ruido (FERNANDES, [2010](#)).

Las mediciones de ruido en el contexto de los parques eólicos pueden realizarse de forma preventiva, con el fin de predecir los niveles de ruido a los que se verá sometido el barrio, y/o posteriormente, con el fin de analizar los impactos causados. En ambos casos, es fundamental que la legislación vigente tenga unos parámetros sólidos bien establecidos.

Existe una legislación brasileña específica para el ruido de los electrodomésticos, los vehículos de motor y el ruido de las actividades industriales. Sin embargo, la legislación brasileña sobre producción de energía eólica no aborda específicamente este aspecto.

El Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), mediante Resolución nº 462 de 2014, establece procedimientos para el licenciamiento ambiental de emprendimientos que generan energía a partir de fuentes eólicas y determina que la caracterización de los ruidos se realice en los casos en que los parques eólicos se encuentren a menos de 400 metros de distancia de las residencias, además del cumplimiento de las normas de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) (BRASIL, 2014). Por su parte, la NBR 10151 determina los límites de los niveles de ruido para las horas diurnas y nocturnas ([Cuadro 1](#)) en áreas habitadas (ABNT, 2000) y establece procedimientos de medición del ruido. Complementariamente, la NBR 10152 “establece niveles compatibles con la comodidad acústica en diferentes ambientes” (ABNT, 1987).

Cuadro 1 - Valores máximos para ambientes exteriores, en dB(A)

Tipos de Áreas	Diurno	Nocturno
Zonas de fincas y haciendas	40	35
Zona residencial estrictamente urbana u hospitales o escuelas	50	45
Zona mixta, predominantemente residencial	55	50
Zona mixta, con vocación comercial y administrativa	60	55
Zona mixta, con vocación recreativa	65	55
Zona predominantemente industrial	70	60

Fuente: ABNT ([2000](#)).

Se observa que las normas tratan del ruido en general, independientemente de la fuente y el tipo de sonido que se emita. En el caso de los parques eólicos, el ruido se emite durante el funcionamiento de las torres, es decir, con bastante frecuencia, de esta forma los habitantes están expuestos prácticamente a tiempo completo, lo que refuerza aún más la necesidad de estudios y legislación específica para proteger el barrio de molestias y posibles daños que esta exposición excesiva puede causar.

¿Por qué una metodología para medir ruidos en las comunidades?

La alteración del ambiente sonoro tradicional, a través del ruido de las torres eólicas, puede causar efectos físicos y psicológicos e influir en la salud y la comodidad de los residentes, además de modificar el ambiente sonoro de la comunidad.

Síntomas como estrés, alteraciones del sueño, irritación e incomodidad en intensidad proporcional al nivel de exposición del individuo al ruido fueron identificados en investigaciones realizadas en Holanda, Reino Unido y Bélgica (BAKKER, [2012](#); PEDERSEN; WAYE, [2007](#); HANNING, [2012](#)).

En Brasil, los estudios muestran percepciones contradictorias sobre el ruido emitido por los aerogeneradores. Mendes (2016), quien realizó un análisis del paisaje y de la dinámica socioeconómica de la Comunidad Xavier, identificó, mediante metodología participativa, incomodidad e insatisfacción con el ruido por parte de los pobladores, mientras que Improta (2008, p. 103) afirma que “no hay quejas sobre el ruido de los aerogeneradores”, en ambos estudios no se realizó ninguna medición del ruido, por no ser este el objetivo principal de los citados estudios, se abordó de forma cualitativa y muy puntual.

Este aspecto es abordado superficialmente, muchas veces solo mencionado como un posible impacto de la creación del parque, sin la aplicación de metodologías que investiguen los efectos directos e indirectos sobre la salud y el bienestar de la población. Gomes (2017) realizó mediciones en un parque eólico en Bahía para identificar si el ruido era compatible con la legislación vigente. El autor midió en cinco puntos con distancias entre cinco y quinientos metros. Cada punto fue analizado durante diez minutos, tres veces por la mañana y tres veces por la tarde, lo que totalizó una hora de registros en cada punto.

Aör, Garrigues y Senat (2014) presentan un modelo de cálculo que considera la influencia de las condiciones meteorológicas para el diagnóstico y predicción del ruido ambiental de la operación de parques eólicos.

Las publicaciones sobre el tema en Brasil todavía están lejos de lo que se desea para la consolidación de conocimientos específicos, ya que es una investigación reciente. Además, en ninguno de los dos trabajos citados se midieron puntos en la comunidad, ni se mencionaron los efectos sufridos por la comunidad.

La falta de estudios que revelen cómo estos ruidos están presentes en la comunidad cercana a los parques eólicos, sumado al hecho de que hay una expansión acelerada de esta industria en Brasil, con predominio cerca de áreas habitadas, principalmente comunidades tradicionales (MEIRELES, 2011), refuerza la necesidad de consolidación de metodologías para identificar y monitorear el comportamiento del ruido cerca y dentro de las casas.

Hasta la fecha, no existe una metodología establecida para medir el ruido de los aerogeneradores en la legislación brasileña. Esto hace posible que las mediciones se realicen sin estandarización, lo que imposibilita comparar los impactos de ruido en diferentes áreas y entre el ambiente sonoro antes y después de la llegada al parque, en caso de que se realicen con criterios diferentes. Además, abre precedentes para el cuestionamiento de los resultados encontrados que, en ocasiones, pueden enmascarar cambios importantes generados a partir de tal emprendimiento.

En este sentido, la falta de especificidad en la legislación puede contribuir a que estas comunidades ubicadas cerca de los parques sean vulnerables, ya que no existe un nivel sonoro específico establecido para esta actividad. Este escenario posiblemente

se deba a la falta de información sobre el comportamiento del ruido de los parques eólicos próximos a las residencias. Construir una metodología para comprender qué factores inciden y cómo se disipan en el ambiente puede aportar conocimientos para la estandarización de procedimientos y la elaboración de normas que minimicen los posibles impactos generados.

Metodología

La medición del ruido de aerogeneradores está orientada internacionalmente por el *IEEE Instrumentation for wind turbine aero acoustic noise Measurement techniques*. Este reglamento establece un método y criterios técnicos para la medición, entre los que se encuentran el seguimiento de las condiciones ambientales tales como la velocidad del viento, temperatura y humedad del aire, además de la configuración de los equipos de medición. Además, la norma establece parámetros para la captura de ruido, como la altura del micrófono (1,20 m) y el tiempo mínimo para cada medición (entre 5 y 10 minutos).

Otra norma existente es la 61400-11 da *International Electrotechnical Commission (IEC)*. Esta norma proporciona pautas sobre la recopilación de parámetros climáticos, la calibración de equipos y la ubicación de los puntos de medición. Sin embargo, se aclara su alcance que estas directrices están destinadas a la medición de ruido cerca de la máquina, y explica que los procedimientos descritos son diferentes de los que deben adoptarse para el análisis de ruido dentro o cerca de las comunidades (IEC, [2012](#)).

Es posible observar, por lo tanto, que estas normas no cuentan con criterios específicos para el monitoreo del ruido en las comunidades, tales como la distancia mínima entre la torre y los puntos de medición, el intervalo ideal entre los puntos medidos y el número mínimo de puntos necesarios para caracterizar el entorno sonoro de la comunidad.

Dado lo anterior, se desarrolló una propuesta de metodología que busca evaluar y comprender el comportamiento del ruido de las torres eólicas en las comunidades, identificando los procedimientos clave para su aplicación. Todos los procedimientos adoptados tuvieron como objetivo el análisis de toda la zona residencial del territorio comunitario, así como la identificación de los aspectos climáticos.

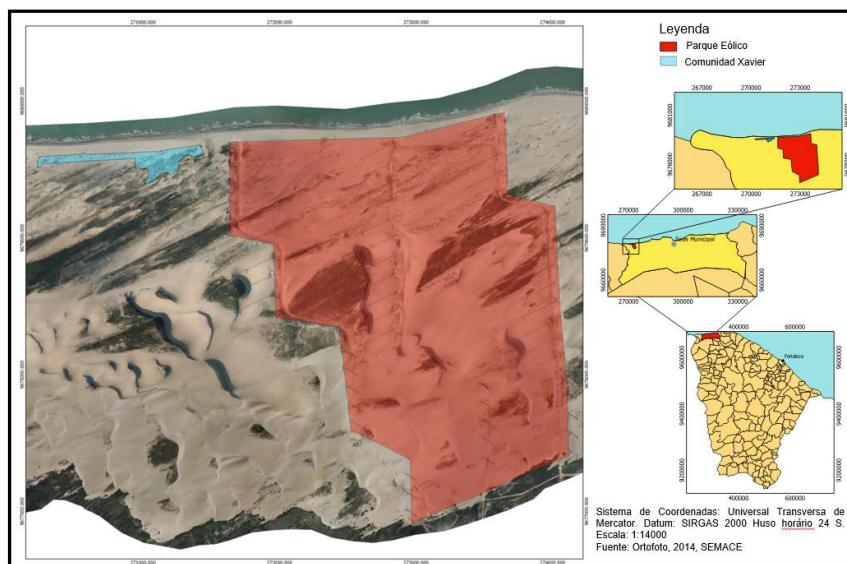
Es interesante aclarar que, intencionalmente, las mediciones fueron realizadas en el período en que los vientos son más fuertes en Ceará, es decir, en la segunda mitad del año. De esta forma, probablemente se obtendrían los máximos resultados de ruido que se pueden encontrar, considerando al viento como un posible factor de influencia en la disipación del ruido y también en el aumento de los niveles sonoros a los que se ven sometidos diariamente los residentes.

Área de estudio

La metodología se aplicó en la Comunidad Xavier, ubicada en el distrito de Amarelas, en Camocim, costa oeste de Ceará, Brasil. Se eligió este porque ya existen reportes de molestias e impactos atribuidos al ruido (MENDES, [2016](#)), además de la corta distancia al parque, solo 250 metros.

La comunidad está constituida por 17 familias que sobreviven, básicamente, de la pesca, la artesanía y pesca de mariscos, lo que la caracteriza como una comunidad tradicional, según el Inciso I, del art. 3º, del Decreto nº 6.040, de 7 de febrero de 2007 (BRASIL, [2007](#)). El parque eólico local, en ese momento el más grande de Brasil, fue instalado en 2009 (MENDES, [2016](#)), con 50 torres eólicas distribuidas en un área de aproximadamente 1040 ha ([Figura 1](#)), con una capacidad de generación de 105.000 Kw (ANEEL, 2017).

Figura 1 - Mapa de ubicación de la Comunidad de Xavier – Camocim/CE



Fuente: Silva ([2018](#)).

Equipo

Para la elaboración del método, fue necesario determinar parámetros técnicos, equipos a adoptar, duración, tiempos de medición, además de la definición de la distribución espacial, aún no definida en la literatura. Inicialmente se utilizaron los parámetros de medición disponibles por el IEEE *Instrumentation Measury Society* ([2016](#)), como equipos y monitoreo de condiciones ambientales.

Al definir la espacialización de las mediciones se priorizó la cobertura de toda el área habitada de la comunidad. Las casas se distribuyen en su mayoría de forma lineal, paralelas a la franja de playa. Por lo tanto, se decidió realizar mediciones siguiendo esta distribución para que los resultados comprendan incluso la casa más alejada del parque, ubicada a 1,4 km de distancia.

Durante la consolidación de esta metodología propuesta, también se decidió realizar nuevas mediciones, en un área frente a la comunidad, es decir, antes del parque eólico. De esta forma, es posible analizar la influencia del viento en la disipación del ruido. Todas las mediciones de ruido se realizaron de noche y de día.

La medición de los niveles de ruido se realizó en septiembre de 2018, ya que se encuentra dentro del período de mayores vientos anuales. En la segunda mitad del año, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) migra a su posición más septentrional de su normal climatológico. Es en esta época cuando los vientos alisios son más intensos sobre el estado, definiendo todo un patrón de circulación local (CAMELO *et al.*, 2018). Por lo tanto, se infirió que al realizar la medición en este período se obtendrían los niveles máximos alcanzados a lo largo del año. Los vientos costeros típicos, factor de gran influencia en el ruido, se caracterizan por su alta intensidad, fuerte regularidad y gran constancia direccional (SILVA, 2003). Las velocidades varían entre 6 y 9 m/s (BRASIL, 2001).

Específicamente en el municipio de Camocim, no fue posible obtener datos mensuales para el año de recolección ni para los próximos años, ya que la plataforma de recolección de datos administrada por la Fundação Cearense de Meteorologia y Recursos Hídricos está desactivada, sin embargo, se recomienda que, para futuras aplicaciones de esta metodología, se obtienen estos datos. En este municipio, las temperaturas varían entre 26°C y 28°C, y la temporada de lluvias ocurre entre enero y abril, con una precipitación promedio de 1.023,3 mm (IPECE, 2009).

El procedimiento de medición de decibelios se realizó de acuerdo con las normas *IEEE Instrumentation Measurement Society* (2016) y *IEC 61400-11*. Tal como lo recomiendan las normas antes mencionadas, se realizó un monitoreo de las condiciones atmosféricas y de viento. Para el monitoreo de humedad y temperatura se utilizó el equipo *Datalogger* y, dado que los datos recolectados por el anemómetro instalado en el parque eólico son solo de uso interno de la empresa, se optó por utilizar un anemómetro móvil para monitorear la velocidad del viento.

La medición de los niveles de presión sonora se realizó con un decibelímetro Kimo modelo DB 200 (Figura 2), con las especificaciones descritas en el Cuadro 2.

Se accedió a los valores obtenidos en el software LDB123, el cual los brinda a través de tablas, gráficos y valores finales como L, que corresponden al nivel de ruido continuo equivalente, es decir, el valor promedio de la grabación.

Figura 2 - Decibelímetro



Fuente: Silva (2018).

Cuadro 2 - Especificaciones del decibelímetro utilizado

Patrón	Clase 2
Rango de medición	30 a 130 dB
Frecuencia de Ponderación	A – C – Z
Micrófono	½"
Resolución	0,1 dB

Fuente: Silva (2018).

El filtro de ponderación utilizado fue el A, según lo recomendado por las normas mencionadas y utilizado por Bakker (2012), Pedersen y Waye (2004) y Lima (2015). La medida tuvo como objetivo extraer los valores de L, ya que los límites establecidos para el ruido por la NBR 10151 utilizan este parámetro. De esta manera, se hace posible comparar dichos datos.

Distribución y medición de puntos de recogida

Los puntos de recolección se determinaron de acuerdo a la especialización de las casas en la comunidad. Dado que la distancia desde la primera torre hasta la última casa es de 1,4 km, se decidió realizar mediciones cada 100 metros, en el frente y detrás de las casas, y en el frente, correspondiente a la franja de playa hacia el este

del parque eólico, donde no hay residencias, totalizando 42 puntos de recogida de datos. Las mediciones se realizaron durante el día, a partir de las 6 am, y durante la noche, a partir de las 6 pm. La norma IEC 61400-11 estipula que, para las mediciones realizadas en el área del parque, el micrófono debe fijarse a una placa ubicada a nivel del suelo. No obstante, para aquellos espacios próximos a zonas residenciales o más alejados de la zona del parque, el micrófono deberá instalarse a 1,20 metros del suelo, según IEEE 2400-2016. Así, considerando que sólo el primer punto de medición está cerca del parque y lejos de las residencias, se adoptó la medición con un micrófono ubicado a una altura de 1,20 metros ([Figura 3](#)).

Figura 3 - Equipo de Medición instalado en el punto 9



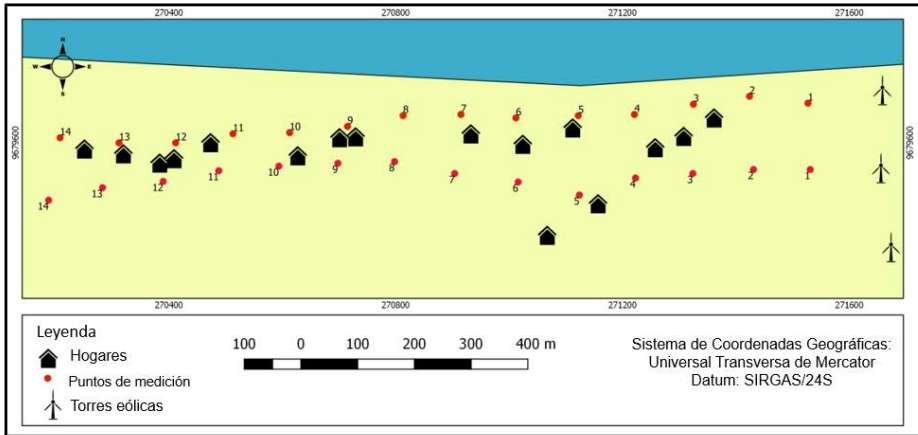
Fuente: Silva ([2018](#)).

La medición se realizó los días 2 y 8 de septiembre de 2018. El primer día se realizó la medición en la zona de frente de las casas, correspondiente a la franja de playa y un día posterior detrás de las casas, por lo que también se contemplaron las casas que se ubican más atrás de la línea principal de residencias ([Figura 4](#)).

La medición se realizó a 100 metros de distancia de la torre más cercana a la comunidad, la cual tiene la primera casa construida a 250 metros del parque, es decir, hay residencias entre los puntos 2 y 3 ([Figura 5](#)).

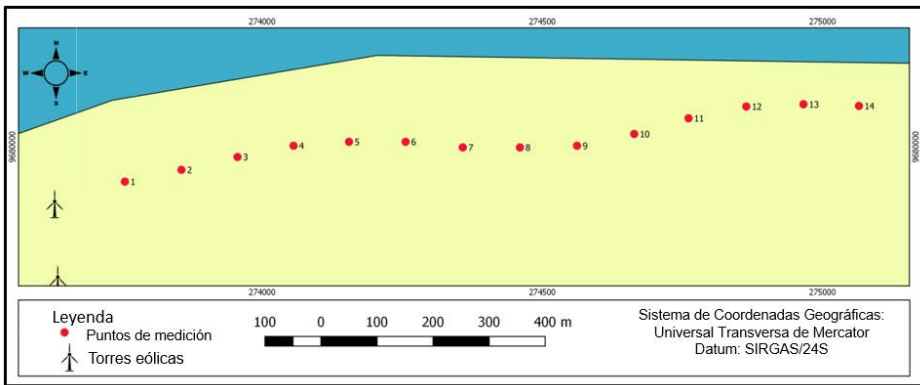
El mismo procedimiento se realizó en el lado opuesto, antes del parque (río arriba), lugar que no cuenta con residencias. Para asegurar la simetría de los datos, se utilizó el mismo procedimiento de medición mencionado anteriormente, sin embargo, como no había casas en esta zona, la recolección de puntos se realizó solo en la franja de playa. Los datos nocturnos se obtuvieron el 1 de diciembre a partir de las 18:00 horas y los diurnos el 2 de diciembre del mismo mes a partir de las 6:00 horas.

Figura 4 - Puntos de medición de ruidos en Praia de Xavier



Fuente: Silva et al. (2020).

Figura 5 - Puntos medidos al este del parque eólico



Fuente: Silva et al. (2020).

Cabe señalar que no fue posible realizar comparaciones entre el ambiente sonoro antes y después de la instalación del parque, ya que no se realizó ninguna medición ni pronóstico de ruido por parte de la empresa incluida en el estudio ambiental (*Relatório Ambiental Simplificado – RAS*, en portugués).

Resultados

Inicialmente, los resultados fueron distribuidos espacialmente para la elaboración del mapa de ruido de la Comunidad de Xavier, ya que este instrumento facilita la visualización de la configuración sonora actual presente en la localidad. Para complementar el análisis, los valores de L fueron considerados para comparación con lo establecido por la legislación brasileña, con el fin de investigar si los residentes están sujetos a niveles superiores a los permitidos. Los parámetros de referencia fueron los descritos en el [Cuadro 1](#).

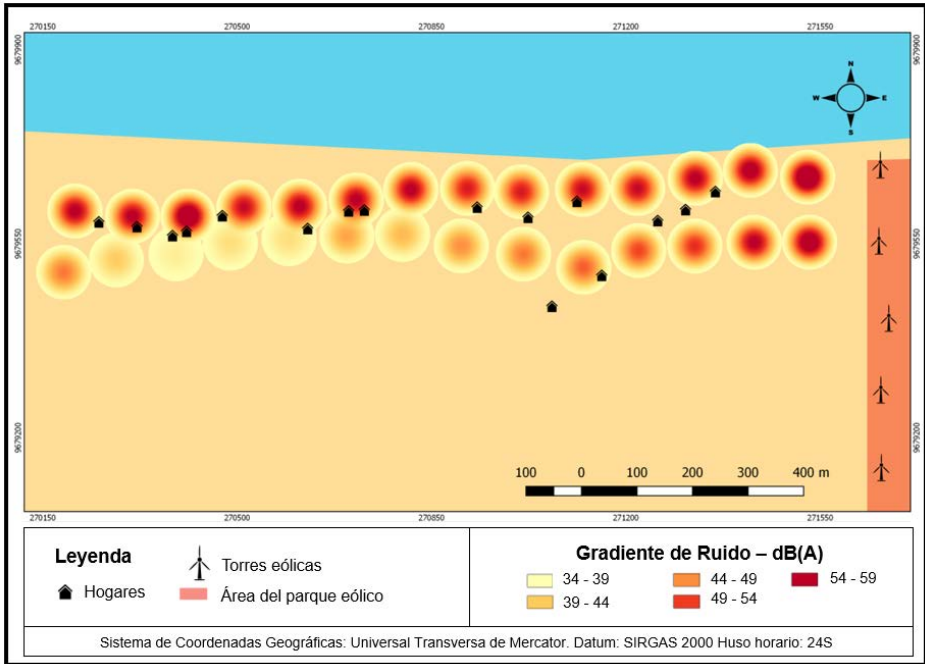
Como valor de referencia para la comparación, se utilizó ABNT 10.151. La clasificación prevista en la norma abarca principalmente las zonas urbanas o mixtas, de manera que sólo el espacio referido a la zona de fincas y haciendas, que establece 40 dB(A) como máximo por la noche y 35 dB(A) como máxima diurna, se acerca a las características de Xavier. Eso fue, por lo tanto, utilizado como parámetro. Es necesario subrayar que los valores obtenidos en estos análisis no representan el valor máximo de ruido que se puede percibir, principalmente porque, en las dos ocasiones de medición, once torres no estaban funcionando.

Los valores diurnos de las dos medidas oscilan entre 34 y 57 dB(A). Al observar la [Figura 6](#), se puede observar que los niveles más altos de presión sonora se ubican en la línea más cercana al mar y, durante el día y la noche, los valores más altos se encuentran en los puntos más cercanos al parque.

Vale la pena señalar que las mediciones se realizaron con la presencia de ruido inherente a la vida cotidiana de los residentes, y probablemente debido a esto, la variación del sonido en toda la comunidad fue muy pequeña.

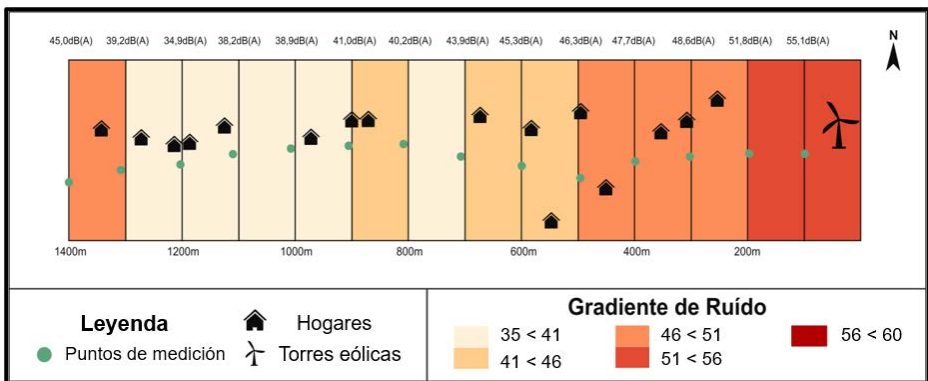
Los valores nocturnos no se ajustan con la norma ([Figura 7](#)). Llama la atención que, debido a la homogeneidad de los niveles de presión sonora encontrados, no es posible atribuir los altos niveles al parque eólico, especialmente en la franja de playa, lugar de mayor interferencia, ya sea por el flujo de visitantes o por los propios residentes, además de la variación de marea que cambia el sonido de las olas.

Figura 6 - Mapa de ruidos diurnos de la comunidad



Fuente: Silva *et al.* (2020).

Figura 7 - Mapa de ruidos nocturnos de la comunidad



Fuente: Silva *et al.* (2020).

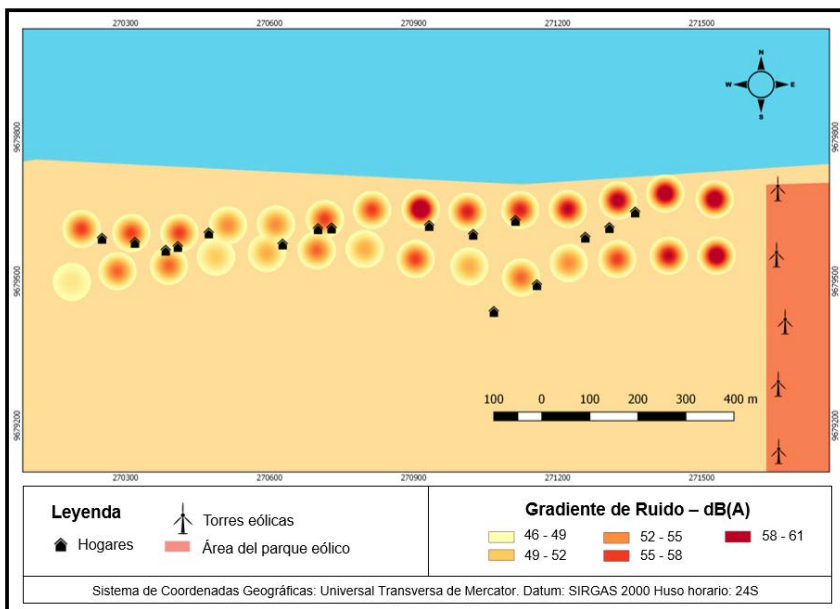
En todos los análisis, el comportamiento del ruido fue similar: hubo una disminución durante los primeros 600 metros y luego un ligero aumento. Entonces, los valores del último punto, es decir, a 1,4 km de distancia, son similares a los del primer

punto. Esto posiblemente se deba a que influyeron otros componentes ambientales como la presencia de árboles que, a través del movimiento de las hojas, generan ruido, además de la presencia de animales en algunas casas, el paso de vehículos y altavoces que utilizan los residentes al caminar.

Sin embargo, estos elementos no fueron identificados durante la medición realizada en el área anterior a las residencias (Figura 6). Esto se confirma por el hecho de que la medición realizada presentó una mayor variedad de niveles sonoros, es decir, hubo una mínima influencia externa, por lo que solo fue posible obtener resultados de ruido de elementos presentes en la comunidad como el mar, el viento y el parque eólico. Esto ocurrió debido a que estos puntos de medición están alejados de ruta de autos y motos, no hay flujo de personas, no se percibía en el campo, música de altavoces o derivado de residencias y, con excepción del punto 14, no había ruidos perceptibles de animales.

Así, es posible inferir que estos valores, que se representan en la Figura 8, son los que mejor ilustran el ruido de las torres dentro de la comunidad.

Figura 8 - Detalle de los ruidos diurnos medidos detrás de las casas



Fuente: Silva *et al.* (2020).

Se observa que, a diferencia de los demás valores obtenidos en los que la mayoría se encuentran fuera del parámetro requerido, la figura 6 muestra cinco puntos de acuerdo con la norma, es decir, por debajo de los 40 dB(A).

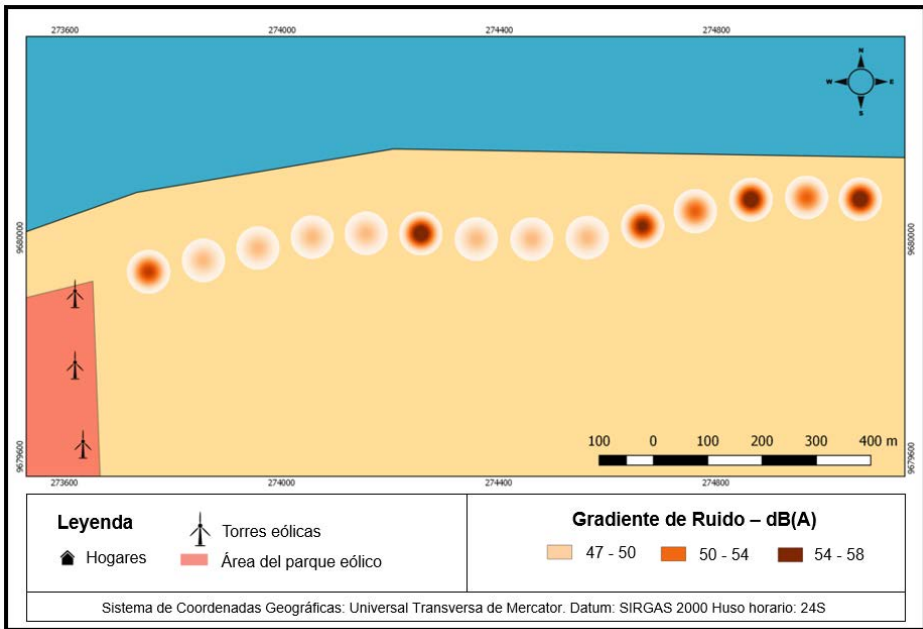
Es importante resaltar que pocos puntos cumplen con lo establecido en la legislación, sin embargo, debido a la preponderancia de los componentes ambientales, no se puede decir que esto sea responsabilidad del parque eólico.

Los ruidos nocturnos presentaron menor variación y se mantuvieron entre 49 y 60 dB(A), o sea, por encima de los 45 establecidos por la legislación brasileña. Sin embargo, debido a la gran influencia de las condiciones naturales en la composición del ambiente sonoro, no estar dentro de lo recomendado por la norma no es precisamente perjudicial, ya que es un escenario inherente a ese ambiente y al que los residentes están acostumbrados.

Los niveles de sonido también se midieron en el lado opuesto de Xavier, antes del parque eólico. Dado que el viento se mueve desde delante del parque hacia la comunidad, de este a oeste, es interesante ver si esto puede contribuir al aumento del ruido en las casas.

Se observa que los valores tienen el mismo comportamiento que el ruido diurno medido en la Comunidad Xavier, ya que disminuyen hasta la mitad de la distancia medida, en el punto 5, y vuelven a aumentar hasta el punto 14. En este caso, se trata de que, a diferencia de lo encontrado en la Comunidad de Xavier, el punto de mayor valor es el más alejado del parque (Figura 9).

Figura 9 - Niveles de ruidos diurnos, al este del parque eólico

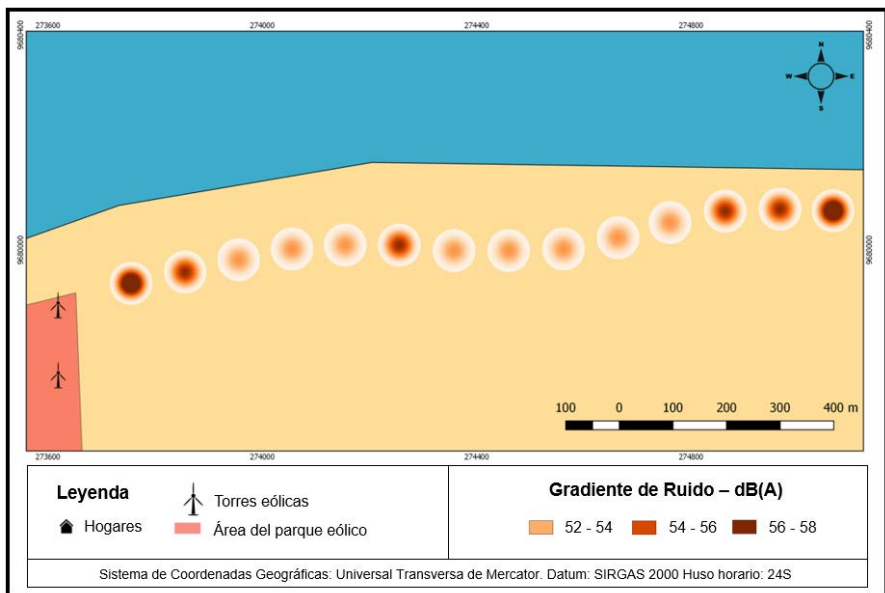


Fuente: Silva et al. (2020).

Los niveles de ruido son más altos en la [Figura 6](#), lo que demuestra una posible influencia del viento para dirigir el ruido del parque hacia la comunidad. Cabe señalar que esta influencia puede ser aún mayor, ya que los niveles medidos en la comunidad corresponden a un período en el que solo funcionaban 39 torres, mientras que los valores que se muestran en la [Figura 9](#), corresponden al funcionamiento de 46 torres. Cabe mencionar que en esta zona no existe vegetación ni crianza de animales, por lo que la influencia de cualquier componente sonoro, además del viento y el mar, no era perceptible en el terreno.

Los ruidos nocturnos se comportan de manera similar a los ruidos diurnos ([Figura 10](#)). Se nota una ligera disminución cerca de las torres solo en los primeros cuatro puntos. Sin embargo, se observan velocidades de viento elevadas con relación a la medición realizada en septiembre. Así, con vientos más fuertes, más torres en funcionamiento y, a pesar de ello, valores similares al este y oeste del parque, es posible inferir que la influencia del ruido de las torres en la región anterior al parque, frente a las residencias, es más pequeño que lo que se puede encontrar en la Comunidad.

Figura 10 - Niveles de ruidos nocturnos, al este del parque eólico



Fuente: Silva *et al.* ([2020](#)).

Se observa que, durante las mediciones nocturnas, además del viento y el mar, se notaron cantos de pájaros, principalmente en los puntos 2, 3 y 5. Sin embargo, esto no cambia el patrón identificado en esta región, ya que, a pesar de la presencia de animales, existe todavía una disminución de valores en los primeros puntos medidos.

Limitaciones y potencialidades

La zona de estudio fue escogida por el contexto de manifestaciones contrarias al ruido, sin embargo, esta metodología tiene potencial para ser replicada en cualquier zona ubicada cerca de los parques eólicos. Sin embargo, se recomienda, siguiendo el modelo que se aplicó, que los puntos de medición sigan la distribución espacial de las residencias y áreas comunes, frecuentemente utilizadas como escuelas, asociación de residentes, accesos principales, etc. En el caso de áreas extensas donde no sea posible una cobertura total, la recolección debe ocurrir a través de muestras en puntos distribuidos a lo largo del área.

En la aplicación realizada en la Comunidad Xavier, la primera de esta metodología, los resultados indicaron que el ruido al que están sometidos los residentes no cumple con la legislación, pero no se puede decir que esto se deba al parque eólico, ya que la influencia del ruido del parque se notaba principalmente en un radio de 600 metros dentro de la comunidad, cuando había una disminución constante en los valores medidos. Después de esta distancia, los valores no mostraron linealidad, por lo que, probablemente, otros elementos más cercanos a los puntos de medición hayan influido en este resultado.

A pesar de esto, se debe considerar el hecho de que los residentes que viven a más de 1 km de distancia reportaron escuchar ruidos específicos de las torres, lo que indica que en estos resultados también está presente la contribución del ruido del parque eólico. En este contexto, el viento surgió como un posible influenciador, ya que tiene una dirección del este del parque al suroeste, hacia las residencias, y los valores medidos antes del parque son más bajos que en la comunidad, a pesar de que más torres estuvieran trabajando el día de la medición. Este resultado revela la necesidad de incorporar a la metodología un análisis que identifique la relación entre el nivel de ruido y la velocidad del viento para comprender, de hecho, cuál es la contribución de las torres en el nivel de ruido percibido por los residentes.

A pesar de ello, debido a que las manifestaciones de molestia por ruido son constantes, se sugiere la implementación de tratamientos acústicos en las casas, como una forma de compensación ambiental. La protección acústica de las residencias puede ser una compensación por parte del empresario, sin embargo, para ello es necesario demostrar el impacto que genera el ruido de los parques, lo que refuerza una vez más la necesidad de una metodología clara y aplicable para medir este ruido en el entorno.

Entre las limitaciones encontradas, destaca la imposibilidad de realizar una comparación entre el ambiente sonoro antes y después del parque, ya que el estudio ambiental no incluye ninguna medición realizada en la zona. En este sentido, la importancia de incorporar el monitoreo del ruido en las comunidades cercanas afectadas por la presencia del parque eólico en los estudios de impacto ambiental, antes y durante la instalación, además de la elaboración e implementación de una rutina de monitoreo durante la operación del parque eólico.

Es interesante que se realicen futuros estudios para profundizar en el tema, principalmente a través de la adopción de un análisis que cuantifique el nivel de relación entre la velocidad del viento y el nivel de decibelios medido en ese momento. Este análisis no traería cambios al procedimiento metodológico adoptado, sería un instrumento más para complementar el análisis de los datos obtenidos.

La mejora de esta propuesta metodológica puede contribuir a la creación de legislación dirigida al control y seguimiento de la emisión de ruido de los parques eólicos. Además, la definición de una metodología patrón facilita la comprobación del impacto generado, especialmente en los casos en que la comunidad decide acudir a los tribunales en busca de una indemnización.

Sin embargo, este estudio presenta una metodología y *design* aún experimentales. Por ello, es necesario aplicarlo en diferentes realidades para impulsar resultados más concluyentes sobre el tema.

Conclusión

Los resultados demuestran que los ruidos del parque eólico son percibidos por los habitantes de Xavier, sin embargo, sin causar molestias significativas. Los niveles encontrados no cumplen con la legislación brasileña, pero esto no sólo puede atribuirse al parque eólico, ya que la influencia del ruido del parque se notaba en un radio de 600 metros. Después de esta distancia, otros elementos pueden haber influido en este resultado, incluido el viento que tiene u

na dirección este-oeste, hacia el parque, hacia las residencias.

Los residentes que se pronunciaron en contra de la instalación del parque reportaron más molestias. Advirtieron que el emprendimiento tuvo varios impactos negativos en el medio ambiente, en particular la puesta a tierra de un estanque de agua dulce, hecho constatado en otros estudios (DURÁN, [2020](#), GORAYEB *et al.*, [2018](#)), lo que confirma los resultados de Bakker ([2012](#)) y Pedersene Wayne ([2007](#)). A pesar de las opiniones negativas, la investigación observó que el cambio en la vida cotidiana de los habitantes fue pequeño, ya que los residentes no reportan cambios en su rutina debido al ruido.

Es interesante que a futuro se realicen estudios para profundizar en el tema, ya que este trabajo presenta metodología y *design* experimental. Por esta razón, es necesario aplicar una metodología más robusta y con aplicación en diferentes realidades para impulsar resultados más concluyentes sobre el tema. Cabe mencionar que hay poca investigación sobre los impactos del ruido causado por los parques eólicos en Brasil y, a pesar de esta realidad, los emprendimientos continúan siendo construidos y operados, sin una comprensión y un seguimiento adecuados, es decir, basados en datos obtenidos de investigaciones científicas criteriosas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a FUNCAP por la subvención a través del proyecto PRONEM/ FUNCAP Proc. PNE 0112-00068.01.00/16 “Análisis socioambiental de la implementación de parques eólicos en el Nordeste: perspectivas para la sustentabilidad de la generación de energía renovable en Brasil” y CAPES PRINT Proc. 88887.312019/2018-00: Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate change.

Referencias

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- BAKKER, R. H.; PEDERSEN, E.; VAN DEN BERG, G. P.; STEWART, R. E.; LOK, W.; BOUMA, J. Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress. **Science of the Total Environment**, v. 425, p.42-51, 2012.
- AMARANTE, O. A. C.; ZACK, M. B. J.; SÁ, A. L. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf. Acesso em: 25 set. 2017.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 462, de 24 de julho de 2014. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 151, n. 141, p. 96-100, 25 jul. 2014.
- DURÁN, G. Y. B. **Análise multitemporal de uso e cobertura da terra nas planícies costeiras do baixo Jaguaribe e de Camocim no estado do Ceará com fins de determinação de mudanças e relações com a instalação de parques eólicos**. 2020. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.
- FERNANDES, A. R. C. **Avaliação da interferência aerodinâmica entre as pás e a torre de uma turbina eólica**. 2010. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2010.
- GOMES, L. R. T. C. **Avaliação de ruídos em aerogeradores situados no Complexo Eólico Serra Azul-BA**. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Planejamento ambiental) – Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2017.
- GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. A.; MENDES, J. S. Wind power gone bad: Critiquing wind power planning processes in northeastern Brazil. **Energy Research & Social Science**, v. 40, p. 82-88, 2018.
- HANNING, C. **Wind Turbine Noise, Sleep and Health**: Response to The Northumberland County Council Core Issues and Options Report Consultations. Newcastle upon Tyne: Northumberland & Newcastle Society, 2012. Disponível em: <http://docs.wind-watch.org/Hanning-Wind-Turbine-Noise-Sleep-and-Health-Report-Jul-2012.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2018.

- INTERNATIONAL ELECTROTENICHAL COMMISSION. **IEC 61400-11** – Wind turbine: Acoustic noise measurement technique. Genebra: IEC, 2012.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELETRONICS ENGINEERS. **IEEE Standard for wind turbine aero acoustic noise measurement techniques**. Piscataway: IEEE, 2016.
- IMPROTA, R. L. **Implicações socioambientais da construção de um parque eólico no município de Rio do Fogo – RN**. 2008. Dissertação (Mestrado em Psicologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO ESTADO DO CEARÁ. **Perfil Básico Municipal**. Fortaleza: IPECE, 2009. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/perfil-municipal-2009/>. Acesso em: 8 ago. 2018.
- LIMA, S. A. L. **Estudo de medição e análise do ruído de aerogeradores de grande porte no estado do Ceará. 2015**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- MAIA, D. S. N. **Ruídos de parque eólicos**. Análise e caracterização. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2010
- MEIRELES, A. J. A. Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 11, 2011.
- MENDES, J. S. **Parques eólicos e comunidades tradicionais no nordeste brasileiro: estudo de caso da Comunidade de Xavier, litoral oeste do Ceará, por meio da abordagem ecológica/participativa**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- PEDERSEN, E.; WAYE, K. P. Perception and annoyance due to wind turbine noise—a dose–response relationship. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 116, p. 3460-3470, 2004.
- PEDERSEN, E.; WAYE, K. P. Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. **Occupational and environmental medicine**, v. 64, n. 7, p. 480-486, 2007.
- SILVA, L. de N. A.; GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; ARY JUNIOR, I. J. Análise do ruído e percepção dos impactos causados por parque eólico na comunidade Xavier, Camocim, litoral oeste do Ceará. **Geambiente** 38: 84-105, 2020.
- doi: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.i38.63835>
- SIMÕES, S. C. D. **Caracterização do Ruído produzido por um parque eólico**. Efeito sobre a população. 2015. Dissertação (Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho) – Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, 2015.
- TERCIOTE, R. A energia **eólica e o meio ambiente**. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 4., 2002, Campinas (SP). **Proceedings** [...]. Campinas (SP): UNICAMP/NIPE, 2002. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000100002&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 07 out. 2017.

CAPÍTULO 9

METODOLOGÍA DE AVALUACIÓN DA VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS EN PARQUES EÓLICOS¹

Raquel Morais Silva²

Maria da Conceição Rabelo Gomes²

Luis Glauber Rodrigues²

Adryane Gorayeb²

Resumen

Las fuentes de energía renovables tienen un papel importante en la mitigación de los impactos negativos derivados de las fuentes de energía tradicionales. El Brasil ha invertido mucho en el sector de la energía eólica, flexibilizando leyes y estudios ambientales para atraer inversores y amplió la instalación de nuevos parques eólicos. La región Nordeste se destaca en este proceso, con el litoral de Ceará como uno de los principales destinos para la instalación de estos emprendimientos que crecen rápidamente y mal planificados al ignorar, muchas veces, aspectos hidrogeológicos, geomorfológicos y socioambientales. Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo abordar una metodología para diagnosticar la vulnerabilidad del acuífero sedimentario y evaluar la calidad de las aguas subterráneas en la comunidad de Praia de Xavier y los alrededores del parque eólico. De acuerdo con la metodología de diagnóstico de vulnerabilidad de acuífero, a partir de la aplicación del método GOD (*Groundwater occurrence, Overall aquifer class, Depth to groundwater table*), fue posible observar que las comunidades de Xavier y Barrinha presentaron un alto grado de vulnerabilidad. Mientras que en el sur del distrito de Amarelas (sede), donde se ubican las comunidades de Ziu, Tapuiú y Montevideo presentaron un índice de vulnerabilidad

1 El texto fue adaptado del artículo: Gomes, M. C. R.; Gorayeb, A.; Brito, D.; Silva, R.M. *Analysis of the Levels of Alteration of Aquifers Caused by the Installation of Wind Farms on Dunes on the Coast of Ceará, Brazil*. **Revista Ambiente y Agua**, v. 16, pág. 1-15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2430>. Y ampliado con los resultados de la disertación de maestría: SILVA, R. M. **Parques eólicos, vulnerabilidad y calidad de las aguas subterráneas en los alrededores de la comunidad Praia de Xavier, Camocim – CE**. 2020. 108 f. Disertación (Maestría en Geografía) - Centro de Ciencias, Universidad Federal de Ceará, Fortaleza, 2020.

2 Universidad Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil. raquelmorais325@gmail.com

medio. Se puede ver el predominio de las aguas bicarbonatadas (70%) y magnésicas (60%). En cuanto a la calidad del agua, todas las muestras mostraron presencia de coliformes totales y fecales. Esta contaminación proviene de las fosas sépticas cercanas a los pozos, por lo que no son aptas para el consumo humano. Los impactos acumulativos derivados de la implementación de nuevos parques eólicos en campos de dunas pueden conducir al confinamiento de acuíferos, produciendo relaciones ambientales negativas que afectan en gran medida a las comunidades pesqueras artesanales cercanas a las áreas de influencia de estos emprendimientos.

Palabras clave: Acuífero sedimentario. Método GOD. Potabilidad. Energía eólica.

Introducción

La difusión de las fuentes de energía renovables en el mundo ha ganado mayor expresión en las últimas décadas y es una de las medidas para mitigar los impactos negativos derivados del amplio uso de las fuentes de energía tradicionales debido a la reducción de la degradación ambiental, la mayor conservación de los recursos naturales, la mejora de la calidad de vida de la sociedad y la perspectiva de promover el desarrollo sostenible mediante la generación de energía eléctrica de fuente “limpia” a partir de los vientos, principalmente.

Cabe señalar que la expresión “energía limpia” se refiere al hecho de que las energías renovables, como la eólica, no emiten gases contaminantes, pero su implementación puede implicar diversos problemas socioambientales. En Brasil y, especialmente, en la costa Nordeste, estos problemas pueden expresarse por la emisión de ruidos, desmantelamiento de dunas y acantilados, destrucción del patrimonio histórico y arqueológico, expropiación de tierras y generación de conflictos en las comunidades tradicionales, descaracterización de los paisajes costeros, extinción de lagunas interdunares y descenso del nivel freático (BRANNSTROM *et al.*, [2017](#); GORAYEB *et al.*, [2016](#); [2018](#)).

A pesar de las intervenciones provocadas en los ecosistemas costeros y en las comunidades tradicionales, el Brasil ha invertido mucho en el sector de la energía eólica en los últimos años, ha flexibilizado leyes y estudios ambientales como una forma de atraer inversores extranjeros en el campo para desarrollar proyectos y estudios de viabilidad para la instalación de nuevos parques eólicos en el país. Una de las razones por las que Brasil se dio cuenta de la necesidad y urgencia de diversificar su matriz energética fue el problema del suministro eléctrico en 2001, lo que llevó a un programa de racionamiento eléctrico que duró hasta 2002 (GORAYEB *et al.*, [2016](#); HOCHSTETLER, [2021](#)).

En este contexto, Ceará se destaca en la implementación de proyectos para instalar parques eólicos en su costa. En diciembre de 2021, el Estado contaba con 99 parques eólicos y una capacidad instalada, en operación, de 2,5 GW, según datos de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL). Este número de emprendimientos

está directamente relacionado con la extensión de la zona costera, la velocidad, intensidad y perennidad de los vientos, la ubicación y posición geográfica, además de diversos incentivos fiscales gubernamentales que atraieron a empresarios del sector y despertaron intereses de inversión en la región. (MEIRELES *et al.*, 2015).

Estos autores también afirman que el Estado de Ceará, por su posición geográfica, que se caracteriza por un régimen de vientos constantes con velocidad media de 5 a 9 m/s, y su relieve favorable, constituye uno de los Estados brasileños con mejores condiciones para el aprovechamiento de la energía eólica.

Meireles (2011) afirma que es posible demostrar que los parques eólicos están creciendo de forma descontrolada, sin un seguimiento integrado y sin definición de impactos acumulativos. A menudo, las intervenciones se realizan en Áreas de Preservación Permanente, de acuerdo con el Código Forestal Brasileño, que abarcan campos de dunas fijas y móviles, lagunas interdunares (estacionales), planicies de viento, manglares y franjas de playa. Y son impactados los ecosistemas asociados con los bosques de dunas y tablas y, posiblemente, la dinámica del nivel freático.

Es en este contexto que se inserta esta investigación, que tiene como *locus* de análisis la comunidad de Praia de Xavier y su entorno. Es una comunidad tradicional de pescadores ubicada a 370 km de la capital del estado, Fortaleza, ubicada en el extremo oeste de la región costera de Ceará, en el municipio de Camocim, y parte del área rural de uno de los tres distritos de lo Municipio de Amarelas.

Así, este capítulo tuvo como objetivo abordar una metodología para diagnosticar la vulnerabilidad del acuífero sedimentario y evaluar la calidad del agua subterránea en parques eólicos.

Metodología

Para realizar los estudios de vulnerabilidad natural del acuífero se optó por el método GOD (*Groundwater occurrence, Overall aquifer class, Depth to groundwater table*) (FOSTER; HIRATA, 1988) debido a su facilidad para determinar sus parámetros y la buena espacialización de los mismos datos en un entorno SIG - Sistema de Información Geográfica.

El método GOD presenta su nomenclatura en tres parámetros fundamentales:

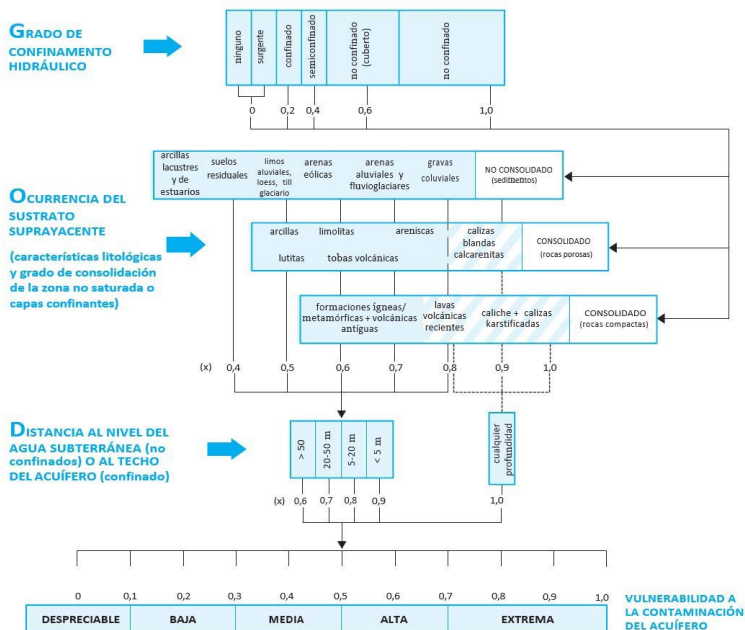
1. Ocurrencia de aguas subterráneas (*Groundwater occurrence*), donde se obtienen valores dentro de un intervalo de 0 a 1;
2. Clasificación de los estratos por encima de la zona saturada del acuífero en términos del grado de consolidación y carácter litológico (*Overall aquifer class*) - esta propiedad conduce a un segundo punto en la escala de 0,3 a 1,0;
3. Profundidad hasta el tope del acuífero (*Depth to groundwater table*), que define el tercer punto, en una escala de 0,4 a 0,9 (FOSTER; HIRATA, 1988; FOSTER *et. al.*, 2006).

Así, **G** corresponde al grado de confinamiento del acuífero (el predominio, en este estudio, es libre o no confinado, pero también incluye la presencia de no confinado, pero cubierto por dunas/sedimentos), **O** corresponde a la litología, naturaleza del origen (arena de viento o arenisca) y **D** corresponde al nivel del agua.

Según el sistema GOD ([Figura 1](#)), cuanto más confinado es el acuífero, menor es su vulnerabilidad, mientras que los acuíferos libres y no confinados son más vulnerables. Los acuíferos formados por materiales de mayor permeabilidad presentan mayor vulnerabilidad en relación con los acuíferos menos permeables, así como sus grados de consolidación. La profundidad del nivel freático se relaciona con mayor o menor grado de vulnerabilidad, considerando que los niveles freáticos más superficiales se contaminarían más rápidamente que los niveles freáticos más profundos (MANZIONE, [2015](#)).

Los componentes reciben valores entre 0 y 1,0 de las interpretaciones que resultan en mapas con índices generados a partir de mapas geológicos y/o pedológicos y alturas de nivel freático. Los valores asignados se multiplican entre sí en un entorno de sistema de información geográfica - SIG y los planes de información G, O, D generan un mapa final que contiene los índices de vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, según el [Cuadro 1](#).

Figura 1 - Esquema de la metodología “GOD” para el cálculo del índice de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos



Fuente: Foster *et al.* ([2006](#)).

Cuadro 1 - Clases de importancia de la vulnerabilidad de los acuíferos

Intervalo	Clase	Características
0 – 0,1	Despreciable	No tiene en cuenta las capas confinantes con flujos verticales descendentes no significativos.
0,1 – 0,3	Bajo	Vulnerable a los contaminantes conservadores a largo plazo cuando se libera continua y ampliamente.
0,3 – 0,5	Medio	Vulnerable a algunos contaminantes, pero solo cuando se libera continuamente.
0,5 – 0,7	Alto	Vulnerable a muchos contaminantes, excepto aquellos que son poco móviles y poco persistentes.
0,7 – 1,0	Extremo	Vulnerable a muchos contaminantes, con rápido impacto en muchos escenarios de contaminación.

Fuente: Modificada de Hirata (2006).

Los valores obtenidos se pueden interpolar y asignar a cada pozo utilizando la herramienta *Geostatistic Wizard* de *ArcGis* 13.0 (ESRI, 2016). Otra herramienta que también se puede utilizar para este propósito es QGIS. Para eso, se utilizó *krigagem*, que es un método de regresión común, muy utilizado en Geoestadística para realizar interpolaciones de datos espaciales.

Los parámetros del método GOD se identificaron teniendo en cuenta los datos geológicos e hidrogeológicos contenidos en los informes técnicos del IPECE (2010) y los perfiles constructivos de los pozos a partir de los datos recolectados en campo. La definición de valores para cada parámetro se basó en la interpretación de estos datos.

Así, el método GOD permitió la elaboración de un mapa de vulnerabilidad a través de isolíneas y la zonificación de las unidades geológicas que se generaron en un ambiente SIG.

Nivel de vulnerabilidad del acuífero

Las aguas subterráneas representan un recurso natural con múltiples usos y de importancia estratégica, por lo que la evaluación de su vulnerabilidad y riesgo de contaminación es fundamental para la gestión de los recursos hídricos en una determinada región.

Foster e Hirata (1988 *apud* MOURA *et al.*, 2016) definieron que la vulnerabilidad natural de los acuíferos representa su sensibilidad a ser impactados negativamente por una carga de contaminantes. Depende principalmente de la profundidad del agua subterránea y del tipo de acuífero, en términos de confinamiento y litología; las características físicas y litológicas de la zona vadosa y los factores geoambientales.

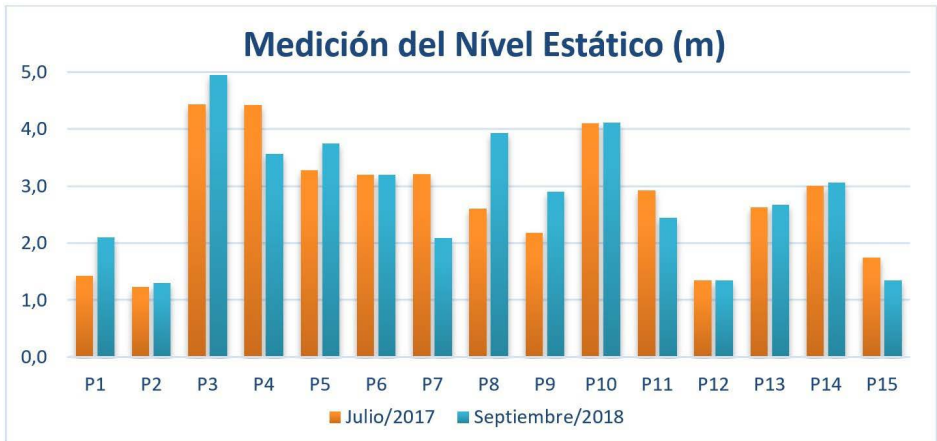
Los parámetros G y O se obtuvieron de perfiles constructivos/litológicos de los pozos adquiridos en SIAGAS (Sistema de Información de Aguas Subterráneas) y el

parámetro D obtenido a través de las mediciones de nivel de agua de los 15 pozos *in situ* (julio/2017 y septiembre/2018) de la Comunidad de Xavier (Figura 2).

Es posible notar que el nivel estático (NE) de los 15 pozos de Xavier presentó variaciones significativas entre los períodos lluvioso (julio/2017) y seco (septiembre/2018), con un promedio de 2,8 m a 2,9 m, respectivamente, destacando su reposición resultante del régimen de lluvias del primer semestre, a pesar de sus irregularidades.

Cabe mencionar que el monitoreo de los 15 pozos de Xavier fue posible y priorizado por las condiciones de fácil acceso para las mediciones del nivel estático (NE), ya que son abiertos, sin obstrucciones y se puede utilizar el medidor NE sin dificultad. A su vez, los pozos de las demás comunidades están equipados con un sistema de bombeo y están sellados, lo que dificultó el acceso y uso del electrosonómetro Jaciri en este procedimiento.

Figura 2 - Medición del nivel estático (NE) de los 15 pozos de Xavier



Fuente: Silva (2020).

En cuanto a la vulnerabilidad del acuífero, se utilizaron datos de campo y registro existente, y no monitoreos periódicos.

Para estudiar la vulnerabilidad del acuífero, se midieron 25 pozos en el área en cuestión (Cuadro 2) cuya distribución fue la siguiente: en la comunidad de Praia de Xavier (15), Tapuíú (1), Montevideo (1), Amarelas (1), Barrinha (4) y Ziu (3), siendo uno de los pozos de la comunidad de Xavier el más superficial presentado, con una profundidad de 1,23 metros (ambiente de la playa), y el pozo ubicado en la comunidad de Montevideo es el más profundo y Tiene 22 metros de profundidad (Formación Barreras).

Cuadro 2 - Índice de Vulnerabilidad GOD de los 25 pozos de Xavier y su entorno

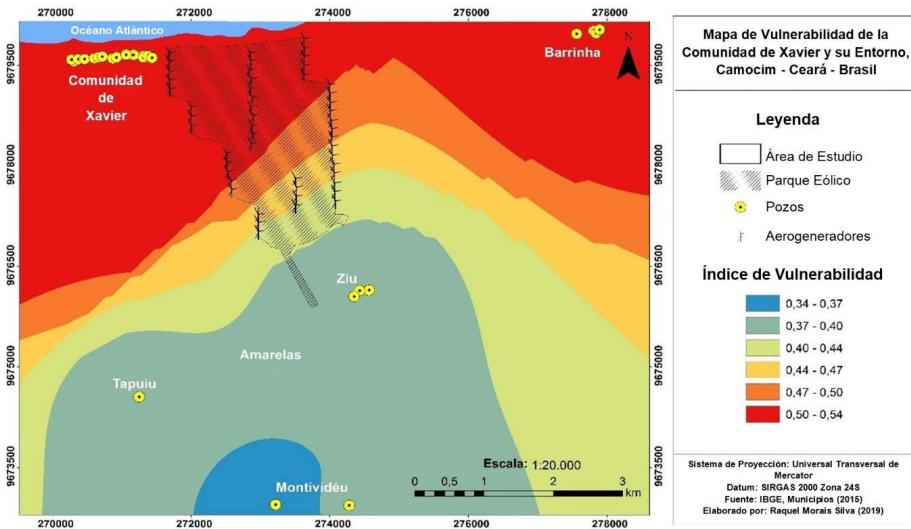
Orden	Comunidades	NE (m)	G	O	D	GOD
P1	Praia Xavier	1,43	1,0	0,6	0,9	0,54
P2	Praia Xavier	1,23	1,0	0,6	0,9	0,54
P3	Praia Xavier	4,44	1,0	0,6	0,9	0,54
P4	Praia Xavier	4,42	1,0	0,6	0,9	0,54
P5	Praia Xavier	3,28	1,0	0,6	0,9	0,54
P6	Praia Xavier	3,20	1,0	0,6	0,9	0,54
P7	Praia Xavier	3,21	1,0	0,6	0,9	0,54
P8	Praia Xavier	2,60	1,0	0,6	0,9	0,54
P9	Praia Xavier	2,18	1,0	0,6	0,9	0,54
P10	Praia Xavier	4,10	1,0	0,6	0,9	0,54
P11	Praia Xavier	2,92	1,0	0,6	0,9	0,54
P12	Praia Xavier	1,34	1,0	0,6	0,9	0,54
P13	Praia Xavier	2,63	1,0	0,6	0,9	0,54
P14	Praia Xavier	3,00	1,0	0,6	0,9	0,54
P15	Praia Xavier	1,74	1,0	0,6	0,9	0,54
P16	Tapuiú	12,00	0,6	0,8	0,8	0,38
P17	Montevideú	22,00	0,6	0,8	0,7	0,34
P18	Amarelas	18,00	0,6	0,8	0,8	0,38
P19	Barrinha	1,60	1,0	0,6	0,9	0,54
P20	Barrinha	2,43	1,0	0,6	0,9	0,54
P21	Barrinha	2,40	1,0	0,6	0,9	0,54
P22	Barrinha	2,84	1,0	0,6	0,9	0,54
P23	Ziu	11,00	0,6	0,8	0,8	0,38
P24	Ziu	13,00	0,6	0,8	0,8	0,38
P25	Ziu	14,40	0,6	0,8	0,8	0,38

Fuente: Silva (2020).

El área de investigación se caracterizó por la ocurrencia de aguas subterráneas no confinadas (acuíferos libres), con valores de Índice \underline{G} de 0.6 y 1.0. En cuanto a los estratos de cobertura, predominan las arenas eólicas superpuestas por areniscas con índice \underline{O} entre 0,6 y 0,8. En cuanto al nivel freático, los índices \underline{D} fueron 0,7, 0,8 y 0,9.

Según el método GOD, la vulnerabilidad de los acuíferos en el área de investigación varía de 0.38 (baja) a 0.54 (alta), con predominio de vulnerabilidad media a alta (Figura 3).

Figura 3 - Mapa de vulnerabilidad acuífera en la Comunidad de Xavier y sus Alrededores, Camocim, Ceará, Brasil



Fuente: Silva (2020).

Fue posible observar que el área de la comunidad de Xavier y Barrinha presentó un alto grado de vulnerabilidad, es decir, vulnerable a muchos contaminantes, excepto aquellos que son poco móviles y poco persistentes. Este valor se explica por el hecho de que esta zona se encuentra en sedimentos arenosos (dunas) donde el nivel del agua se encuentra cerca de la superficie, variando entre 1,23 metros hasta 2,84 metros de profundidad.

Más al sur del distrito de Amarelas (sede), donde se ubican las comunidades de Ziu, Tapuí y Montevideo, presentaron un índice de vulnerabilidad medio, lo que indica que esta zona es susceptible a algunos contaminantes, pero solo cuando se liberan continuamente. Cabe señalar también que el distrito de Amarelas se caracteriza por areniscas arcillosas con lechos conglomeráticos, con intercalaciones de niveles más o menos permeables y se encuentra predominantemente sobre la Formación Barreiras.

Gomes *et al.* (2019) corroboran al afirmar que en las porciones central y sur se presentan áreas de vulnerabilidad moderada y baja, asociadas principalmente a los terrenos de la Formación Barreiras (areniscas y conglomerados). Estos índices (moderados y bajos) fueron influenciados por niveles estáticos más profundos (> 10 metros de profundidad) y por la litología (niveles arenosos).

Para los autores, el grado de confinamiento y la profundidad del nivel estático fueron determinantes para diferenciar la vulnerabilidad de la zona entre índices alto, moderado y bajo (GOMES *et al.*, 2019).

La ubicación del parque eólico en el campo dunar (ambiente naturalmente de alta vulnerabilidad) se convierte en una agravante de la inestabilidad y vulnerabilidad de esta formación geomorfológica e hidrogeológica, principalmente por su interferencia en el nivel freático superficial y otros componentes socioambientales presentes en el área de estudio, lo que resalta la necesidad de mayor detalle en la información contenida en los estudios ambientales que consideren dichos aspectos.

Evaluación de la calidad del agua subterránea

Las aguas subterráneas de los acuíferos siempre han sido vistas como reservas estratégicas de abastecimiento humano debido a sus características naturales. Tal importancia se ha acentuado en las últimas décadas debido a los problemas de escasez, carencia e insuficiencia de saneamiento básico, además del aumento de la demanda.

A pesar de su relevancia, las aguas subterráneas se han visto amenazadas y su vulnerabilidad intensificada con el crecimiento de cargas contaminantes que alteran los estándares de potabilidad, haciendo inviables sus múltiples usos.

Dada su esencialidad, fue necesario realizar análisis físico-químicos y microbiológicos para verificar si la potabilidad está dentro de los estándares establecidos por la legislación vigente, principalmente la establecida por el Ministerio de Salud de Brasil, a fin de evitar la propagación de patologías transmitidas por el agua que afectan significativamente la salud de la población.

La evaluación de la calidad del agua subterránea y sus parámetros de potabilidad se realizó mediante análisis físico-químicos y microbiológicos de muestras recolectadas en junio de 2019 en la época de lluvias en la región (de enero a abril) (IPECE, [2017](#)). Sin embargo, existen registros de precipitaciones muy voluminosas acumuladas en los meses de mayo y junio, considerando que la temporada de lluvias presenta ciertas irregularidades a lo largo de los años.

Los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos destacaron parámetros que presentaron concentraciones significativas mayores a cero y que pueden afectar sustancialmente la potabilidad de las aguas subterráneas. Así, es posible evaluar el comportamiento de los parámetros a través del monitoreo.

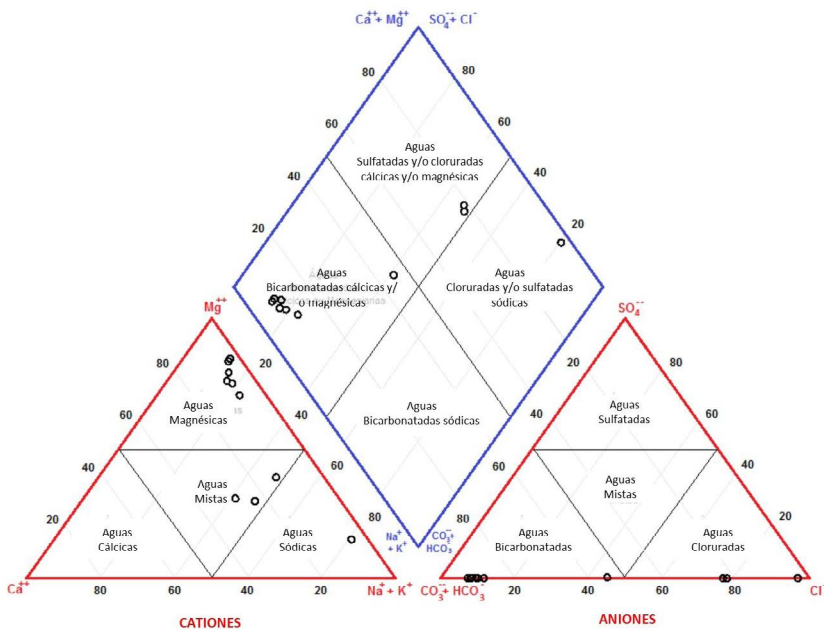
Los resultados de los iones mayoritarios (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , Cl^- , CO_2^- , HCO_3^- e SO_4^-) fueron sistematizados y procesados en cuanto al contenido iónico dominante mediante la herramienta Diagrama de Piper, en el *Software* Qualigraf, desarrollado por la Fundación de Meteorología y Recursos Hídricos de Ceará – FUNCEME.

Aquí se abordan los análisis de aguas subterráneas realizados en marzo de 2018 y junio de 2019, ambos en época de lluvias, inicio y final, respectivamente, con resultados, sus interpretaciones, comparaciones y representaciones a través de tablas y gráficos que permiten una caracterización del comportamiento de las reservas de agua subsuperficiales del área de estudio.

Teniendo en cuenta los resultados fisicoquímicos, se generó un Diagrama de Piper, donde se clasificaron las aguas según el predominio de iones catiónicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) y aniones (Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- e SO_4^{2-}).

El Diagrama de Piper (Figura 4) se realiza dentro de tres campos donde se coloca el porcentaje de los valores de las concentraciones de los constituyentes iónicos para cationes y aniones, identificando así la hidroquímica. El cruce de la prolongación de los puntos en la zona del diamante muestra su posición y clasifica la muestra según facies.

Figura 4 - Clasificación iónica del agua según el Diagrama de Piper



Fuente: Silva (2020).

El diagrama de Piper muestra que el agua subterránea se clasifica predominantemente como bicarbonatada (70 % de las muestras), magnesio (60 % de las muestras), seguida de clorada (30 %), mixta (30 %) y sódica (10 %).

Las aguas bicarbonatadas (70%) y magnesianas (60%) están representadas por los pozos ubicados en Xavier (P12 y P15), Tapuiú (P16), Montevideo (P17), Amarelas (P18) y Ziu (P19), con un mínimo profundidad de nivel estático de 1,34 metros (P12) y profundidad máxima de 22 metros (P17). Estas aguas tienen un tiempo de residencia relativamente corto, con recarga relacionada con las lluvias durante la época de lluvias, a través de suelos arenosos caracterizados por alta permeabilidad y porosidad que facilitan la recarga de los acuíferos subterráneos y la renovación de sus reservas.

Las aguas cloradas (30%) están representadas por los pozos situados en Xavier (P4, P8 y P10), con una profundidad mínima del nivel estático de 2,60 metros (P8) y una profundidad máxima de 4,42 metros (P4). Según Gomes y Cavalcante (2015), la ocurrencia de mayores concentraciones de agua clorada está potencialmente relacionada con las aguas marinas y pluviales o con una fuente de contaminación que favorece la concentración de cloruros en las aguas subterráneas.

Potasio, calcio, magnesio y sulfato

El potasio varió puntualmente de 3 mg/L (P4 - Xavier) a 13,7 mg/L (P19 - Ziu); el calcio varió de 2,4 mg/L (P12 - Xavier) a 35,2 mg/L (P18 - Montevideo). El magnesio, por otro lado, osciló entre 8,2 mg/L (P4 - Xavier) y 47,5 mg/L (P16 - Tapuiú).

El potasio tiende a estar siempre presente en los sedimentos arcillosos en mayor proporción que en las rocas ígneas. El calcio de las aguas subterráneas, en contacto con rocas sedimentarias de origen marina, procede de la disolución de calcita, dolomita y yeso, mientras que el magnesio tiene propiedades similares a las del calcio, pero es más soluble y más difícil de precipitar y suele encontrarse en aguas naturales, pero en concentraciones más bajas que el calcio (GOMES; CAVALCANTE, 2015).

Es crucial recalcar que el Ministerio de Salud, mediante el PRC N° 5 del 28/09/2017, no establece un valor máximo permitido (VMP) para las concentraciones de potasio, calcio y magnesio en aguas subterráneas, el cual debe servir como alerta sobre las posibles anomalías en la salud de la población, ya que las reservas subsuperficiales que abastecen la zona de estudio se clasifican predominantemente como bicarbonato de magnesio.

Así, estas aguas pueden ayudar en el tratamiento de enfermedades estomacales, como gastritis y úlceras gastroduodenales, hepatitis, diabetes y enfermedades cardiovasculares, además de controlar problemas hepáticos. Sin embargo, en grandes concentraciones, el magnesio puede dañar la salud humana y causar efectos adversos.

Para los sulfatos, todas las muestras cualitativamente presentaron valores inferiores a 0,5 mg/L de SO_4 , de acuerdo con lo establecido por el PRC N° 5 del 28/09/2017 del Ministerio de Salud, que señala como valor máximo permitido de 250 mg/L.

Cloruro y sodio

Los cloruros están presentes en todas las aguas naturales, con valores que van desde 10 mg/L hasta 250 mg/L en aguas dulces. El agua subterránea generalmente tiene niveles de cloruro por debajo de 100 mg/L (SANTOS, 2008).

El Ministerio de Salud, mediante Ordenanza N° 5 del 28/09/2017, establece que la concentración máxima de cloruros en el agua es de 250 mg/L. Los análisis realizados en junio de 2019 revelaron concentraciones que oscilan entre 10 mg/L y 247,9 mg/L Cl-, siendo los pozos 4, 12 y 15, ubicados en playa de Xavier, presentan

las concentraciones más bajas, y los pozos 17, 18 y 19, ubicados en las comunidades de Montevideo, Amarelas y Ziu, respectivamente, presentaron los niveles más altos de estos iones, 140,0 mg/L, 183,9 mg/L y 247,9 mg/L, respectivamente. Por lo tanto, se puede apreciar que las concentraciones de cloruro se encuentran dentro de los estándares establecidos por la Ordenanza N° 5 del 28/09/2017 del Ministerio de Salud.

Sin embargo, llama la atención el alto contenido de cloruros (247,9 mg/L) registrado en el pozo 19 de la comunidad de Ziu, que se encuentra al sur del parque eólico, lo que promueve un aumento de la salinidad de las aguas subterráneas captadas para el abastecimiento de la población, y aumenta los niveles de sales disueltas, conductividad eléctrica (371,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y sólidos disueltos totales (288 mg/L).

El Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) mediante Resolución N° 357 del 18/03/2005 establece la clasificación, marco, condiciones y normas para las descargas de efluentes a cuerpos de agua y establece que las aguas dulces deben presentar de 0 a 500 mg/L de STD, el agua salobre debe tener de 500 a 1500 mg/L de STD y el agua salada debe tener valores iguales o superiores a 1500 mg/L de STD.

En los resultados encontrados anteriormente referidos al pozo 19 de la comunidad de Ziu, donde las concentraciones de STD son de 288 mg/L, es posible concluir que el agua subterránea de este punto de captación, específicamente, se encuentra muy por debajo de lo establecido por la referida resolución y se clasifica como agua dulce. Por lo tanto, no existe intrusión salina en este punto de recolección, a pesar de que los niveles de cloruros y sólidos disueltos totales son bastante expresivos en relación con los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud (PRC N° 5 del 28/09/2017) y por CONAMA (Resolución N° 357/2005).

El origen de este elemento en las aguas subterráneas de la zona puede estar ligado a la proximidad del mar, ya que la zona se encuentra en la zona costera, o todavía, está siendo ocasionado por la contaminación humana por efluentes líquidos y residuos sólidos mal dispuestos.

En cuanto al sodio, el Ministerio de Salud (Ordenanza N° 5 del 28/09/2017) establece que la concentración máxima en agua es de 200 mg/L. Los análisis realizados en junio de 2019 mostraron que las concentraciones de sodio en las 10 muestras oscilaron entre 10 mg/L y 99,7 mg/L, siendo los pozos 17 (Montevideo) y 18 (Amarillo) los de menor concentración y el pozo 10 (Xavier) mostró el mayor contenido de este ion.

Es posible verificar que los valores de sodio resultantes en el análisis de las muestras están muy por debajo del límite establecido por el Ministerio de Salud (Ordenanza N° 5) que es de 200 mg/L y no indican la presencia de intrusión salina en el área en cuestión.

Nitratos

El nitrato representa la etapa final de oxidación de la materia orgánica a partir de residuos de la actividad humana (GOMES, 2006).

En las 10 muestras recolectadas y analizadas en marzo de 2018 se encontraron valores de 0,06 mg/L a 0,7 mg/L de nitrato. Según el Ministerio de Salud (Ordenanza Nº 5 del 28/09/2017), el valor máximo tolerable de nitrato (N-NO₃) es de 10 mg/L. Por lo tanto, los resultados del análisis están dentro del valor máximo permitido.

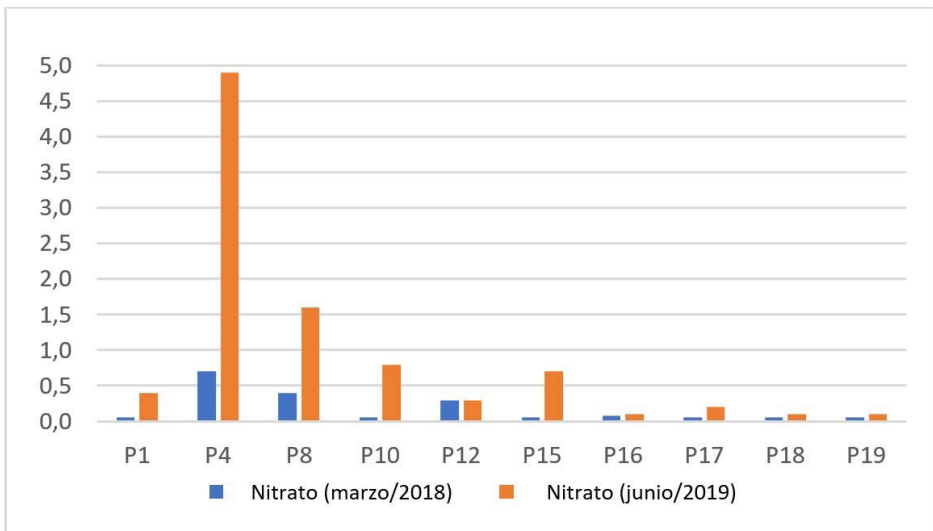
Los análisis realizados en junio de 2019 revelan resultados que van desde 0,1 mg/L (P16, en Tapuiú; P18, en Amarelas y P19, en Ziu) y 4,9 mg/L (P4, en Xavier).

En ambos análisis se puede observar que todos los pozos presentaron un aumento en las concentraciones de nitratos en junio de 2019, en especial los pozos P4 (4,9 mg/L), P8 (1,6 mg/L), P10 (0,8 mg/L/L) y P15 (0,7 mg/L), todo en Xavier. Este hecho se debe a la existencia de fosas sépticas construidas muy cerca de los pozos que abastecen las residencias, ya que el sistema de saneamiento básico es inexistente.

Destaca una excepción en la comunidad de Xavier que es el P12. Este punto de captación mantuvo una estabilidad en el contenido de nitratos con 0,3 mg/L en ambos períodos.

La [figura 5](#) muestra los análisis realizados, sus comparaciones y la tendencia de aumento de nitratos a lo largo del tiempo.

Figura 5 - Concentración de N-Nitrato en agua subterránea (N-NO₃)



Fuente: Silva ([2020](#)).

El análisis y seguimiento de este parámetro es fundamental para la zona de estudio, ya que la presencia de fosas cerca de pozos poco profundos en un ambiente dunar, que es muy permeable, favorece la descarga de efluentes que contaminan las reservas de agua subterránea, aportándoles material orgánico compuesto de varias partículas, sales, metales y compuestos nitrogenados, como los nitratos, que en altas concentraciones comprometen la potabilidad.

Es importante saber que el nitrato es una especie química persistente, móvil, que no se degrada fácilmente en ambientes aeróbicos subterráneos y puede migrar grandes distancias desde el lugar de origen (PEREIRA, 2012).

El nitrato, debido a su gran capacidad de lixiviación, se encuentra comúnmente en las aguas subterráneas. El análisis de nitratos en cuerpos de agua brinda información importante sobre el nivel de contaminación de estas aguas y debe incluirse en todos los programas básicos de monitoreo.

Análisis microbiológico

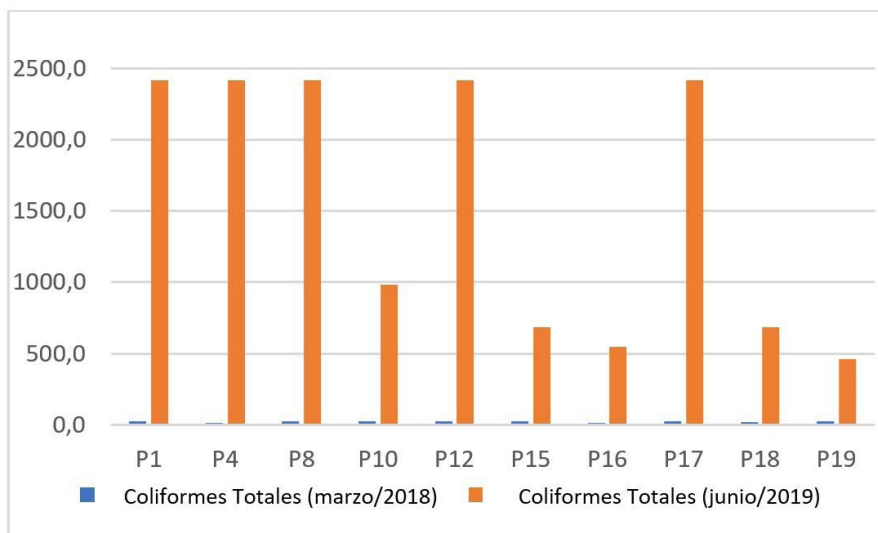
La calidad bacteriológica de un agua está relacionada con la ausencia de microorganismos patógenos (principalmente bacterias, protozoos y virus) y esto se evalúa a través de análisis bacteriológicos de estas aguas (PEREIRA, 2012).

En la primera recolección realizada en marzo de 2018, se analizaron 10 muestras de agua subterránea, utilizando como indicador las bacterias del grupo de los coliformes (totales y fecales), con el representante de los coliformes fecales, o termotolerantes, la *Escherichia coli*, de origen exclusivamente fecal. Dichas bacterias son indicadores biológicos de contaminación fecal, que alteran los estándares de potabilidad del agua destinada al consumo humano y afectan la salud al causar problemas y complicaciones gastrointestinales si no se tratan adecuadamente.

De acuerdo con la norma de potabilidad adoptada por el Ministerio de Salud, en su Ordenanza N° 5 del 28/09/2017, el agua utilizada para el consumo humano, ya sea de abastecimiento público o de fuentes alternativas como pozos, debe estar ausente (en 100 ml de la muestra) para el grupo de coliformes fecales (Termotolerantes), así como los coliformes totales.

Los análisis realizados en marzo de 2018 (Figura 6) presentan resultados muy expresivos que indican de 3,60 NMP/100 mL a 23 NMP/100 mL para coliformes totales. Más detalladamente, P16, en Tapuiú, indicó 3,60 NMP/100 mL y P4, en Xavier, presentó 5,10 NMP/100 mL; P18, en Montevideo, mostró 16,0 NMP/100 mL. Los otros pozos mostraron 23,0 NMP/100 mL.

Figura 6 - Coliformes Totales en aguas subterráneas



Fuente: Silva (2020).

Los análisis realizados en junio de 2019 (Figura 5) presentan niveles muy por encima de lo esperado y establecido por el Ministerio de Salud (Ordenanza N° 5) y, en comparación con análisis anteriores, tuvo un crecimiento alarmante. Así, los valores registrados fueron 461,1 NMP/100 mL (P19, en Ziu), 547,5 NMP/100 mL (P16, en Tapuiú), 686,7 NMP/100 mL (P15, en Xavier; P18, en Montevideo), 980,4 NMP/100 mL (P10, en Xavier) y 2419,6 NMP/100 mL (P1, P4, P8, P12, todos en Xavier; P17, en Montevideo).

La presencia de coliformes totales en las aguas de los pozos analizados no implica acción patógena, pero el Ministerio de Salud (PRC N.º 5) señala que la mera presencia de bacterias de este grupo en aguas destinadas al consumo humano descarta estos recursos y clasifica como no potables, es decir, estas aguas no pueden ser ingeridas porque presentan riesgos para la salud.

Del grupo de los coliformes totales destaca la bacteria *Escherichia coli*, que es la más utilizada como indicador biológico de la contaminación del agua.

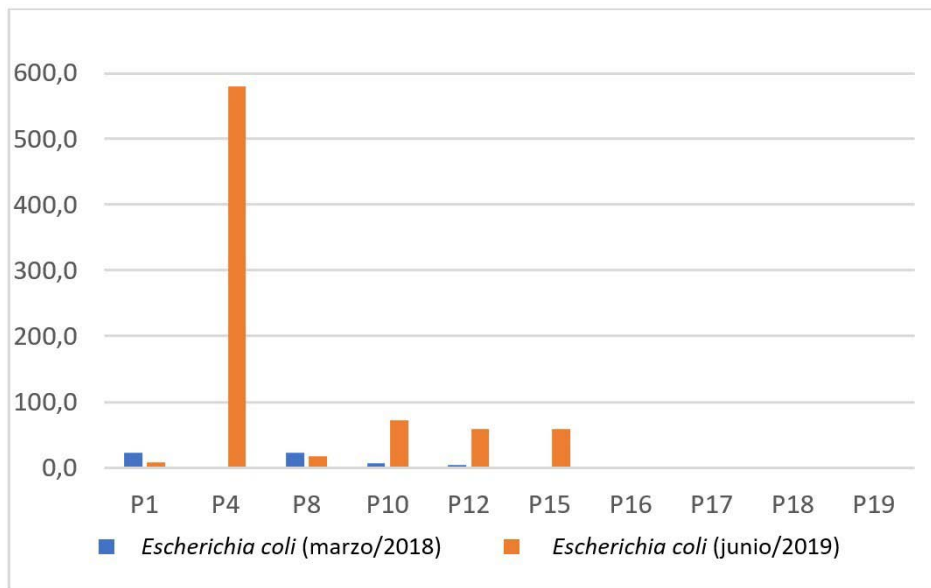
Para Santos (2008), la *Escherichia coli* es un coliforme de origen exclusivamente fecal. Es una bacteria no patógena que normalmente habita en los intestinos de los animales superiores. Su presencia no representa un riesgo para la salud pública, pero indica que pueden estar presentes microorganismos causantes o transmisores de enfermedades (patógenos). Son, por tanto, indicadores microbiológicos de contaminación fecal del agua, utilizados en todo el mundo, que indican posibles peligros para la salud. Por lo tanto, no todas las aguas que contienen coliformes están contaminadas por microorganismos patógenos.

Los análisis realizados en marzo/2018 muestran valores que van desde 1,10 NMP/100 mL hasta 23 NMP/100 mL para *Escherichia coli*. Más detalladamente, P4, P15 (ambos en Xavier), P16 (Tapuiú), P17 y P18 (ambos en Montevideo) y P19 (en Ziu) tienen concentraciones de 1,10 NMP/100 mL; P12, en Xavier, muestra 3,60 NMP/100 mL; P10, en Xavier, indica 6,90 NMP/100 mL. Los dos pozos que expresan los niveles más altos de *Escherichia coli* son P1 y P8, ambos en Xavier, con 23 NMP/100 mL.

Los análisis realizados en junio/2019 muestran concentraciones que van desde 1,0 NMP/100 mL hasta 579,4 NMP/100 mL para *Escherichia coli*. Más precisamente, las concentraciones de este parámetro se pueden distribuir por P17 y P18 (ambos en Montevideo) y P19 (en Ziu) que indican 1,0 NMP/100 mL; P16, en Tapuiú, tiene un contenido de 2,0 NMP/100 mL; P1, P8, P12, P15 y P10, todos en Xavier, muestran concentraciones de 7,4 NMP/100 mL, 17,3 NMP/100 mL, 58,9 NMP/100 mL, 59,1 NMP/100 mL, 71,7 NMP/100 mL, respectivamente. La mayor concentración de todos los pozos analizados es el P4, ubicado en Xavier, con 579,4 NMP/100 mL.

Los resultados fueron comprendidos en la [Figura 7](#). Cabe mencionar que las concentraciones de los pozos P16, P17, P18 y P19 no son visibles en el gráfico porque son muy bajas y van desde 1.0 NMP/100 mL a 2.0 NMP/100 mL.

Figura 7 - *Escherichia coli* en aguas subterráneas



Fuente: Silva ([2020](#)).

Los análisis microbiológicos indican que las aguas de los pozos están contaminadas por coliformes totales y fecales. Esta contaminación proviene de las fosas sépticas cercanas a los pozos y no de las instalaciones del parque eólico. Por lo tanto, es posible concluir que el agua subterránea en el área en cuestión no es apta para el consumo humano.

Las fosas sépticas y los desechos domésticos constituyen fuentes contaminantes puntuales bastante presentes en el área de estudio que comprometen la potabilidad de las aguas subterráneas destinadas al consumo humano.

Por lo tanto, existe la necesidad de monitorear las aguas subterráneas de la comunidad de Xavier y su entorno, así como la concientización de la propia población en el cuidado del agua consumida, el mantenimiento de la higiene en sus actividades cotidianas, así como las acciones del ayuntamiento en la implementación de un sistema de saneamiento básico suficiente y eficaz para brindar una mejor calidad de vida y proteger la salud de los habitantes.

Conclusiones

De acuerdo con la metodología de diagnóstico de vulnerabilidad del acuífero, fue posible observar que las comunidades de Xavier y Barrinha presentaron un alto grado de vulnerabilidad. Esto se explica por el hecho de que esta zona se encuentra en sedimentos arenosos (dunas) donde el nivel del agua se encuentra cerca de la superficie (1,2 a 2,8 metros de profundidad). Mientras que en el sur del distrito de Amarelas (sede), donde se ubican las comunidades de Ziu, Tapuí y Montevideo presentaron un índice de vulnerabilidad medio. Esta área se caracteriza por areniscas arcillosas con lechos conglomeráticos, con intercalaciones de niveles más o menos permeables y se encuentra predominantemente sobre la Formación Barreiras.

Según la clasificación iónica de las muestras subterráneas, se aprecia el predominio de las aguas bicarbonatadas (70%) y magnésicas (60%). En cuanto a la calidad del agua en el área de investigación, se puede observar que todas las muestras presentaron concentraciones de coliformes totales y fecales. Esta contaminación proviene de las fosas sépticas cercanas a los pozos, por lo que no son aptas para el consumo humano.

Se pudo percibir, durante la lectura del Informe Ambiental Simplificado (IAS) del parque eólico, que los análisis ambientales realizados para solicitar las licencias ambientales fueron insuficientes, ya que el parque se construyó en una zona de alta inestabilidad formada por ecosistemas dunares y lacustres, con fuerte presencia de nivel freático poco profundo, además de estar catalogada como área de protección permanente. Así, se sugiere realizar futuros estudios para analizar los efectos de la vibración de los aerogeneradores sobre las dunas y acuíferos, ante la ausencia de esta información en el IAS.

Además, se sugiere realizar un análisis de la vulnerabilidad de los acuíferos durante la elaboración de los estudios de impacto ambiental (EIA) en futuros emprendimientos, con la metodología propuesta en este capítulo y ampliada en la disertación de maestría de Silva (2020). Es fundamental que haya un seguimiento posterior a la implementación del parque eólico para que, luego de la construcción de las estructuras, se evalúen los efectos de las intervenciones.

Finalmente, se destaca que los impactos acumulativos derivados de la implementación de nuevos parques eólicos en campos de dunas pueden conducir al confinamiento de acuíferos, produciendo relaciones ambientales negativas que afectan en gran medida a las comunidades pesqueras artesanales cercanas a las áreas de influencia de estos emprendimientos.

Agradecimientos

Agradecemos a los proyectos CAPES PGPSE Proc por su financiamiento. 88887.123947/2016-00: Sistemas Ambientales Costeros y ocupación económica del Nordeste; CAPES PRINT Proc. 88887.312019/2018-00: *Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate change*; PRONEM/CAPES/FUNCAP, “Análisis socioambiental de la implantación de parques eólicos en el Nordeste: perspectivas para la sustentabilidad de la generación de energía renovable en Brasil” (Proceso PNE-0112-00068.01.00/16) y el CNPq/ Nexus I proc. n.º 441489/2017-6, “Tecnologías sociales y acciones integradas de sustentabilidad para garantizar la seguridad hídrica, energética y alimentaria a nivel comunitario en la región semiárida de Ceará”.

Referencias

- BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J. S.; LOUREIRO, C.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V.; FREITAS, A. L. R.; OLIVEIRA, R. F. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 62-71, 2017.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**. Versão 9.2. Redlands: ESRI, 2006.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. Lima: WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, 1988.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D’ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: Servemar, 2006.
- GORAYEB, A.; MENDES, J. S.; MEIRELES, A. J. A.; BRANNSTROM, C.; SILVA, E. V.; FREITAS, A. L. R. Wind-energy development causes social impacts in coastal Ceará state, Brazil: the case of the Xavier Community. The Case of the Xavier Community. **Journal of Coastal Research**, v. 75, n. 1, p. 383-387, 2016.

- GOMES, M. C. R.; GORAYEB, A.; SOUZA, D. B.; SILVA, R. M. Analysis of the levels of alteration of aquifers caused by the installation of wind farms on dunes on the coast of Ceará, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 14, n. 6, p. 1-15, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v14n6/1980-993X-ambiagua-14-06-e2430.pdf>. Acesso em: 21 set. 2019.
- GOMES, M. C. R.; CAVALCANTE, I. N. Análise Geoquímica das Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará – Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 42-59, 2015.
- GOMES, C. R. **Qualidade das águas subterrâneas e superficiais no Campus Universitário do Pici (Fortaleza, Ceará)**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.
- HOCHSTETLER, K. **Political economies of energy transition: Wind and Solar Power in Brazil and South Africa**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil Municipal de Camocim**. Fortaleza: IPECE, 2017. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Camocim_2017.pdf. Acesso em: 25 jun. 2019.
- MANZIONE, R. L. Recarga das águas subterrâneas. *In*: MANZIONE, R. L. **Águas Subterrâneas**. Conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar. Jundiaí: Paco Editorial, 2015. p. 194.
- MEIRELES, A. J. A. Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos Campos de Dunas do nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais. **Confinns (Paris)**, v. 11, p. 1-23, 2011. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confinns/6970?lang=pt>. Acesso em: 6 out. 2018.
- MEIRELES, A. J. A.; GORAYEB, A.; LIMA, G. S.; SILVA, D. R. F. **Impactos Socioambientais da Energia Eólica no Litoral Cearense**. Análise Integrada do Litoral Cearense: Contextualização Socioambiental e Evolução dos Ambientes Costeiros. Fortaleza: FCPC, 2015.
- MOURA, P.; SABADIA, J. A. B.; CAVALCANTE, I. N. Mapeamento de vulnerabilidade dos aquíferos Dunas, Barreiras e Fissural na porção norte do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, Estado do Ceará. **Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 1, p.77-89, 2016. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/8997>. Acesso em: 31 ago. 2019.
- PEREIRA, S. **Qualidade e uso das águas subterrâneas na porção noroeste do município de Fortaleza – Ceará**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. *In*: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM; LABHID, 2008. p. 325-357.
- SILVA, R. M. **Parques eólicos, vulnerabilidade e qualidade das águas subterrâneas nas áreas do entorno da comunidade da Praia de Xavier, Camocim – CE**. 2020. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

CAPÍTULO 10

VULNERABILIDAD ENERGÉTICA Y SOCIOECONÓMICA EN LOS HOGARES DE ARGENTINA

Rodrigo Javier Duran¹

Miguel Angel Condori¹

Resumen

Se estudió la vulnerabilidad energética para el sector residencial de Argentina. Se empleó una base de microdatos provista por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, basada en el formulario extendido del censo 2010. Se ha utilizado un algoritmo de árbol de decisión para caracterizar, modelar y describir los patrones de los hogares vulnerables. A partir de la aplicación de grafos, se han estudiado la proximidad de configuraciones de estos hogares para los Departamentos de Argentina. El modelo de árbol de decisión fue evaluado a partir de la estimación de su precisión, recall, especificidad, medida F, exactitud y Kappa de Cohen. Se han identificado cuatro grandes grupos de hogares vulnerables quienes no acceden a salud, son trabajadores transitorios e informales, pertenecientes a grupos originarios, habitan viviendas con servicios básicos o insuficientes y tienen bajo acceso a tecnologías de la información y comunicación. Se concluye que los hogares energéticamente vulnerables tampoco acceden a otros derechos elementales. Se propone que las políticas energéticas para el sector residencial deben ser enfocadas en clave de políticas de desarrollo social, siendo socialmente inclusivas y ampliando el acceso a otros derechos elementales.

Palabras Clave: Vulnerabilidad energética. Árbol de decisión. Pobreza y privación. Política energética. Desarrollo social.

1 Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa), Argentina. duran.cayon@gmail.com

Introducción

La definición de políticas energéticas para el sector residencial es una temática que viene siendo elaborada desde diferentes ópticas (BRADSHAW, [2014](#); VELO GARCÍA, [2006](#)). Existe un fuerte reconocimiento de la relación entre el acceso a la energía y otros derechos elementales que hacen a la calidad de vida, tales como vivienda, trabajo, educación y salud (COTTRELL, [2009](#); OMER, [2008](#)). Actualmente los aportes sobre la planificación del recurso energético han incorporado enfoques y metodologías de análisis tradicionalmente vinculadas a los estudios sociales y de territorio, tales como pobreza, desigualdad y privación (ALLCOTT *et al.*, [2014](#); GONZÁLEZ-EGUINO, [2015](#)). Los trabajos que abordan temáticas vinculadas a la pobreza energética, privación energética o vulnerabilidad energética (BOUZAROVSKI; PETROVA, [2015](#); BOUZAROVSKI *et al.*, [2012](#)) proponen una perspectiva de análisis de la planificación energética mediante un posicionamiento ético, en el que la justicia social cobra relevancia para la praxis política.

Vale destacar los aportes que brinda el debate respecto del reconocimiento del acceso a la energía como derecho humano (BRADBROOK; GARDAM, [2006](#)), ya que más allá del planteamiento de la gratuidad del acceso, permiten reflexionar sobre el lugar del mercado energético y la comercialización de la energía. El planteo sobre el acceso a la energía como derecho humano repercute sobre la definición de las políticas energéticas y dota de otro sentido a la discusión sobre la capacidad del Estado para gestionar y decidir sobre sus recursos energéticos, acercando estas políticas al desarrollo y la economía social (MOLINA RUIZ, [2017](#)). Esto implica que la responsabilidad de decisión sobre la gestión de los recursos energéticos sea de los países y no de las empresas que los comercializan (RECALDE, [2011](#)).

Una serie de acontecimientos político-económicos llevó a Argentina a pasar de ser exportador de gas natural en los 90's, a depender de las importaciones en 2011 (KOZULJ, [2005](#)). La privatización del sector energético durante los noventa (ABELES *et al.*, [1999](#); BASUALDO *et al.*, [2002](#)), el traslado de las decisiones energéticas al sector privado (RECALDE, [2011](#)), la pesificación de los costos residenciales por la crisis institucional política y económica del año 2001, la desinversión en el sistema energético y exportación de las reservas (CHUN, [2017](#); GÓMEZ SÁNCHEZ, [2017](#)), el aumento del consumo energético industrial y residencial desde el año 2003 al 2014 (GASTIARENA *et al.*, [2017](#)), entre otros hechos, llevaron a un sistema energético deficitario cuyos máximos valores se observaron entre los años 2011 a 2016, cuando se destinó hasta un 3,5% del Producto Bruto Interno al pago de subsidios para el consumo energético (KOZULJ, [2015](#)). Posteriormente, desde el año 2017 al 2019 la reducción del subsidio al consumo energético residencial mantuvo estos valores en el 1,3%.

A finales de 2015, el presidente Mauricio Macri decreta el estado de emergencia energética para Argentina. El principal efecto que tuvo esta medida fue la quita de los subsidios al consumo de energía. Esto implicó el aumento de las tarifas, que, en el periodo de su mandato (diciembre 2015 a diciembre 2019) fueron de más del 1000% para los energéticos residenciales (TESSMER *et al.*, [2017](#); WYCZYKIER, [2018](#)). La quita de subsidio se efectiviza en febrero de 2016 y recién en noviembre se define una “tarifa social” que se ocupa del acceso a la energía en hogares vulnerables y que se mantuvo desde entonces. Los cambios en materia de políticas energéticas con miras al sector residencial que se efectuaron desde el año 2016 han ampliado los niveles de pobreza energética (en adelante, PE) urbana en un contexto de ampliación de la tasa de desempleo, pobreza, inflación y de retracción de la industria y la micro y macro economía (FERNÁNDEZ, [2017](#); NEFFA, [2018](#); TISCORNIA, [2019](#)). Desde finales de 2016 hasta finales de 2019 se acumuló un aumento del índice de precios al consumidor (IPC) de 300,6%, se estimó un 35,5% de incidencia de pobreza sobre la población urbana (INDEC, [2020](#)) y 8,9% de desempleo (INDEC, [2020](#)). Es importante, entonces, poner en cuestión el estado de vulnerabilidad relativa de la población con respecto al cambio de las políticas de desarrollo energético. Los aspectos de vulnerabilidad (PERONA *et al.*, [2001](#)) constituyen un proceso que cobra forma a partir de la existencia de relaciones y manejo desigual de capital económico, simbólico y social, que se materializa a partir del impacto que ejerce una externalidad sobre la situación de vida de un grupo humano, afectándolo de manera diferencial de acuerdo a la posición que ocupe en el espacio simbólico y económico. El concepto de vulnerabilidad es propuesto como un continuo, que permite analizar la situación de un grupo humano vinculando los conceptos de cohesión y exclusión social (CHAN *et al.*, [2006](#); OXOBY, [2009](#)), carencia relativa y exclusión del acceso a un derecho elemental. El concepto de vulnerabilidad se utiliza en trabajos de ecología, geografía humana y ambiente para analizar y brindar prospectivas ante posibles eventos naturales perjudiciales (BROOKS, [2003](#); CUTTER, [1996](#)).

El modelo de desarrollo argentino demarca una fuerte dependencia del interior productivo con el puerto de Buenos Aires, lo que ha favorecido la centralización de la producción de materias primas y ha implicado una fuerte desigualdad con respecto al desarrollo económico y el acceso a derechos básicos de una gran parte de la población del norte argentino. Esta región, caracterizada como “Norte Grande”, presenta los mayores niveles de pobreza estructural del país. Este trabajo tiene como objetivo identificar y estudiar cómo se componen los hogares que son vulnerables a los cambios de política energética para el sector residencial. Forma parte de un conjunto de aportes en las áreas de vulnerabilidad energética, justicia social y pobreza energética (BOUZAROVSKI *et al.*, [2014](#); BOUZAROVSKI *et al.*, [2017](#); CARRIZO; CARRE, [2014](#); CASTAÑO-ROSA, [2018](#); DAY; WALKER, [2013](#)). Este trabajo es también un aporte a la definición de indicadores de vulnerabilidad basados en datos censales

para Argentina (PAOLASSO *et al.*, [2011](#); PERONA *et al.*, [2001](#); PRIETO, [2016](#)). Se describe un enfoque metodológico novedoso basado en métodos de análisis de grandes datos, lo que contribuye a una segmentación más precisa de las características de la población vulnerable y permite brindar información para la definición de políticas focales que actúen en el territorio. Para lograr este objetivo se propone un doble análisis, por un lado, a nivel de los Departamentos de Argentina y por el otro, a nivel de los hogares. Se describen las distintas configuraciones que adquiere la situación de vulnerabilidad de los hogares argentinos a partir de la identificación de características que son similares o equivalentes. Se utilizó a nivel de hogares la metodología de árbol de decisión y, a nivel de departamentos, la visualización de grafos. Se espera que la información obtenida sea útil para la definición de políticas de desarrollo social y energético adecuadas a la población vulnerable.

Metodología

Índice de vulnerabilidad energética

Se utilizó la base de datos del INDEC, basada en el formulario ampliado del CNPHV 2010. Si bien el censo fue realizado en un contexto socioeconómico diferente al actual, los indicadores y variables utilizadas corresponden a características estructurales de la población, por lo que su comportamiento no es estacional. Los mapas han sido elaborados mediante la utilización de QGIS, a partir de una base de datos geográfica para Departamentos de Argentina suministrada por el Instituto Geográfico Nacional. Las variables e indicadores escogidos en la elaboración del índice ([Cuadro 1](#)) reflejan distintas dimensiones de la situación de vulnerabilidad energética y estructural que atraviesa un hogar.

Cuadro 1 - Dimensiones y variables del Índice de Vulnerabilidad Energética (IVE)

DIMENSIÓN	INDICADOR	VARIABLES	BIBLIOGRAFÍA
Confort térmico y hogar térmicamente ineficiente	Viviendas con al menos dos de las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> - Piso de tierra o ladrillo suelto - Pared de madera, chapa palma o paja sin adobe - Pared sin revestimiento externo - Techo sin cielorraso - Techo de chapa (en cualquiera de sus formas) caña o palma sin adobe. 	Características materiales de: <ul style="list-style-type: none"> - Piso - Pared - Revestimiento externo de pared - Revestimiento interno de techo - Revestimiento externo de techo 	(CASTAÑO-ROSA, 2018 ; ORMANDY; EZRATY, 2012 ; PETROVA, GENTILE, MÄKINEN; BOUZAROVSKI, 2013)

Acceso a electricidad	Hogares que no tienen acceso a electricidad, sea por red o cualquier otra forma.	Acceso a electricidad. - Por red - Autoprovisión (Diesel o renovable)	(DAY; WALKER 2013; KANAGAWA; NAKATA 2008; PACHAURI; SPRENG, 2004)
Acceso a gas	Hogar que no acceden a fuentes de gas, sea por red o garrafa.	Combustible utilizado para cocinar: - Gas envasado - Gas Natural por red	
Educación	Jefe de hogar cuyo máximo nivel educativo es: - Primario completo - Primario incompleto - Inicial - Nunca asistió	Máximo nivel educativo	(KEMMLER; SPRENG, 2007; THOMSON, BOUZAROVSKI,; SNELL, 2017)
Trabajo	Jefe de hogar cuya condición de actividad es desocupado o que son empleados, pero no realizan ni reciben aportes.	Condición de actividad Realiza aportes jubilatorios	

Fuente: Autoría propia.

Se evaluó la validez interna del índice a partir de la capacidad de los indicadores a conformar factores, por lo que se procedió a realizar un análisis de factores principales (MCDONALD, 1970) mediante la aplicación del software estadístico SPSS. La prueba de adecuación Kaser Meyer Olkim muestra un valor aceptable de 73% (HUTCHESON; SOFRONIOU, 1999). La extracción fue realizada mediante rotación de Varimax con normalización de Kaiser. Se obtuvieron dos factores bien constituidos: uno, que integra las variables de acceso a gas y electricidad y otro que pone en relación las características térmicas de la vivienda, ocupacionales y educativas del jefe de hogar. El primero, describe la exclusión de hogares con respecto al sistema energético, que son los más vulnerables (CASTEL, 1995). El segundo factor remite al nivel socioeconómico del hogar y de confort térmico; conceptualmente, permite revisar la capacidad de privación material de los hogares para atravesar el cambio de política energética en términos de su vulnerabilidad. Por otro lado, el indicador cuenta con muy pocos casos faltantes, solamente el 0,5% de los casos analizados presentan no respuestas para alguna de las variables estimadas.

Si bien cada una de estas dimensiones puede ser conceptualizada como parte de una misma problemática socio-energética, cada dimensión actúa de diferente manera sobre la población vulnerable. De allí que, en lugar de definir un índice sintético a partir del reescalado de los valores de los factores principales (LANGLOIS;

KITCHEN, 2001), se optó por mantener las dimensiones que lo integran de manera independiente. Esta decisión permite crear vectores y matrices con los valores de las cinco variables que posteriormente servirán para la comparación de la composición e intensidad con que actúa la vulnerabilidad energética en los hogares y Departamentos de Argentina.

Definimos un hogar como energéticamente vulnerable a partir del cumplimiento de 3 o más de las condiciones enunciadas en la Tabla 1. Esto implica que los hogares considerados pueden estar excluidos del sistema energético y además mantienen una de las condiciones del segundo factor, o están comprendidos exclusivamente en el segundo factor, lo que implica que mantienen características de vulnerabilidad socioeconómica y de eficiencia térmica.

Estudio de composición de vulnerabilidad en hogares y Departamentos de Argentina

En este trabajo se describieron los conjuntos de datos de hogares a partir de la aplicación de un modelo predictivo llamado árbol de decisión. Esta técnica, al revisar el conjunto de valores de un grupo de variables a partir del cumplimiento de una condición, permite agruparlas según sus valores y en términos de la probabilidad de ocurrencia de esta condición. Al enfocarse sobre la condición y no sobre los conjuntos de valores del grupo de variables, como sucede con las técnicas de clusterización, permite brindar un detalle más fino para el análisis de su cumplimiento. El empleo de grafos para la visualización de las características de Departamentos permite la definición de conjuntos a partir del cumplimiento de valores pre-establecidos, lo que es útil para definir rápidamente un conjunto de Departamentos con problemáticas similares.

En primer lugar, se estimaron los indicadores ya descriptos como porcentajes del total de hogares para el Departamento en que está situado. Luego, se estandarizaron estos indicadores y se dividió la distribución de sus valores en quintiles de dos maneras: 1 – con respecto a los valores de esa variable para todos los Departamentos y 2 – con respecto a los valores de las otras variables para un mismo Departamento. Estos procedimientos son útiles para identificar las características que se destacan en cada Departamento y su composición, de manera relativa.

En segundo lugar, se creó, para cada Departamento, un vector cuyos valores corresponden al número de quintil para cada variable. De esta manera, por ejemplo, un vector con la forma [5, 5, 4, 3, 3] representa a un Departamento situado en el quinto quintil para las variables relativas a la falta de acceso a gas y electricidad, cuarto quintil para la tasa de viviendas térmicamente ineficientes, y tercer quintil para las variables desempleo o trabajo no registrado y máximo nivel educativo primario completo. A partir de la vectorización de los valores es posible definir conjuntos de

Departamentos con configuraciones similares o equivalentes. Para ello, se construyó una matriz en la que las columnas son las variables, las filas son los Departamentos y los valores corresponden al número de quintil para cada variable. La matriz permite la comparación entre los distintos vectores y los grafos permiten visualizar, a partir de su notación matemática, la forma en que se relaciona un conjunto de elementos (MENÉDEZ, 1998).

En tercer lugar, se procedió a transformar las matrices de valores en matrices adyacentes, que indican cuál es el sentido de la vinculación entre los elementos, al mismo tiempo que define su agrupación. Se construyeron dos matrices adyacentes, las cuales contienen la estructura del grafo, una para comparar valores entre todos los Departamentos y otra empleada para comparar los valores de las variables con respecto al mismo Departamento. Las estructuras de las matrices adyacentes, que marcan el grado de cercanía o lejanía entre Departamentos, fueron elaboradas a partir del promedio de valores del vector para la comparación entre todos los Departamentos y, por otro lado, para comparar valores hacia el interior de cada Departamento, se empleó una estructura en capas, de acuerdo a la distribución de los valores máximos de cada vector. En el nivel más externo se encuentran agrupados aquellos que comparten exactamente la misma configuración y que tienen valores máximos para una o más variables. El siguiente nivel agrupa a los conjuntos con configuración interna idéntica a partir de la segunda característica con mayor valor; este nivel es vinculado a un tercero, que agrupa a los dos primeros de acuerdo a la tercera característica con mayor valor, y así hasta el quinto. Como resultado, se observa una configuración de ramas interconectadas, que en su parte externa engloba Departamentos que tienen exactamente la misma configuración, y que hacia adentro están relacionados con otros, con los que comparte aspectos de segundo orden, tercero, cuarto y finalmente, quinto. Por último, se empleó el software Visone para visualizar los grafos.

El estudio de composición de hogares vulnerables, 3 o más de las características descriptas, se realizó también mediante árbol de decisión (MYLES *et al.*, 2004). Un árbol de decisión categoriza la probabilidad de que se cumpla una condición a partir de la matriz de valores de otras variables. Permite conocer al nivel de hogar cuáles son los valores más probables que adquieren las variables del censo que no integran el índice de vulnerabilidad para que un hogar sea energéticamente vulnerable. El algoritmo evalúa los valores de las variables de acuerdo a la ocurrencia de una condición conocida y ya estimada, en este caso que el hogar sea vulnerable. El algoritmo evalúa la probabilidad de que, dada esa condición, las variables adquieran un valor conocido. A medida que acumula un mayor número de casos, define con más precisión las probabilidades y va “aprendiendo”, lo que permite pronosticar valores futuros a partir de las probabilidades conocidas y también, validar el modelo contrastando el cumplimiento de los casos con un lote de datos que ya fueron estimados.

Se utilizó el software KNIME (BERTHOLD *et al.*, 2009), un software gratuito y de licencia libre para minería de datos. El algoritmo utilizado por KNIME corresponde al de Quinlan (SALZBERG, 1994) y la implementación a KNIME forma parte del paquete SPRINT (SHAFER *et al.*, 1996). KNIME provee de un entorno gráfico en el cual el usuario sitúa a los algoritmos, que son dispuestos en forma de cajas de colores. La relación entre los algoritmos está determinada a la manera de un circuito a partir de la conexión entre estas cajas por medio de flechas que indican su orden de ejecución. Las funciones del algoritmo de KNIME son las siguientes: primero lee la base de datos provista por INDEC, luego aísla aquellas variables que están relacionadas con las dimensiones evaluadas en el indicador. Sobre esta nueva base de datos, resalta en colores aquellos casos que cumplen con tres o más condiciones (IVE). Posteriormente, se ha separado esta base de datos en dos partes eligiendo casos al azar, la primera parte integrada por el 80% de los casos mientras que la segunda por el 20% restante. Esta división se realiza con el fin de aplicar el algoritmo de aprendizaje de modelo de árbol de decisión al 80%, para poder evaluar con el 20% restante la precisión de la estimación realizada a partir del modelo. Se ha utilizado un algoritmo de impureza de Gini para establecer la relación entre los valores que toma la variable y los subconjuntos de valores formados a partir de las demás variables. El modelo creado por el algoritmo de árbol de decisión es posteriormente retomado por el algoritmo de predicción, que aplica el modelo al 20% de datos restantes; este algoritmo crea una nueva columna de datos, cuyo contenido predice para cada hogar si éste será o no altamente vulnerable, lo cual permite comparar el algoritmo de evaluación (scorer) si los casos predichos corresponden con casos reales.

La evaluación del modelo, a partir de las medidas de precisión, recall, especificidad y Medida F, ayudan a estimar cuán certera ha sido su predicción. “Precisión” refiere a la relación entre el total de veces que el modelo acertó con respecto al total de hipótesis que propuso. “Recall”, por otra parte, relaciona el total de veces que el modelo predijo que el evento iba a suceder contra el total de veces que efectivamente sucedió. “Especificidad” evalúa la cantidad de veces que el modelo propuso que el resultado sería negativo (que no se cumpliría la condición) contra el total de veces que realmente no se cumplió. La medida F relaciona la precisión y el recall calculando la media armónica entre ambos coeficientes. Finalmente, el coeficiente Kappa de Cohen brinda una medida de concordancia entre dos series de datos teniendo en cuenta el efecto del azar. El circuito cierra a partir de la aplicación de los algoritmos de extracción de la imagen del árbol de clasificación y extracción del modelo. En el [Cuadro 2](#) se observa que el modelo estima bien aquellos casos en que los hogares tendrán tres o menos características de vulnerabilidad. Los valores evaluados indican que la predicción para aquellos casos en que se observan más de tres características resulta buena, si bien no es sobresaliente. Las medidas globales refieren a un grado de exactitud alto y un coeficiente Kappa de Cohen de concordancia moderada.

Cuadro 2 - Resultados de validación del modelo

CARACTERÍSTICAS	PRECISIÓN	RECALL	ESPECIFICIDAD	MEJORA F	EXACTITUD	KAPPA DE COHEN
Tres o mas	0,6830	0,7057	0,9611	0,6785	0,8956	0,4226
Tres o menos	0,9235	0,9611	0,4057	0,9419		

Fuente: Autoría propia.

Resultados

Índice de vulnerabilidad energética y sus indicadores

La eficiencia térmica de las viviendas se ha descrito a partir de la presencia de características materiales utilizadas como indicativas, que han sido definidas en la Tabla 1. Una vivienda tiene mayor eficiencia térmica mientras reduzca al mínimo las pérdidas de este tipo. A partir del análisis del indicador de confort térmico definido en la Tabla 1 se observa que, en Argentina, el 28% de los hogares no presenta alguna deficiencia térmica en su construcción, el 42% presenta sólo una, y el 28.4% mantiene dos o más.

Las Figuras 1 y 2 exponen la situación térmica de los hogares en los distintos Departamentos de Argentina. En el mapa de la izquierda se expone la distribución de valores de hogares con más de dos características térmicas deficitarias en quintiles, en el de la derecha se indica cuántas características térmicas tienen mayormente los hogares. Argentina presenta una amplia variedad de climas y temperaturas medias anuales. Según las diferentes regiones geográficas, desde el extremo sur hacia el centro del país; la Patagonia mantiene temperaturas medias entre los 2°C y 12°C en invierno, por lo que cabe esperar que las viviendas de esta región estén, en general, mejor acondicionadas; lo que se constata en la [Figura 2](#), en donde se observa que la mayor parte de las viviendas de esa región presentan como máximo una característica de ineficiencia térmica. En el centro del país, la región en donde se concentra la producción de materias primas, las temperaturas medias varían entre los 12°C y 18°C; sobre todo en el área rural de Buenos Aires, Córdoba, La Pampa y Santa Fe se

observan los mejores valores de eficiencia térmica para las viviendas de Argentina. La región noroeste del país cuenta con la más amplia variedad climática, con temperaturas medias que van desde los 4°C en las zonas de altura cercanas a la Cordillera de los Andes y, desde los 16°C a más de 22°C, a medida que se extiende hacia el este. Esta región, junto con la noreste, que presenta temperaturas medias mayores a 20°C, mantiene los más altos valores de pobreza estructural, privación relativa y concentra a la mayor parte de la población originaria. Tanto el aspecto ambiental como el de privación material repercute en las características materiales de las viviendas, por lo que cabe esperar que la mayor proporción de viviendas térmicamente ineficientes se sitúen en estas regiones, lo que se constata en la [Figura 1](#).

Figura 1 - Departamentos según ineficiencia térmica de las viviendas. Distribución en quintiles

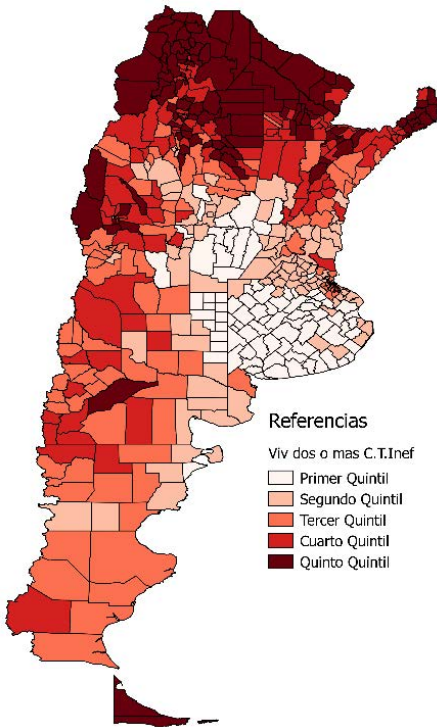
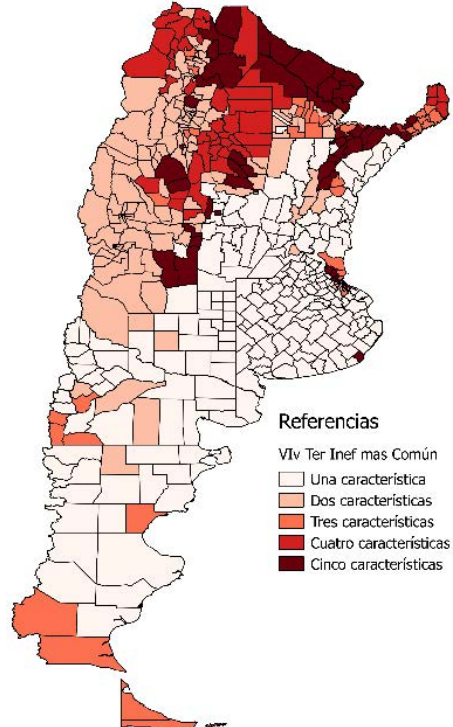


Figura 2 - Departamentos según cantidad de características térmicas ineficientes de sus viviendas



Fuente: Autoría propia.

El acceso a los energéticos residenciales también es desigual en Argentina. Las Figuras 3 y 4 exhiben la distribución de Departamentos según hogares sin acceso a gas y electricidad en quintiles, en ambos casos destaca el norte argentino. Esto

resulta esperable, dado que el entramado de conexión de gas no llega al noreste y la red eléctrica tampoco es accesible a la población rural de estos Departamentos. El indicador estima el acceso a gas y electricidad en cualquiera de sus formas, sea por red, gas envasado, o por auto-provisión de electricidad mediante equipos diesel o de energías renovables. La población de las provincias de esta región, que presenta una importante proporción rural (14% al 30%). Debido a su buen recurso solar, se ha motivado la aplicación de distintos proyectos de electrificación rural, tal como el Proyecto de Electrificación de Mercados Eléctricos Rurales (PERMER), que ha sido focalizado, sobre todo, en escuelas y salas de atención primaria de la salud, por lo que su impacto sobre la población rural se vio limitado.

Son numerosas las dificultades que tiene la población rural para acceder a los combustibles tradicionales. Las mayores distancias recorridas y la precariedad de los caminos implican un mayor costo de distribución. En hogares dispersos y auto-reconocidos como población originaria, se le debe sumar las dificultades para conseguir dinero.

Figura 3 - Departamentos según hogares sin acceso a electricidad en cualquiera de sus formas

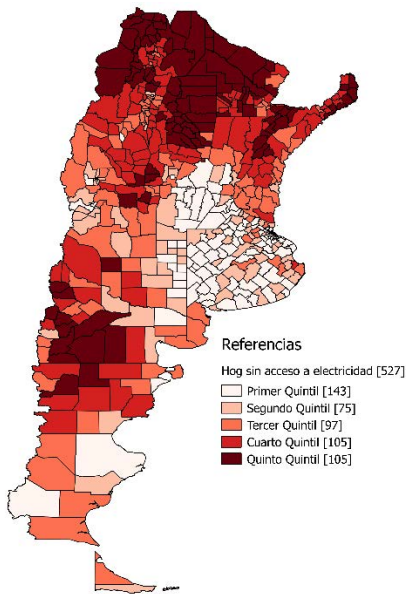
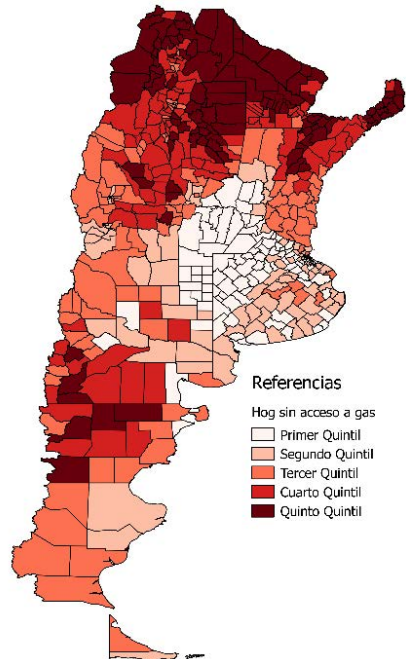


Figura 4 - Departamentos según hogares sin acceso a gas en cualquiera de sus formas



Fuente: Autoría propia.

La situación educativa y laboral de los jefes de hogar se expone en las Figuras 5 y 6, en donde el norte argentino es la zona más privada. A nivel nacional se observa que, para las zonas rurales, el 54% de la población mayor de 14 años tiene como máximo nivel educativo (MNE) hasta primario completo. Este valor aumenta al contar solo con la población situada en el espacio rural disperso, resultando en un 69% de los mayores de 14 años, mientras que para el espacio urbano es del 35%. Si se considera únicamente la población del Noroeste, los valores son mayores, resultando en 59% para el espacio rural, 75% para el rural disperso y 37% para el urbano.

La cuestión del acceso al trabajo y su calidad está atravesada por las mismas diferencias observadas anteriormente entre los espacios rurales y el urbano para el marco educativo. El 35% de la población entre 14 a 18 años situada en el espacio rural disperso se encuentra activa, lo que a su vez se relaciona con el componente familiar de la labor rural y la participación de niños. Estos valores son mayores en las zonas del norte con componente rural, siendo superiores al 50% en algunos casos. Estas diferencias también señalan formas específicas de pobreza estructural y vulnerabilidad social que operan en el país diferenciándose, nuevamente, el centro productivo y, en especial, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Figura 5 - Departamentos según jefes de hogar desocupados o trabajadores no registrados

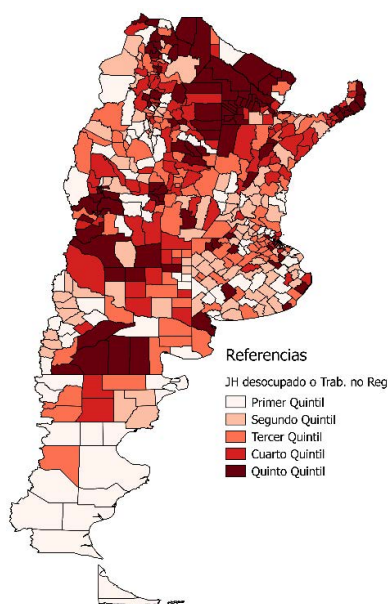
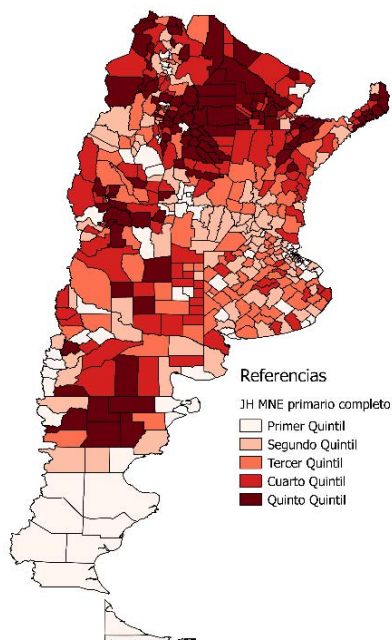


Figura 6 - Departamentos según jefes de hogar con máximo nivel educativo primario completo



Fuente: Autoría propia.

Los hogares cuya composición remite a una alta vulnerabilidad, al cumplir con tres de las cinco condiciones, representan casos en los que tanto los aspectos socioeconómicos como los relativos al acceso a derechos elementales son vulnerados. Son hogares en donde existe al menos un aspecto de exclusión al acceso del derecho (no acceden, al menos, a una fuente energética) o de clara vulnerabilidad socioeconómica (presentan características asociadas a la pobreza estructural o nivel socioeconómico bajo). Este grupo de hogares representa al 11,78% de los hogares argentinos y representa a su vez, al 40% de los hogares rurales dispersos, un 16% de los rurales agrupados y un 9% de los urbanos. Las Figuras 7 y 8 indican la distribución de Departamentos según hogares altamente vulnerables. En el primer caso, se utilizó una distribución en intervalos naturales o de Jenks (Jenks, 1967), que permite apreciar mejor los cambios en la variabilidad. Los Departamentos del norte de Argentina y principalmente el de Rivadavia en la provincia de Salta, presentan los mayores valores, con un 72% de hogares vulnerables. En Departamento de San Pedro en la provincia de Misiones mantiene valores similares, con un 71% de hogares vulnerables. En la zona centro y sur del país se observan los menores valores del indicador de vulnerabilidad, pero la provincia de Río Negro presenta los mayores valores (entre 18% y 40%). El Departamento de Ñorquincó posee un 58% de hogares vulnerables. En la Figura 8, se expone cuál de estas dimensiones es la que está más presente en el total de hogares vulnerables, lo que permite ubicar cuál dimensión de la problemática es la más urgente y, además, comparar estas características entre las distintas regiones del país.

Figura 7 - Porcentaje de hogares con tres o más características IVE

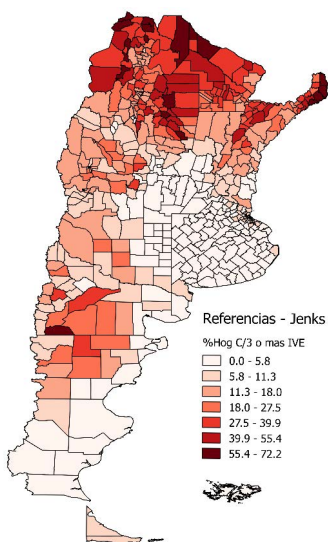
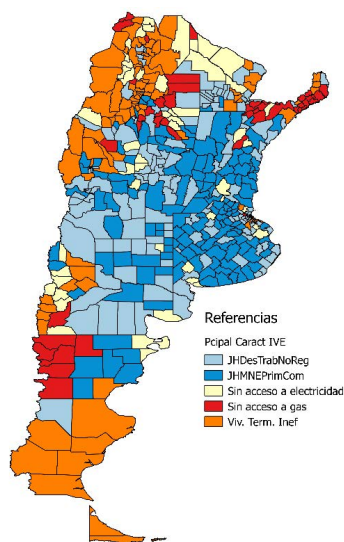


Figura 8 - Principal Característica vulnerable por departamento



Fuente: Autoría propia.

A partir de este análisis se evidencia que, en primer lugar, en aquellos Departamentos integrados en una mayor parte por población urbana, excepto en los cordones urbanos de pobreza estructural, la principal característica corresponde con aspectos relacionados a un nivel educativo bajo y trabajo precario, lo que implica que el acceso a los energéticos y a las viviendas sin graves problemas de eficiencia térmica está generalizado. En segundo lugar, en las áreas urbanas periféricas, y en aquellos espacios que se constituyen como destino de la población rural y pobres desplazados del interior del país, se identifica con una mayor intensidad la dimensión relacionada con viviendas con materiales térmicamente ineficientes, precarios y poco sólidos. En tercer lugar, los Departamentos con fuerte concentración de población originaria y rural presentan problemas estructurales que están sostenidos en la falta de acceso a derechos básicos y que implican desarrollos desiguales en cuanto a la calidad de vida y que se identifican, con mayor intensidad, en la falta de acceso a energéticos residenciales y viviendas térmicamente ineficientes. En cuarto lugar, teniendo en cuenta las regiones geográficas del país, se identifican características principales comunes entre distintos Departamentos, las regiones centro y sur presentan mayores valores en las dimensiones socioeconómicas (acceso a trabajo y educación), mientras que las regiones noroeste y noreste, que nuclea a la mayor parte de la población originaria, exponen los mayores valores de falta de acceso a viviendas térmicamente eficientes y energéticos residenciales. Finalmente, en los Departamentos en los que se observan altos valores de vulnerabilidad, la principal característica está vinculada a la falta de acceso a energéticos residenciales.

A partir de la definición, para cada Departamento, de un vector cuyos valores se corresponden con el número de quintil que presenta para cada variable, se empleó el software Visone, para graficar los conjuntos de Departamentos con composiciones similares como grafos, lo que permite ordenar los niveles de proximidad de los distintos vectores. Como resultado se han presentado cinco grandes aglomeraciones.

El primer conjunto de Departamentos asocia principalmente tres características como prioritarias: falta de acceso a electricidad, viviendas térmicamente ineficientes y altos niveles de desempleo. Estas características son secundadas por bajos niveles educativos y están situadas principalmente en las regiones del noroeste y noreste de Argentina. Una segunda aglomeración relaciona el bajo nivel educativo con viviendas térmicamente ineficientes y engloba principalmente departamentos de la región Buenos Aires, Centro y Patagonia, estando representada, principalmente por la población rural de estos espacios. Una tercera aglomeración, relacionada con la segunda, asocia problemáticas vinculadas al empleo y hogares térmicamente ineficientes; estando centralizada, principalmente en la población urbana de los márgenes de Buenos Aires, secundada por la región noreste. La cuarta aglomeración es la más heterogénea, vincula principalmente problemáticas asociadas al nivel educativo, acceso a gas y empleo, y está integrada por Departamentos de las regiones de la Patagonia y

minoritariamente noreste y noroeste, siendo representada principalmente por población rural del centro productivo del país y, también, población urbana sin acceso a gas, en el noreste. Finalmente, una quinta aglomeración vincula principalmente al acceso a electricidad, gas y aspectos laborales y se encuentra representada mayoritariamente por Departamentos de la Patagonia y, en menor medida, del noreste del país.

Estas categorizaciones son útiles para la definición de políticas públicas que trabaje el desarrollo energético del sector residencial en clave de desarrollo social, dado que permiten visualizar problemáticas que son específicas en diferentes poblaciones del país independientemente de su ubicación regional. Para revertir los problemas de vulnerabilidad energética es importante tener en cuenta que las políticas de electrificación o acceso masivo a la energía deben estar integradas con otras políticas de desarrollo social.

Estudio de composición de vulnerabilidad en hogares. Árbol de decisión

A partir de la aplicación de métodos de tratamiento de grandes datos, es posible revisar la relación que mantiene cada uno de los hogares vulnerables del país con respecto al resto de las variables listadas en el censo. Los 525.000 hogares vulnerables se relacionaron con otras variables vinculadas a las dimensiones de salud, acceso y capacidad de utilización de tecnologías de la comunicación e información, pertenencia a un pueblo originario y ramas de la ocupación principal del jefe de hogar.

En el caso analizado, cuyos principales resultados se observan en el Cuadro 3, la variable principal define si el jefe de hogar dispone o no de cobertura de salud, lo que permite dividir el total de los 525.000 hogares en dos grupos. Aquellos que no acceden a una obra social o prepaga engloban a 402.000 hogares. Asimismo, el 26% que no accede a obra social se ubica en hogares con alta vulnerabilidad. La siguiente clasificación, en función de los 402.000 casos, se ha realizado a partir del acceso a los servicios básicos de los hogares; en este sentido, se encontró que 326.000 casos tienen una condición de acceso insuficiente a servicios básicos. Esta caracterización la realiza INDEC mediante el indicador INCALSERV, que identifica el acceso del hogar a fuentes de agua y saneamiento.

Los 326.000 casos anteriormente identificados, fueron categorizados, a su vez, de acuerdo a la tenencia o no de teléfono celular. A partir de esa categorización se identifican 115.000 hogares que no poseen un teléfono celular. Este grupo está conformado por jefes de hogar que trabajan principalmente en actividades relacionadas a la agricultura, ganadería o cría de animales o como empleados en locales comerciales, empleados domésticos, en el sector de la construcción o en la reparación de vehículos. En este segundo grupo de ocupaciones (que corresponden a un 3% del total), se cuenta con la presencia de jefes de hogar pertenecientes a alguna etnia, siendo que el 79% de los hogares descendientes de población originaria son vulnerables. De los 326.000 casos, 211.000 poseen teléfono celular y 200.000 no utilizan computadora,

por lo que el uso de la tecnología se ve restringido a la comunicación, además las actividades más comunes corresponden con agricultura, ganadería, pesca, manufactura o como empleados de personal doméstico, reparación de automotores o empleados de comercios.

Un tercer grupo está comprendido por hogares con un acceso a servicios básicos y cuyos jefes de hogar no disponen de obra social; esto corresponde a los restantes 76.000 casos de los 402.000 del segundo grupo. En este grupo de 76.000 hogares, poseen teléfono celular pero no computadora; trabajan principalmente como empleados y de manera secundaria por cuenta propia.

Finalmente, un cuarto grupo, conformado por 123.000 hogares que cuentan con obra social y que en su mayoría tienen servicios básicos insuficientes, la mayor parte de los jefes de hogar utilizan computadora y se dedican, de forma minoritaria, a actividades relacionadas a la enseñanza y, de manera mayoritaria, al trabajo en comercios de venta al público y la reparación de automotores y motovehículos. Así, el total de hogares que se encuentran en una situación de vulnerabilidad alta ha sido clasificado a partir de cuatro grupos principales, definidos a partir de características de composición de los hogares.

Cuadro 3 - Hogares vulnerables según sus agrupaciones

DIMENSIONES	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4
Número de hogares	115.000	211.000	76.000	123.000
Porcentaje del total de hogares	21,9%	40,2%	14,5%	23,4%
Salud	Sin cobertura	Sin cobertura	Sin cobertura	Con cobertura
Servicios básicos	Insuficientes	Insuficientes	Básicos	Básicos
TICS	No presenta	Sólo Teléfono Celular	Sólo Teléfono Celular	Sólo Teléfono Celular
Rama de actividad	Agricultura, ganadería, caza, pesca, manufacturas o en comercios, reparación de motovehículos y automóviles	Agricultura, ganadería, manufactura, empleados domésticos o comerciales, construcción, reparación de vehículos	Comercio, construcción	Trabajadores por cuenta propia, empleados en construcción, servicio doméstico o producción agrícola
Hacinamiento	Mayor a 3 personas por cuarto	2 – 3 personas por cuarto	2 – 3 personas por cuarto	Mayor a 3 personas por cuarto
Auto- reconocimiento	Originario	Criollo	Criollo	-

Fuente: Autoría propia.

Estas agrupaciones exponen las configuraciones más comunes de la composición de los hogares con alta vulnerabilidad. Hay características que los identifican, como también aspectos que los diferencian. En tres de los cuatro grupos, los hogares no disponen de cobertura de salud y ocupan viviendas con acceso a servicios básicos insuficientes. Por otro lado, la caracterización relativa a la disposición y utilización de teléfono celular y computadora hace referencia al grado de acceso a la energía y también al nivel socioeconómico del hogar, vinculando, además, el acceso a las tecnologías de información y comunicación. Finalmente, las ocupaciones en las que se desenvuelven los jefes de hogar de todos los grupos corresponden con los trabajos que han sido englobados como trabajo manual sin especialización, excepto en el caso de aquéllos que trabajan en la reparación de vehículos, en cuyo caso corresponde con trabajadores manuales especializados.

Teniendo en cuenta los resultados observados a partir del análisis de Departamentos y hogares vulnerables, resulta posible establecer vínculos entre las agrupaciones detectadas. Si bien ambas unidades de análisis son diferentes, se observan configuraciones coherentes con el contenido teórico del concepto vulnerabilidad. Por otro lado, cabe destacar que las agrupaciones de Departamentos han sido elaboradas a partir de los valores de las variables integradas en el indicador, mientras que las agrupaciones de hogares están estimadas a partir de las variables censales que no están incluidas en el indicador

Como resultado, en el universo de los hogares vulnerables se observan distintas agrupaciones. En primer lugar, aquellos pertenecientes a Departamentos del norte del país, representado mayormente por hogares perteneciente a población originaria. Estos hogares, con un muy bajo acceso a derechos básicos y en estado de pobreza estructural, tradicionalmente han mantenido una economía familiar dependiente de los recursos naturales. Desde mediados de los años 90's el avance de la frontera agrícola viene profundizando las condiciones de exclusión de los pueblos originarios. La inacción del Estado, con respecto a la protección del territorio y la población indígena valida y actualiza la propuesta biopolítica foucaultiana del “hacer vivir, dejar morir” para el caso argentino. Así, el Estado llevó a cabo procesos de reordenamiento territorial que agravaron la tensa relación entre los pueblos originarios y criollos, viendo reducido su acceso a los bienes naturales necesarios para su reproducción material. La conjugación entre estos aspectos y la inacción del Estado implicó, por un lado, el aumento del número de muertes por desnutrición de niños originarios, y por otro, la dependencia de esta población con el dinero, lo que profundizó los procesos de precarización de mano de obra rural y el desplazamiento hacia los márgenes del espacio urbano.

En segundo lugar, se cuenta con dos agrupaciones de hogares, en su mayoría rurales que no son originarios, por un lado, aquellos situados en el norte del país y, por otro, aquellos del centro y sur. La primera agrupación no cuenta con el acceso generalizado a gas y electricidad, mantiene trabajos precarios en agricultura y ganadería.

Comparte la falta de acceso a derechos básicos con la población originaria, aunque se distingue de ella por un mejor posicionamiento con respecto al acceso a trabajos, lo que favorece su economía familiar. Asimismo, esta agrupación integra a los pobres estructurales de las zonas urbanas del norte del país. Por otro lado, también integra a la población rural del centro y sur del país, que está integrada mayormente por hogares pertenecientes al segundo y tercer grupo, exhibe mejores valores de acceso a derechos básicos, tales como trabajo y servicios básicos, manteniendo algunas características de privación con los otros grupos, tales como la falta de acceso a la educación y falta de cobertura médica.

Finalmente, se puede definir un grupo constituido por hogares situados en el espacio urbano y rural-urbano periférico que se concentra principalmente en la región Centro y en Buenos Aires. En general, este grupo presenta bajo nivel educativo, un buen acceso a servicios básicos, tecnologías de la comunicación, tiene algún tipo de cobertura médica y accede típicamente a trabajos como cuenta propia en la construcción, trabajo doméstico, o en la producción agrícola.

Discusión

En Argentina se cuentan antecedentes relativos a trabajos sobre pobreza con datos censales (ÁLVAREZ *et al.*, [2007](#); BECCARIA; GROISMAN, [2008](#)), entre los cuales algunos trabajan de manera directa la situación de vulnerabilidad en un marco socioeconómico. Los resultados observados a partir de la definición del índice material de privación de Álvarez *et al.* ([2007](#)), si bien fueron obtenidos a partir de datos del censo 2001, exponen coincidencias con respecto a la distribución espacial de los hogares materialmente privados y su composición sociodemográfica, la cual es espacial y socialmente diferenciada. Por otro lado, la distribución y caracterización de la situación de informalidad laboral observada en Beccaria; Groisman ([2008](#)), según datos de la Encuesta Permanente de Hogares, es compatible con la observada aquí, para aquellos Departamentos con una población urbana o mayoritariamente urbana.

Este aporte complementa y expone algunos resultados de Golovanevsky ([2007](#)), donde se define un índice de vulnerabilidad social urbano para Argentina a partir de datos de la Encuesta de Condiciones de Vida 2001, si bien los valores observados en esa publicación son mayores (algo esperable dado el contexto de toma de datos), la composición socio-demográfica de los hogares con alta vulnerabilidad es similar a la explicitada en los resultados de este trabajo, que comprende hogares con alta informalidad laboral, hacinamiento y servicios básicos insuficientes.

Si bien hay una importante producción bibliográfica que trabaja con la cuestión energética argentina y su política económica (KOZULJ, [2005](#); RECALDE, [2011](#)), no son tantos aquellos trabajos que elaboran el planteo sobre la política energética para el sector residencial desde una óptica vinculada al desarrollo social y los estudios de desigualdad. En los últimos años y muy vinculado al estudio de los efectos de las

políticas energéticas para el sector residencial impuestas en el gobierno del presidente Macri, se puede contar con aportes que discuten la cuestión de pobreza energética en términos de los costos asociados al acceso (DURÁN; CONDORÍ, 2019), la cuestión tarifaria (CHÉVEZ *et al.*, 2019), las políticas para el tratamiento de los nuevos sectores vulnerables, género (CARUANA; MÉNDEZ, 2019), ruralidad (MARTÍN *et al.*, 2020), y otros.

En particular, el enfoque empleado en los aportes de Chévez y San Juan, quienes analizan el comportamiento de consumo energético de hogares vulnerables en el marco urbano argentino, resulta un antecedente directo a esta propuesta. En diferentes trabajos, Chévez y San Juan presentan la cuestión energética residencial en clave de la composición de vulnerabilidad económica y social. Así, los resultados señalados en este trabajo son coincidentes, en cuanto a la definición de la situación de vulnerabilidad en sus diferentes dimensiones y aportan a los presentados por estos autores en sus estudios sobre la definición de subsidios dedicados a hogares energéticamente vulnerables y su eficacia, el costo del acceso a los energéticos residenciales (CHÉVEZ, MARTINI; DISCOLI, 2018) y la planificación energética de la matriz renovable para su aplicación residencial (CHÉVEZ, 2016).

Esta publicación contribuye de manera indirecta al estudio de la pobreza energética para Argentina, en particular, los resultados expuestos son correlativos a los observados en la caracterización de la población rural que es objeto del accionar del Programa de Energía Renovables para Mercados Rurales en Argentina en la publicación de Guzowski; Maidana (2020). Se han publicado trabajos que analizan los actos de resistencia y la producción de sentido de los hogares socio-económicamente vulnerables con respecto a los aumentos tarifarios desde el año 2016 (SLIMOVICH, 2017; WYCZYKIER, 2018). Estos aportes, que revisan la dimensión política, discursiva e ideológica de los hogares urbanos energética y socialmente vulnerables en relación a la adecuación tarifaria, amplían los resultados presentados en este trabajo, por lo que se espera que esta publicación también contribuya a los estudios de la problemática relativa a la población perjudicada por los cambios tarifarios.

Los resultados complementan otros observados en estudios de pobreza, privación y pobreza energética con datos censales (DURÁN; CONDORÍ, 2016). Se observan similitudes con respecto a publicaciones que tratan geográfica y territorialmente la pobreza estructural argentina (BECCARIA; GROISMAN, 2008; BOLSI *et al.*, 2005; INDEC, 2003), permitiendo ampliar y presentar con mayor precisión los planteos a partir de la aplicación de las metodologías de análisis de grandes datos. El trabajo contribuye a los nuevos estudios de pobreza a partir de la aplicación de métodos y técnicas de análisis de grandes datos y agrupamiento (HASSANI *et al.*, 2019; NJUGUNA; MCSHARRY, 2017), entre los que se cuenta con experiencias de análisis de pobreza energética y también la definición de indicadores de pobreza y vulnerabilidad.

Conclusiones

Se ha definido y estudiado en su composición un índice sintético de vulnerabilidad socioeconómica y energética para el sector residencial argentino a partir de una base de micro datos basada en el cuestionario ampliado del censo nacional 2010. Los hogares vulnerables representan al 11,78% del total de hogares del país, agrupando, a su vez, al 40% de los hogares rurales dispersos, el 16% de los rurales agrupados y un 9% de los urbanos. Su amplia extensión rural expone las fuertes diferencias entre este espacio y el urbano, con respecto a la falta de acceso a los energéticos residenciales y el bajo acceso a la educación formal y el trabajo de calidad.

Contar con una base de microdatos específica para el abordaje de este trabajo ha permitido realizar distintos análisis que dan cuenta de las dimensiones de la vulnerabilidad socio-energética de los hogares argentinos. Así permite, entre otras cosas, una descripción general de la eficiencia térmica de las viviendas argentinas a partir de sus materiales constructivos. De allí se observa que, en general, la zona centro y sur presenta una menor distribución de viviendas térmicamente ineficientes, con algunas excepciones como la del Departamento de Ñorquincó en Río Negro. Por otro lado, se evidencian, a nivel regional y entre el espacio urbano y rural, profundas desigualdades con respecto al acceso a derechos básicos, tales como educación, trabajo y acceso a energéticos residenciales. En general, el espacio rural del norte del país, y en especial la población rural dispersa del noroeste, exhibe la peor situación, con hasta un 75% de la población mayor de 14 años con máximo nivel educativo primario completo y, al mismo tiempo, tasas de actividad mayores al 50% para población de 14 a 18 años. De igual manera, la falta de acceso a los energéticos residenciales en el norte, y sobre todo en el noreste, es algo que se sostiene históricamente, ya que esta región no cuenta con acceso a gas de red y la línea de interconectado eléctrico no abarca el espacio rural disperso.

Se ha abordado el análisis de la situación de vulnerabilidad mediante un doble enfoque, por un lado, para Departamentos, en términos de las dimensiones que constituyen el índice de vulnerabilidad y, por otro lado, a nivel de hogares, con relación a los valores de las variables evaluadas en el censo. Los métodos empleados permitieron agrupar Departamentos y hogares con características de vulnerabilidad similares en cuanto a la intensidad que adquieren sus dimensiones. Este doble análisis ha permitido describir cinco agrupaciones de Departamentos que comparten configuraciones similares, con respecto a las dimensiones del índice, y cuatro grupos de hogares que mantienen características similares con respecto al resto de las variables evaluadas en el censo. En general, a partir de ambos análisis se observa, primero, el protagonismo del espacio rural, integrando la mayor parte de los hogares vulnerables. Segundo, la importancia de la problemática para la población indígena en el norte argentino, que resulta la más gravemente afectada y cuya situación empeora continuamente como

producto de la inacción del Estado y el avance de la frontera agrícola argentina. Tercero, la caracterización de dos grupos de hogares en su mayoría pertenecientes al espacio rural y los cordones de pobreza estructural del noroeste urbano, sin población originaria. El primero de estos grupos está concentrado en el noroeste, comparte los mismos niveles de falta de acceso a derechos básicos que la población originaria, pero presenta mejores perspectivas laborales. El segundo grupo comprende, principalmente, hogares rurales de la zona centro y sur del país, y presenta mejores niveles de acceso a derechos básicos que el primero, aunque la misma calidad en cuanto al máximo nivel educativo y tipos de ocupaciones. En cuarto, y último lugar, se encuentran los hogares situados en el espacio urbanos y rural urbano periférico de Buenos Aires, que presentan los mejores niveles de acceso a derechos básicos, tienen algún tipo de cobertura médica, y, típicamente, acceden a ocupaciones como cuenta propia en sectores de la construcción, trabajo doméstico o producción agrícola.

La caracterización de las distintas agrupaciones de hogares vulnerables coincide con aquellas estudiadas en contexto de pobreza estructural y de falta de acceso a derechos básicos. La formación de agrupaciones hacia adentro de estos hogares vulnerables permite una mejor definición de políticas focales para el desarrollo energético residencial en clave social. Los resultados sugieren la necesidad de mejorar el accionar de programas de electrificación rural basados en energías renovables, dotándolos de una óptica socialmente inclusiva, que contemple a la población rural originaria e integre el acceso a otros derechos básicos, como son la educación y salud de calidad. Por otro lado, teniendo en cuenta al sector rural de las zonas centro y sur del país, resulta necesario activar políticas de acondicionamiento de viviendas con problemas de eficiencia térmica y de inclusión de energía solar térmica. Finalmente, teniendo en cuenta a los hogares urbanos periféricos y rural urbanos de Buenos Aires, resultaría adecuado, primero, la profundización de la acción de programas de conexión y registro de conexiones en barrios de reciente formación, ya que como se explicó la zona urbana periférica de Buenos Aires resulta uno de los destinos más frecuentes de la población rural del interior del país que es expulsada. Segundo, la aplicación de alternativas de mejoramiento térmico de las viviendas y de producción energética residencial basadas en energías renovables, lo que reduciría el costo de acceso a los energéticos, aliviando la economía familiar y favoreciendo la producción eléctrica descentralizada. Tercero, la definición de acciones enfocadas en el hábitat y territorio, que busquen integrar las estrategias antes mencionadas en conjunto con mejoras en la formación educativa y calidad de empleos.

Finalmente, este aporte se encuadra en un conjunto de trabajos que plantean la definición de políticas de desarrollo energético con sentido inclusivo, evitando su definición a partir de los criterios restrictivos del mercado energético y en donde prima la ampliación del acceso a derechos y autonomía de los usuarios. En este sentido, se espera que en el devenir de esta investigación se generen resultados que permitan plantear el desarrollo de políticas energéticas residenciales descentralizadas, en clave de ciudades inteligentes, que doten de una mayor autonomía a los usuarios-generadores.

Referencias

- ABELES, M. El proceso de privatizaciones en la Argentina de los noventa. ¿Reforma estructural o consolidación hegemónica? Época. **Revista argentina de economía política**, v. 1, n. 1, p. 89-115, 1999.
- ALLCOTT, H.; MULLAINATHAN, S.; TAUBINSKY, D. Energy policy with externalities and internalities. **Journal of Public Economics**, v. 112, p. 72-88, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2014.01.004>.
- ÁLVAREZ, G.; GÓMEZ, A.; OLMOS, M. F. Pobreza y comportamiento demográfico en Argentina: La heterogeneidad de la privación y sus manifestaciones. **Papeles de población**, v. 13, n. 51, p. 77-110, 2007.
- BASUALDO, E.; AZPIAZU, D.; ABELES, M.; ARZA, C.; FORCINITO, K.; PESCE, J.; SCHORR, M. **El proceso de privatización en la Argentina**: La renegociación con las empresas privatizadas-revisión contractual y supresión de privilegios y de rentas extraordinarias. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), Sede Argentina. Área de Economía y Tecnología, 2002.
- BECCARIA, L.; GROISMAN, F. Informalidad y pobreza en Argentina. **Investigación económica**, v. 67, n. 266, p. 135-169, 2008.
- BERTHOLD, M. R.; CEBRON, N.; DILL, F.; GABRIEL, T. R.; KÖTTER, T.; MEINL, T.; WISWEDDEL, B. KNIME-the Konstanz information miner: Version 2.0 and beyond. **AcM SIGKDD explorations Newsletter**, v. 11, n. 1, p. 26-31, 2009.
- BOLSI, A.; PAOLASSO, P.; LONGHI, F. El Norte Grande Argentino entre el progreso y la pobreza. **Población & sociedad**, v. 12, n. 1, p. 231-270, 2005.
- BOUZAROVSKI, S.; PETROVA, S. A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty-fuel poverty binary. **Energy Research & Social Science**, v. 10, p. 31-40, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.007>.
- BOUZAROVSKI, S.; PETROVA, S.; SARLAMANOV, R. Energy poverty policies in the EU: A critical perspective. **Energy Policy**, v. 49, p. 76-82, 2012.
- BOUZAROVSKI, S.; PETROVA, S.; TIRADO-HERRERO, S. **From fuel poverty to energy vulnerability**: the importance of services, needs and practices, 2014.
- BOUZAROVSKI, S.; TIRADO HERRERO, S.; PETROVA, S.; FRANKOWSKI, J.; MATOUŠEK, R.; MALTBY, T. Multiple transformations: Theorizing energy vulnerability as a socio-spatial phenomenon. *Geografiska Annaler: Series B*, **Human Geography**, v. 99, n. 1, p. 20-41, 2017.
- BRADBROOK, A. J.; GARDAM, J. G. Placing Access to Energy Services within a Human Rights Framework. **Human Rights Quarterly**, v. 28, n. 2, p. 389-415, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1353/hrq.2006.0015>.
- BRADSHAW, J. **Energy and Social Policy** (Routledge Revivals). Routledge, 2014.
- BROOKS, N. Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. **Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper**, v. 38, n. 38, p. 1-16, 2003.
- CARRIZO, S.; CARRE, M. N. Vulnerabilidad energética en la metrópoli de Buenos Aires. **Territorios**, v. 30, p. 127-146, 2014.
- CARUANA, M. E. C.; MÉNDEZ, F. M. La pobreza energética desde una perspectiva de género en hogares urbanos de Argentina. **SaberEs**, v. 11, n. 2, 2019.

- CASTAÑO-ROSA, R. **Identificación de hogares vulnerables a partir del concepto pobreza energética**: Indicador y modelo de evaluación, 2018.
- CASTEL, R. De la exclusión como estado a la vulnerabilidad como proceso. **Archipiélago**, v. 21, p. 27-36, 1995.
- CHAN, J.; TO, H.-P.; CHAN, E. Reconsidering Social Cohesion: Developing a Definition and Analytical Framework for Empirical Research. **Social Indicators Research**, v. 75, n. 2, p. 273-302, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11205-005-2118-1>.
- CHÉVEZ, P. J. **Análisis de medidas de eficiencia energética y energías renovables en el sector residencial**. 2016. Tese (Doutorado). Universidad Nacional de Salta, 2016.
- CHÉVEZ, P. J.; MARTINI, I.; DISCOLI, C. Análisis territorial y temporal del consumo eléctrico en el sector residencial de Argentina (1995-2014). **Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada**, v. 57, n. 2, p. 162-188, 2018.
- CHÉVEZ, P.; SAN JUAN, G.; MARTINI, I. Alcances y limitaciones de la 'tarifa social' eléctrica en urbanizaciones informales (La Plata, Buenos Aires). Estudios Socioterritoriales. **Revista de Geografía**, v. 26, p. e034-e034, 2019.
- CHUN, M. **Decisión de desinversión del activo de distribución de electricidad, Edesur, por parte de la empresa petrolera Petrobras Argentina, en el año 2013**. 2017. Tese (Doutorado). Universidad Argentina de la Empresa, 2017.
- COTTRELL, F. **Energy & society**: The relation between energy, social change, and economic development, 2009.
- CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in human geography**, v. 20, n. 4, p. 529-539, 1996.
- DAY, R.; WALKER, G. Household energy vulnerability as "assemblage". In: BICKERSTAFF, K; WALKER, G; BULKELEY, H. **Energy justice in a changing climate: social equity and low-carbon energy**, London: Zed Books, 2013.
- DURÁN, R.; CONDORÍ, M. Índice multidimensional de pobreza energético para argentina su definición, evaluación y resultados al nivel de departamentos para el año 2010. **Avances en energías renovables y medio ambiente**, v. 4, 2016.
- DURÁN, R.; CONDORÍ, M. Evolución de la pobreza energética en Argentina durante el período 2002-2018. Oportunidades para las energías renovables. **Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica**, v. 5, p. 430-437, 2019.
- FERNÁNDEZ, R. B. **Dólar, inflación, déficit y la economía política Argentina**. 2017 (Serie Documentos de Trabajo).
- GASTIARENA, M.; FAZZINI, A.; PRIETO, R.; GIL, S. **Uso de la energía en el sector residencial**. Buenos Aires, 2017.
- GOLOVANEVSKY, L. Vulnerabilidad social: Una propuesta para su medición en Argentina. **Revista de economía y estadística**, v. 45, n. 2, p. 53-94, 2007.
- GÓMEZ SÁNCHEZ, A. **Inversión y desinversión directa española en el exterior**. Evolución en el sector de las industrias extractivas en América Latina, 2017.
- GONZÁLEZ-EGUINO, M. Energy poverty: an overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 377-385, 2015.

- HASSANI, H.; YEGANEHI, M. R.; BENEKI, C.; UNGER, S.; MORADGHAFARI, M. Big Data and Energy Poverty Alleviation. **Big Data and Cognitive Computing**, v. 3, n. 4, p. 50, 2019.
- HUTCHESON, G. D.; SOFRONIOU, N. **The multivariate social scientist**: Introductory statistics using generalized linear models, 1999.
- INDEC. El estudio de la pobreza con datos censales: Índice De Privación Material De Los Hogares (IPMH) Algunos resultados desde la perspectiva de género1. *In: Reunión técnica sobre incorporación de la perspectiva de género en la medición de la pobreza*. La Paz, Bolivia, 23-25 set. 2003.
- INDEC. Mercado de trabajo. Tasas e indicadores socioeconómicos (EPH). Cuarto trimestre de 2019. **Informes técnicos Numero**, v. 53, n. 4, p. 28, 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INDEC). **Incidencia de la pobreza y la indigencia en 31 aglomerados urbanos**. Segundo semestre de 2019, p. 17, 2020.
- JENKS, G. F. **The data model concept in statistical mapping**. **International yearbook of cartography**, v. 7, p. 186-190, 1967.
- KEMMLER, A.; SPRENG, D. Energy indicators for tracking sustainability in developing countries. **Energy Policy**, v. 35, n. 4, p. 2466-2480, 2007.
- KOZULJ, R. **La crisis energética de la Argentina**: Orígenes y perspectivas. Fundación Bariloche IDEE paper, 7, 2005.
- KOZULJ, R. **El sector energético argentino**: un análisis integrado de sus problemas, impactos y desafíos macroeconómicos, 2015.
- LANGLOIS, A.; KITCHEN, P. Identifying and measuring dimensions of urban deprivation in Montreal: An analysis of the 1996 census data. **Urban Studies**, v. 38, n. 1, p. 119-139, 2001.
- MARTÍN, M. M. I.; GUZOWSKI, C.; MAIDANA, F. Pobreza energética y exclusión en Argentina: Mercados rurales dispersos y el programa PERMER. **Revista Reflexiones**, v. 99, n. 1, 2020.
- MCDONALD, R. P. The theoretical foundations of principal factor analysis, canonical factor analysis, and alpha factor analysis. **British Journal of Mathematical and Statistical Psychology**, v. 23, n. 1, p. 1-21, 1970.
- MENÉDEZ, A. Una breve introducción a la teoría de grafos. **Suma**, v. 28, p. 11-26, 1998.
- MOLINA RUIZ, S. **La pobreza energética y los derechos fundamentales**, 2017.
- MYLES, A. J.; FEUDALE, R. N.; LIU, Y.; WOODY, N. A.; BROWN, S. D. An introduction to decision tree modeling. **Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society**, v. 18, n. 6, p. 275-285, 2004.
- NEFFA, J. C. Pasado, presente y futuro de la relación salarial en Argentina. **El Futuro del Trabajo**, v. 10, n. 15, p. 37, 2018.
- NJUGUNA, C.; MCSHARRY, P. Constructing spatiotemporal poverty indices from big data. **Journal of Business Research**, v. 70, p. 318-327, 2017.
- OMER, A. M. Energy, environment and sustainable development. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 12, n. 9, p. 2265-2300, 2008.
- ORMANDY, D.; EZRATTY, V. Health and thermal comfort: From WHO guidance to housing strategies. **Energy Policy**, v. 49, p. 116-121, 2012.

- OXOBY, R. Understanding social inclusion, social cohesion, and social capital. *International Journal of Social Economics*, v. 36, n. 12, p. 1133-1152, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1108/03068290910996963>.
- PAOLASSO, P.; MALIZIA, M.; LONGHI, F. Vulnerabilidad y segregación socioespacial en el gran san miguel de tucumán (Argentina). *Vulnerabilidad en grandes ciudades de América Latina*, v. 50, 2011.
- PERONA, N.; ROCCHI, G.; OTHERS. Vulnerabilidad y exclusión social. Una propuesta metodológica para el estudio de las condiciones de vida de los hogares. *Kairos*, v. 8, n. 8, 2001. Recuperado de: <http://www.revistakairos.org/sitio-old/k08-08.htm>.
- PETROVA, S.; GENTILE, M.; MÁKINEN, I. H.; BOUZAROVSKI, S. Perceptions of thermal comfort and housing quality: Exploring the microgeographies of energy poverty in Stakhanov, Ukraine. *Environment and Planning A*, v. 45, n. 5, p. 1240-1257, 2013.
- PRIETO, M. B. Vulnerabilidad sociodemográfica en el aglomerado urbano de Bahía Blanca-Argentina. *Anais*, v. 1, p. 20, 2016.
- RECALDE, M. Energy policy and energy market performance: The Argentinean case. *Energy Policy*, v. 39, n. 6, p. 3860-3868, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.022>.
- RECALDE, M. Y. Determinantes de la inversión en exploración de hidrocarburos: Un análisis del caso argentino. *Cuadernos de economía*, v. 34, n. 94, p. 40-53, 2011.
- SALZBERG, S. L. C4.5: Programs for machine learning by J. Ross Quinlan. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1993. Kluwer Academic Publishers, *Mach Learn*, v. 16, p. 235-240, 1994.
- SHAFER, J.; AGRAWAL, R.; MEHTA, M. SPRINT: A scalable parallel classifier for data mining. *Vldb*, v. 96, p. 544-555, 1996. Citeseer.
- SLIMOVICH, A. **Los enunciadores políticos de la protesta por el aumento de tarifas en Argentina.** Un análisis hipermediático de un movimiento social contemporáneo, 2017.
- TESSMER, G. A.; JARA MUSURUANA, L. A.; ALMEIDA GENTILE, P. H. '¡ Llegó la factura de la luz!', 2017.
- THOMSON, H.; BOUZAROVSKI, S.; SNELL, C. Rethinking the measurement of energy poverty in Europe: A critical analysis of indicators and data. *Indoor and Built Environment*, v. 26, n. 7, p. 879-901, 2017.
- TISSORNIA, C. Inflación y pacto social. *Cultura Económica*, v. 25, n. 70, p. 66-68, 2019.
- VELO GARCÍA, E. **Desafíos del sector de la energía como impulsor del desarrollo humano**, 2006. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/2014>.
- WYCZYKIER, G. Las disputas por el gas: Tarifazo, acción colectiva y servicio público en la Argentina reciente. *Realidad económica*, v. 47, n. 319, p. 75-107, 2018.

SECCIÓN: TECNOLOGÍAS Y PERSPECTIVAS A FUTURO

CAPÍTULO 11

¿DESCARBONIZACIÓN CON JUSTICIA? CONCEPTOS Y ENFOQUES

Christian Brannstrom^{1 2}

Resumen

Los científicos sociales interesados en descarbonizar la matriz energética están adoptando cada vez más marcos analíticos y enfoques científicos basados en el concepto de justicia. La justicia distributiva enfatiza la distribución de costos y beneficios, mientras que la justicia procesal apunta a incluir a las personas afectadas en la toma de decisiones, y la justicia de reconocimiento se enfoca en sectores y grupos que son invisibilizados en la sociedad. La aplicación de estas dimensiones de justicia en la investigación de parques eólicos sigue tres caminos: (i) identificación de injusticias a lo largo de la cadena de producción de productos de descarbonización; (ii) medición de percepciones de justicia en estudios empíricos de comunidades receptoras (*host communities*); y (iii) aplicación de diseños experimentales para medir aspectos de justicia de infraestructuras hipotéticas de descarbonización.

Palabras clave: Descarbonización. Energía renovable. Justicia participativa. Justicia distributiva.

Introducción

Las soluciones de descarbonización necesarias para evitar un calentamiento global de +2 Grados Centígrados requieren inversiones significativas en tecnología de ingeniería y capital humano (GEELS *et al.*, 2017). La descarbonización con justicia social es un gran desafío en el siglo XXI (MCCAULEY *et al.*, 2019; SOVACOOOL *et al.*, 2017; SOVACOOOL *et al.*, 2016; SOVACOOOL, 2021; CARLEY; KONISKY, 2020). Después de todo, ¿cómo migraremos a sistemas de generación de energía con bajas emisiones de carbono o sin ellas, mientras mejoramos los indicadores sociales, de modo que la descarbonización sea sinérgica con mejores medidas de justicia

1 Texas A&M University (TAMU), College Station, Estados Unidos.
cbrannst@geos.tamu.edu

2 Universidad Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.

social? Actualmente, existe un vacío en la comprensión a respecto a la intersección entre descarbonización y justicia social, situación que persiste en todas las áreas del conocimiento. Este capítulo pretende presentar tres definiciones recientes de la ciencia que muestran comprensiones muy variables en torno a las preocupaciones por la justicia en los procesos de descarbonización de la matriz energética global. A fines de 2019, Veers et al. describieron tres “grandes desafíos” en la ciencia de la energía eólica, que se enfrentan a los objetivos de aumentar la contribución de la energía eólica al suministro mundial de electricidad. Identificaron tres problemas principales: comprensión incompleta de la física del flujo a la altura de los cubos de las turbinas eólicas; suposiciones cuestionables sobre la aerodinámica que afecta a las palas de las turbinas de viento sobre tierra y mar; y la necesidad de avanzar en la integración de la energía eólica intermitente en las redes eléctricas. Sin embargo, Veers *et al.* (2019) ignoraron cualquier mención de las dimensiones sociales de los parques eólicos, como si no hubiera un “gran desafío social” relacionado con la energía eólica. Indicativo de esta brecha es una ilustración que muestra turbinas eólicas en un paisaje desprovisto de personas. Como señaló Firestone (2019, p. 1206), en su respuesta al “gran desafío” de Veers et al., 2019, “es poco probable que la implementación de la energía eólica a gran escala tenga éxito sin las ciencias sociales”. Continuó argumentando que “sin las ciencias sociales una comprensión completa del contexto humano, la sociedad puede no alcanzar el pleno potencial de la energía eólica”.

Un segundo ejemplo es un documento visionario que describe un sistema de cero emisiones netas (*net zero*) que se puede lograr a través de la ingeniería (DAVIS *et al.*, 2018). El artículo muestra la generación de energía renovable, las instalaciones de almacenamiento de baterías y muchas otras innovaciones de ingeniería importantes, como los sistemas de energía para gas y de energía para hidrógeno, que utilizarían energía renovable, solar y eólica, para producir combustibles “verdes” con el fin de reemplazar los combustibles fósiles. Aquí, nuevamente, vemos un plan ambicioso para el tipo de sistema energético que nos ayudaría a reducir el calentamiento global, pero no tenemos idea de quién se beneficiaría y quién soportaría la carga del sistema energético de cero emisiones. Una interpretación de su argumento sugeriría que las grandes empresas que, actualmente, invierten mucho en combustibles fósiles controlarían la tecnología y la infraestructura de cero emisiones del futuro. No se menciona la accesibilidad de la energía de bajo carbono entre los miles de millones de personas que dependen de desechos animales, residuos de cultivos, madera o carbón para satisfacer sus necesidades energéticas.

Una tercera intervención, de Sovacool *et al.* (2020), describe desafíos de sustentabilidad, como los medios de subsistencia de los trabajadores, la trazabilidad y la gobernanza del litio y otros metales necesarios para la transición a sistemas energéticos de bajo carbono. Sin embargo, no se menciona que una transición energética “sostenible” dependería de la extracción de recursos no renovables. Al mismo tiempo, los

estudiosos del litio en América del Sur (BARANDIARÁN, [2019](#); FORNILLO, [2019](#); DORN; RUIZ PEYRÉ, [2020](#)) han ofrecido críticas a la extracción de litio. Estas críticas incluyen perspectivas de justicia climática, cuestionando las fuentes y condiciones de suministro de litio que ayudarían a proporcionar energía eléctrica para vehículos eléctricos utilizados por las élites globales (MORALES BALCAZAR, [2021](#)), además de proporcionar el almacenamiento de energía necesario para el sistema de energía *net zero* (DAVIS *et al.*, [2018](#)).

Estas tres intervenciones deberían llevarnos a considerar qué entendemos por justicia social en relación con la descarbonización, es decir, ¿qué tipo de justicia para qué tipo de descarbonización? ¿Se considerarán siempre las dimensiones de la justicia después del hecho y no antes de desarrollar soluciones tecnológicas? Es necesario tener en cuenta que cualquier recurso energético genera cuestiones tecnológicas, ambientales, sociales, económicas y políticas (además de los elementos técnicos). En Geografía, priorizamos analizar el control del espacio donde se utiliza el recurso energético, entendiendo el territorio en el sistema energético (BRIDGE *et al.*, [2013](#)). Hay varias propuestas técnicas para crear sistemas energéticos descarbonizados, pero ninguna reflexiona sobre cómo descarbonizar sin causar nuevos problemas, más pobreza, más desigualdad y más concentración de poder. Como argumenta Sovacool ([2021](#), p. 13), la descarbonización está llena de “luchas de poder y procesos de exacerbación de la vulnerabilidad” y puede “excluir constantemente a otros, concentrar activos y dañar a las comunidades”.

Principios fundamentales: dimensiones territoriales de las energías renovables

Es necesario describir los temas críticos de los principios fundamentales para la generación de energía renovable a escala global, como una forma de entender las dimensiones de justicia de la descarbonización. Para la generación intermitente de energía eólica o solar, debemos evaluar no solo las grandes demandas de terreno para parques solares y eólicos, sino también la necesidad de infraestructura asociada, como líneas de transmisión, construcción de subestaciones y, en el futuro, almacenamiento de energía en baterías o centrales electrolizadoras. Algunos autores han sugerido una posible “carrera mundial de la tierra” resultante de estas grandes demandas territoriales (SCHEIDEL; SORMAN, [2012](#); CAPELLÁN-PÉREZ, [2017](#)) y un arreglo socioecológico (*socio-ecological fix*) correspondiente a las crisis de acumulación capitalista (MCCARTHY, [2015](#); HUBER; MCCARTHY, [2017](#)). Densidades de energía relativamente bajas, aproximadamente 0,9 Watts por metro cuadrado para la eólica y alrededor de 5,7 Watts por metro cuadrado para la solar fotovoltaica (MILLER; KEITH, [2019](#)), caracterizan estas fuentes de energía debido a su intermitencia y a las condiciones específicas del flujo del viento en parques eólicos terrestres.

Para los minerales, el factor fundamental involucra la naturaleza fija de los minerales, las propiedades geoquímicas que requieren transformaciones *in situ*, que pueden generar subproductos tóxicos, y un valor agregado local relativamente pequeño. Además, las condiciones de extracción pueden fomentar los abusos laborales en forma de condiciones de trabajo degradantes y peligrosas. Al igual que la minería tradicional y la extracción de petróleo y gas del “bosque subterráneo” (SIEFERLE, 2001), la minería enfocada en la descarbonización muestra todas las posibilidades de crear sectores de enclave que rara vez distribuyen beneficios más allá de una élite restringida y que, muchas veces, generan lo que se ha dominado una maldición de los recursos naturales (*resource curse*).

La justicia y el sistema energético

En el sentido más amplio, la aplicación de principios de justicia y categorías analíticas a los sistemas energéticos tiene como objetivo identificar injusticias en el tiempo y el espacio y proponer formas de reducir o eliminar las injusticias. ¿Qué es un sistema energético? El [Cuadro 1](#) describe un enfoque sistemático para describir los sistemas de energía solar y eólica que utiliza la disponibilidad, la accesibilidad, la resiliencia, la sustentabilidad y la seguridad como variables clave.

Cuadro 1 - Perfil de riesgo del sistema energético para la generación de energía solar o eólica

Combustible o Fuente de Energía	Disponibilidad	Accesibilidad económica	Resiliencia	Sustentabilidad	Seguridad
Solar o Eólica (a favor)	Recurso doméstico	Tecnología comercialmente viable	Diferentes tecnologías satisfacen diferentes necesidades. Posibilidad de escalabilidad Descentralizado	Bajo carbono Altos puestos de trabajo por KW/h	La generación descentralizada mejora la seguridad del sistema y minimiza el impacto de los aumentos de combustibles fósiles.
Solar o Eólica (en contra)	Suministro intermitente e impredecible	Costos ocultos de energía intermitente	Los cambios ambientales o climáticos pueden alterar el recurso eólico	Requiere integración con otros sistemas	La fabricación se basa en minerales de tierras raras

Fuente: Stern *et al.* (2017).

Aplicado a los sistemas energéticos, un enfoque de la justicia ([Cuadro 2](#)) propuesto por Sovacool *et al.* (2017, p. 677) define la justicia energética como “un sistema

energético global que difunde de manera justa los beneficios y costos de los servicios energéticos, y que tiene una toma de decisiones energética representativa e imparcial”.

Cuadro 2 - Principios de justicia energética

Principios	Descripción
Disponibilidad	Las personas merecen suficientes recursos energéticos de alta calidad.
Accesibilidad económica	Las personas no deberían pagar más del 10% de sus ingresos netos por servicios de energía.
Proceso justo (<i>due process</i>)	Los países deben respetar el debido proceso legal (<i>due process</i>) y los derechos humanos en su producción y uso de energía.
Transparencia y <i>accountability</i>	Todas las personas deben tener acceso a información energética y ambiental de alta calidad y a la toma de decisiones energéticas bajo procesos justos, transparentes y responsables.
Sustentabilidad	Los recursos energéticos deben agotarse teniendo en cuenta la economía, el desarrollo comunitario y la precaución.
Equidad intrageneracional	Todas las personas tienen derecho a un acceso justo a los servicios energéticos.
Equidad intergeneracional	Las generaciones futuras tienen derecho a disfrutar de una buena vida sin que los perturben los daños que nuestros sistemas energéticos infligen al mundo actual.
Responsabilidad	Todos los actores tienen la responsabilidad de proteger el entorno natural y minimizar las amenazas ambientales relacionadas con la energía.
Resistencia	Las injusticias energéticas deben detenerse activa y deliberadamente.
Interseccionalidad	Ampliar la idea de justicia de reconocimiento para abordar identidades nuevas y en evolución en las sociedades modernas y reconocer cómo la realización de la justicia energética está vinculada a otras formas de justicia.

Fuente: Sovacool *et al.* (2017, p. 687).

Más recientemente, Van de Graaf y Sovacool (2020) han sugerido tres instancias específicas de justicia energética: (i) las interrelaciones de la energía y la pobreza; (ii) los vínculos entre energía, democracia y derechos humanos; y (iii) las dimensiones éticas de la descarbonización o la “transición justa” de los combustibles fósiles. Las interrelaciones entre energía y pobreza se entienden como la diferencia extrema en el consumo, la calidad y el acceso a la energía entre poblaciones con poco o ningún acceso a la electricidad (~1000 millones de personas) a combustibles líquidos/gaseosos para cocinar (~3000 millones) y poblaciones que residen en lugares relativamente prósperos donde las personas tienen acceso a electricidad, gasolina, gas natural y otras formas de energía.

Estas diferencias extremas en el acceso a la energía fueron descritas hace décadas por Earl Cook (1976, p. 257-8), pionero en la Geografía de la Energía, pero sin

mencionar el marco de la justicia. Las tecnologías de descarbonización, como las energías renovables autónomas u *off-grid*, representan una “revolución energética silenciosa” en curso en el Sur Global (VAN DE GRAAF; SOVACOOOL, 2020, p. 123), permitiendo a las familias reemplazar la madera, el carbón o el estiércol con sistemas de energía solar que no están conectados a la red. Un concepto relacionado es la pobreza energética, que describe la situación de las familias que deben gastar más del 10% de los ingresos familiares en la energía necesaria para necesidades básicas, como la preparación de alimentos y la calefacción. Este fenómeno afecta las familias del Norte y del Sur Global y se menciona en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), que apunta a “garantizar el acceso a energía asequible, confiable, sustentable y moderna para todos”. Van de Graaf y Sovacool (2020) también consideran la justicia energética en términos de las interrelaciones entre energía, democracia y derechos humanos. Hace tiempo que se sabe que los sistemas energéticos pueden ser contradictorios con los sistemas democráticos a través de la corrupción. Los esquemas de corrupción relacionados con el petróleo de miles de millones de dólares que erosionan los sistemas democráticos se exponen regularmente; sin embargo, menos conocido es el grado en que la energía renovable puede estar implicada en la corrupción y la erosión de la democracia, ya que la energía eólica y solar no son inmunes a las prácticas corruptas. La toma de decisiones autoritaria es otra forma en que las prácticas antidemocráticas se infiltran en los sistemas energéticos. Las licencias fraudulentas y la captura de la agencia estatal por parte de poderosas corporaciones y grupos de *lobby* son dos formas de socavar la democracia y perpetuar las injusticias. Una segunda área es el abuso de los derechos humanos en los sistemas energéticos, observado durante décadas, con empresas de petróleo y gas que utilizan operaciones paramilitares para proteger sus empresas. Los abusos de los derechos humanos también pueden aparecer en los sistemas de energía renovable. La encuesta mostró abusos laborales en la minería de cobalto en el Congo y el procesamiento de desechos electrónicos en Ghana. El desplazamiento involuntario es especialmente prominente como consecuencia del desarrollo hidroeléctrico. Se estima que 80 millones de personas en todo el mundo se han visto obligadas a trasladarse debido a la construcción de 300 represas en los últimos 50 años.

La tercera área de vínculos entre energía y justicia se refiere a la moralidad de los combustibles fósiles “no quemables” (VAN DE GRAAF; SOVACOOOL, 2020). Los activistas se han centrado en campañas destinadas a presionar la desinversión de capital de las empresas de estos combustibles, la prohibición de la extracción y el procesamiento de combustibles fósiles y los litigios contra los estados y las empresas que dependen de los combustibles fósiles. Las preguntas emergentes sobre los combustibles fósiles “no quemables” se centran en qué combustibles fósiles, que sustentan cuáles estados y pueblos, deben permanecer bajo tierra y cuáles pueden

liberarse (quemarse) gradualmente. Otro aspecto relacionado se refiere a los procesos que conducen a una transición “justa” desde los combustibles fósiles. ¿Quién y qué se verá perjudicado o beneficiado por la descarbonización?

En una síntesis del trabajo reciente sobre la mitigación del cambio climático teniendo en cuenta cuestiones de justicia, Sovacool (2021) identificó cuatro procesos que corresponden a las dimensiones económica, política, ecológica y social (Cuadro 3). Estos conceptos son altamente aplicables a la descarbonización y definen los procesos por los cuales los recursos públicos pasan al control privado (*enclosure*), como los recursos energéticos renovables, la instalación de parques eólicos y la minería de litio. La exclusión es el uso de instrumentos de política y planificación para excluir a las personas de los procesos de toma de decisiones que favorecen los parques eólicos o la minería de litio. La invasión se refiere al daño que la infraestructura de descarbonización puede causar al agua, la tierra o la vida silvestre. El atrincheramiento (*entrenchment*) describe la exacerbación de las desigualdades debido a la infraestructura de energía renovable. El Cuadro 3 destaca los aspectos principales de este marco y sugiere aplicaciones para los casos de extracción de litio y parques eólicos que son el foco de este libro.

Cuadro 3 - Descripción de Sovacool (2021) sobre cerramiento, exclusión, invasión y atrincheramiento aplicado a parques eólicos en el Nordeste de Brasil y extracción de litio en Puna Argentina

Concepto	Descripción	Parques Eólicos	Extracción de litio
Cercamiento (<i>enclosure</i>)	- Captura de recursos o autoridad - Los recursos públicos son privatizados	Parques eólicos ubicados en terrenos públicos y territorios comunitarios	- Acceso limitado a territorios ancestrales - Las empresas privadas son propietarias de los servicios esenciales
Exclusión	- <i>Stakeholders</i> son marginados - Proceso de planificación injusto	Las comunidades receptoras no participan en la toma de decisiones	La idea de ‘estrategia’ de litio enfatiza la toma de decisiones centrada en el Estado
Invasión	- Provoca daños al medio ambiente	Acceso reducido a recursos de sustentos y territorios culturalmente significativos	

Atrinchamiento (<i>entrenchment</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - La desigualdad y la vulnerabilidad se agravan - Mayor concentración de la riqueza 	Las élites locales y regionales acumulan riqueza en detrimento de las comunidades de receptoras	Las comunidades receptoras quedan excluidas de los beneficios económicos y sociales
--	--	---	---

Fuente: 1ª y 2ª columnas: Sovacool (2021); 3ª y 4ª columnas: Autoría propia.

Formas de justicia aplicadas a los sistemas energéticos

El Cuadro 4 resume los cuatro tipos principales de justicia aplicados a los estudios de sistemas energéticos. La justicia distributiva se refiere a la distribución de daños y beneficios entre las personas afectadas, centrándose en la ubicación de las injusticias energéticas, como la contaminación y la ubicación de torres eólicas. La justicia de reconocimiento se preocupa por mejorar el reconocimiento de las personas que pueden verse perjudicadas por la instalación de emprendimientos energéticos. La justicia procesal se basa en el reconocimiento, enfatizando la participación de las personas en los procesos de toma de decisiones. Finalmente, la justicia cosmopolita apoya todas estas formas de justicia, llamando a la aplicación universal de estos principios. Velasco-Herrejon y Bauwens (2020, p. 2) describen la distribución, el reconocimiento y los procedimientos como el “triumvirato de los principios de justicia energética”. Además, enfatizan la necesidad de desarrollar técnicas para obtener concepciones de justicia de las comunidades afectadas por la infraestructura energética, sugiriendo el enfoque de capacidad como un enfoque prometedor.

Cuadro 4 - Resumen de formas de justicia, principales preocupaciones relacionadas con los sistemas energéticos y desafíos emergentes

Formas de Justicia	Conceptos Clave	Desafíos
Justicia Distributiva	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Dónde se localizan los principales impactos? - ¿Quién recibirá las consecuencias positivas y negativas? - ¿Quiénes son las futuras generaciones afectadas? 	- Antropocentrismo: ¿Los impactos solo son importantes si afectan a los humanos?
Justicia de Reconocimiento (post-distributiva)	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cómo entendemos a las víctimas de las consecuencias negativas? - Preocupación por el reconocimiento cultural, el no reconocimiento y la falta de respeto. 	- Los sistemas energéticos multiescalares requieren análisis de justicia complejos.

Justicia Procesal	- Derecho a un proceso justo, uniendo la justicia distributiva y de reconocimiento - Participación en la toma de decisiones formales e informales	- ¿Cómo entender en contextos autoritarios?
Justicia Cosmopolita	- Los principios de justicia deben aplicarse universalmente a todos los seres humanos en todas partes.	- Las nociones de justicia biológica o biocéntrica se han expandido más allá de los humanos.

Fuente: Sovacool *et al.* (2017); McCauley *et al.* (2019); Velasco-Herrejon y Bauwens (2020).

Con esta concepción de la justicia energética, ahora podemos preguntarnos cómo, empíricamente, los académicos están midiendo o describiendo las dimensiones de la justicia energética con respecto a la descarbonización. Surgieron tres áreas principales de investigación: (i) identificación de injusticias a lo largo de las cadenas productivas, o el sistema energético en su “conjunto” (*whole system*); (ii) evaluaciones empíricas de la respuesta en las comunidades receptoras (*host communities*) a emprendimientos de energía renovable utilizando conceptos de justicia con métodos de investigación y de campo; y (iii) enfoques experimentales utilizando escenarios hipotéticos de utilización de energía renovable.

Identificación de injusticias a lo largo de las cadenas productivas

Un enfoque de investigación prometedor se centra en identificar una iniciativa de bajo contenido de carbono de acuerdo con su cadena de suministro, abarcando el tiempo y el espacio, y describiendo problemas locales y de injusticia categorizados dentro del cuadro de la justicia (SOVACOOL *et al.*, 2019). La cadena de suministro se ve como un enfoque multiescalar de “sistema completo” (*whole system*) que incluye dimensiones tanto espaciales como temporales. La escala espacial se considera en términos de macro o global, meso o regional y micro o local. Se entiende que las escalas de tiempo abarcan desde la producción hasta el consumo y la eliminación. Es importante destacar que los autores reconocen que las injusticias son percibidas por expertos en casos de energía nuclear en Francia, medidores inteligentes (*smart meters*) de electricidad en Gran Bretaña, vehículos eléctricos en Noruega y paneles solares en Alemania. El equipo de investigación preguntó a los expertos involucrados: “¿Cuáles considera que son los costos o desventajas más importantes para la transición energética?”, y “Desde una perspectiva de sistemas completos, ¿quién o qué podrían ser los mayores perdedores fuera de Europa?” (SOVACOOL *et al.*, 2019, p. 3). El [cuadro 5](#) resume los hallazgos de la investigación. Los autores enfatizan que este enfoque no “socava la justificación global de las transiciones de bajo carbono”, sino que enfatizan que las partes interesadas deberían “conocer el potencial de las transiciones energéticas para crear nuevos patrones de explotación y desigualdad y empeorar los patrones existentes”. (p. 14).

Cuadro 5 - Resumen de injusticias considerando cuatro sistemas de descarbonización

Escala espacial/ Escala temporal	Producción/Distribución	Consumo	Eliminación/Reciclaje
Macro (mundial)	- extracción de minerales - condiciones de trabajo - cadena de suministro	- aumenta la demanda de energía	- desechos
Meso (regional)	- subvenciones y políticas fiscales - huella de carbono de las instalaciones	- mala distribución de beneficios - aumento de la desigualdad y la vulnerabilidad	- desechos - costes de eliminación
Micro (local)	- destrucción del sistema - riesgos para la salud de los trabajadores	- exposición a la contaminación - división rural-urbana	- herencia de la contaminación

Fuente: Sovacool *et al.* (2019).

En otro trabajo, Sovacool *et al.* (2021) se centraron específicamente en los procesos de despojo derivados de cuatro transiciones de bajo carbono en Europa. Consideraron cuatro aspectos del despojo: ambiental; política; económico; y física. Por ejemplo, describieron el caso de la industria solar alemana, que sufrió una gran pérdida de puestos de trabajo debido a las importaciones de placas fotovoltaicas más baratas desde China, que el gobierno alemán no quiso o no pudo evitar. Aproximadamente el 90 % de los puestos de trabajo en la industria solar alemana han desaparecido, lo que ha afectado especialmente a los trabajadores poco cualificados, así como a la situación financiera de los gobiernos municipales que dependían de los ingresos fiscales de la producción solar. Otro caso que describen los autores es el flujo de desechos electrónicos desde el Reino Unido hasta un depósito de chatarra en Accra, Ghana. Los flujos de desechos electrónicos son el resultado de las instalaciones de medidores de electricidad inteligentes, que tienen una vida útil de cinco a diez años. En conclusión, argumentan que “las transiciones con bajo carbono pueden crear, reflejar y afianzar injusticias y desigualdades” (SOVACOOOL *et al.*, 2021, p. 12).

Medición de percepciones de justicia en estudios empíricos de comunidades de receptoras

Algunos estudios utilizaron metodologías basadas en la aplicación de cuestionarios, aplicados a una muestra aleatoria para representar a la población, con preguntas sobre la relación del encuestado con una determinada infraestructura de energía renovable. Por lo general, las opiniones sobre el parque eólico se consideran variables dependientes, explicadas por numerosas variables independientes potenciales que

a menudo se derivan de los conceptos de justicia. Por tanto, las dimensiones de la justicia son variables independientes que ayudan a explicar el apoyo o rechazo a los parques eólicos cercanos a las comunidades de los participantes de la investigación.

Estos estudios se desarrollaron durante años a medida que los científicos sociales investigaban la aceptación social de la energía eólica y otras tecnologías renovables (WÜSTENHAGEN *et al.*, 2007; SOVACOOOL, 2009; SOVACOOOL; RATAN, 2012; RAND *et al.*, 2017). Esta investigación se ha realizado principalmente en América del Norte y Europa, aunque poco a poco se están estudiando casos en el Sur Global (BRANNSTROM *et al.*, 2017; BRANNSTROM *et al.*, 2022; LEITE *et al.*, 2022; GORAYEB *et al.*, 2018; ACHIBA, 2019; DUNLAP, 2019; ZÁRATE-TOLEDO *et al.*, 2019; ARAÚJO *et al.*, 2020; GEBRESLASSIE, 2020; VELASCO-HERREJON; BAUWENS, 2020). Este enfoque evolucionó a partir de entendimientos muy simplistas, considerando inicialmente la distancia entre las casas y la turbina eólica, y luego, entendimientos multidimensionales más sofisticados. Durante casi veinte años, se ha enfatizado la importancia de la justicia procesal y distributiva para influir en la aceptación o rechazo de los parques eólicos por parte de las comunidades receptoras (*host communities*). Las áreas clave de investigación incluyen arreglos institucionales óptimos, rentas y *royalties*, empleo y propiedad relacionada con parques eólicos y solares.

Los conceptos de justicia distributiva y procesal son cada vez más importantes para comprender las relaciones entre las comunidades receptoras y la infraestructura de energía renovable. Las preocupaciones sobre la justicia distributiva y procesal como base para aceptar y rechazar la energía eólica son un giro decisivo de los enfoques de *Not-In-My-Backyard* (NIMBY) “no en mi patio trasero”, que comenzaron hace más de quince años, cuando Devine-Wright (2005) y Wolsink (2000; 2007) llamaron la atención sobre los aspectos multidimensionales del rechazo de la energía eólica, como la relación emocional con el sitio, las preocupaciones estéticas, los procesos de planificación y ubicación, la distribución desigual de los beneficios y la percepción de los impactos ambientales negativos. Este enfoque también es visible en la síntesis de Rand y Hoen (2017) en América del Norte, que destacó cuestiones de justicia distributiva y procesal dentro de los aspectos socioeconómicos, de salud y visuales de la aceptación de la energía eólica.

Tal como se aplica a las comunidades receptoras cerca de los parques eólicos, la justicia procesal incluye el intercambio de información, la participación en la toma de decisiones, la capacidad de influir en los resultados y las relaciones con los desarrolladores de proyectos.

La justicia distributiva se refiere a la percepción de equidad en relación con la introducción y distribución de beneficios, como los ingresos fiscales, los pagos de arrendamiento y la comprensión de los resultados negativos del parque eólico (WALKER; BAXTER, 2017b). Los estudios centrados en los conceptos de justicia

distributiva tienen como objetivo comprender cómo la distribución de costos y beneficios de los parques eólicos influye en la aceptación y la oposición. Esta comprensión se basa en el giro analítico hacia la comprensión multidimensional de la aceptación de la infraestructura de energía renovable por parte de la comunidad anfitriona (BELL *et al.*, [2005](#), [2013](#); GROSS, [2007](#); DEVINE-WRIGHT, [2005](#), [2011](#); WOLSINK, [2000](#), [2007](#); WÜSTENHAGEN *et al.*, [2007](#)).

En las Grandes Llanuras de los Estados Unidos, el apoyo a la energía eólica se ha asociado con un aumento del empleo y la actividad económica (SLATTERY *et al.*, [2012](#)). En el Este de Canadá, la distribución justa y la cantidad de beneficios locales fueron los principales impulsores del apoyo a los parques eólicos (WALKER; BAXTER, [2017a](#)). Estudios vinculan el proceso de planificación al nivel de apoyo a los parques eólicos, concluyendo que “la falta de elementos de justicia procesal - especialmente la capacidad de afectar los resultados de las instalaciones - son factores importantes que explican la percepción de los vecinos en relación con los procesos de localización de energía eólica y soporte de instalaciones” (WALKER; BAXTER, [2017b](#), 166). La equidad en la toma de decisiones y la distribución de resultados positivos y negativos en las comunidades receptoras “puede contribuir a la aceptabilidad local del desarrollo de turbinas” (BAXTER, [2017](#)).

Se sacaron conclusiones similares para los parques eólicos *offshore* en el Este de los Estados Unidos, donde los autores defendieron la importancia de “procesos de toma de decisiones justos y transparentes” (FIRESTONE *et al.*, [2020](#), p. 1). También se encontró que las medidas de justicia procesal eran estadísticamente significativas para explicar el apoyo a los parques eólicos. Este análisis fue presentado por Firestone *et al.* ([2018](#)) a partir de un estudio realizado con residentes que viven cerca de parques eólicos en EE. UU. Las opiniones de imparcialidad, un “emprendedor abierto y transparente” y la contribución e influencia de la comunidad en el proceso de planificación del parque eólico predijeron una actitud positiva general hacia los emprendimientos. Se consideró que la percepción de justicia en los procesos de toma de decisiones estaba relacionada con “un determinante importante de las actitudes locales”. Con base en estos hallazgos, los autores recomiendan que “las jurisdicciones deberían considerar desarrollar procedimientos que aseguren que los ciudadanos sean consultados y escuchados y establezcan puntos de referencia o mejores prácticas para la interacción de los empresarios con las comunidades y los ciudadanos” (FIRESTONE *et al.*, [2018](#), p. 382).

En el Sur Global, la mayoría de los estudios han desarrollado proyectos de investigación cualitativos. Por ejemplo, en el sur de México, las élites aseguraron el acceso a la tierra a los inversionistas eólicos (DUNLAP, [2019](#); ZARÁTE-TOLEDO *et al.*, [2019](#)). En Kenia, Achiba ([2019](#)) informó sobre cómo los inversionistas obtuvieron miles de hectáreas para construir parques eólicos y utilizar los recursos apropiados. Al informar sobre Etiopía, Gebressie ([2020](#)) encontró más del 90% de apoyo entre los

participantes de la encuesta, pero con preocupaciones sobre el proceso de consulta y la compensación de tierras que la encuesta no investigó a fondo.

Gran parte de la investigación basada en encuestas es cuantitativa y se basa en muestras aleatorias y análisis estadísticos que buscan determinar la fuerza de las variables independientes en una variable dependiente, generalmente con respecto a las opiniones de los encuestados con respecto a la infraestructura de energía renovable. Sin embargo, los investigadores también se involucran en investigaciones cualitativas, como entrevistas semiestructuradas y grupos focales, para determinar las preguntas apropiadas y cómo interpretar los resultados cuantitativos.

Medición de la justicia a través de la Investigación Experimental

Otro grupo de académicos adoptó un enfoque experimental para analizar las preocupaciones de justicia en la infraestructura de energía renovable. Con respecto a la energía eólica, uno de los primeros estudios utilizó el diseño de una encuesta factorial (FSE; *factorial survey design*), también llamada experimento de *vignette* o escenarios hipotéticos en los que los investigadores presentan a los participantes viñetas hipotéticas que tienen características específicas, como el número de turbinas, tipo de inversionista, destino de la electricidad, participación en la planificación y recaudación tributaria (LIEBE *et al.*, 2017). Esta técnica puede reducir el prejuicio social (*social bias*), el error que se produce cuando los encuestados les dicen a los investigadores lo que creen que quieren escuchar. Leibe presentó a los encuestados cuatro viñetas. Se pidió a los encuestados que expresaran sus puntos de vista en una escala de once puntos, desde “totalmente inaceptable” hasta “totalmente aceptable”. En el estudio, la justicia distributiva se enmarcó como “el número de turbinas de viento distribuidas entre regiones y grupos sociales” y la justicia procesal se enmarcó como “el grado en que los ciudadanos pueden participar en los procesos de toma de decisiones” (LIEBE *et al.*, 2017, p. 301). En trabajos posteriores, Liebe y Dobres (2020) afirman medir directamente las percepciones de equidad a través del FSE, argumentando que es difícil separar los efectos.

En Europa, varios investigadores han destacado experiencias de elección declarada o *vignette* (LIEBE; DOBERS, 2020). Un experimento en el sur de Alemania descubrió que los participantes preferían la información a la compensación financiera (LANGER *et al.*, 2017). Otro estudio encontró una mayor aceptación de los parques eólicos con una mayor participación en los procesos de toma de decisiones y señaló que la justicia participativa era más importante que los resultados de la justicia distributiva (LIEBE *et al.*, 2017). Por el contrario, Lienhoop (2018, p. 102) encontró que el 90% de los encuestados en un experimento de elección en Alemania “cambiarían la participación financiera y de procedimiento por cambios en su factura de electricidad”. Otros estudios han destacado los vínculos entre las cuestiones de justicia procesal

y distributiva. Por ejemplo, los encuestados en Irlanda apoyarían parques eólicos (hipotéticos) para la exportación de energía si los parques eólicos proporcionan puestos de trabajo, información, tarifas eléctricas reducidas y permiten la participación en el proceso de localización (BRENNAN; VAN RENSBURG, 2020).

Sin embargo, los investigadores deben proceder con extrema precaución al implementar enfoques experimentales en algunos contextos de la comunidad anfitriona. Por ejemplo, en el noreste de Brasil, y en otras áreas del Sur Global, se observan comúnmente procesos de exclusión consultiva, grandes asimetrías de información entre los miembros de la comunidad anfitriona y los tomadores de decisiones, y una alta dependencia de los recursos terrestres y marítimos que compiten con la infraestructura de energía renovable. La recopilación rigurosa y segura de datos válidos y confiables solo es posible después de un contacto previo entre los líderes comunitarios y el equipo de investigación, debido a las complicadas relaciones entre las comunidades receptoras y los grupos de inversión externos, que utilizan la aparente “invisibilidad” de las comunidades para usurpar tierras y recursos (DUNLAP, 2019; BRANNSTROM *et al.*, 2017; GORAYEB *et al.*, 2018). En este contexto, los enfoques experimentales pueden generar desconfianza y confusión porque los escenarios hipotéticos de parques eólicos podrían interpretarse como propuestas reales en comunidades carentes de información y sin opciones de empleo para los jóvenes.

Conclusiones

La justicia procesal y distributiva se aplica a menudo en los estudios de ciencias sociales de los sistemas energéticos. Ambos dependen de traducir los conceptos de justicia en variables (preguntas) para ser aplicados en enfoques cualitativos y cuantitativos. La aplicación de los conceptos de justicia, especialmente la justicia distributiva y procesal, es una adición bienvenida a los estudios de descarbonización, permitiendo a los investigadores hacer preguntas más incisivas sobre la descarbonización a escalas que van desde un enfoque de “sistema completo” (*whole system*), que incluye toda la red de producción de los materiales y equipos necesarios para los sistemas energéticos descarbonizados, hasta un enfoque en las comunidades receptoras residentes cerca de los parques eólicos.

En estudios futuros, será importante evaluar las fortalezas y debilidades relacionadas con los conceptos de justicia y los enfoques de investigación en los estudios de descarbonización, preguntando qué tipo de conceptos de justicia energética son apropiados para qué tipo de investigación de las ciencias sociales sobre los procesos de descarbonización.

Referencias

ACHIBA, G. A. Navigating contested winds: development visions and anti-politics of wind energy in Northern Kenya. *Land*, v. 8, n. 1, p. 7, 2019.

- ARAÚJO, J. C. H.; SOUZA, W. F.; MEIRELES, A. J. A.; BRANNSTROM, C. Sustainability challenges of wind-power deployment in coastal Ceará state, Brazil. **Sustainability**, v. 12, n. 14, p. 5562, 2020.
- BARANDIARÁN, J. Lithium and development imaginaries in Chile, Argentina and Bolivia. **World Development**, v. 113, p. 381-391, 2019.
- BAXTER, J. Energy Justice: Participation promotes acceptance. **Nature Energy**, v. 2, n. 17128, 2017.
- BELL, D.; GRAY, T.; HAGGETT, C. The 'social gap' in wind farm siting decisions: Explanations and policy responses. **Environmental Politics**, v. 14, n. 4, p. 460-477, 2005.
- BELL, D.; GRAY, T.; HAGGETT, C.; SWAFFIELD, J. Re-visiting the "social gap": Public opinion and relations of power in the local politics of wind energy. **Environmental Politics**, v. 22, n. 1, p. 115-135, 2013.
- BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J. S.; LOUREIRO, C. V.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V.; FREITAS, A. L. R.; OLIVEIRA, R. F. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 62-71, 2017.
- BRANNSTROM, C.; LEITE, N. S.; LAVOIE, A.; GORAYEB, A. What explains the community acceptance of wind energy? Exploring benefits, consultation, and livelihoods in coastal Brazil. **Energy Research & Social Science**, v. 83, p. 102344, 2022.
- BRIDGE, G.; BOUZAROVSKI, S.; BRADSHAW, M.; EYRE, N. Geographies of energy transition: space, place and the low-carbon economy. **Energy Policy**, v. 53, p. 331-340, 2013.
- CAPELLÁN-PÉREZ, I.; CASTRO, C.; ARTOD, I. Assessing vulnerabilities and limits in the transition to renewable energies: Land requirements under 100% solar energy scenarios. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 77, p. 760-782, 2017.
- CARLEY, S.; KONISKY, D.M. The justice and equity implications of the clean energy transition. **Nature Energy**, v. 5, p. 596-577, 2020.
- COOK, E. **Man, Energy, Society**. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1976.
- DAVIS, S. J. *et al.* Net-zero emissions energy systems. **Science**, v. 360, n. 6396, p. eaas9793, 2018.
- DEVINE-WRIGHT, P. Beyond NIMBYism: Toward an integrated framework for understanding public perceptions of wind energy. **Wind Energy**, v. 8, p. 125-91, 2005.
- DEVINE-WRIGHT, P. Public engagement with large-scale renewable energy technologies: Breaking the cycle of NIMBYism. **WIREs Climate Change**, v. 2, p. 19-26, 2011.
- DORN, F. M.; RUIZ PEYRÉ, F. Lithium as a strategic resource: geopolitics, industrialization, and mining in Argentina. **Journal of Latin American Geography**, v. 19, n. 4, p. 68-90, 2020.
- DUNLAP, A. **Renewing Destruction: Wind energy development, conflict and resistance in a Latin American context**. New York: Rowman and Littlefield, 2019.
- FIRESTONE, J. Wind energy: a human challenge. **Science**, v. 366, n. 6470, p. 1206, 2019.
- FIRESTONE, J.; HIRT, C.; BIDWELL, D.; GARDNER, M.; DWYER, J. Faring well in offshore wind power siting? Trust, engagement and process fairness in the United States. **Energy Research & Social Science**, v. 62, p. 101393, 2020.
- FIRESTONE, J.; HOEN, B.; RAND, J.; ELLIOTT, D.; HÜBNER, G.; POHL, J. Reconsidering barriers to wind power projects: community engagement, developer transparency and place. **Journal of Environmental Policy & Planning**, v. 20, n. 3, p. 370-386, 2018.

- FORNILLO, B.; ARGENTO, M.; GAMBA, M. KAZIMIERSKI, M; PUENTE, F; ROMEO, G.; SANTOS, E.; SLIPAK, A.; URRUTIA, S.; ZICARI, J. **Litio en Sudamérica: geopolítica, energía y territorios**. Buenos Aires: CLACSO, 2019.
- GEBRESLASSIE, M. G. Public perception and policy implications towards the development of new wind farms in Ethiopia. **Energy Policy**, v. 139, p. 111318, 2020.
- GEELS, F. W.; SOVACOOOL, B. K.; SCHWANEN, T.; SORRELL, S. Sociotechnical transitions for deep decarbonization. **Science**, v. 357, n. 6357, p. 1242-1244, 2017.
- GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MENDES, J. S.; MEIRELES, A. J. A. Wind power gone bad: critiquing wind power planning processes in northeastern Brazil. **Energy Research and Social Science**, v.40, p. 82-88, 2018.
- GROSS, C. Community perspectives of wind energy in Australia: the application of a justice and community fairness framework to increase social acceptance. **Energy Policy**, v. 35, n. 5, p. 2727-2736, 2007.
- HUBER, M. T.; MCCARTHY, J. Beyond the subterranean energy regime? Fuel, land use and the production of space. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 42, n. 4, p. 655-668, 2017.
- LANGER, K.; DECKER, T.; MENRAD, K. Public participation in wind energy projects located in Germany: Which form of participation is key to acceptance? **Renewable Energy**, v. 112, p. 63-73, 2017.
- LEITE, N. S.; BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A. Justiça processual e respostas de comunidades tradicionais à implantação de parques eólicos no litoral oeste do Ceará, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 42, n. 1, p. e69801, 2022.
- LIEBE, U.; BARTCZAK, A.; MEYERHOFF, J. A turbine is not only a turbine: The role of social context and fairness characteristics for the local acceptance of wind power. **Energy Policy**, v. 107, p. 300-308, 2017.
- LEIBE, U.; DOBERS, G. M. Measurement of fairness perceptions in energy transition research: A factorial survey approach. **Sustainability**, v. 12, n. 19, p. 8084, 2020.
- LIENHOOP, N. Acceptance of wind energy and the role of financial and procedural participation: An investigation with focus groups and choice experiments. **Energy Policy**, v. 118, p. 97-105, 2018.
- MCCARTHY, J. A socioecological fix to capitalist crisis and climate change? The possibilities and limits of renewable energy. **Environment and Planning**, v. 47, p. 2485-2502, 2015
- MCCAULEY, D.; RAMASAR, V.; HEFFRON, R. J.; SOVACOOOL, B. K.; MEBRATU, D.; MUNDACA, L. Energy justice in the transition to low carbon energy systems: Exploring key themes in interdisciplinary research. **Applied Energy**, v. 233-234, p. 916-921, 2019.
- MILLER, L. M.; KEITH, D. W. Corrigendum: Observation-based solar and wind power capacity factors and power densities (2018 Environ. Res. Lett. 13 104008). **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 7, p. 079501, 2019.
- MORALES BALCAZAR, R. Crisis y minería del litio en el Salar de Atacama. La necesidad de una mirada desde la justicia climática. *In*: MORALES BALCAZAR, R. (coord.). **Salares Andinos: Ecología de saberes por la protección de nuestros salares y humedales**. Antofagasta: Observatorio Plurinacional de Salares Andinos, 2021. p. 69-82.
- RAND, J.; HOEN, B. Thirty years of North American wind energy acceptance research: What have we learned? **Energy Research and Social Science**, v. 29, p. 135-148, 2017.

- SCHEIDEL, A.; SORMAN, A. H. Energy transitions and the global land rush: Ultimate drivers and persistent consequences. **Global Environmental Change**, v. 22, p. 588-595, 2012.
- SIEFERLE, R. P. **The Subterranean Forest: Energy Systems and the Industrial Revolution**. Cambridge: The White Horse Press, 2001.
- SLATTERY, M. C.; JOHNSON, B. L.; SWOFFORD, J. A.; PASQUALETTI, M. J. The predominance of economic development in the support for large-scale wind farms in the U.S. Great Plains. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 3690-3701, 2012.
- SOVACOOOL, B. K.; ALI, S. H.; BAZILIAN, M.; RADLEY, B.; NEMERY, B.; OKATZ, J.; MULVANEY, D. Sustainable minerals and metals for a low-carbon future. **Science**, v. 367, n. 6476, p. 30-33, 2020.
- SOVACOOOL, B. K.; HEFFRON, R. J.; MCCAULEY, D.; GOLDTHAU, A. Energy decisions reframed as justice and ethical concerns. **Nature Energy**, v. 1, n. 16024, 2016.
- SOVACOOOL, B. K. Rejecting renewables: The socio-technical impediments to renewable electricity in the United States. **Energy Policy**, v. 37, p. 4500-4513, 2009.
- SOVACOOOL, B. K.; RATAN, P. L. Conceptualizing the acceptance of wind and solar energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, p. 5268-5279, 2012.
- SOVACOOOL, B. K.; BURKE, M.; BAKER, L.; KOTIKALAPUDI, C. K.; WLOKAS, H. New frontiers and conceptual frameworks for energy justice. **Energy Policy**, v. 105, p. 677-691, 2017.
- SOVACOOOL, B. K.; HOOK, A.; MARTISKAINEN, M.; BAKER, L. The whole systems of energy injustice of four European low-carbon transitions. **Global Environmental Change**, v. 58, p. 101958, 2019.
- SOVACOOOL, B. K. Who are the victims of low-carbon transitions? Towards a political ecology of climate change mitigation. **Energy Research & Social Science**, v. 73, p. 101916, 2021.
- SOVACOOOL, B. K.; TURNHEIM, B.; HOOK, A.; BROCK, A.; MARTISKAINEN, M. Dispossessed by decarbonisation: Reducing vulnerability, injustice, and inequality in the lived experience of low-carbon pathways. **World Development**, v. 137, p. 105116. 2021.
- STERN, P. C.; SOVACOOOL, B. K.; DIETZ, T. Towards a science of climate and energy choices. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 547, 2016.
- VAN DE GRAAF, T.; SOVACOOOL, B. K. **Global Energy Politics**. Medford, MA: Polity Press, 2020.
- VEERS, P. *et al.* Grand challenges in the science of wind energy. **Science**, v. 366, n. 6464, p. eaau2027, 2019.
- VELASCO-HERREJON, P.; BAUWENS, T. Energy justice from the bottom up: A capability approach to community acceptance of wind energy in Mexico. **Energy Research & Social Science**, v. 70, p. 101711, 2020.
- WALKER, C; BAXTER, J. “It’s easy to throw rocks at a corporation”: Wind energy development and distributive justice in Canada. **Journal of Environmental Policy and Planning**, v. 19, p. 754-768, 2017a.
- WALKER, C.; BAXTER, J. Procedural justice in Canadian wind energy development: A comparison of community-based and technocratic siting processes. **Energy Research and Social Science**, v. 29, p. 160-169, 2017b.
- WOLSINK, M. Wind power and the NIMBY-myth: Institutional capacity and the limited significance of public support. **Renewable Energy**, v. 21, n. 1, p. 49-64, 2000.

- WOLSINK, M. Wind power implementation: The nature of public attitudes: Equity and fairness instead of 'backyard motives'. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 6, p. 1188-1207, 2007.
- WÜSTENHAGEN, R.; WOLSINK, M.; BÜRER, M. J. Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. **Energy Policy**, v. 35, n. 5, p. 2683-2691, 2007.
- ZÁRATE-TOLEDO, E.; PATIÑO, R.; FRAGA, J. Justice, social exclusion and indigenous opposition: A case study of wind energy development on the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. **Energy Research & Social Science**, v. 54, p. 1-11, 2019.

CAPÍTULO 12

DERECHO A LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y POSIBLES IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES

Mozart Otávio Guedes Maia¹
Herivelto Fernandes Rocha²
Aglaer Nasia Cabral Leocádio¹
Hugo Muniz Bolognesi¹
Carla Kazue Nakao Cavaliero¹
Sônia Regina da Cal Seixas¹

Resumen

La intensificación de los efectos del cambio climático, especialmente en las poblaciones más vulnerables, ha sido alertada por la comunidad científica, que destaca la urgencia de las cuestiones ambientales. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODSs) de la Agenda 2030 se presentan con objetivos y enfoques que apuntan no solo a preservar y mitigar los impactos ambientales, sino también la garantía del acceso justo y equitativo a los servicios ecosistémicos, con un enfoque en la erradicación de la pobreza, la formación, el empoderamiento así como la participación de toda la sociedad en la construcción de la sustentabilidad y la prosperidad. Debido a la necesidad de acciones que promuevan el suministro de energía renovable de forma continua y accesible, los sistemas de almacenamiento de energía se han vuelto cada vez más específicos y, en consecuencia, viables. Las baterías de iones de litio son ejemplos de dispositivos de almacenamiento que están ganando espacio en el mercado, pero traen preocupaciones ambientales relacionadas con su fabricación y eliminación adecuada al final de su vida útil. En Brasil ya se han destinado más de 830 mil hectáreas para la implementación de parques de generación eólica, además de una serie de nuevos proyectos que ya fueron aprobados. Además de la producción de energía, el almacenamiento, a través

1 Universidad de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brasil. mzrtwd@gmail.com

2 Instituto Federal del Educación, Ciencia y Tecnología del Estado de São Paulo (IFSP), São Paulo, Brasil.

de celdas de baterías de iones de litio, ha ido ganando protagonismo por sus características versátiles y habituales en diferentes condiciones, sin embargo, tiene impactos socioambientales en los territorios donde se realiza la extracción de la materia prima. Esta encrucijada, entre pensar formas sostenibles de producir energía y garantizar la soberanía de los pueblos y territorios, es objeto de análisis en este capítulo.

Palabras clave: Derecho a la electricidad. Sustentabilidad. ODSs. Impactos socioambientales. Baterías de iones de litio.

Cambios climáticos, acceso a la energía, justicia y derecho a la construcción: un enfoque desde la Agenda 2030

Con el avance del desarrollo tecnológico, el acceso a una red eléctrica puede generar una sensación de seguridad y bienestar para la población, ya sea calentando agua para un baño, enfriando y conservando alimentos, o incluso control térmico del ambiente, además, de los más variados dispositivos tecnológicos utilizados para el trabajo, el ocio o el entretenimiento que requieren energía eléctrica. La desigualdad en el acceso a los recursos y servicios energéticos puede ser un factor limitante para el bienestar y la capacidad de adaptación (CIPLÉ *et al.*, [2018](#)).

Las evidencias sugieren que las diferencias espaciales en la pobreza energética y la vulnerabilidad no son responsabilidad de las variaciones en las “opciones” individuales. Son el resultado de desigualdades geográficas estructurales que tienen sus raíces en varias etapas de los sistemas de injusticia energética, quienes viven en ciertas localidades están en desventaja en su capacidad para obtener servicios energéticos esenciales, por lo que debemos evaluar no solo la desigualdad en la exposición, sino también considerar la desigualdad en términos de las consecuencias para el bienestar (BOUZAROVSKI; SIMCOCK, [2017](#)).

Además de los factores discutidos anteriormente, los riesgos para la salud que enfrentan las personas y las comunidades debido a los ingresos, la residencia, el aislamiento social u otros determinantes sociales son parte de los nuevos desafíos climáticos. Distintos niveles de acceso acaban generando distintos tipos de vulnerabilidad. Una persona puede ser más o menos sensible al cambio climático por su estado de salud, ubicación geográfica, condiciones sociales o económicas (KUMAR, [2018](#)).

Estos paradigmas son abordados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODSs) 2030, presentados en 2015 por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Para garantizar el acceso a los derechos básicos propuestos por la Agenda 2030, como los ODSs (3) Salud y Bienestar y (7) Energía Limpia y Asequible, es necesario repensar el modelo de producción y consumo a través de nuevos modelos, tal y como se señala en el ODS (9) Industria, Innovación e Infraestructuras que avanza hacia la sustentabilidad. Hay 17 objetivos ambiciosos e interconectados que abordan los principales desafíos de desarrollo enfrentados. Son un llamado mundial

a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el medio ambiente y el clima, y garantizar que las personas puedan disfrutar de la paz y la prosperidad. Las metas y objetivos fueron elaborados teniendo en cuenta a los derechos fundamentales que deben ser garantizados a todos, buscando “empoderar y promover la inclusión social, económica y política de todos, sin distinción de edad, género, discapacidad, raza, etnia, origen, religión, condición económica u otra” (ONU, [2015](#)).

Esto demuestra que los objetivos y metas están integrados y van mucho más allá de la preservación del medio ambiente, reconociendo otros temas emergentes para lograr un modelo de desarrollo justo y sostenible. Es importante saber que la distribución de los efectos negativos del cambio climático no es solo un fenómeno biofísico, sino principalmente un proceso político y social del modelo de desarrollo del Norte Global (TORRES *et al.*, [2020](#)).

Una de las principales preocupaciones sobre los impactos del cambio climático es sobre la salud y el bienestar, especialmente en las poblaciones más vulnerables con menos recursos y menor capacidad de adaptación. Los riesgos para la salud derivados de los impactos del cambio climático están mediados por una serie de factores de características individuales, como la edad y el estado de salud; a desafíos más amplios como la calidad de la vivienda y la geografía física (KUMAR, [2018](#)).

ODS 03: Salud y bienestar

Entre las principales metas del ODS 03, busca aumentar el financiamiento de la salud y el reclutamiento, desarrollo, capacitación y retención del personal de salud en los países en desarrollo; apoyar la investigación y el desarrollo de vacunas y medicamentos para enfermedades transmisibles y no transmisibles que afectan principalmente a los países en desarrollo; reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades por productos químicos peligrosos y la contaminación y polución del aire (ONU; ODS 03, [2015](#)), esta última con un fuerte vínculo con la generación de energía y uno de los principales impactos en la salud.

Los principales obstáculos para estas metas son la falta de inversión en el sector, el aumento en la ocurrencia de eventos extremos derivados del cambio climático, los impactos de estos cambios en los países menos desarrollados y el acceso a una red de salud adecuada (ONU; ODS 03, [2015](#)). Estas políticas son a menudo instrumentos de intereses económicos. Según Ciplet *et al.* ([2018](#)), estos intereses se reflejan en la transparencia de los impactos reales de estas políticas en la economía, el bienestar social y la sustentabilidad. La generación de electricidad a partir de fuentes no renovables también es un factor a considerar, ya que el 63% de todas las muertes en el mundo provienen de enfermedades respiratorias (ONU; ODS 03, [2015](#)). Es por ello que la comunidad científica viene alertando sobre el estado de emergencia climática en el que se encuentra el planeta, y la necesidad de acciones para revertir esta situación.

ODS 07: Energía limpia y asequible

Dado que la generación de energía es uno de los principales agentes contaminantes de la atmósfera, para alcanzar las metas del ODS 07 y asegurar el acceso a fuentes de energía confiables, sostenibles y modernas, será necesario promover la inversión en infraestructura energética y en tecnologías energéticas menos impactante, así como garantizar el acceso universal, confiable, actualizado y precios asequibles a los servicios de energía (ONU; ODS 07, [2015](#)). Según Bouzarovski y Simcock ([2017](#)), el precio interno de la energía se basa en factores ubicados geográficamente, y esto incluye patrones de recuperación de energía a partir de recursos naturales, sistemas de suministro de energía disponibles, la eficiencia y calidad de la infraestructura de transmisión de energía y las formas de regulación de precios y programas de apoyo al consumidor. Las transiciones hacia sistemas energéticos con bajas emisiones de carbono también pueden tener un impacto negativo en los precios domésticos de la energía. La planificación del suministro de energía eléctrica a partir de fuentes renovables debe tener en cuenta la intermitencia de fuentes y la adopción de sistemas de almacenamiento de energía, lo que incrementa el costo y precio final de la energía eléctrica.

Los objetivos del ODS 07 incluyen: fortalecer la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y las tecnologías de energía limpia, incluidas las energías renovables, la eficiencia energética y las tecnologías de combustibles fósiles más limpias y avanzadas, promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías energéticas de energía limpia; asegurar el acceso universal y confiable, servicios energéticos modernos y asequibles; aumentar sustancialmente la participación de las energías renovables en la matriz energética mundial; duplicar la tasa general de mejora de la eficiencia energética; ampliar la infraestructura y modernizar la tecnología para proporcionar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los más vulnerables (ONU; ODS 07, [2015](#)).

Este objetivo incide directamente en la economía de los países, ya que la inserción de fuentes renovables de energía requiere una adecuada planificación que equilibre los impactos sobre el medio ambiente, integrando y garantizando el acceso a la red eléctrica. Según Sovacool y Dworkin ([2015](#)), debemos comenzar a tomar decisiones energéticas que promuevan la disponibilidad, la asequibilidad, la buena gobernanza, la sustentabilidad, la equidad intrageneracional, la equidad intergeneracional y la responsabilidad.

La disponibilidad es el elemento básico, incluye la asignación de recursos y soluciones tecnológicas que utiliza una región para producir, transportar, conservar, almacenar o distribuir energía. El segundo elemento central es la asequibilidad, que no solo significa precios bajos, sino también acceso a la energía sin sobrecargar financieramente a los consumidores. La asequibilidad, por lo tanto, abarca precios

estables y equitativos, asegurando no solo una producción eficiente, sino también el acceso a estas fuentes de energías modernas y renovables. Todas las personas tienen derecho a acceder a la información sobre energía y medio ambiente de manera amplia, transparente y justa (SOVACOOL; DWORKIN, [2015](#)).

ODS 09: Industria, innovación e infraestructura

Esta infraestructura moderna, integrada y sostenible también aparece en el ODS 09, que tiene como objetivo “construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación” (ONU; ODS 09, [2015](#)), indicando caminos de colaboración y metas para promover esta transición hacia un modelo productivo más eficiente y sostenible. El desarrollo tecnológico y la garantía de la infraestructura son esenciales para el crecimiento económico de una nación. También es importante promover la eficiencia energética y la inclusión social (ONU; ODS 09, [2015](#)).

Una forma de promover el acceso a la electricidad y la inclusión social implementada por el gobierno brasileño en 2003 fue el Programa Nacional de Acceso y Uso Universal de Energía Eléctrica, antes conocido como “Luz para Todos” (LpT). Su objetivo inicial era llevar energía eléctrica a más de 10 millones de personas en las zonas rurales, poniendo fin a la pobreza energética en el país, que según Bouzarovski y Petrova ([2015](#), p. 31) se define como “la incapacidad de alcanzar un nivel social y materialmente necesario” de servicios energéticos domésticos” (*apud* BOUZAROVSKI; SIMCOCK, [2017](#)). Si bien toda pobreza energética puede considerarse una forma de injusticia energética, esta injusticia es más grave si se concentra espacialmente en lugares con sistemas de salud relativamente precarios y vulnerabilidad poblacional (BOUZAROVSKI; SIMCOCK, [2017](#)).

Incluso con datos dispersos, se sabe que, de 2011 a 2017, a través de la LpT, la electricidad llegó a cerca de 800 mil personas, o sea, el 10% del público objetivo del programa. Según el último censo demográfico del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), cerca de dos millones de brasileños no tienen acceso a la red eléctrica. Actualmente, existen 237 localidades aisladas en Brasil, la mayoría ubicadas en la región norte del país, en estados como Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá y Pará. La Amazonía legal demanda menos del 1% de toda la energía que se ofrece al país y es abastecida principalmente por centrales térmicas locales y generadoras a diesel, yendo en contra de las metas del ODS 07 (MATHYAS, [2020](#)).

Si bien el número de personas sin acceso a energía es pequeño en relación con el total de habitantes del país, es inaceptable que tanta gente siga viviendo de esta manera, ya que son ciudades que, por la falta de acceso a electricidad, no tienen acceso a comunicación, educación de calidad y mejora en la producción agroextractivista. Utiliza combustibles fósiles para tener pocas horas de acceso a la energía, emitiendo más gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con las poblaciones que tienen

acceso a la red eléctrica las 24 horas del día. Además, la comunidad necesita viajar para comprar estos combustibles que serán utilizados en motores de combustibles fósiles, y donde muchas veces la disposición se realiza de manera incorrecta, como en ríos o en terrenos cercanos a sus viviendas (MATHYAS, [2020](#)).

Para minimizar estos impactos y asegurar el acceso a nuevas fuentes de energía, la consecución del ODS 09 es la más adecuada, ya que sus metas se centran en aumentar el acceso a las tecnologías de la información y la comunicación y esforzarse por facilitar el acceso a internet en los países menos desarrollados; apoyar el desarrollo tecnológico nacional, la investigación y la innovación en los países en desarrollo; facilitar el desarrollo de infraestructura sostenible en los países en desarrollo mediante un mayor apoyo financiero, tecnológico y técnico; desarrollar infraestructura de calidad, confiable, sostenible y sólida, incluida la infraestructura regional y transfronteriza, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano con un enfoque en el acceso equitativo y asequible para todos (ONU; ODS 09, [2015](#)).

El gran problema asociado al desarrollo de industrias, innovación e infraestructura es la desigualdad de territorios y pueblos, impulsada por la división espacial del trabajo y la falta de prácticas políticas e institucionales de gobernanza, que no priorizan inversiones e infraestructura para este fin. También hay cambios temporales que conducen a transformaciones económicas y del mercado laboral, generando nuevos patrones espaciales de actividad económica e ingresos, lo que da como resultado estructuras de oportunidades diferenciadas geográficamente, en las que las personas en un lugar determinado tienen menos oportunidades económicas y laborales que otras. Estas diferencias de ingresos se reflejan y reproducen en la variación geográfica de la pobreza energética (BOUZAROVSKI; SIMCOCK, [2017](#)).

ODS 10: Reducir las desigualdades

Los objetivos para lograr el objetivo 10 de los ODS sobre la reducción de las desigualdades incluyen: fomentar el desarrollo oficial y los flujos financieros, incluida la inversión extranjera directa a los Estados donde la necesidad es mayor, en particular los países menos adelantados; facilitar la migración y la movilidad ordenadas, seguras, regulares y responsables de las personas, incluso mediante políticas migratorias planificadas y bien gestionadas; asegurar una representación y una voz más fuertes de los países en desarrollo en la toma de decisiones en las instituciones económicas y financieras internacionales globales; garantizar la igualdad de oportunidades y reducir las desigualdades de resultados, incluso mediante la eliminación de leyes, políticas y prácticas discriminatorias, y promover leyes, políticas y acciones apropiadas a este respecto; empoderar a las poblaciones y promover la inclusión social, económica y política para todos (ONU; ODS 10, [2015](#)).

Los desafíos para lograr la sustentabilidad que presenta la Agenda 2030 de la ONU muestran que para el desarrollo sostenible no basta solo con cuidar el medio

ambiente, es necesario integrar las metas, para una distribución justa y equitativa de los beneficios de los servicios ambientales, en además de mitigar el cambio climático, e invertir en el desarrollo de los países más vulnerables. Entre los objetivos también se explora ampliamente el flujo tecnológico y económico entre países como forma de garantizar el acceso de la población a la salud, energía de menor impacto, infraestructura sostenible, así como la erradicación de la pobreza y reducción de las desigualdades, promoviendo la inclusión social en el paradigma del desarrollo sostenible.

El avance del capital en temas ambientales, en un intento por garantizar espacios para su producción y reproducción, “pone en jaque” el logro del desarrollo sostenible. Es imposible pensar e imaginar un desarrollo sostenible en un sistema anclado, en un crecimiento económico perpetuo. Así, tomando Holden *et al.* (2014), es importante considerar que el concepto presentado en el informe Brundtland determina la existencia de cuatro dimensiones primarias que, de ser alcanzadas, pueden resultar en un desarrollo sostenible. Estas cuatro dimensiones son: 1) *garantizar la sustentabilidad ecológica a largo plazo*; 2) *satisfacer las necesidades humanas básicas*; 3) *promover la equidad intrageneracional*; y 4) *promover la equidad intergeneracional*. Estas dimensiones no serían negociables, no hay desarrollo sostenible a la mitad, las dimensiones deben alcanzarse (dentro de parámetros que aún deben establecerse) para que realmente podamos lograr un desarrollo sostenible.

Dicho esto, el objetivo principal de este capítulo es reflexionar sobre las formas sostenibles de producción de energía y la garantía de la soberanía de los pueblos y territorios, a partir de un ejemplo significativo de construcción de acciones que promuevan la provisión de energías renovables de forma continua y accesible para toda la población y sistemas de almacenamiento de energía económicamente viables, considerando fuertemente, para ello, las propuestas y metas establecidas en la Agenda 2030. Para ello, se puso énfasis en los impactos de la generación eléctrica en emprendimientos eólicos y el uso de baterías de iones de litio como sistema de almacenamiento de energía.

Emprendimientos eólicos, impactos y perspectivas de futuro

Brasil cuenta con un conjunto de estructuras para la generación de energía eólica, especialmente en el noreste del país. La implementación de estos parques ha generado una serie de impactos socioterritoriales para las comunidades y poblaciones tradicionales, en especial las comunidades campesinas y ribereñas que viven en las regiones donde se están instalando los parques (BRANNSTROM *et al.*, 2017 y BRANNSTROM *et al.*, 2018). La producción de energía a partir de esta fuente renovable se corresponde con las expectativas de la Agenda 2030 de Naciones Unidas, en lo que respecta a la producción de energía renovable y asequible o la promoción de acciones contra el cambio climático global (ODS 13). Sin embargo, existen

dudas sobre si contribuye satisfactoriamente al cumplimiento de los ODS 01, 02 y 10, cumple con las expectativas de otros ODS como el primero sobre erradicación de la pobreza (01), hambre cero y agricultura sostenible (02) o reducción de las desigualdades (10).

La producción de energía eólica se enmarca en la lógica de producción de energía de todos los grandes proyectos implementados en regiones y países, es decir, aun siendo considerada una energía renovable y forma parte de los ODS de Naciones Unidas, la territorialización de los parques para la generación de energía la energía eólica reproduce en el espacio los males socioambientales de la producción de energía en un modelo de desarrollo no sostenible.

La espacialización de los parques eólicos en Brasil se concentra en el extremo sur del país, en el centro de Bahía y en la costa nororiental, como se muestra en la [Figura 1](#). Según datos de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL), aproximadamente 831.000 hectáreas para la implementación de más de 594 parques eólicos en etapa de operación, como se muestra en el [Cuadro 1](#). También existen parques en construcción con otorgamiento³, parques con construcción aún no iniciada y parques que se encuentran en etapa de despacho de solicitud de subvención, los cuales pueden llegar a ocupar un área de aproximadamente 100 mil hectáreas.

Figura 1 - Centrales eolieléctricas en Brasil en 2020



Figura 1 - Centrales eolieléctricas en Brasil en 2020
Fuente: Elaborado a partir del Sistema de Información Georreferenciada del Sector Eléctrico (SIGEL) de ANEEL, 2020.

Fuente: Elaborado a partir del Sistema de Información Georreferenciada del Sector Eléctrico (SIGEL) de ANEEL ([2020](#)).

3 Los municipios que cuentan con parques eólicos con construcción otorgada ya cuentan con una infraestructura mínima ya establecida (RODRIGUES et al., [2016](#)).

La implementación de estos parques impacta la forma de vida de muchas comunidades tradicionales que tienen relaciones sociales, económicas y culturales a partir de sus respectivos territorios. Sobre esta espacialización, Hofstaetter (2016) destaca una serie de impactos negativos en el estado de Rio Grande do Norte, que van desde transformaciones del paisaje hasta el aumento de la especulación de tierras (HOFSTAETTER, 2016). En el municipio de Parazinho (RN) “hubo una sobrevaloración del mercado inmobiliario, beneficiando a quienes tenían propiedades en venta y arrendamiento [...] Esta búsqueda de inmuebles se debió a la llegada de un gran contingente de personas ajenas al municipio, que venían a trabajar en la cadena productiva de la energía eólica y necesitaban establecerse” (HOFSTAETTER, 2016, pág. 87).

Cuadro 1 - Etapa de desarrollo de las centrales eólicas brasileñas - 2020

Etapa de desarrollo	Cantidad de parques	Área en hectáreas
Operación	594	831.046
Construcción con otorga	58	15.591
Construcción no iniciada	74	38.836
Despacho de solicitud de otorga	135	45.517
Total	861	930.989

Fuente: Sistema de Información Georreferenciada del Sector Eléctrico (SIGEL) de ANEEL (2020).

Teóricamente, el potencial de generación de energía eólica en Brasil es de 143,5 GW según el Atlas de Potencial Eólico (AMARANTE, BROWER, ZACK, SÁ, 2001), valor basado en las características de los vientos que se dan en el territorio nacional; y en 2020 se han instalado alrededor de 16 GW en todo el país. Por lo tanto, esto corresponde, en promedio, a 52 mil hectáreas de tierras por capacidad instalada en gigawatt (GW). Si se implementara todo el potencial eólico brasileño, teniendo en cuenta este promedio, en el futuro se habrían destinado alrededor de 7,4 millones de hectáreas de tierra para el máximo aprovechamiento de la energía eólica. Si tenemos en cuenta el Plan Decenal de Expansión Energética 2029, la capacidad instalada para generar electricidad a partir de los vientos debe alcanzar la marca de 40 GW hasta 2029, con inversiones del orden de los 100 mil millones de reales (BRASIL, 2020). Esto significa que se necesitarían al menos otros 1,3 millones de hectáreas de tierra para esta expansión en los próximos años.

El agravamiento de la cuestión territorial es uno de los mayores impactos de la expansión de parques en el país. El cercado de terrenos, promovido por empresas con anuencia gubernamental, tiene un impacto directo en la forma de vida de las

comunidades tradicionales que habitan en los territorios donde se implementan los parques. Hofstaetter señala que

dados los informes, se puede decir que los agricultores, dueños de las tierras donde se instalan la mayoría de los parques, están a merced de reglas definidas por las empresas y negociadas por el intermediario, así como del descuido del poder público (HOFSTAETTER, 2016, p. 89).

Traldi (2019a, p. 275), al analizar la expansión de parques eólicos en el semiárido del Nordeste, destaca que:

Aunque la mayoría de las empresas optan por no comprar los terrenos, los contratos de arrendamiento que se firman, por su larga duración y el poder que ejercen los arrendatarios sobre el inmueble, constituyen una enajenación total de los derechos sobre el inmueble por parte de sus dueños a las empresas. Muchos de los contratos incluso eximen a las empresas del pago de impuestos sobre la propiedad, y los propietarios son los únicos responsables de recaudarlos. Así, las empresas evitan la inmovilización de capitales y se eximen de los costos que surgirían de la propiedad, pero garantizan su uso para generación eólica por largos períodos, controlando así grandes áreas del territorio brasileño por generaciones.

Esta característica presente en los contratos suscritos entre empresas y arrendatarios corrobora la tesis del expolio por despojo (TRALDI, 2019b). Hofstaetter también destaca que la implementación de parques eólicos también aumenta la vulnerabilidad del lugar (NASCIMENTO-JÚNIOR, 2018), de las familias afectadas y la cantidad de conflictos en los territorios donde se implementan los parques, por lo que

A pesar de ser considerada energía renovable y limpia [...] la instalación de parques eólicos impacta los territorios locales, evidenciando la vulnerabilidad a la que son susceptibles las poblaciones locales [...] la economía local, con generación de empleo, aumento de la recaudación fiscal y posibles impactos son olvidados de ser mencionados. Por otro lado, los territorios son necesitados, vulnerables y se ilusionan que, esta vez, se impulsará la economía, de que han llegado a la solución de la pobreza. Esta es la lógica utilizada por el capitalismo. (HOFSTAETTER, 2016, p. 113).

Esta lógica de producción de energía en el capitalismo (ver [Capítulo 6](#)) ocurre independientemente de si la fuente es renovable o no renovable. El hecho de que los impactos sean comunicados de manera técnica durante la fase de negociación entre las empresas y los futuros arrendatarios es parte de esta lógica, considerando que

El discurso ambiental de empresas y élites políticas, además del progreso y modernización del territorio, que viene impulsando la expansión del

uso de la energía eólica en el mundo, sirve en Brasil para ocultar prácticas socialmente desleales, como la invasión de propiedades, prácticas de apropiación de territorios, deforestación galopante, perforación de pozos, compromiso de cuerpos de agua y contratos dudosos, que son prácticas comunes de empresas del sector eólico en las comunidades. (TRALDI, [2019a](#), p. 282).

El Estado es responsable del desarrollo de las fuentes renovables de energía a través de exenciones fiscales y tributarias, disponibilidad de créditos y regulación de territorios. Una gran contradicción identificada por Traldi ([2019b](#)), y resumida en el [Capítulo 6](#), se refiere a los caminos del capital que invierte en el despliegue y la generación de energía eólica en Brasil - los recursos que financian gran parte de este proceso son en su mayoría de origen público, con el Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES) como principal acreedor. La banca pública, por su parte, utiliza recursos del Fondo de Apoyo al Trabajador (FAT), que está destinado a empresas interesadas en la implementación de parques y generación de energía, es decir, el dinero que se debe destinar para garantizar mejores condiciones de vida a los trabajadores es fundamental para la precariedad de las relaciones laborales en las zonas afectadas

El proceso de implantación de parques eólicos en la región semiárida brasileña que resulta de la combinación de intereses externos al territorio brasileño, tales como control sobre los costos de producción, solución de la crisis ambiental e intereses de la industria eólica, y de intereses internos al territorio brasileño, entre ellos la ampliación del parque generador de electricidad, termina caracterizándose como un proceso que drena los recursos nacionales para el ámbito rentista internacional y para las empresas. (TRALDI, [2019b](#), p. 265).

El costo de esta inversión es un costo colectivo y las ganancias derivadas de este proceso obedecen a la lógica de acumulación perpetua de capital, beneficiando solo a una fracción de las élites nacionales e internacionales que controlan las empresas beneficiadas por esta inversión (TRALDI, [2019b](#); MORENO, [2016](#)).

La generación de energía eólica en el semiárido brasileño se desarrolla en este contexto de expansión capitalista. Es un proceso que crea oportunidades rentables para el capital mediante la absorción de excedentes de capital retenidos en los países del centro del sistema capitalista y aún no empleados debido a la crisis económica. Así, Brasil, con un alto potencial eólico disponible, apareció como una nueva y prometedora frontera para la expansión capitalista de la “industria verde”, sobre todo porque a mediados de la década de 2000 no contaba con ninguna empresa nacional dedicada a la fabricación de energía eólica. Resultó ser un mercado potencialmente aún más prometedor para expandir el

mercado de consumo de empresas estadounidenses, europeas y asiáticas en el sector eólico (TRALDI, [2019b](#), p. 70).

En este sentido, coincidimos con el enfoque de Holden *et al.* ([2014](#)) que ninguna de las dimensiones primarias puede ser negociada para lograr un desarrollo sostenible, es decir, no es posible concebir como sostenible un proceso que reproduce las desigualdades sociales y ambientales en el territorio. En 2018, McCollum *et al.* ([2018](#)) presentaron un estudio sobre las relaciones e interrelaciones entre los ODS propuestos por la ONU y cómo la búsqueda por alcanzar una meta puede impactar negativamente en la búsqueda de otras metas (MCCOLLUM *et al.*, [2018](#)).

Además del impacto social, relacionado con el cercado de terrenos, también se pueden generar diversos impactos ambientales en la implementación y generación de parques, como por ejemplo, la descaracterización de los paisajes y la invasión de áreas de preservación permanente relacionadas con la implementación de torres de energía eólica, deforestación y erosión relacionada con la apertura de caminos, instalación en la ruta migratoria de especies, reducción en la productividad de algunas especies como las abejas (HOFSTAETTER, [2016](#)).

Ante esta encrucijada, entre promover la transición energética y garantizar los derechos humanos de los pueblos y comunidades tradicionales, es necesario construir caminos que superen las lógicas de producción y reproducción del capital en el marco de la producción y almacenamiento de energía a partir de fuentes renovables.

Almacenamiento de energía en baterías de litio

La intermitencia de las fuentes de energía renovable dificulta la expansión total de este tipo de generación eléctrica. Algunas fuentes varían en disponibilidad a lo largo del día, como es el caso de las fuentes solar y eólica; o estacionalmente a lo largo del año, más evidente en fuentes de agua y biocombustibles. Para mitigar los efectos de esta intermitencia se utilizan acumuladores de energía. Esta característica permite estandarizar el suministro de energía por un determinado período de tiempo, además de garantizar cierta seguridad en la disponibilidad de energía eléctrica, garantizando la continuidad del suministro (GALLO *et al.*, [2016](#)).

La propagación y adopción de sistemas de almacenamiento de energía depende en gran medida tanto de políticas públicas que los impulsen como de la apertura del sector energético a los servicios de almacenamiento. A escala global, la instalación de estos sistemas vinculados a la electricidad creció anualmente desde 2013 hasta 2018 (IEA, [2020](#)). Con el aumento de la generación eléctrica a partir de fuentes eólicas y solares en Brasil, se ha dado mayor énfasis a la investigación y desarrollo en el sector de almacenamiento de energía. En 2016, la ANEEL lanzó la Convocatoria de Proyectos Estratégicos de Investigación y Desarrollo n° 021/2016, que contempla el financiamiento de proyectos de almacenamiento de energía eléctrica de todo tipo. Se

aprobaron 23 proyectos y 21 de ellos ya estaban en fase de ejecución en 2019. Entre las principales rutas tecnológicas de almacenamiento desarrolladas se encuentran la aplicación de baterías y la conversión a gas hidrógeno (ANEEL, [2019](#)).

El almacenamiento de energía electroquímica en forma de baterías destaca como una de las tecnologías con gran potencial de aplicabilidad. Uno de los principales diferenciales es su versatilidad debido a sus proyectos modulares, rápido tiempo de respuesta y fácil instalación. La capacidad de almacenamiento y la potencia disponible de los sistemas de baterías se pueden proyectar de acuerdo con el número de celdas empleadas. El mantenimiento y durabilidad del sistema de almacenamiento en baterías varía según la tecnología de batería aplicada, así como el espacio físico requerido para su operación, el cual está ligado a la densidad energética de las baterías y los equipos adyacentes necesarios (EPE, [2019](#)).

Las baterías de iones de litio (Lithium-ion Batteries - LIBs) son la tecnología más prometedora en todo el mundo, cuyo rápido avance de madurez está siendo impulsado por la aplicación vehicular (IEA, [2020](#)). Sobresalen en el uso del transporte porque proporcionan una mejor densidad de energía que sus competidores directos de plomo-ácido y níquel-hidruro metálico (NiMH).

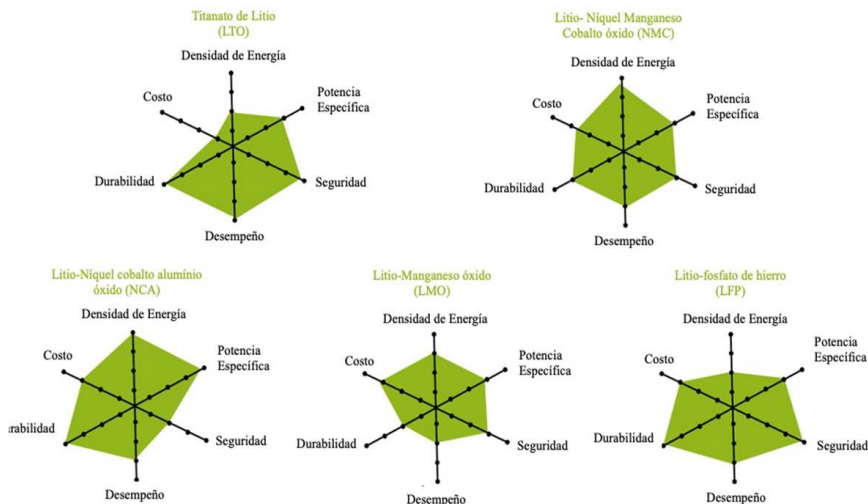
A diferencia de las baterías convencionales, las LIBs no utilizan una reacción redox⁴ para convertir la electricidad. En cambio, los iones de litio se mueven entre el ánodo y el cátodo, obligando a los electrones a moverse con ellos (BERNARDES *et al.*, [2004](#)). Inicialmente, se desarrollaron con óxido de litio y cobalto (LiCoO₂ - LCO) como electrodo positivo (cátodo) y grafito como electrodo negativo (ánodo). Nuevas composiciones de electrodos positivos, aplicando otros materiales, fueron desarrolladas recientemente y ya se encuentran en etapa comercial, tales como fosfato de hierro (LiFePO₄-LFP), óxido de manganeso (LiMn₂O₄ - LMO), óxido de níquel manganeso cobalto (Li(Ni_xMn_yCo_z)O₂ - NMC) y óxido de níquel cobalto aluminio (Li(Ni_xCo_yAl_z)O₂ - NCA); además de la opción de electrodo negativo con grafito, el más utilizado, o titanato de litio (LTO). La elección entre los electrodos adecuados para cada aplicación puede basarse en las características identificadas en la Figura 2.

La modularidad de las baterías permite la operación en sistemas con potencias que van desde el orden de kW, como en generación distribuida, hasta el orden de GW, como en generación eólica (EYER; COREY, [2010](#)). El uso estacionario de LIBs, como apoyo a la generación eólica y solar, requiere un tiempo de respuesta rápido y un tiempo de operación promedio, especialmente en los momentos pico de demanda eléctrica. Para atender las fluctuaciones diarias de las fuentes solares, se pueden diseñar sistemas de almacenamiento que eviten caídas repentinas y complementen la potencia de generación a la potencia nominal del sistema instalado en determinados momentos.

4 Una reacción redox (o reacción de oxidación-reducción) es un tipo de reacción química que involucra la transferencia de electrones entre dos especies químicas.

Así, la descarga de la batería debe durar entre media hora y dos horas, sustentando la potencia nominal del sistema de generación fotovoltaica (EYER; COREY, [2010](#)).

Figura 2 - Características técnicas de cinco composiciones de electrodos de baterías de iones de litio



Fuente: Adaptado de Reid y Julve ([2016](#)).

Para trabajar en conjunto con los sistemas de generación eólica, los sistemas de almacenamiento con baterías pueden operar, como en el caso de la fotovoltaica, con servicios de continuidad de suministro de energía o como reguladores de perturbaciones en la generación, estabilizando la energía generada para sincronizarla con la frecuencia y fase de la red eléctrica. Sin embargo, estas dos aplicaciones dependen de un sistema de baterías con diferentes cualidades técnicas. Para asegurar la continuidad de la energía, el sistema de almacenamiento debe tener un tiempo de respuesta rápido y un tiempo de descarga prolongado; para los servicios de estabilización de energía, el tiempo de respuesta también debe ser rápido, pero el servicio opera en varios ciclos cortos de carga y descarga. Así, para este segundo tipo de aplicación se eligen LIBs con la mejor eficiencia energética, mientras que para el primero se eligen sistemas que permitan grandes profundidades de descarga de la batería (EYER; COREY, [2010](#)).

Los LIBs aún no son unánimes para los servicios de almacenamiento estacionario por dos razones principales: financiera y ambiental. Las baterías requieren una alta inversión, aunque esta se ha ido reduciendo con el paso de los años. El aumento de la demanda y las mejoras en los procesos de fabricación llevaron a una reducción de los precios de venta de $1.100 \text{ U}\$.\text{kWh}^{-1}$ en 2010 a $137 \text{ U}\$.\text{kWh}^{-1}$ en promedio al cierre de 2020, con tendencias a la reducción a futuro (BOUDWAY, [2020](#)).

Desde el punto de vista ambiental, el proceso de fabricación de baterías tiene impactos importantes, principalmente relacionados con los productos químicos utilizados y la extracción y procesamiento de elementos químicos, como el litio, el cobalto y el níquel, materiales cuya disponibilidad puede ser limitada (ZUBI *et al.*, 2018). El proceso de fabricación de baterías, en sus diversas composiciones de materiales, presenta altos riesgos de toxicidad, tanto para los medios acuáticos y terrestres, como para el ser humano (CUSENZA *et al.*, 2019; MAJEAU-BETTEZ; HAWKINS; STRØMMAN, 2011; NOTTER *et al.*, 2010). Aun así, la fabricación de LIBs es, en general, menos dañina para el medio ambiente que la fabricación de baterías de NiMH y plomo-ácido (BOBBA *et al.*, 2018a; MAJEAU-BETTEZ; HAWKINS; STRØMMAN, 2011).

La contribución de la fabricación de las LIBs al calentamiento global varía según las sustancias químicas que componen las baterías. La fabricación de baterías tipo LMO promueve la emisión de alrededor de 50 kg CO_{2eq}.kWh⁻¹, considerado el de menor impacto en el efecto invernadero. La fabricación de baterías NMC varía las emisiones de GEI entre 80 kg CO_{2eq}.kWh⁻¹ y 200 kg CO_{2eq}.kWh⁻¹, mientras que la contribución de las baterías LFP varía de 150 kg CO_{2eq}.kWh⁻¹ a 260 kg CO_{2eq}.kWh⁻¹. Estos valores mantienen una alta correlación con la fuente de energía que alimenta la industria fabricante. (ELLINGSEN; HUNG; STRØMMAN, 2017; KIM *et al.*, 2016). El proceso de fabricación de las celdas de la batería supone entre el 45% y el 62% del total de emisiones de GEI asociadas a la batería completa, directamente relacionado con el consumo de electricidad y gas natural involucrado en la fabricación de las celdas (KIM *et al.*, 2016).

Además de impulsar la tecnología y reducir los costos de fabricación, el uso generalizado de LIBs en el sector del transporte crea la oportunidad para su reutilización. Al final de su uso en vehículos leves y medianos, las baterías aún mantienen entre el 70% y el 80% de su capacidad nominal y son adecuadas para una aplicación menos intensiva, como las aplicaciones estacionarias (CICCONI *et al.*, 2012). Esta opción de reutilización plantea oportunidades de mitigación ambiental, al prolongar el uso de un componente con altos impactos en el medio ambiente; y económico, al introducir en el mercado un producto de calidad técnica y bajo costo de adquisición (MARTINEZ-LASERNA *et al.*, 2018).

La segunda vida trae beneficios ambientales tanto a la fabricación de vehículos, que comparten sus impactos ambientales, como a las empresas estacionarias que inician sus operaciones con menores impactos, en comparación con los emprendimientos con baterías nuevas (MARTINEZ-LASERNA *et al.*, 2018). La huella ambiental de implementar estos emprendimientos con baterías de segunda vida puede reducirse reutilizando componentes que ya han cumplido su función inicial en el transporte (AHMADI *et al.*, 2015; RICHA *et al.*, 2015). Para adaptarlas al segundo uso, las baterías deben pasar por un proceso de remodelación, que evalúa su estado físico y reconfigura sus conexiones para cumplir con los requisitos técnicos estacionarios.

De esta forma, la batería, que solo haría ejercicio una función en la movilidad, empieza a redistribuir todos los impactos ambientales de la fabricación, alargando su funcionalidad a una segunda vida útil. Al reutilizar las baterías de los vehículos, también es posible fabricar menos baterías, ya sean de litio, plomo-ácido o NiMH, requiriendo así menos materias primas y emitiendo menos contaminantes y residuos de fabricación, llegando a la percepción de una huella ambiental negativa en algunos casos específicos, considerando solo la batería (BOBBA *et al.*, [2018b](#); RICHA *et al.*, [2015](#)). Muchas empresas en varias partes del mundo ya están probando el segundo uso de estas baterías de vehículos eléctricos para una variedad de aplicaciones de almacenamiento de energía, tanto en la reutilización estacionaria como en la reutilización de modos de transporte leves.

El riesgo ambiental de los LIBs se puede mitigar, desarrollando y mejorando los procesos de recuperación y reciclándolos. El uso de materiales reciclados en las baterías reduce el proceso de extracción de materiales menos abundantes y optimiza el proceso de fabricación que requiere menos insumos (ZUBI *et al.*, [2018](#)). Sin embargo, también es necesario analizar la demanda energética del proceso de reciclaje para confirmar los beneficios.

Procesos de reciclaje

Las LIBs están compuestas por metales pesados, productos químicos orgánicos y plásticos, en la proporción de 5% a 20% de cobalto, 5% a 10% de níquel, 5% a 7% de litio, 15% de químicos orgánicos y 7% de plásticos, cuya composición puede variar, dependiendo del fabricante. Cuando los residuos generados por las LIBs se procesan adecuadamente, se pueden recuperar metales pesados como el cobalto o el litio, lo cual es deseable para la conservación de los recursos naturales (AL-THYABAT *et al.*, [2013](#)).

Actualmente, el proceso de reciclaje de estas baterías implica unos pocos pasos, clasificados en métodos de pretratamiento, hidrometalúrgicos⁵ y pirometalúrgicos⁶.

En un primer momento, se suele aplicar el proceso de pretratamiento, que tiene como objetivo preparar las diferentes corrientes de residuos de baterías para el proceso posterior. El pretratamiento puede clasificarse en mecánico o químico y consiste básicamente en el desmontaje, molienda, tamizado, tratamiento térmico, método mecánico-químico y disolución (VELÁZQUEZ MARTÍNEZ *et al.*, [2019](#); VANITHA; BALASUBRAMANIAN, [2013](#)). Estas técnicas suelen funcionar en función de las diferencias físicas y químicas de la batería, por ejemplo, la densidad, la forma, el tamaño y las reacciones químicas (KAYA, [2016](#)).

Luego, el material obtenido es refinado por los procesos de hidrometalurgia, pirometalurgia o una mezcla de ambos. La pirometalurgia se refiere a operaciones a temperaturas elevadas, donde se activan reacciones redox para fundir y purificar

metales. La hidrometalurgia implica la lixiviación de elementos valiosos de una matriz sólida y su posterior precipitación mediante la modificación de la química de la fase disolvente. (BANKOLE *et al.*, 2013; MOSSALI *et al.*, 2020). Hay algunas diferencias importantes entre estos procesos que pueden contribuir a su eficacia, flexibilidad en el cambio de química y configuraciones LIBs. El [Cuadro 2](#), resume algunas de estas diferencias.

La pirometalurgia es la técnica más utilizada para recuperar metales debido a su proceso simples y porque se trata de un flujo mixto de material, diferente a los procesos hidrometalúrgicos. Sin embargo, el uso de altas temperaturas produce muchas emisiones nocivas, requiere un alto consumo de energía y no es capaz de extraer el litio, que generalmente se convierte en escoria, lo que exige la investigación de soluciones que promuevan una mayor eficiencia energética y ambiental. Por otro lado, la hidrometalurgia es compleja y depende en gran medida de la química del cátodo (LV *et al.*, 2018).

Cuadro 2 - Comparación de los procesos de reciclaje de LIB

Procesos	Condiciones de proceso (GAINES; DUNN, 2014)	Beneficios (MOSSALI <i>et al.</i> , 2020)	Desventajas (MOSSALI <i>et al.</i> , 2020)
Piro	Pasos químicos y de alta temperatura	Aplicable a cualquier química y configuración de batería; Generación de reacción exotérmica, reduciendo el consumo de energía.	Alto consumo de energía; Emisiones de gases peligrosos.
Hidro	Pasos físicos a baja temperatura	Aplicable a cualquier química y configuración de batería; Consumo de energía moderado; Sin emisiones de gases; Recuperación de todos los metales del cátodo de las baterías de iones de litio.	Producción de aguas residuales.

Fuente: Adaptado de LV *et al.* (2018).

Impactos ambientales

Aunque se sabe que reciclar las LIBs puede ser beneficioso para el medio ambiente, especialmente en lo que se refiere a la reducción de la extracción de materias primas, el consumo de energía y las emisiones de CO₂, los procesos de reciclaje actuales aún no han alcanzado el grado de madurez comercial de otras baterías, como las de plomo-ácido. (BANKOLE; GONG; LEI, 2013).

Para contribuir a una mejor comprensión e identificación de las ventajas y desventajas de cada proceso de reciclaje, se han llevado a cabo algunos estudios de evaluación del ciclo de vida (ECV). De acuerdo con esto, tenemos el estudio desarrollado por Engel (2016), que consideró varios escenarios de procesos de reciclaje para evaluar algunos impactos ambientales, en particular el potencial de calentamiento global (GWP 100⁷), la toxicidad humana (HTP⁸) y la toxicidad terrestre (TETP⁹). El sistema se delimitó específicamente en la fase de reciclaje, que incluye métodos básicos como desactivación y desmontaje de sistemas de baterías, tratamiento mecánico, así como etapas del proceso hidro y pirometalúrgico. Los análisis se clasificaron en diferentes empresas recicladoras, del 1 al 3, cada una empleando diferentes rutas tecnológicas, siendo la empresa 1 por el proceso de hidrometalurgia; empresa 2, las dos tecnologías (piro e hidrometalurgia); y la empresa 3, solo del proceso piro. Los resultados de esta investigación se pueden apreciar en la Figura 3, considerando una unidad funcional (UF) de 1.000 kg de LIBs. El valor total, identificado para cada empresa, corresponde a las emisiones derivadas específicamente de los procesos de reciclaje, desde el pretratamiento hasta el producto recuperado.

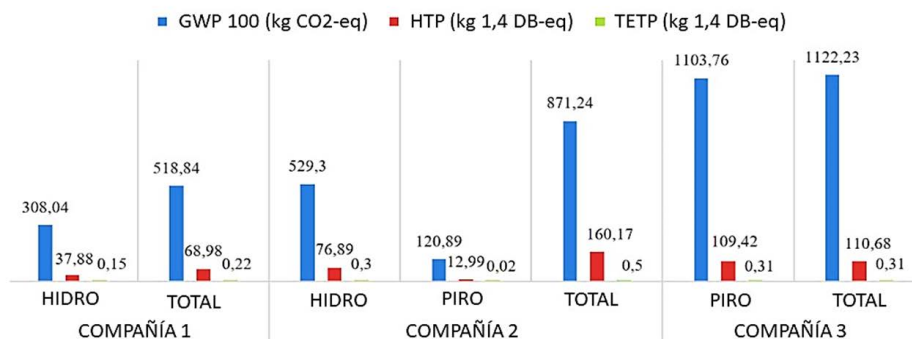
Como era de esperar, el estudio de Engel (2016) mostró que los efectos ambientales pueden sufrir algunas variaciones, dependiendo de qué factores - materiales, flujo de proceso, flujo de energía, combustibles y otros - se consideren en su análisis, en este caso específico, el tipo de proceso de reciclaje. El gran aporte del proceso pirometalúrgico en las emisiones de CO₂ se debe a la demanda energética para alcanzar altas temperaturas, ya mencionada, que en el caso del estudio fue suplida por el uso de 800 kWh. El resultado total del potencial de toxicidad humana en el proceso de la empresa 1 se puede atribuir al uso de carbonato de sodio (30 kg). Finalmente, la ruta que incluye los dos procesos juntos mostró un mayor potencial de toxicidad terrestre debido al uso de químicos como la piedra caliza (129 kg) y el ácido sulfúrico (126 litros).

7 GWP 100 - significa *Global Warming Potential*, o, en español, potencial de calentamiento global. Es un tipo de medida que muestra cuánto una determinada cantidad de masa de un gas de efecto invernadero es capaz de retener calor en la atmósfera, en comparación con la misma masa de gas CO₂ equivalente (RECIGASES, 2020).

8 HTP - significa *Human Toxicity Potential*, o, en español, potencial de toxicidad humana. Es un índice calculado que refleja el daño potencial de una unidad de sustancia química liberada al medio ambiente, basándose en la toxicidad inherente de un compuesto y su dosis potencial (MCKONE y HERTWICH, 2001).

9 TETP - significa *Terrestrial ecotoxicity potential*, o, en español, potencial de toxicidad terrestre. Se define como el estudio de los efectos de una sustancia química sobre los organismos terrestres y las plantas. (PRO, 2016).

Figura 3 - Impacto ambiental de las categorías de impacto de los procesos de reciclajes



Fuente: Adaptado de Engel (2016).

Boyden *et al.* (2016), en un estudio comparativo del ciclo de vida entre procesos de reciclaje (hidrometalúrgico y pirometalúrgico), demostró que los metales comúnmente recuperados son el cobre, el níquel y el cobalto. Además, muestra que los mayores contribuyentes a los impactos ambientales son la generación de electricidad, la incineración de plásticos y los vertederos de residuos. En cuanto a los efectos ambientales, los autores sugieren que los procesos más beneficiosos son aquellos que utilizan bajas temperaturas y son capaces de recuperar el plástico.

Desafíos y oportunidades: consideraciones finales

Los ODS han sido el principio rector de la sustentabilidad en el ámbito político, sin embargo, poco se mide sobre el impacto del cambio económico, estructural y social. Es necesario que los órganos de gobierno, las instituciones de ciencia y tecnología y la sociedad civil organizada estructuren planes de acción y evalúen escenarios para alcanzar las metas. Es necesario integrar a la comunidad en todo el proceso, desde las consultas para conocer sus demandas hasta el seguimiento del funcionamiento del sistema (MATHYAS, 2020).

La expansión del servicio en regiones remotas debe ir acompañada de entrenamiento y capacitación para el manejo de sistemas de generación de energía eléctrica, brindando oportunidades para estudios y consultas sobre la factibilidad de operación y mantenimiento de los sistemas. Las fuentes de energía renovable aumentan la productividad, la competitividad y la resiliencia de las poblaciones tradicionales que viven en comunidades remotas y aisladas, apoyando mejoras en la calidad de vida, la producción y la generación de ingresos. Cabe señalar que el acceso a la energía abarca también su uso para actividades productivas, educativas y recreativas, no solo para el cuidado básico del día a día (MATHYAS, 2020).

Para intensificar la propagación de sistemas de almacenamiento de energía y el uso estacionario de LIBs, la reutilización de baterías de vehículos es una herramienta importante en el ámbito económico y ambiental. Las baterías de propulsión se pueden reutilizar en prácticamente todas las funciones estacionarias de una batería nueva, pero requieren un mayor control de mantenimiento y seguimiento (REID; JULVE, 2016). El uso de sensores avanzados y métodos mejorados de monitoreo de baterías en campo y pruebas al final de su vida útil permitiría que las características de las baterías individuales coincidieran mejor con las aplicaciones de segundo uso propuestas, con ventajas concomitantes en términos de vida útil, seguridad y valor de mercado. Las aplicaciones de baterías de segunda vida proporcionan inversiones iniciales más bajas para los sistemas de almacenamiento, lo que mejora el rendimiento financiero esperado en relación con el uso de nuevas LIB (NEUBAUER *et al.*, 2012). Sin embargo, se necesita una planificación adecuada para que las baterías reutilizadas se reemplacen antes de que comprometan la funcionalidad de la empresa.

Siguiendo la jerarquía de gestión de residuos, se considera preferible la reutilización al reciclaje inmediato al final de la primera vida, con el fin de extraer el máximo valor económico y minimizar los impactos ambientales. Sin embargo, incluso si se obtienen todos los beneficios del segundo uso, debe recordarse que el reciclaje (y no el vertedero) es el destino inevitable de todas las baterías.

Algunos análisis recientes del ciclo de vida de los vehículos eléctricos han indicado que, en algunos casos, la aplicación de los procesos de reciclaje de LIB actuales puede no generar reducciones en las emisiones de GEI en comparación con la producción primaria (CIEZ; WHITACRE, 2019). Por lo tanto, se necesitan con urgencia procesos más eficientes para mejorar la viabilidad ambiental y económica del reciclaje, que actualmente depende en gran medida del contenido de cobalto.

En el momento, hay pocas esperanzas de que se encuentren procesos de reciclaje rentables para todos los tipos de LIB de vehículos eléctricos actuales y futuros sin una investigación y desarrollo sustancialmente exitosos. Por lo tanto, el imperativo de reciclar provendrá principalmente del deseo de evitar la creación de vertederos y apoyar el suministro de materiales estratégicos para la fabricación de baterías. Las ventajas ambientales y económicas del segundo uso y el bajo volumen de baterías de vehículos eléctricos actualmente disponibles para reciclar pueden retrasar, o incluso limitar, el desarrollo de una industria de reciclaje a corto o mediano plazo en Brasil. El reciclaje de baterías de vehículos eléctricos puede ser un valioso recurso secundario para mantener el uso de materiales que no abundan en la naturaleza. La gestión cuidadosa de los recursos consumidos por la fabricación y el reciclaje de baterías es sin duda la clave para la sustentabilidad de la futura industria del almacenamiento de baterías (HARPER *et al.*, 2019).

Agradecimientos

Los 4 primeros autores agradecen a CAPES y CNPq por las becas de posgrado y el sexto autor agradece a CNPq por la beca de Productividad en Investigación.

Referencias

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Chamada de Projeto de P&D Estratégico nº 021/2016** - Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro. Brasília: ANEEL, 2016. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/pt/programa-de-p-d/-/asset_publisher/ahiml6B12kVf/content/regulamentacao-vigente/656831?inheritRedirect=false&redirect=http://www.aneel.gov.br/pt/programa-de-p-d?p_p_id%3D101_INSTANCE_ahiml6B12kVf%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3D. Acesso em: 2 fev. 2020.
- AHMADI, L.; YOUNG, S. B.; FOWLER, M.; FRASER, R. A.; ACHACHLOUEI, M. A. A cascaded life cycle: reuse of electric vehicle lithium-ion battery packs in energy storage systems. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 1, p. 111-124, 2015.
- AL-THYABAT, S.; NAKAMURA, T.; SHIBATA, E.; IIZUKA, A. Adaptation of minerals processing operations for lithium-ion (LiBs) and nickel metal hydride (NiMH) batteries recycling: Critical review. **Minerals Engineering**, v. 45, p. 4-17, 2013.
- AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M.; ZACK, J.; SÁ, A. L. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf. Acesso em: 30 nov. 2020.
- BANKOLE, O. E.; GONG, C.; LEI, L. Battery recycling technologies: recycling waste lithium ion batteries with the impact on the environment in-view. **Journal of Environment and Ecology**, v. 4, n. 1, p. 14, 2013.
- BERNARDES, A. M.; ESPINOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S. Recycling of batteries: A review of current processes and technologies. **Journal of Power Sources**, v. 130, n. 1-2, p. 291-298, 2004.
- BOBBA, S.; PODIAS, A.; DI PERSIO, F.; MESSAGIE, M.; TECCHIO, P.; CUSENZA, M. A.; EYNARD, U.; MATHIEUX, F.; PFRANG, A. **Sustainability Assessment of Second Life Application of Automotive Batteries (SASLAB)**: JRC Exploratory Research (2016-2017): Final technical report: August 2018. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018.
- BOUDWAY, I. **Batteries for electric cars speed toward a tipping point**. In: BLOOMBERG NEWS. New York, 16 dez. 2020. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-12-16/electric-cars-are-about-to-be-as-cheap-as-gas-powered-models#:~:text=Tesla%2C%20the%20world's%20largest%20EV,cost%20the%20automaker%20about%2024%25%20>. Acesso em: 4 jan. 2021.
- BOUZAROVSKI, S.; SIMCOCK, N. Spatializing energy justice. **Energy Policy**, v. 107, p. 640-648, 2017.
- BOYDEN, A.; SOO, V.K.; DOOLAN, M. The environmental impacts of recycling portable lithium-ion batteries. **Procedia CIRP**, v. 48, p. 188-193, 2016.
- BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J. S.; LOUREIRO, C.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V.; FREITAS, A. L. R.; OLIVEIRA, R. F. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 62-71, 2017.

- BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; SOUZA, W. F.; LEITE, N. S.; CHAVES, L. O.; GUIMARÃES, R.; GÊ, D. R. F. Perspectivas geográficas nas transformações do litoral brasileiro pela energia eólica. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 63, n. 1, p. 3-28, 2018.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>. Acesso em: 28 nov. 2020.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa Luz Para Todos**. In: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Brasília, 25 dez. 2020. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/servicos/ouvidoria/perguntas-frequentes/programa-luz-para-todos>. Acesso em: 26 dez. 2020.
- BRASIL. Ministério do Planejamento. **Luz para todos**. In: MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. Brasília, [20--]. Disponível em: <http://pac.gov.br/infraestrutura-social-e-urbana/luz-para-todos>. Acesso em: 22 dez. 2020.
- CICCONI, P.; LANDI, D.; MORBIDONI, A.; GERMANI, M. Feasibility analysis of second life applications for Li-Ion cells used in electric powertrain using environmental indicators. In: INTERNATIONAL ENERGY CONFERENCE AND EXHIBITION, 2012, Florence, Itália. **Anais [...]**. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2012. p. 985-990.
- CIEZ, R. E.; WHITACRE, J. F. E. Examining different recycling processes for lithium-ion batteries. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 2, p. 148-156, 2019.
- CIPLET, D.; ADAMS, M. K.; WEIKMANS, R.; ROBERTS, J. T. The transformative capability of transparency in global environmental governance. **Global Environmental Politics**, v.18, n. 3, p. 130-150, 2018.
- CUSENZA, M. A.; BOBBA, S.; ARDENTE, F.; CELLURA, M.; PERSIO, F. Energy and environmental assessment of a traction lithium-ion battery pack for plug-in hybrid electric vehicles. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 634-649, 2019.
- DUNN, J. B.; GAINES, L.; SULLIVAN, J.; WANG, M. Q. Impact of recycling on cradle-to-gate energy consumption and greenhouse gas emissions of automotive lithium-ion batteries. **Environmental Science and Technology**, v. 46, n. 22, p. 12704-12710, 2012.
- ELLINGSEN, L. A. W.; HUNG, C. R.; STRØMMAN, A. H. Identifying key assumptions and differences in life cycle assessment studies of lithium-ion traction batteries with focus on greenhouse gas emissions. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 55, p. 82-90, 2017.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Sistemas de armazenamento em baterias**: aplicações e questões relevantes para o planejamento. Brasília: EPE, 2019.
- ENGEL, J. Development perspectives of lithium-ion recycling processes for electric vehicle batteries. In: INDUSTRIAL AND SYSTEMS ENGINEERING RESEARCH CONFERENCE, 2016, Anaheim, Estados Unidos. **Proceedings [...]**. 2016. p. 7-12.
- EYER, J.; COREY, G. **Energy storage for the electricity grid**: Benefits and market potential assessment guide. A study for the DOE energy storage systems program. Livermore: Sandia National Laboratories, 2010. Disponível em: <http://www.ntis.gov/help/ordermethods.asp?loc=7-4-0#online>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- GAINES, L. L.; DUNN, J. B. Lithium-Ion Battery Environmental Impacts. In: PISTOIA, G. **Lithium-Ion Batteries**: Advances and Applications. Oxford: Elsevier, 2014. p. 483-508.

- GALLO, A. B.; SIMÕES-MOREIRA, J. R.; COSTA, H. K. M.; SANTOS, M. M.; SANTOS, E. M. Energy storage in the energy transition context: A technology review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 800-822, 2016.
- HARPER, G.; SOMMERVILLE, R.; KENDRICK, E.; DRISCOLL, L.; SLATER, P.; STOLKIN, R.; WALTON, A.; CHRISTENSEN, P.; HEIDRICH, P.; LAMBERT, S.; ABBOTT, A.; RYDER, K.; GAINES, L.; ANDERSON, P. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. **Nature**, v. 575, n. 7781, p. 75-86, 2019.
- HOFSTAETTER, M. Energia eólica: entre ventos, impactos e vulnerabilidades socioambientais no Rio Grande do Norte. 2016. Dissertação (Mestrado em Estudos Urbanos e Regionais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- HOLDEN, E; LINNERUD, K; BANISTER, D. Sustainable development: Our Common Future Revisited. **Global Environmental Change**, v. 26, p. 130-139, 2014.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Storage**. [s. l.]: IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-storage>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- KAYA, M. Recovery of metals and nonmetals from electronic waste by physical and chemical recycling processes. **Waste Management**, v. 57, p. 64-90, 2016.
- KIM, H. C.; WALLINGTON, T. J.; ARSENAULT, R.; BAE, C.; AHN, S.; LEE, J. Cradle-to-gate emissions from a commercial electric vehicle li-ion battery: a comparative analysis. **Environmental Science and Technology**, v. 50, n. 14, p. 7715-7722, 2016.
- KUMAR, N. **Cities, climate change and health equity**. Toronto: Wellesley Institute, 2018.
- LV, W.; WANG, Z.; CAO, H.; SUN, Y.; ZHANG, Y.; SUN, Z. A critical review and analysis on the recycling of spent lithium-ion batteries. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 6, n. 2, p. 1504-1521, 2018.
- MAJEAU-BETTEZ, G.; HAWKINS, T. R.; STRØMMAN, A. H. Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 10, p. 4548-4554, 2011.
- MATHYAS, A. M. **Acesso à energia com fontes renováveis em regiões remotas no Brasil: Lições aprendidas e recomendações**. Brasília: WWF Brasil, 2020.
- MARTINEZ-LASERNA, E.; GANDIAGA, I.; SARASKETA-ZABALA, E.; BADEBA, J.; STROE, D.; SWIERCZYNSKI, M.; GOIKOETXEA, A. Battery second life: hype, hope or reality? A critical review of the state of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 93, p. 701-718, 2018.
- MCCOLLUM, D. L; ECHEVERRI, L.G; BUSCH, S; PACHAURI, S; PARKINSON, S; ROGELJ, J; KREY, V; MINX, J. C; NILSSON, M; STEVANCE, A. S; RIAHI, K. Connecting the sustainable development goals by their energy inter-linkages **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 3, p. 033006, 2018.
- MCKONE, T. E.; HERTWICH, E. G. The Human Toxicity Potential and a Strategy for Evaluating Model Performance in Life Cycle Impact Assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 6, n. 2, p.106-109, 2001.
- MORENO, C. As roupas verdes do rei: economia verde uma nova forma de acumulação primitiva. *In*: DILGER, G; LANG, M; PEREIRA FILHO, J. (org.). **Descolonizar o imaginário: debates sobre o pós-extrativismo e alternativas ao desenvolvimento**. São Paulo: Fundação Rosa Luxemburgo, 2016. p. 256-293.

- MOSSALI, E.; PICONE, N.; GENTILINI, L.; RODRÍGUEZ, O.; PÉREZ, J. M.; COLLEDANI, M. Lithium-ion batteries towards circular economy: A literature review of opportunities and issues of recycling treatments. **Journal of Environmental Management**, v. 264, p. 110500, 2020.
- NASCIMENTO JÚNIOR, L. **Clima urbano, risco e vulnerabilidade em cidades costeiras do mundo tropical**: estudo comparado entre Santos (Brasil), Maputo (Moçambique) e Brisbane (Austrália). Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente (SP), 2018.
- NEUBAUER, J. S.; PESARAN, A.; WILLIAMS, B.; FERRY, M.; EYER, J. A techno-economic analysis of PEV battery second use: Repurposed-battery selling price and commercial and industrial end-user value. In: SAE WORLD CONGRESS AND EXHIBITION, 2012, Detroit, Estados Unidos. **Anais [...]. [s. l.]**: SAE Technical Papers, 2012.
- NOTTER, D. A.; GAUCH, M.; WIDMER, R.; WÄGER, P.; STAMP, A.; ZAH, R.; ALTHAUS, H. Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles. **Environmental Science and Technology**, v. 44, n. 17, p. 6550-6556, 2010.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. In: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Plataforma Agenda 2030**. [s. l.], 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br>. Acesso em: 30 set. 2020.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS 03: saúde e bem-estar. In: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Plataforma Agenda 2030**. [s. l.], 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/ods/3/>. Acesso em: 30 set. 2020.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS 07: Energia acessível e limpa. In: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Plataforma Agenda 2030**. [s. l.], 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/ods/7/>. Acesso em: 30 set. 2020.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS 09: Indústria, inovação e infraestrutura. In: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Plataforma Agenda 2030**. [s. l.], 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/ods/9/>. Acesso em: 30 set. 2020.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS 10: Redução das desigualdades. In: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Plataforma Agenda 2030**. [s. l.], 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/ods/9/>. Acesso em: 30 set. 2020.
- PITOMBO, J. P. **Briga por posse de terras ameaça mil famílias no sertão da Bahia**. In: JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO, São Paulo, 16 set. 2019. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/poder/2019/09/briga-por-posse-de-terras-ameaca-mil-familias-no-sertao-da-bahia.shtml>. Acesso em: ago. 2020.
- PRO, L. **Terrestrial toxicity**. In: CHEM SAFETY PRO. [s. l.], 28 mar. 2016. Disponível em: https://www.chemsafetypro.com/Topics/CRA/definition_terrestrial_toxicity_testing.html. Acesso: 11 jan. 2021.
- RECIGASES. **O que significa gwp e odp?** In: RECIGASES. [s. l.], 15 jul. 2020. Disponível em: <https://blog.recigases.com/blog/o-que-significa-gwp-e-odp>. Acesso em: 11 jan. 2021.
- REID, G.; JULVE, J. **Second Life-Batteries As Flexible Storage For Renewables Energies**. Berlim: Bundesverbandes Erneuerbare Energie E.V., 2016.
- RICHA, K.; BABBITT, C. W.; NENADIC, N. G.; GAUSTAD, G. Environmental trade-offs across cascading lithium-ion battery life cycles. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 1, p. 66-81, 2015.

- RODRIGUES, T. P.; GONÇALVES, S. L.; CHAGAS, A. L. S. Usinas eólicas e o mercado de trabalho nos municípios do Nordeste brasileiro. *In: Encontro Nacional de Economia*, 44., 2016, Foz do Iguaçu (PR). **Anais [...]**. Niterói (RJ): ANPEC, 2016.
- SOUZA, J. I. **Introdução a hidrometalurgia**. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2013. Disponível em: https://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material_didatico/mineracao/mineracao_introducao_a_hidrometalurgia.pdf. Acesso em 10 jun. 2022.
- SOVACOOOL, B. K.; DWORKIN; M H. Energy justice: Conceptual insights and practical applications. **Applied Energy**, v. 142, p. 435-444, 2015.
- TORRES, P. H. C.; LEONEL, A. L.; ARAÚJO, G. P.; JACOBI, P. R. Is the Brazilian National Climate Change Adaptation Plan Addressing Inequality? Climate and Environmental Justice in a Global South Perspective. **Environmental Justice**, v. 13, p. 42-46, 2020.
- TRALDI, M. **Acumulação por despossessão**: a privatização dos ventos para a produção de energia eólica no semiárido brasileiro. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2019b.
- TRALDI, M. Impactos socioeconômicos e territoriais da implantação de parques eólicos nos municípios de Caetité (BA) e João Câmara (RN). *In: GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. A. Impactos socioambientais da implantação dos parques de energia eólica no Brasil*. Fortaleza: Edições UFC, 2019a.
- VANITHA, M.; BALASUBRAMANIAN, N. Waste minimization and recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries-a review. **Environmental Technology Reviews**, v. 2, n. 1, p. 101-115, 2013.
- VELÁZQUEZ MARTÍNEZ, O.; BOOGAART, K. G.; LUNDSTRÖM, M.; SANTASALO-AARNIO, A.; REUTER, M.; SERNA-GUERRERO, R. Statistical entropy analysis as tool for circular economy: proof of concept by optimizing a lithium-ion battery waste sieving system. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 1568-1579, 2019.
- ZUBI, G.; DUFO-LÓPEZ, R.; CARVALHO, M.; PASAOGLU, G. The lithium-ion battery: state of the art and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 89, p. 292-308, 2018.

CAPÍTULO 13

PERSPECTIVAS PARA EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO Y EN BRASIL

Hugo Muniz Bolognesi¹
Alyson Luz Pereira Rodrigues¹
Zoraide Souza Pessoa²
Sonia Regina da Cal Seixas¹
Carla Kazue Nakao Cavaliero¹

Resumen

La grave crisis sanitaria y económica que atraviesa el mundo desde 2020, producto de la pandemia del COVID-19, ha puesto de manifiesto la necesidad de invertir en sectores que fortalezcan la salud y el bienestar social y la urgencia de reducir las vulnerabilidades económicas y sociales e de infraestructura. Con respecto al sector energético, este contexto está en línea con el compromiso de los países signatarios del Acuerdo de París de apalancar la participación de las fuentes renovables de energía en sus respectivas matrices energéticas. Si en un principio los países reorientaron sus recursos para ayudar a las áreas de salud y economía, se espera retomar las inversiones previstas para reducir la dependencia de las fuentes de energía no renovables, habilitar proyectos para incentivar la generación eléctrica renovable, introducir mejoras en eficiencia energética, infraestructuras y actualizar políticas dirigidas al sector eléctrico. En el escenario brasileño, existen medidas propuestas en los planes nacionales y factores sociales, políticos y económicos que pueden interferir en su cumplimiento. Así, el objetivo de este capítulo es analizar las perspectivas del uso de energías renovables en la generación eléctrica nacional, considerando el cumplimiento de las metas establecidas por la Agenda 2030 en Brasil.

Palabras clave: Agenda 2030. Brasil. Fuentes renovables. Matriz eléctrica.

Introducción

Es incuestionable que el sistema energético mundial enfrenta varios desafíos importantes, relacionados con la garantía del cumplimiento de la demanda para apoyar

el desarrollo económico, teniendo en cuenta las cuestiones de justicia energética y la mitigación de los impactos socioambientales. Ante esto, muchos países sudamericanos han venido desarrollando estrategias para responder al cambio climático basadas en el uso de los recursos naturales y sus economías en crecimiento. El Brasil, en particular, tiene una posición importante en las iniciativas de mitigación en todo el mundo, lo que se refleja en la creación de programas integrales y la incorporación de acciones en el Plan Decenal de Expansión Energética (PDE).

Todo este escenario se vio impactado a nivel mundial con la pandemia del COVID-19. Si, por un lado, la economía global se vio severamente impactada por la paralización de actividades en los diversos sectores, requiriendo medidas urgentes de alivio económico para los grupos más vulnerables y la reorientación del uso de los recursos financieros disponibles para el área de la salud; por otro lado, la crisis sanitaria puso en evidencia la falta de fronteras de los problemas globales y la vulnerabilidad a la que todos estamos sujetos. Esta percepción es exactamente la misma que afirman muchos investigadores con respecto al cambio climático global y sirve como una advertencia sobre la importancia de la acción cooperativa global también en el contexto ambiental.

Por lo tanto, considerando la importancia de las fuentes de energía renovables en la mitigación de los impactos del cambio climático global y en la democratización del acceso a la energía, este capítulo analiza algunas perspectivas de su uso en la generación eléctrica, tanto a nivel mundial como en Brasil, considerando el cumplimiento de las metas establecidas por La Agenda 2030 y los diversos impactos relacionados.

Agenda 2030: ODS 7

Las métricas de crecimiento económico de un país ya no tienen un papel soberano ante las transformaciones que la dinámica de las relaciones económicas, sociales y ambientales ejercen sobre el desarrollo de la sociedad y el medio ambiente. Para incentivar y, en cierto modo, medir el desarrollo sostenible, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) promueve periódicamente conferencias mundiales con los líderes de diferentes países con el fin de estipular medidas socioambientales. Bajo el nombre de Agenda 2030, las metas más recientes se describen en 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que se espera que todos los países miembros de la ONU alcancen para 2030 (consulte el [Capítulo 12](#), “Derecho a la electricidad”). El plan de acción tiene como objetivo erradicar la pobreza en todas sus formas y proteger el planeta del daño ambiental, abordando las diferentes dimensiones del desarrollo sostenible a partir de cinco áreas temáticas, o las denominadas 5 Ps – *People, Prosperity, Planet, Peace, Partnerships* (Personas, Prosperidad, Planeta, Paz, Alianzas) (ONU, [2015](#)).

Los ODS brindan orientación para que los países alineen sus políticas con los compromisos globales. Se dividen en 169 metas y 232 indicadores, que requieren un esfuerzo conjunto de la sociedad, liderado por el gobierno, con la colaboración de

organismos públicos y privados, la academia, el tercer sector y la sociedad civil en general. Teniendo en cuenta que los objetivos son solo indicativos, los gobiernos disfrutaban de cierta libertad para decidir en qué centrarse al planificar e implementar medidas para lograrlos. Esto permite considerar cada contexto para adaptar los ODS según la etapa de desarrollo, las políticas y las limitaciones nacionales, regionales y locales. Existe el riesgo de que los gobiernos solo elijan los objetivos que mejor se alineen con sus políticas y prioridades, dejando de lado los objetivos importantes. Para mitigar esta situación, un marco sólido de indicadores aprovecha los ODS como herramienta de gestión y ayuda a las autoridades locales a desarrollar estrategias de implementación (ONU, [2015](#)).

La disponibilidad de fuentes de energía es crucial para cumplir con todos los ODS, sin embargo, hay un objetivo que aborda específicamente el tema del suministro de energía: ODS 7 – Energía Renovable y Asequible. Este objetivo busca garantizar el acceso a fuentes de energía confiables, sostenibles y modernas para todos. La energía ejerce un papel importante en la erradicación de la pobreza, a través de avances en salud, educación, suministro de agua y alimentos, industrialización, hasta la lucha contra el cambio climático. Las metas del ODS 7 citan tanto la transición energética, de fuentes no renovables y contaminantes a fuentes renovables limpias, como la mejora de la eficiencia energética, modernizando infraestructuras, tecnologías de suministro y consumo. Así, los sistemas energéticos experimentan cambios radicales en todo el mundo, abriendo el camino para un sector más sostenible, seguro y con mejor costo beneficio (ONU, [2015](#)).

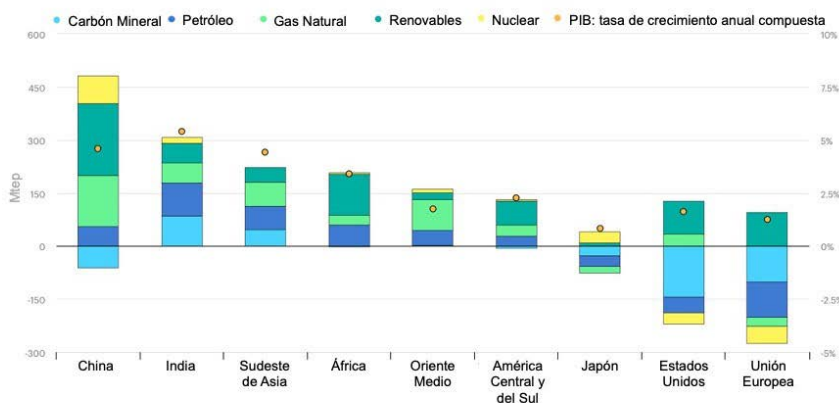
Impulsadas por las innovaciones tecnológicas, las fuentes de energía fósil deben ser reemplazadas por fuentes renovables. Debido a la tendencia de reducción de costos y de emprendimientos más atractivos, el segmento de energías renovables se ha estabilizado como la tecnología de elección para aumentar la capacidad de generación. La generación eólica, solar fotovoltaica e hidráulica puede proporcionar electricidad de manera competitiva en comparación con la generación basada en combustibles fósiles. Además, las fuentes renovables contribuyen tanto a la economía local como a la seguridad energética, ya que utilizan los recursos locales, generan empleo y mejoran la salud al reducir la contaminación local (IEA, [2020a](#)). La Figura 1 ilustra los incrementos en el consumo de energía por fuente y por regiones hasta 2030 en comparación con 2019, con base en las políticas energéticas vigentes en cada país o región. Los Estados Unidos y la Unión Europea siguen una tendencia de reducción del consumo de energía, centrando los esfuerzos para reducir la dependencia de fuentes fósiles y nucleares a favor de las fuentes renovables y, en el caso de Estados Unidos, también del gas natural. El pronóstico sugiere que, entre los países que deberían aumentar su oferta para satisfacer el consumo de energía, China contribuirá con la mayor expansión absoluta de fuentes renovables, seguido de los países africanos y sudamericanos (IEA, [2020a](#)).

Según el informe de 2020 de la *International Renewable Energy Agency* (IRENA), existe una dificultad por parte de varios países para traducir las promesas de alcanzar

los ODS en metas concretas y acciones locales (IRENA, 2020a). Existe una discrepancia entre las metas relativas a las energías renovables divulgadas y las estrategias de política pública dirigidas al sector energético, lo que termina generando desconfianza entre los inversionistas.

El sector de la generación de electricidad ha visto aumentar de manera sostenida la participación de las energías renovables a lo largo de los años, siendo la principal opción mundial para aumentar la capacidad de generación y alcanzando la marca del 26 % en 2019 (IRENA, 2020b). Este aumento está impulsado tanto por la madurez de las tecnologías de generación eléctrica como por la reducción de los costes de instalación. La competitividad de las fuentes renovables está ligada a la modularidad y a la rápida escalabilidad de la implementación. Para el año previo a la pandemia, el Costo Nivelado de la Energía (*Levelized Cost of Energy* – LCOE) de la generación eólica *onshore* fue de 53 U\$/MWh, mientras que para la generación solar fotovoltaica alcanzó un promedio de 68 U\$/MWh, solo el 20% del LCOE de 2010 para esta modalidad.

Figura 1 - Previsión de variación del consumo de energía primaria (valores absolutos) por fuentes y por región siguiendo las políticas energéticas actuales y previsión de la tasa de crecimiento anual compuesta del Producto Interior Bruto (PIB) entre 2019 y 2030



Fuente: Adaptado de IEA (2020a)

La generación solar fotovoltaica fue 7,6 veces más cara que el emprendimiento de generación por combustión más barato en 2010; y, en 2019, el 40% de los emprendimientos fotovoltaicos tuvieron menores costos de generación eléctrica que los sistemas equivalentes a combustión. En 2019, la generación hídrica aportó el 90% de los emprendimientos con LCOE menor que un nuevo emprendimiento de generación eléctrica de combustión, mientras que la generación eólica alcanzó el 75%

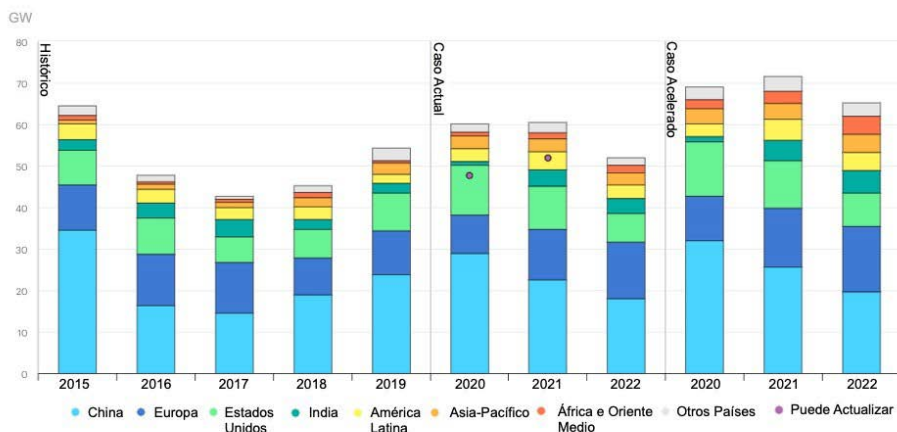
de los emprendimientos proporcionando electricidad menos costosa que la generación de combustión con potencias equivalentes (IRENA, [2020c](#)).

La dinamización de los sistemas eólicos en términos tecnológicos y de mercado se considera consistente y consolidada, dado que ha ido creciendo rápidamente desde principios de 2000, principalmente con plantas *onshore*, y a partir de 2010 en adelante también dinamizando la exploración *offshore*. Anualmente, la energía eólica *onshore* bate récords en cuanto a su capacidad instalada tanto a nivel regional como nacional. En 2019 alcanzó los 51 GW de capacidad instalada en el mundo, ascendiendo en 2020 a 65 GW y con la expectativa de cerrar 2020 con un incremento estimado de 8% de su participación (IEA, [2020b](#)).

Este crecimiento es impulsado actualmente por diez países que se destacan como los mayores productores de energía eólica *onshore* del planeta. En primer lugar, China, seguida de Estados Unidos y Alemania. Siguen como puntos destacados en orden de posición India, España, Reino Unido, Francia, Brasil, Canadá e Italia. Juntos, estos diez países aportan más de la mitad de la producción de este tipo de fuente de energía. Por ahora, esta parece ser una tendencia que seguirá en los próximos años. El año 2019 representó un aumento del 11% en la generación eólica con respecto al año anterior (IEA, [2020b](#)). La [Figura 2](#) muestra la expansión anual de la generación eólica terrestre hasta el año 2019, así como pronostica la expansión para los siguientes tres años en base al escenario actual de políticas e incentivos energéticos y a un escenario hipotético en el que se existen políticas más prometedoras para esta fuente.

Para llegar al escenario hipotético sería necesario invertir más en redes de distribución eléctrica, mayor apoyo a políticas de incentivos, resolver desafíos socioambientales y regulatorios para la implementación de emprendimientos eólicos, y reducir o eliminar riesgos en mercados emergentes. La caída prevista en el despliegue de nuevas incorporaciones a la capacidad de energía renovable en 2022 se debe tanto al vencimiento del plazo de los incentivos en mercados clave (China y EE. UU.) como a las incertidumbres políticas resultantes para el sector (AIE, 2020b).

Figura 2 - Nuevas instalaciones de generación eólica onshore, en potencial, por país o región, entre 2015 y 2019 y previsión de escenarios basados en la expansión actual y la expansión acelerada entre 2020 y 2022.



Fuente: Adaptado de IEA (2020b)

Crisis planetaria y demanda de fuentes de energía renovables para la generación de electricidad

En 2020, el mundo enfrentó un escenario de pandemia por el virus SARS-CoV-2, causante de la enfermedad denominada COVID-19 (WHO, 2020a). Las secuelas de la enfermedad requieren cuidados especiales debido a los síndromes respiratorios, que demandan la ocupación de camas en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI). Entre las principales medidas para contener la propagación de la enfermedad, como el mantenimiento de la higiene de manos y el uso de mascarillas, la adopción de períodos de cuarentena y el aislamiento social demostraron ser conductas necesarias, practicándose en todo el mundo desde mediados de marzo de 2020 (WHO, 2020b).

La crisis sanitaria viene desencadenando reacciones socioeconómicas y medioambientales por las medidas de contención del virus. Los países subdesarrollados y las regiones más pobres enfrentan intensos problemas para enfrentar la pandemia y sus consecuencias. La adaptación y mitigación de los riesgos sanitarios inmediatos de la pandemia se ven comprometidas por problemas que ya existen en estos países, como la falta de estructuras públicas de salud y saneamiento; la dificultad de mantener la distancia social, debido a la ocupación de los hogares por muchos miembros de la familia; y la alta incidencia del trabajo informal. Según un informe de la IEA (2020a), más de 770 millones de personas en todo el mundo no tenían acceso a la electricidad

a finales del año 2019, lo que limita la capacidad de almacenar medicamentos y alimentos, acceder a la información e iluminar residencias, e incluso proporcionar suministro de agua para garantizar la higiene individual. Desde esta perspectiva, los países en desarrollo enfrentan limitaciones económicas para invertir en medidas de salud, garantizar servicios médicos adecuados, brindar asistencia de emergencia a las familias, etc., a fin de mantener las condiciones para mitigar también la crisis económica (IEA, [2020c](#)).

El sector energético también sufrió importantes impactos por la crisis sanitaria mundial de 2020. Según la *International Energy Agency* (IEA, [2020d](#)), ante la reducción de las actividades económicas, la demanda de energía primaria disminuyó un 3,8% en el primer trimestre (T1) de 2020 en comparación con el mismo período de 2019. La expectativa para el año 2020 es que la actividad energética se reduzca entre 4% y 6%, dependiendo de la capacidad de recuperación global (IEA, [2020d](#)).

Esta caída de la actividad energética a causa de la pandemia afecta directamente a la economía mundial, pero de forma asimétrica en función del sector energético. Por un lado, el consumo de combustible para transporte y logística se reduce drásticamente en periodos de mayores restricciones. Por otro lado, el consumo de energía residencial para aire acondicionado y el consumo de energía eléctrica para equipos digitales y servidores de datos se mantienen o incluso aumentan.

Así, la interrelación entre la generación de riqueza y la demanda de energía se vio impactada por la naturaleza de la crisis global. No se espera que algún país de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) registre un crecimiento económico para 2020 en comparación con el año anterior, y se espera que el PIB mundial se reduzca al menos un 2,4% para fines de 2020 (AIE, 2020d). Durante este período, los combustibles fósiles fueron los principales afectados. La restricción de circulación de personas y productos provocó que la demanda de petróleo se redujera en un 5%. De hecho, el mundo fue testigo de un hecho sin precedentes: el precio del barril de petróleo fue negativo en abril de 2020 (TOBBEN; NGAI, [2020](#)).

La producción no siguió el ritmo de la reducida demanda mundial, por lo que fue más beneficioso distribuir el barril de petróleo para almacenarlo en lugar de detener la producción por completo. Esta situación afecta directamente los ingresos de los países altamente dependientes de la exportación de petróleo y sus derivados, pudiendo haberse reducido en 80% en 2020 (IEA, [2020c](#)).

La reducción de los costos de los combustibles fósiles, por otro lado, contribuyó a la transición energética del carbón al gas natural. A pesar de que la reducción esperada en la demanda global de gas natural se redujo en 2% en el primer trimestre de 2020 en comparación con el mismo período de 2019, el precio competitivo y la logística del Gas Natural Licuado (GNL) fueron cruciales para reemplazar el carbón en la generación eléctrica. El consumo de carbón mineral cayó casi un 8% en el mencionado período, impulsado por la reducción de las actividades industriales

metalúrgicas y, principalmente, por la retracción global de la demanda eléctrica. En el mismo período, hubo una caída de 5,2% en la demanda de carbón para generación eléctrica (IEA, [2020d](#)).

Las energías renovables para calefacción y transporte demostraron ser menos resilientes para superar la crisis sanitaria, social y económica vivida en 2020. La reducción de las actividades comerciales, industriales y de construcción civil a nivel mundial significó una caída en el uso de bioenergía y residuos en industrias altamente intensivas en energía como las industrias del papel y del cemento. El consumo de energía térmica para actividades industriales y calefacción residencial disminuyó 3% debido a los cortes de actividad y al invierno menos severo, como se mencionó anteriormente (IEA, [2020b](#)). Las fuentes renovables de energía térmica redujeron su participación solo 1% en el contexto de la pandemia, principalmente por el mantenimiento de la demanda residencial. Sin embargo, se enfrentan a la competencia de la electricidad procedente de fuentes renovables, que sigue creciendo (IEA, [2020b](#)). Los biocombustibles para el transporte, por su parte, sufrieron una caída más drástica, tanto por la reducción de las actividades logísticas como por la reducción de los precios de los combustibles fósiles, ya comentada. Se espera que la reducción en la producción de biocombustibles sea del 11,5 % en 2020 en comparación con 2019 (IEA, [2020b](#)).

En el caso del sector eléctrico, al contrario de las fuentes fósiles, las fuentes renovables demostraron ser resilientes a la pandemia. La proporción de fuentes renovables para la generación de electricidad creció, aunque ligeramente (1,5 %), durante el primer trimestre de 2020. Dado que las fuentes renovables reciben incentivos en muchos países, las instalaciones de generación de electricidad iniciadas anteriormente se completaron en 2020, incluso con la reducción de la demanda de energía y la reducción de actividades comerciales e industriales (IEA, [2020b](#)). Aun así, la incorporación de nuevas centrales de generación eléctrica a partir de fuentes renovables disminuyó 11% en el primer semestre de 2020 con relación al mismo período del año anterior (IEA, [2020b](#)).

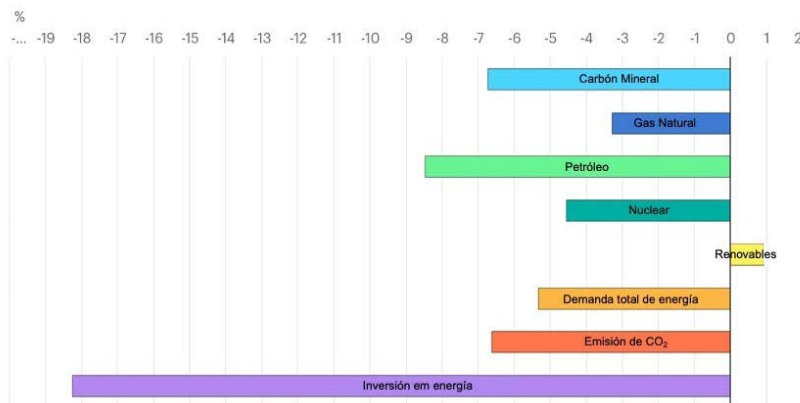
Dada la tendencia de retracción económica y reducción de la intensidad energética, la inversión en el sector energético también se ha reducido. La [Figura 3](#) describe el pronóstico realizado por la IEA ([2020a](#)) para el sector energético en 2020, sobre la base de resultados y expectativas hasta agosto de 2020. El sector de las energías renovables es el único con tendencia de crecimiento en el año en relación a 2019. Directamente relacionada con la reducción de la demanda energética, la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) también debería disminuir durante el año de la crisis sanitaria (IEA, [2020a](#)).

China lideró el aumento de emprendimientos de generación renovable con 23,54 GW de capacidad instalada en el primer semestre de 2020, aunque la cifra absoluta es inferior a la del año anterior. Para el mismo período, EE. UU. fue el único en proporcionar un aumento con respecto al año anterior, aumentando las

incorporaciones de nueva capacidad de fuentes renovables en un 82% (11,23 GW en total) (IEA, [2020b](#)). En parte, este resultado se debe a la relajación del aislamiento social del país, y en parte a la prisa por poner en marcha proyectos de generación eólica para cumplir con los plazos de los incentivos fiscales.

Estos incentivos ofrecen la rápida recuperación de actividades para completar emprendimientos de generación renovable en todo el mundo, ya que varios países finalizan el período de incentivos entre 2020 y 2022. Por otro lado, esto genera preocupaciones sobre la expansión de fuentes renovables a partir de 2022 si no hay nuevos planes de incentivos y colaboración para fomentar la energía procedente de fuentes no fósiles. China suspendió el subsidio a emprendimientos fotovoltaicos y eólicos *onshore* a finales de 2020, y a los eólicos *offshore* hasta finales de 2021. Las incertidumbres políticas y económicas en los países latinoamericanos y asiáticos suelen dificultar las previsiones energéticas. Sólo la Unión Europea presenta un plan concreto de incentivos a las fuentes renovables, con la aprobación de un fondo de recuperación de US\$840 mil millones destinado a ampliar la participación de las fuentes renovables, y mitigar y adaptarse al cambio climático, entre otros objetivos.

Figura 3 - Demanda de energía estimada por fuente, emisión de CO₂ e indicadores de inversión en 2020 con relación a 2019 (%)

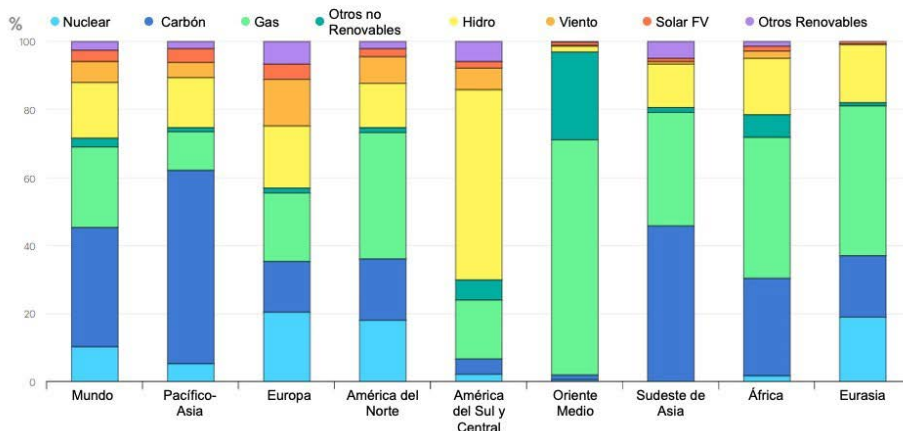


Fuente: Adaptado de IEA ([2020a](#))

A finales de 2020, América del Sur y Central demostraron ser las regiones menos dependientes de los combustibles fósiles en la matriz eléctrica, pero con una alta dependencia de las fuentes de agua, como se muestra en la [Figura 4](#). El resto del mundo aún enfrenta desafíos para ampliar la participación de fuentes renovables en la generación de electricidad.

Las fuentes renovables que tuvieron mayores adiciones de energía eléctrica instalada en 2020 han sido la solar y la eólica. En el primer semestre de 2020 se instalaron 40,1 GW de potencia eléctrica en forma de generación solar fotovoltaica, 17% menos que la nueva capacidad instalada por esta fuente en los primeros seis meses del año anterior. Durante el T1, cuando los primeros efectos de la pandemia, la expansión de los parques fotovoltaicos atrajo 25% con relación al periodo de 2019 (IEA, [2020b](#)). La expectativa es que la capacidad de generación de estas dos fuentes vuelva a crecer en cuanto se normalicen los efectos de la pandemia y el flujo de la logística y la construcción no sean impedimentos.

Figura 4 - Mezcla de suministro eléctrico por región - 2020



Fuente: Adaptado de IEA ([2020e](#))

Los nuevos emprendimientos de generación hidroeléctrica en el primer semestre de 2020 superaron la capacidad implementada durante el primer semestre de 2019, con un aumento en T1 (29%) y T2 (30%), totalizando 7,4 GW instalados en el período de 2020. El aumento fue impulsado por grandes emprendimientos hídricos completados en China durante el período (IEA, [2020b](#)).

El consumo reducido de combustibles fósiles generó una disminución del 5% en las emisiones de CO₂ en T1 de 2020 en comparación con el mismo período de 2019 (IEA, [2020d](#)). La caída fue mayor en los países que enfrentaron los impactos preliminares de la propagación del virus y tomaron medidas de distanciamiento, con una contribución del invierno menos severo en los países del hemisferio norte. Los Estados Unidos, registró una caída diaria en las emisiones de CO₂ relacionadas

con el uso de energía de casi 15%, además de reducciones en otros gases y partículas vinculadas a la quema de combustibles fósiles (GILLINGHAM *et al.*, [2020](#)).

Gillingham *et al.* ([2020](#)) estimaron que las reducciones de emisiones relacionadas con las medidas de contención podrían evitar alrededor de 200 muertes por mes en los EE. UU. debidas a crisis respiratorias relacionadas con la contaminación y el material particulado. Sin embargo, a largo plazo, este pequeño beneficio puede ser menos relevante, ya que el aislamiento también ha reducido las inversiones y la implementación de fuentes de energía renovable. Los mismos autores estiman que el retraso en la construcción y operación de emprendimientos con transición a energías renovables y movilidad puede sumar 2,5 mil millones de toneladas métricas de CO₂ equivalente entre 2020 y 2035. Como consecuencia, esto puede llevar a un promedio de 70 muertes por mes relacionadas con la contaminación urbana.

La matriz eléctrica brasileña y la potencia instalada de fuentes renovables

El Brasil, el país más grande de América Latina, la octava economía mundial y el séptimo emisor mundial de GEI, es un referente mundial en la generación de energía a partir de fuentes renovables, ya que cuenta con abundantes recursos eólicos, solares, hídricos y de biomasa, que pueden aprovecharse mejor (BARBOSA *et al.*, [2020](#)). Además, el país cuenta con un gran sistema eléctrico interconectado, resultado de la interconexión gradual de diferentes regiones: Sur, Sureste/Centro-Oeste, Norte y Noreste (MAUAD *et al.*, [2017](#); MEDEIROS *et al.*, [2021](#)).

En 2020, la capacidad instalada en el país según la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) fue de 210,7 GW, siendo 83% de fuentes renovables y 17% de fuentes no renovables. La energía hidroeléctrica es la que más peso tiene en la potencia generada en la matriz eléctrica brasileña ([Figura 5](#)), con crecimiento del 2,3% en 2019, aunque las importaciones de Itaipu han disminuido (ANEEL, [2020a](#)). Por lo tanto, el sector eléctrico brasileño se puede caracterizar como un gran sistema hidrotermal.

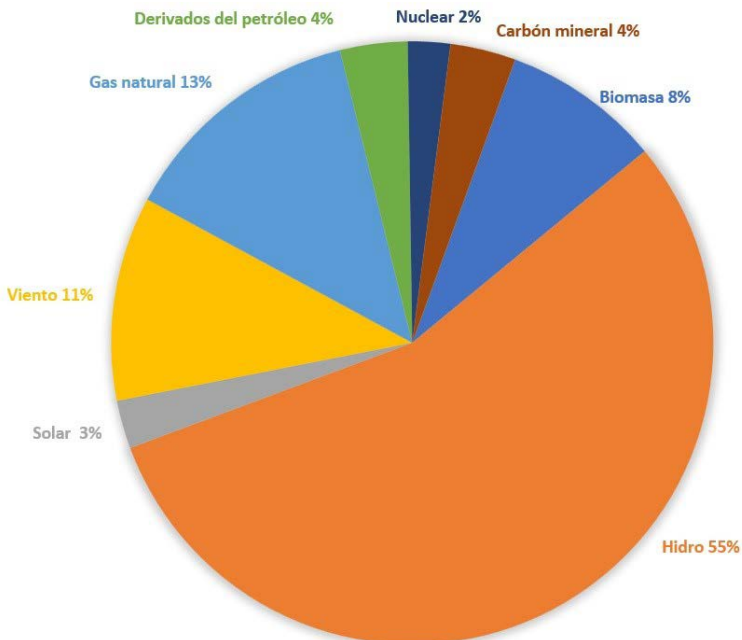
A pesar de la peculiaridad del perfil de generación eléctrica, aún es necesario mejorar las políticas para incentivar la generación de energías renovables no hídricas. En el caso de la energía eólica, el Brasil ocupa el octavo lugar entre los países con mayor capacidad tangible de generación eólica del mundo (WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION, [2020](#)). En 2019, la generación de esa fuente alcanzó los 56 TWh, con un crecimiento significativo del 15,5% en comparación con el año anterior (EPE, [2020](#)), evidenciando el potencial brasileño.

En términos técnicos, el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología para el Cambio Climático (INCT-Clima) estimó un potencial eólico bruto de hasta 880 GW (con posibilidad de producir 1.700 TWh.año⁻¹) considerando alturas cúbicas de 100 m, siendo 522 GW técnicamente factibles (BRASIL, [2014](#)). El régimen de

vientos en América del Sur, principalmente en la región del Nordeste brasileño y en el extremo sur del continente, tiene excelentes características para la generación de electricidad, o sea, buena velocidad, baja turbulencia y uniformidad y frecuencia razonables (PEREIRA, 2016).

También se observa que hubo un crecimiento galopante en los últimos 15 años de la energía eólica en Brasil, especialmente en la región Nordeste. Más de la mitad de la capacidad instalada de este tipo de energía se concentra en esta región, promoviendo un incremento importante en la generación eléctrica para el país en su conjunto, pero también impactando en los sistemas socio-ecológicos donde se instalan los parques eólicos. Deforestación, instalación en unidades de protección ambiental, desfiguración de ecosistemas sociales y ecológicos, transformación de paisajes costeros, pero también incursión en áreas continentales, son algunos de los resultados verificados. Todo ello se configura económicamente como una dinámica de enclave regional y de grandes conflictos socioambientales locales (HOFSTAETTER, 2016; BRANNSTROM *et al.*, 2017) y, ciertamente, se presenta como un desafío a superar.

Figura 5 - Matriz eléctrica brasileña por fuente de energía



Fuente: ANEEL (2020).

Por otro lado, la energía solar fotovoltaica es aún poco utilizada, como se observa en la [Figura 5](#), considerando que el país tiene los niveles de radiación solar más altos del mundo, con una radiación promedio de $4,8 - 6 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$ (SANTOS;

JONG; COSTA; TORRES, [2020](#)). En términos geográficos, la región Nordeste posee el mayor número de instalaciones fotovoltaicas, principalmente en los estados de Alagoas, Ceará, Pará y Piauí (ANEEL, [2020a](#)). Según informes de IRENA ([2019](#)) la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos en Brasil aumentó de 0,015 GW en 2014 a 2,3 GW en 2018, lo que representa un crecimiento promedio de alrededor de 0,46 GW por año y un incremento de 15,3% en 5 años.

Otra fuente renovable de gran potencial en el país es la biomasa ([Figura 5](#)). Esto se debe principalmente al uso del bagazo de caña de azúcar en la cogeneración de energía, representando el 6,7% de la potencia generada en 2019 (ANEEL, [2020a](#)). Esta participación puede aumentar en el corto y mediano plazo con el aumento de la producción de etanol y los incentivos derivados de la Política Nacional de Biocombustibles, también conocido como Programa RenovaBio, creado por la Ley Federal 13.576/2017 (DRANKA; FERREIRA, [2018](#)).

Como ya se mencionó, un importante desafío a superar es el control de los efectos adversos de los impactos socioambientales, pues al igual que las fuentes de energía no renovables, las fuentes renovables dejan un lastre de conflictos. Tales conflictos socioambientales necesitan mayor instrumentación normativa, fiscalización y participación social en la realización de la expansión de las fuentes renovables, que parece seguir en curso para la próxima década, pero sin integrar una transición energética plena en el contexto brasileño.

Por lo tanto, a pesar de las diversas barreras que impiden el desarrollo de algunas tecnologías para hacer frente a la intermitencia de las fuentes renovables y su naturaleza estocástica, se observa que Brasil todavía está en el camino de asumir sus compromisos con la Contribución Determinada Nacionalmente (en inglés, *Nationally Determined Contribution* – NDC), principalmente porque su sistema energético tiene el potencial de ser menos intensivo en carbono en el contexto global, como se discutió anteriormente (LAMPREIA *et al.*, [2011](#)).

Perspectivas para el escenario 2030

El Brasil ratificó el Acuerdo de París en septiembre de 2016, comprometiéndose a reducir las emisiones de GEI en 37% para 2025 y en 43% para 2030, con base en los niveles de 2005, como lo indicó el gobierno federal en la NDC presentada en 2015 (BRASIL, [2020](#)). Por lo tanto, los escenarios futuros del sector energético brasileño para los próximos 30 años deben estar asociados a la mitigación de los impactos del cambio climático (LIMA *et al.*, [2020](#)).

El Plan Decenal de Expansión Energética (PDE) 2027, que proyecta tendencias de consumo y oferta de energía de 2018 a 2027, consideró un crecimiento promedio del PIB de 2,8% (aunque el PIB real promedio disminuyó entre 2014 y 2017) y un total de R\$ 1,8 billones en inversiones en el sector energético en el período. El plan

también preveía que las energías renovables aumentarían su participación relativa en la matriz energética brasileña del 43% en 2017 al 47% en 2027, lo que está en línea con la NDC objetivo.

Posteriormente, el PDE 2029 brasileño presentó medidas de planificación a largo plazo, teniendo en cuenta variables macroeconómicas y socioeconómicas, actividades de modernización del sector eléctrico, e inversiones necesarias. Una de las principales conclusiones obtenidas de este plan, para los próximos 10 años, fue la necesidad de inversiones en el sector energético del orden de R\$ 2,3 billones, de los cuales R\$ 1,9 billones deberían ser en petróleo, gas natural y biocombustibles, y R\$ 456 mil millones en generación y transmisión de electricidad (EPE, [2020](#)).

Para el análisis de la expansión energética en el país, el PDE 2029 establece proyecciones esperadas de oferta doméstica de energía eléctrica de 951 TWh en 2029, con una tasa de crecimiento promedio de 3,8% anual. Este valor supone quintuplicar el suministro eléctrico con respecto al suministro actual de 176,5 TWh. En cuanto a las fuentes de energía, se espera un incremento en el porcentaje de energías renovables en el país, alcanzando valores del 48% en la matriz energética. Por otro lado, se destaca la reducción de la participación del petróleo y sus derivados en la oferta nacional total de energía, de 34% en 2019 a 32% en 2029 (EPE, [2020](#)).

En cuanto a las medidas nacionales de eficiencia energética, existen iniciativas como PROCEL (Programa Nacional de Conservación de Energía Eléctrica), creado en 1985 en el ámbito del Ministerio de Minas y Energía (BRASIL) y PROESCO (Programa de Apoyo a Proyectos de Eficiencia Energética) para financiar proyectos de eficiencia energética. Sin embargo, se deben desarrollar más acciones para cumplir con las metas establecidas en la Agenda 2030, como Zurn *et al.* ([2017](#)) y Economidou *et al.* ([2020](#)) sugieren.

Los acuerdos de eficiencia con la industria y el sector público son una de las medidas establecidas para aumentar la eficiencia energética. Según una resolución de la ANEEL, las empresas de energía están obligadas a gastar el 0,5% de sus ingresos netos en programas y proyectos de eficiencia energética, apoyándose en un cobro tarifario conocido como Cuenta de Desarrollo Energético (CDE) (BRASIL, [2010](#)). Este programa de incentivos también ayudó a contener la crisis del sector eléctrico brasileño debido a la pandemia mundial, poniendo ese monto a disposición del fondo de emergencia *Conta COVID*. La Cuenta COVID se creó con el fin de flexibilizar los cajeros de las distribuidoras de energía durante el período de pandemia, ya que, por un lado, se redujo la demanda de energía y, por otro lado, aumentó la morosidad de los consumidores. Se asignarán R\$ 14,8 mil millones a las distribuidoras de electricidad, obtenidos a través de préstamos del Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES) y otras 16 instituciones financieras, y parte de eso será pagado por la CDE (ANEEL, [2020b](#)).

Otra medida importante para la eficiencia energética es la sustitución de aparatos y máquinas de alumbrado público ineficientes. Un ejemplo fue la política de prohibición gradual de las lámparas incandescentes, a partir de 2012 y finalizando en 2016 (BRASIL, [2010](#)), similar a la practicada en la Unión Europea. Actualmente, la tecnología de iluminación LED es muy prometedora debido a la eficiencia energética y la durabilidad. Además, la sustitución gradual de los antiguos contadores de energía por contadores digitales inteligentes puede contribuir a la difusión de las redes inteligentes a nivel doméstico (SOUZA *et al.*, [2009](#)).

A pesar de tener una matriz energética con gran participación de fuentes renovables, la complejización de los impactos energéticos y socioambientales de la estructura energética brasileña es cada vez más evidente. Desde una perspectiva ambiental, el sector eléctrico brasileño enfrenta importantes desafíos en la actualidad, ya que el proceso de licencia ambiental es mucho más riguroso con los emprendimientos hidroeléctricos que con los emprendimientos térmicos basados en combustibles fósiles (CARVALHO *et al.*, [2020](#)). También se señaló que los programas gubernamentales anteriores para la promoción de las energías renovables habían mostrado resultados limitados. El instrumento de incentivo adoptado actualmente por el gobierno es un mecanismo de subasta, con la definición de precios techo para cada ruta tecnológica en cada evento. Con el tiempo, los precios máximos han disminuido, lo que refleja la reducción de los costos de la electricidad generada por fuentes renovables, como la eólica y la solar. Si bien los resultados asociados a la expansión de la capacidad instalada son evidentes, los impactos ambientales observados en algunos emprendimientos instalados indican la necesidad de una evaluación más profunda de los beneficios de las fuentes de energía renovable, especialmente en el ámbito local.

Desde una perspectiva social, la combinación de estrategias para reducir las desigualdades con la promoción de tecnologías renovables puede tener un impacto considerable en la reducción de la heterogeneidad de las condiciones sociales, promoviendo la apropiación de ganancias por parte de las comunidades locales. Para eso, se requieren esfuerzos para vincular estos recursos naturales a través del progreso tecnológico, permitiendo así el desarrollo de sistemas energéticos. Sin embargo, la conexión entre desarrollo y progreso tecnológico va *pari passu* al capital monopolista, pero aún es indiferente a las condiciones de pobreza y miseria existentes en la mayoría de las familias rurales del semiárido brasileño (PEREIRA; SILVA; GALVÃO; DANTAS, [2020](#)).

Además, en la literatura actual disponible, existen estudios que analizan los principales impactos de la alta penetración de las fuentes renovables en el sistema eléctrico brasileño en escenarios futuros. Diuana *et al.* ([2019](#)) analizaron los impactos de la integración de la energía eólica en sistemas eléctricos con altos niveles de generación hidroeléctrica, simulando la operación del sistema eléctrico del Sur de Brasil en un modelo de despacho económico. Considerando los años 2030 y 2050, se analizaron

cuatro escenarios para cada uno: un escenario tendencial, con variación en el servicio de la reserva operativa³ (con hidroeléctricas o con termoeléctricas); y otra con una gran cuota de energía eólica en la generación y las mismas condiciones de reserva operativa que en 2030. Los resultados del escenario de caso de negocio indicaron un déficit de oferta para satisfacer la demanda, más evidente en 2050 que en 2030. Esto se debe a que todas las centrales operan como generadores de carga base y sus factores de capacidad se reducen en los escenarios de gran expansión de generación de energía eólica. En el escenario de reserva operativa con centrales hidroeléctricas, dado que las centrales termoeléctricas a carbón son más caras, sus factores de capacidad sufren una mayor reducción que las centrales termoeléctricas a biomasa. En el escenario de reserva operativa con termoeléctricas, debido a la reserva obligatoria de todas las termoeléctricas, son los generadores a biomasa los que reducen su generación para que las demás termoeléctricas puedan operar (DIUANA *et al.*, 2019).

Dranka y Ferreira (2018) utilizaron el modelo computacional *EnergyPlan* para analizar escenarios futuros para el sistema eléctrico brasileño, teniendo en cuenta parámetros técnicos, costos, emisiones y riesgos. Se observó que un escenario extremo en 2050, con energía 100% renovable en la matriz eléctrica brasileña, requeriría un aumento sustancial de la capacidad instalada para soportar la demanda eléctrica, especialmente durante los períodos de máxima carga (18:00 y 22:00 horas). Este resultado ya era esperado y, de materializarse, conduciría a un aumento en el LCOE, debido a los altos gastos de capital de la mayoría de las tecnologías renovables disponibles. El análisis de sensibilidad realizado también indicó la posible demanda de importaciones de energía eléctrica para el caso del sistema totalmente descarbonizado (DRANKA; FERREIRA, 2018).

Consideraciones finales

El mundo sigue dependiendo en gran medida de las fuentes fósiles para la generación de electricidad. Al ritmo actual de las medidas de transición energética, los objetivos fijados para 2030 difícilmente serán alcanzados por la mayoría de los países firmantes. Si bien el avance y la penetración de las fuentes renovables ha sido notable en los últimos años, el ritmo de propagación aún está por debajo de las expectativas para alcanzar las metas. La intermitencia de las fuentes solar y eólica aún pone en jaque la confiabilidad y seguridad energética en caso de alta dependencia de estas fuentes, ya que los costos de los sistemas de almacenamiento son muy altos.

A pesar de que la crisis de 2020 impactó en el consumo mundial de energía, se registró un crecimiento en la instalación de nuevas plantas a partir de fuentes

3 De acuerdo con la EPE (2018), la reserva de operación corresponde al requerimiento del sistema para cubrir variaciones de carga entre intervalos de despacho, errores de pronóstico de carga, salidas de operación forzada de unidades generadoras y líneas de transmisión, etc. (EPE, 2018).

renovables, principalmente por los compromisos adquiridos para entregar los emprendimientos y garantizar los incentivos fiscales vinculados a los mismos. Nuevas políticas públicas para incentivar la generación no intensiva en emisiones de carbono son necesarias ante la caducidad de los incentivos fiscales en países con alta dependencia de fuentes no renovables. Aun así, se espera que la participación de las fuentes renovables, como la solar fotovoltaica y la eólica, siga creciendo, aunque a un ritmo más lento, ya que presenta la mejor relación costo-beneficio para sumar nuevas plantas de generación eléctrica. En los últimos años, casi un tercio de las inversiones en energía se han destinado a tecnologías de bajo carbono, que incluyen energías renovables, eficiencia energética, energía nuclear y captura, uso y almacenamiento de carbono (*Carbon Capture, Usage and Storage* – CCUS).

En Brasil, donde las políticas a nivel federal a menudo se reescriben con cada nuevo gobierno, se vuelve difícil determinar qué componentes de las políticas anteriores permanecen después de que se establecen los nuevos planes nacionales de energía. Sin embargo, la expectativa es que se cumplan las metas definidas por la NDC brasileña, ya que están incluidas en los planes energéticos de diez años. Además, las proyecciones de estos planes están estrechamente alineadas con el escenario del *Reference Technology Scenario* (RTS) de la AIE.

Antes de la pandemia de COVID-19 en 2020, la matriz eléctrica brasileña ya había mostrado una reducción significativa en la participación de la generación hidroeléctrica y, en consecuencia, un aumento en la participación de otras fuentes renovables. Sin embargo, la retracción de 11% en el consumo total de energía, según el reporte mensual de la EPE, con base al mes de mayo de 2020, aumentó la preocupación sobre el sector eléctrico nacional. Por lo tanto, las políticas gubernamentales apropiadas pueden maximizar el potencial de generación de electricidad a través de fuentes renovables y garantizar la seguridad energética. En la perspectiva de escenarios futuros, las proyecciones predicen la persistencia en la diversificación de la matriz eléctrica brasileña a través de la continuidad de los incentivos fiscales.

Referencias

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Programa de Eficiência Energética**. Brasília: ANEEL, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. Brasília: ANEEL, 2020a. Disponible em: <http://www.aneel.gov.br>. Acceso em: 13 out. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 885**, de 23 de junho de 2020. Brasília, 2020b. Disponible em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020885.pdf>. Acceso em: 14 fev. 2021.

- BARBOSA, J.; DIAS, L. P.; SIMOES, S. G.; SEIXAS, J. When is the sun going to shine for the Brazilian energy sector? A story of how modelling affects solar electricity. **Renewable Energy**, v. 162, p. 1684-1702, 2020.
- BRANNSTROM, C, GORAYEB, A, MENDES, J. S. LOUREIRO, C, MEIRELES, A. J. A. SILVA, E. V. FREITAS, A. L. R. OLIVEIRA, R. F. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 62-71, 2017.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Portaria Interministerial nº 1.007, de 31 de dezembro de 2010. Aprova a Regulamentação Específica de Lâmpadas Incandescentes. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 148, n. 4, p. 44, 06 jan. 2011.
- BRASIL. Ministério de Minas Energia. **Boletim**: energia eólica no Brasil e no mundo. Brasília: Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia do Ministério de Minas e Energia, 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Estratégia Nacional de Implementação da NDC do Brasil**. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Brasília, [20--]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/ndc-do-brasil.html>. Acesso em: 07 fev. 2018.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: BRASIL/EPE, 2007. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Proj%C3%A7%C3%B5es.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2020.
- CARVALHO, N. B.; VIANA, D. B.; ARAÚJO, M.S. M.; LAMPREIA, J.; GOMES, M.S.P.; FREITAS, M. A. V. How likely is Brazil to achieve its NDC commitments in the energy sector? A review on Brazilian low-carbon energy perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 133, p. 110343-110367, 2020.
- DIUANA, F. A.; VIVIESCAS, C.; SCHAEFFER, R. An analysis of the impacts of wind power penetration in the power system of southern Brazil. **Energy**, v. 186, p. 115869-115882, 2019.
- DRANKA, G. G.; FERREIRA, P. Planning for a renewable future in the Brazilian power system. **Energy**, v. 164, p. 496-511, 2018.
- ECONOMIDOU, M.; TODESCHI, V.; BERTOLDI, P.; D'AGOSTINO, D.; ZANGHERI, P.; CASTELLAZZI, L. Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. **Energy and Buildings**, v. 225, p. 110322-110340, 2020.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Flexibilidade e capacidade**: conceitos para a incorporação de atributos ao planejamento. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 04 fev. 2021.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>. Acesso em: 29 out. 2020.
- GILLINGHAM, K. T.; KNITTEL, C. R.; LI, J.; OVAERE, M.; REGUANT, M. The short-run and long-run effects of Covid-19 on energy and the environment. **Joule**, v. 4, n. 7, p. 1337-1341, 2020.
- HOFSTAETTER, M. **Energia Eólica**: Entre Ventos, Impactos e Vulnerabilidades Socioambientais no Rio Grande do Norte. 2016. Dissertação (Mestrado em Estudos Urbanos e Regionais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2020**. In: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, [s. l.], 2020a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020/outlook-for-energy-demand#abstract>. Acesso em: 02 dez. 2020.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewables 2020**. In: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, [s. l.], 2020b. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2020>. Acesso em: 03 dez. 2020.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Sustainable Recovery**. In: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, [s. l.], 2020c. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>. Acesso em: 22 nov. 2020.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review 2020**. In: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, [s. l.], 2020d. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>. Acesso em: 03 dez. 2020.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Electricity supply mix by region, 2020**. In: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, [s. l.], 2020e. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electricity-supply-mix-by-region-2020>. Acesso em: 16 dez. 2020.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050**. Abu Dhabi: IRENA, 2020b. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>. Acesso em: 19 nov. 2020.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Reduce: Non-bio renewables**. Abu Dhabi: IRENA, 2020a. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Sep/Reduce-Non-bio-renewables>. Acesso em: 19 nov. 2020.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable capacity statistics 2019**. Abu Dhabi: IRENA, 2019a. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Capacity-Statistics-2019>. Acesso em: 04 out. 2019.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Power Generation Costs in 2018**. Abu Dhabi: IRENA, 2019b. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf. Acesso em: 19 nov. 2020.
- LAMPREIA, J.; ARAËJO, M. S. M.; CAMPOS, C. P.; FREITAS, M. A. V.; ROSA, L. P.; SOLARI, R.; GESTEIRA, C.; RIBAS, R.; SILVA, N. F. Analyses and perspectives for Brazilian low carbon technological development in the energy sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 7, p. 3432-3444, 2011.
- LIMA, M. A.; MENDES, L. F. R.; MOTHÉ, G. A.; LINHARES, F. G.; CASTRO, M. P. P.; SILVA, M. G.; STHEL, M. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, v. 33, p. 100504-10516, 2020.
- MAUAD, F. F. **Energia renovável no Brasil: análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras**. São Carlos: EESC/USP, 2017.
- MEDEIROS, S. E. L.; NILO, P. F.; SILVA, L. P.; SANTOS, C. A. C.; CARVALHO, M.; ABRAHÃO, R. Influence of climatic variability on the electricity generation potential by renewable sources in the Brazilian semi-arid region. **Journal of Arid Environments**, v. 184, p. 104331-104343, 2021.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. In: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Plataforma Agenda 2030**. [s. l.], 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br>. Acesso em: 18 out. 2020.

- PEREIRA, E. B.; SPEREIRA, E. B. Segurança energética: perspectivas no enfrentamento às mudanças climáticas globais. *In*: INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Conferência Internacional do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para Mudanças Climáticas**. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.fapesp.br/eventos/2016/09/inct/ENIO.pdf>. Acesso em: 01 out. 2020.
- PEREIRA, M. G.; SILVA, N. F.; GALVÃO, M. L. M.; DANTAS, E. J. A. Scarcity and Abundance in the Brazilian Semiárid: the strategies for harnessing the renewable energy potential of the region (re)differentiating the territory. **Encyclopedia of the World's Biomes**, v.21, p. 209-215, 2020.
- SANTOS, J. A. F. A.; JONG, P.; COSTA, C. A.; TORRES, E. A. Combining wind and solar energy sources: potential for hybrid power generation in Brazil. **Utilities Policy**, v. 67, p. 101084-101104, 2020.
- SOUZA, H. M.; LEONELLI, P. A.; PIRES, C. A. P.; SOUZA JÚNIOR, V. B.; PEREIRA, R. W. L. Reflexões sobre os principais programas em eficiência existente no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v.15, n. 1, p. 7-26, 2009.
- TOBBEN, S.; NGAI, C. **Oil for Less Than Nothing? Here's How That Happened**. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-08-14/oil-for-less-than-nothing-here-s-how-that-happened-quicktake#:~:text=April 20%2C 2020 will go to minus %2437.63 a barrel>. Acesso em: 13 nov. 2020.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Coronavirus disease (COVID-19) weekly epidemiological update and weekly operational update**. *In*: WORLD HEALTH ORGANIZATION, [s. l.], 2020a. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports/>. Acesso em: 19 nov. 2020.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **COVID-19 SPRP monitoring framework - global overview**. *In*: WORLD HEALTH ORGANIZATION, [s. l.], 2020b. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojOGIwZTkzZGQtNmI4MC00OGVlTgwYjAtMGVjZmJlNGFlMmM3IiwidCI6ImE1ODRhZDMyLWVjZjYtNDElMCIhNGI1LTdmYWZmOTI0OGFhNiIsImMiOiR9>. Acesso em: 19 nov. 2020.
- WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION. **Statistics**. *In*: WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://library.wwindea.org/global-statistics/>. Acesso em: 03 nov. 2020.
- ZURN, H. H.; TENFEN, D.; ROLIM, J. G.; RICHTER, A.; HAUER, I. Electrical energy demand efficiency efforts in Brazil, past, lessons learned, present and future: a critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 1081-1086, 2017.

CAPÍTULO 14

IMPLICACIONES GEOGRÁFICAS DEL SECTOR DEL HIDRÓGENO VERDE EN BRASIL

Christian Brannstrom¹ ²

Adryane Gorayeb²

Resumen

El hidrógeno verde, producido por energías renovables, es un producto considerado esencial para la descarbonización. Este capítulo define el hidrógeno verde, destacando tres suposiciones que sus defensores han hecho en revistas científicas. Destacamos los argumentos a favor de exportar hidrógeno verde para abastecer a otros países, cuyas metas de descarbonización dependen de combustibles sin emisión de gases de efecto invernadero. Luego resumimos varias inversiones anunciadas en 2021 en el estado de Ceará, enfocándonos en Porto do Pecém. Si bien no se ha realizado ninguna inversión planificada, podemos formular una serie de preguntas, desde un enfoque geográfico, para orientar futuras investigaciones.

Palabras clave: Hidrógeno verde. Descarbonización. Territorio. Energía eólica *offshore*.

Introducción

La participación de América Latina como proveedora de materiales necesarios para la descarbonización global es continua, principalmente a través de la extracción de litio en el altiplano andino para la electromovilidad (BARANDIARÁN, [2019](#); SANCHEZ-LOPEZ, [2019](#); PERREAULT, [2020](#); DORN; RUIZ PEYRÉ, [2020](#)). Pero una tendencia emergente es la conversión de energía renovable en hidrógeno verde (H₂V) exportable. Chile lanzó recientemente un plan de H₂V (FUNDACIÓN CHILE, [2021](#); HOWARTH; FELIBA, [2021](#)), también Uruguay (ANCAP, [2021](#)) y Argentina (MISCULIN; GEIST, [2021](#)) tienen planes en marcha para inversiones en hidrógeno verde, mientras que Brasil ha atraído varias inversiones en hidrógeno verde en la primera mitad de 2021.

1 Texas A&M University (TAMU), College Station, Estados Unidos. cbrannst@geos.tamu.edu

2 Universidad Federal de Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil.

Este capítulo describe anuncios recientes entre el gobierno del estado de Ceará, en el Nordeste de Brasil, y empresas que buscan construir instalaciones de H₂V. Aunque Nadaleti *et al.* (2020) estimaron la producción de hidrógeno a partir del “exceso” de la energía eólica e hidroeléctrica brasileña, y Schmidt *et al.* (2019, p. 2025) sugirieron el potencial “prometedor” de Brasil para la exportación de combustibles renovables, no conocemos análisis que identifiquen posibles implicaciones geográficas que estén más allá de las consideraciones de Graaf *et al.* (2020), sobre los problemas geopolíticos que surgen de un comercio global de hidrógeno.

Hasta la fecha, no se han iniciado instalaciones de H₂V comercial en Brasil, sin embargo, las motivaciones políticas y financieras globales para la descarbonización y la inminente viabilidad económica de las tecnologías de electrolizadores a escala sugieren la necesidad de identificar algunas implicaciones geográficas, basadas en los conceptos de Bridge *et al.* (2013), con el fin de centrarse en futuras investigaciones.

¿Qué es el hidrógeno verde?

El hidrógeno verde se produce cuando los electrolizadores alimentados por centrales hidroeléctricas, solares o eólicas dividen el agua en hidrógeno y oxígeno, proporcionando “almacenamiento de energía en enlaces químicos” (LUNA *et al.*, 2019, p. 2). A diferencia del hidrógeno “gris”, que proviene del gas natural, o el hidrógeno “marrón” del carbón, o el hidrógeno “azul” del gas natural con almacenamiento de CO₂, el hidrógeno “verde” se origina a partir de energía renovable o “verde”. El proceso electroquímico para dividir el agua usando electrolizadores se conoce desde hace varias décadas, pero el costo a gran escala ha sido prohibitivo; sin embargo, la ampliación industrial de la tecnología de electrólisis ahora “está ocurriendo a un ritmo acelerado” (HAUCH *et al.*, 2020, p. 2).

Memorablemente descrito como “embotellado de energía renovable” (NATURE ENERGY, 2019, p. 721), este proceso electroquímico es fundamental para los sistemas de energía “sin carbono” que dependerían del H₂V para generar electricidad o proporcionar subproductos como amoníaco o metano (AJANOVIC; HAAS, 2019; RAHMAN; WAHID, 2021; BUTTLER; SPLIETHOFF, 2018; DAVIS *et al.*, 2018; SAEEDMANESH *et al.*, 2018; STANČIN *et al.*, 2020).

Los defensores de una “revolución industrial verde y descarbonizada” (AYERS *et al.*, 2019, p. 221) parten de tres suposiciones principales. Una es que la energía renovable, barata o en exceso, excederá la demanda durante largos períodos. Por ejemplo, un grupo afirma que la “repentina caída en el costo de la energía renovable” hará que el hidrógeno renovable sea “competitivo” con el hidrógeno industrial hasta 2030 (GLENK; REICHELSTEIN, 2019, p. 220). Otros científicos e ingenieros describen la energía eólica y solar como “baja” o “barata” (YAN *et al.*, 2020, p. 1), por lo que son deseables para proporcionar energía a los electrolizadores. Una segunda

suposición es que la tecnología de las baterías, el destino del litio extraído de los salares de Argentina, Bolivia y Chile, será insuficiente para almacenar electricidad (AJANOVIC; HAAS, [2019](#)) porque las baterías brindan almacenamiento “en la escala de horas o incluso días” (LUNA *et al.*, [2019](#), p. 1). Otros autores enfatizan los subproductos negativos de la fabricación de baterías y la estrecha base mineral de la que dependen las baterías (APOSTOLOU; ENEVOLDSEN, [2019](#)).

La tercera suposición es que el H₂V evitaría activos de combustibles fósiles encallados utilizando oleoductos y gasoductos y capacidad de almacenamiento sin dañar el enorme complejo petroquímico del mundo. Por ejemplo, la “capacidad de los gasoductos y el almacenamiento de gas es mucho mayor que las líneas de transmisión de electricidad” (AJANOVIC; HAAS, [2019](#), p. 1). Los combustibles renovables “permitirían la reutilización de la infraestructura comercial existente” (SCHMIDT *et al.*, [2019](#), p. 2022) para que los productores de hidrógeno relativamente económicos pudieran especializarse y abastecer a los países que enfrentan limitaciones, haciendo “económicamente viable el comercio a larga distancia de fuentes renovables de combustibles” (SCHMIDT *et al.*, [2019](#), p. 2027). La industria química sería revolucionada, pero no destruida. Las *commodities* químicas, como el etileno y el etanol “pueden fabricarse con huellas de carbono negativas”, logrando así un “medio para producir productos químicos libres de emisiones de carbono” (LUNA *et al.*, [2019](#), p. 1). El H₂V sería esencial para la producción de electrocombustibles “verdes” (APOSTOLOU; ENEVOLDSEN, [2019](#); DAWOOD *et al.*, [2020](#); GÖTZ *et al.*, 2016) y *commodities* químicos “verdes” (HAEGEL *et al.*, [2019](#)). El suministro de energía renovable a los electrolizadores podría producir óxido de etileno, muy utilizado en la fabricación de plásticos (LEOW *et al.*, [2020](#), p. 1228).

Inversiones globales

A partir de julio de 2021, el mercado global de H₂V constaba de aproximadamente 200 grandes proyectos valorados en \$ 80 mil millones de dólares (REED; EWING, [2021](#)). Según los analistas de mercado, la industria se está moviendo rápidamente hacia las fusiones y adquisiciones (S&P GLOBAL MARKET INTELLIGENCE, 2020), aunque se deben superar varias barreras políticas antes de que el H₂V tenga una penetración significativa en el mercado (IRENA, [2020](#)). La estrategia de hidrógeno lanzada por la Comisión Europea en julio de 2020 reconoció varios desafíos políticos, al tiempo que priorizó el desarrollo de hidrógeno renovable a partir de energía eólica y solar. El H₂V fue “la opción más compatible con el objetivo de la Unión Europea de neutralidad climática y contaminación cero y más coherente con un sistema energético integrado”, y el apoyo a las industrias europeas destinadas a dominar las cadenas de valor (COMISIÓN EUROPEA, 2020, p. 2-5).

Suena raro Chile describió recientemente los desafíos y acciones (regulación y autorizaciones, financiamiento e incentivos, alianzas nacionales e internacionales y valor local) necesarios en un plan nacional para el hidrógeno verde (FUNDACIÓN CHILE, [2021](#)). En Uruguay, el gobierno lanzó H2U *Offshore* para atraer empresas a invertir en hidrógeno verde de parques eólicos marinos (ANCAP, [2021](#)).

En contraste, el plan energético 2050 de Brasil, publicado en diciembre de 2020, describió al hidrógeno como una tecnología “disruptiva” similar a la fusión nuclear y se refirió vagamente a posibles inversiones (EPE, [2020a](#)). Pero, en una nota técnica más reciente de la Empresa Pública de Energía (EPE) del Ministerio de Minas y Energía, de junio de 2021, los técnicos gubernamentales fueron más enfáticos en adoptar una perspectiva más cercana al mercado, cuyas perspectivas de inversión crecen aceleradamente, y argumentó que la estrategia brasileña debería adoptar un enfoque de “hidrógeno arcoíris” – todos los colores del hidrógeno – para “maximizar sus ventajas competitivas actuales y crear otras nuevas para desarrollar una economía neutral en carbono” (EPE, [2021](#), p. 29-30). El informe reconoció que el hidrógeno es “un objetivo estratégico para gobiernos y empresas de todo el mundo” y pronosticó un nuevo impulso global (EPE, [2021](#), p. 30).

Hidrógeno verde en el contexto de Ceará

En cuanto a proyectos brasileños específicos, el H₂V recibió grandes inversiones anunciadas y acciones gubernamentales significativas en 2021 ([Cuadro 1](#)), principalmente en el estado de Ceará, pionero en la construcción de parques eólicos (AQUILA *et al.*, [2017](#); JUÁREZ *et al.*, [2014](#); SILVA *et al.*, [2016](#); BRANNSTROM *et al.*, [2017](#)).

Ceará fue el sitio del anuncio en febrero de 2021 por parte de Enegix Energy, una empresa australiana, de una instalación de H₂V de \$ 5,4 mil millones alimentada por parques eólicos y solares y conectada al puerto de aguas profundas de Pecém, un área industrial compleja integrada a la Zona de Procesamiento de Exportación (ZPE). La instalación Enegix Base One estaría alimentada por ~ 8 GW de energía eólica y solar distribuida en Ceará para producir 600 millones de kg por año de hidrógeno. Enegix hace transparente el argumento de la “producción para la exportación” en sus medios corporativos, destacando la proximidad de Ceará a Europa y la conveniencia del puerto de Pecém cerca de la Base Uno (ENEGIX ENERGIA, [2021](#)). Base One utilizará portadores de hidrógeno orgánico líquido (LOHCs), que Wesley Cook, director ejecutivo de Enegix, denominó un “cambio de juego” debido a las características de seguridad y al costo (O’FARRELL, [2021](#)).

Los medios brasileños enfatizaron que Base One crearía “cientos de empleos bien remunerados” y citaron al CEO de Enegix diciendo que “estamos creando científicos de cohetes en Ceará” (QUINTELA, [2021](#)). Al referirse a la idea de “exportar la fábrica”, el gobernador del estado, Camilo Santana, destacó que el estado “está a

la vanguardia... porque tenemos condiciones favorables para producir y exportar hidrógeno verde” (CEARÁ, [2021a](#)). En particular, el gobierno de Ceará, en esta etapa inicial, trató el H₂V más como una oportunidad económica que como una iniciativa ambiental. Un dato que hace referencia a esta situación es que la Secretaría de Medio Ambiente estuvo ausente de las fotos y videos en la divulgación de estas primeras iniciativas de inversionistas, mientras que participó el grupo encargado de la economía estatal, la Secretaría de Desarrollo Económico y Trabajo, en todas las actividades públicas relacionadas con el H₂V ([Cuadro 1](#)).

Cuadro 1 - Resumen de acuerdos (febrero a diciembre de 2021) entre la oficina del gobernador del estado de Ceará e inversores para la producción de hidrógeno verde

Ítem	Fecha de Anuncio	Inversor (es)	Valor de inversión (US\$)	Energía Estimada (GW)	Producción Anual Estimada de Hidrógeno Verde	Fuente
1	Febrero / 2021	Energía ENEGIX - asociación con Black & Veatch para permitir el estudio - se asoció con Energwind para obtener 3,4 GW de fuente de energía	5,4 mil millones de Base Uno (500 ha de área en Pecém)	3,4 GW	600 millones de kg en 2025	Sitio da ENEGIX: https://pressroom.enegix.energy/129628-enegix-energia-construira-instalacao-de-hidrogenio-verde-de-us-54-bilhoes-no-brasil
2	Abril/ 2021	White Martins - participación en el Hub de Pecém - Filial de Linde (compañía de gas industrial)	No divulgado	No divulgado	No divulgado	Sitio web del Diário do Nordeste: https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/white-martins-e-2-empresa-a-oficializar-parceria-para-implantacao-do-hub-de-hidrogenio-verde-no-ce-1.3075379

3	Julio / 2021	Fortescue Future Industries - Fortescue Metals subsidiaria	6 mil millones Generación de 3.300 empleos	2 GW	15 millones de toneladas para 2030	Sitio web del Gobierno de Ceará: https://www.ceara.gov.br/2021/07/07/hub-de-hidrogenio-verde-acordo-entre-governo-do-ceara-e-a-fortescue-preve-investimentos-de-u-6-bi-e-3-300-empregos/ Sitio web del Diario del Nordeste: https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/ceara-assina-protocolos-com-mais-quatro-empresas-para-investir-em-producao-de-hidrogenio-verde-1.3147584
4	Julio / 2021	Qair (formado en 2020 por Lucia, Premier Element, and Primeo Energie)	6.95 mil millones Generación de 2.600 empleos	Incluye 1,2 GW de energía eólica <i>offshore</i>	296 mil toneladas em 2023	Sitio web del Diario del Pueblo: https://www.opovo.com.br/noticias/economia/2021/10/11/sua-nota-tem-valor-permite-cadastrat-cupom-fiscal-ate-seis-horas-depois-da-emissao.html
5	Sep-tiembre / 2021	EDP Brasil	~7,6 millones (Inversión y Desarrollo de la Usina Termoelectrica de Pecém) Generación de 350 empleos	0,003GW	250 Nm ³ /h de gas hasta 2022	Sitio web del Gobierno de Ceará: https://www.ceara.gov.br/2021/09/01/ceara-recebera-a-primeira-usina-de-hidrogenio-verde-do-brasil-com-operacao-janeiro-em-2022/
6	Octubre/ 2021	Transhydrogen Alliance (consorcio Proton Ventures, Trammo, Global Energy Storage y VARO)	2 mil millones de dólares	No divulgado	500 mil toneladas en 2024/ 2,5 millones de toneladas de amoníaco verde	Sitio web del Jornal O Povo: https://www.opovo.com.br/noticias/economia/2021/10/27/camilo-protocolo-transhydrogen-alliance-hidrogenio-verde-ceara.html

7	Octubre/2021	Eneva	No divulgado			Sitio web del Gobierno de Ceará: https://www.ceara.gov.br/2021/10/13/novos-memorandos-de-entendimento-fortalecem-o-hub-do-hidrogenio-verde-no-ceara/
8	Octubre/2021	Diferencial de Energía				
9	Octubre/2021	Hytron				
10	Octubre/2021	H2helium Energía				
11	Octubre/2021	Linde Group	No divulgado			Sitio web del Jornal O Povo: https://www.opovo.com.br/noticias/economia/2021/10/29/hidrogenio-verde-ceara-brasil-curso-proyecto-usina-emprego-white-martins.html
12	Octubre/2021	Engie	No divulgado			Sitio web del Jornal O Povo: https://www.opovo.com.br/noticias/economia/2021/12/08/ceara-assina-13-acordo-para-proyecto-de-hidrogenio-verde.html
13	Diciembre / 2021	AES Brasil	No divulgado	1GW/500 mil toneladas de amoníaco verde	No divulgado	Sitio web del Jornal O Povo: https://www.opovo.com.br/noticias/economia/2021/12/13/aes-brasil-projeta-investir-uss-2-bilhoes-em-hidrogenio-verde-no-ceara.html
14	Diciembre / 2021	Total Eren	No divulgado			Sitio web del Jornal O Povo: https://www.opovo.com.br/noticias/economia/2021/12/16/hidrogenio-verde-protocolo-com-casa-dos-ventos-deve-ser-assinado-em-fevereiro.html

Fuente: Autoría propia.

Rapidamente, otros tres grupos industriales anunciaron acuerdos con el estado de Ceará para inversiones en H₂V. En abril de 2021, White Martins, filial de Linde, empresa de ingeniería y gas industrial, y Pecém firmaron un acuerdo con el Estado para apoyar el polo de H₂V, con el objetivo de “priorizar las exportaciones a Europa” (CEARÁ, [2021c](#)). En julio de 2021, el gobierno estatal firmó un acuerdo con Qair, un grupo francés de energías renovables, para conectar una central de H₂V mediante líneas de transmisión y una subestación dedicada a un parque eólico *offshore* a 200 km al oeste de Pecém (O POVO, 2021). Unos días después, Ceará firmó un acuerdo con Fortescue Future Industries Pty Ltd. (FFI), una subsidiaria de la empresa australiana de mineral de hierro Fortescue Metals Group, para desarrollar una planta de H₂V que “capacitaría y contrataría trabajadores locales, adquiriría servicios y compraría productos localmente siempre que sea posible”, informa el comunicado (PECÉM, [2021](#)). Fortescue, que tiene planes ambiciosos para la minería y el cemento sin emisiones de carbono, también está buscando H₂V en Tasmania y amoníaco verde para exportar a Japón, además de la inversión mencionada en Argentina. En octubre de 2021 se firmaron cuatro nuevos memorandos de entendimiento, sin embargo, sin revelar más información a la sociedad. El Gobierno anunció, para un futuro próximo, la firma de un Memorándum con BP Energía y estima que, hasta fines de 2021, Ceará habrá firmado un acuerdo con 16 corporaciones y una prospección de inversión total con un valor de 17,35 mil millones de dólares (DIÁRIO DO NORDESTE, [2021](#)). Aunque, al cierre de este capítulo (junio de 2022), estas perspectivas no han sido divulgadas en los medios locales.

El gobierno del estado de Ceará creó un Grupo de Trabajo para brindar apoyo técnico y de políticas para inversiones en hidrógeno verde, compuesto por varias agencias estatales y grupos industriales en marzo de 2021, para orientar las políticas hacia un *hub* de H₂V (CEARÁ, [2021a](#)). El decreto de creación del Grupo de Trabajo describió al hidrógeno verde como un “vector que permitirá importar energía limpia de regiones favorecidas por la naturaleza y con potencial para superar sus necesidades” (CEARÁ, [2021b](#)), en referencia al exceso de energía renovable. Notablemente, hay dos contradicciones en este proceso: 1) todas las propuestas de H₂V de Ceará están ubicadas en el puerto de Pecém y la ZPE, que alberga centrales térmicas de carbón y gas que han creado varios conflictos en curso sobre la tenencia de la tierra, agua y contaminación ambiental con comunidades indígenas cercanas (MEIRELES *et al.*, [2018](#); NEEPES / ENSP / FIOCRUZ; CIRCA, [2019](#)); y 2) En 2021, el Brasil vive la mayor crisis hídrica de los últimos 91 años, lo que impacta directamente en la generación de energía (en octubre de 2021, cerca del 57,4% de la generación eléctrica nacional fue hidráulica, según datos del Sistema de Información de Generación - SIGA de la Agencia Nacional Energía de Eléctrica - ANEEL), exigiendo un mayor uso de las termoeléctricas y elevando las facturas de energía cerca de un 10% (O GLOBO, [2021](#); GETIRANA; LIBONATI; CATALDI, [2021](#)).

Las inversiones en H₂V no se dieron en un vacío tecnológico-industrial y político, como sugería la mención de la EPE (2021) al hidrógeno “arcoíris”. Brasil tiene un sistema de producción de hidrógeno industrial bien establecido (CÉSAR *et al.*, 2019). Varias agencias gubernamentales y laboratorios de universidades públicas han trabajado durante décadas para desarrollar la producción de hidrógeno a partir de agua, gas natural, etanol y biomasa, aunque el compromiso de Brasil con el hidrógeno industrial ha sido irregular y su inversión en investigación intermitente. El Ministerio de Minas y Energía, en 2005, identificó elementos de una estrategia nacional de hidrógeno, incluidas áreas de ventaja competitiva, el papel del gas natural en la transición energética y la necesidad de ubicar la producción de hidrógeno en lugares donde podría usarse para el transporte urbano en autobús. Sin embargo, los descubrimientos *offshore* de petróleo en el presal en 2006, que convirtieron a Brasil en el mayor productor de petróleo de América Latina, cambiaron las prioridades de la política energética para el petróleo (CÉSAR *et al.*, 2019, p. 757). Pero en junio de 2021, el Consejo Nacional de Política Energética de Brasil hizo del hidrógeno una prioridad para la financiación de investigación y desarrollo (I&D), describiendo “un entorno empresarial favorable” en el que Brasil tiene una “competitividad significativa” en energía eólica y solar para atraer inversores extranjeros y nacionales al hidrógeno verde (EPE, 2021, p. 30).

Otros desarrollos de H₂V incluyen el anuncio en el estado de Pernambuco por parte de Neoenergía, la filial brasileña de Iberdrola, de un proyecto piloto de hidrógeno verde en el puerto de Suape, complejo industrial y EPZ (NEOENERGIA, 2021). En Río de Janeiro, el complejo portuario de Açú, el puerto privado más grande de América Latina, cerró un acuerdo con Fortescue Future Industries para una planta de H₂V. Açú ha sido designado como ZPE desde 2017, pero aún está en desarrollo. El acuerdo incluye futuros parques eólicos *offshore*, en los estados de Río de Janeiro y Espírito Santo, así como generación solar cerca de Porto do Açú (PORTO DO AÇU, 2021). Otro desarrollo importante es la asociación, anunciada en abril de 2021, entre el Centro de Investigación de Energía Eléctrica (brazo de investigación de Eletrobras, una generadora y distribuidora de energía estatal en Brasil) y Siemens para un proyecto piloto de H₂V (CEPEL, 2021). En agosto de 2021, Enterprize Energy, que desde 2016 desarrolla proyectos en China, Taiwán y Vietnam, firmó un acuerdo con el estado de Rio Grande do Norte para producir H₂V y amoníaco, con una fuente eólica *offshore* (G1 RIO GRANDE DO NORTE, 2021).

El proceso que atraviesa Brasil merece una breve comparación con la estrategia de H₂V de Chile, que apunta a aprovechar la energía solar y eólica para producir “el hidrógeno verde más barato del planeta” que “permitirá la exportación a gran escala de productos verdes” (FUNDACIÓN CHILE, 2021). Entre las prioridades del plan está la definición de una institucionalidad favorable al H₂V, la creación de un fondo de 50 millones de dólares para apoyar inversiones, el establecimiento de una certificación

de origen para el H₂V chileno, el desarrollo de alianzas público-privadas y la creación de centros que combinen terminales de exportación con centrales de desalinización y estructuras para la transmisión de electricidad.

Chile también recibe una inversión de Siemens en la planta Haru Oni, en el sur, que utilizará energía eólica para producir metanol. Después de que los electrolizadores de Siemens crean hidrógeno a partir del agua, la planta captura el CO₂ del aire y lo combina con hidrógeno para crear metanol, que luego se puede convertir en “combustibles neutrales para el clima” que reemplazarán al diésel o a la gasolina convencionales (SIEMENS CA., 2020). En noviembre de 2021, la empresa Total Eren, con sede en París, anunció H2 Magallanes, un proyecto de H₂V en el sur de Chile basado en 10 GW de parques eólicos (TOTAL EREN, 2021).

En Argentina, la empresa Fortescue Future Industries anunció una inversión en H₂V de US\$8,4 mil millones en la provincia de Río Negro, probablemente respaldada por energía eólica (MISCULIN; GEIST, 2021). La transformación de la Patagonia argentina como fuente de energía renovable para abastecer la electrólisis ya recibió un estudio técnico, buscando determinar su factibilidad para exportar H₂V a Japón, desde hace años en la literatura técnica (HEUSER *et al.*, 2019).

Implicaciones geográficas

Al pensar en las implicaciones geográficas relacionadas con el desarrollo de la cadena verde del hidrógeno, nos preguntamos: ¿qué significa “energía renovable en botella” para los estudios de Geografía de la Energía en Brasil? Sabemos que, globalmente, las teorías y los conceptos geográficos han definido varias áreas que han sometido los sistemas de descarbonización de energía a un escrutinio crítico.

El H₂V, una forma de “embotellar la energía renovable”, ofrece un excelente caso de prueba para explorar cómo la energía renovable puede ser una “solución socioecológica” a la crisis del capitalismo, creando “oportunidades para revitalizar la acumulación de capital a escala global y dando, en términos biofísicos, una respuesta positiva al enfriamiento del cambio climático” (MCCARTHY, 2015, p. 2495). Pasar del “bosque subterráneo” de los combustibles fósiles a un redescubrimiento de la superficie – capturando los flujos de energía eólica y solar – requiere una “producción masiva de espacio” (HUBER; MCCARTHY, 2017, p. 9), que las inversiones en H₂V van a acelerar.

Bridge *et al.* (2013) han desarrollado un marco para comprender las transiciones energéticas utilizando conceptos geográficos que pueden ayudarnos a determinar procesos para una “solución socioecológica”, a partir de la producción de preocupaciones espaciales que involucran la captura de flujos superficiales. Desde esta perspectiva, hay tres consideraciones específicas en la economía política geográfica emergente de la transición energética, que se centran en cómo la descarbonización (i) reproduce las relaciones económicas y de poder político, (ii) produce numerosas consecuencias

espaciales, y (iii) requiere una atención renovada para las relaciones entre el Estado, la Sociedad y el Mercado (BRIDGE; GAILING, 2020).

En el Cuadro 2, resumimos los conceptos clave expuestos en Bridge *et al.* (2013) y aplicados al estudio de caso del H₂V en Brasil, como una forma de identificar preguntas de investigación que pueden ayudar a orientar futuras investigaciones geográficas que prueben o aborden afirmaciones sobre las crisis capitalistas (MCCARTHY, 2015) y la producción de hidrógeno en el espacio (HUBER; MCCARTHY, 2017). El concepto de ubicación enfatiza cómo los sistemas energéticos descarbonizados dependen necesariamente de ubicaciones particulares, en un espacio absoluto y relacional, con componentes interconectados.

El Porto de Pecém, Ceará, como ubicación de las inversiones propuestas en H₂V, es relevante en términos absolutos porque alberga controvertidas plantas termoeléctricas a carbón y a gas y en términos de su proximidad a un gran grupo de parques eólicos en la costa de Ceará y en los estados vecinos de Rio Grande do Norte, que en conjunto tienen aproximadamente 8,28 GW de potencia eólica instalada que actualmente abastece a un sistema eléctrico nacional, según datos del SIGA de ANEEL de octubre de 2021.

La imagen del polo de H₂V de Pecém muestra la energía eólica cerca del Puerto (Figura 1) cuando, en realidad, los electrones utilizados como fuente de energía para los electrolizadores provendrían de parques eólicos ampliamente distribuidos en la Costa de Ceará. Es importante decir que, aunque existen asentamientos de comunidades indígenas de Anacé y otras comunidades tradicionales cercanas a la zona, esta información está completamente ausente de todas las discusiones y debates que involucran la generación de energía renovable hasta el momento.

Cuadro 2 - Aplicación de conceptos geográficos de transición energética a cuestiones de hidrógeno verde (H₂V) en Brasil

Concepto	Definiciones de Descarbonización	Aplicaciones Geográficas para el Análisis de Hidrógeno Verde Emergente en Brasil
Ubicación (absoluta y relativa)	<ul style="list-style-type: none"> - Los sistemas energéticos dependen de elementos interconectados que se organizan espacialmente; - Las inversiones de bajo carbono requieren decisiones de ubicación. 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿El sistema portuario de Pecém está preparado para guiar la transición del combustible fósil al H₂V exportable? - ¿Cuáles son los vínculos espaciales entre las fuentes de energía renovables y los electrolizadores?
Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> - Conjunto de características naturales y culturales. 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿El H₂V exportable cambia la visión de los escenarios de energía renovable entre las comunidades receptoras? - ¿Qué grupos de la sociedad están preparados para apoyar (u oponerse) al H₂V?

Territorio	- Los actores utilizan la autoridad y el poder para fragmentar y controlar el territorio.	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cómo creó el Gobierno de Ceará espacio para inversiones en H₂V? - ¿El H₂V influirá en el escenario de la energía eólica <i>offshore/ onshore</i> y energía solar en Ceará con perspectiva de apoyar su desarrollo? - ¿Cómo se ponen a disposición sitios prometedores de generación de energía renovable (<i>onshore</i> y <i>offshore</i>) para la energía eólica y solar?
Diferenciación Espacial y Desarrollo Desigual	- Los patrones de desarrollo desigual resultan de procesos de territorialización desigual.	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cómo influirá el <i>hub</i> de H₂V del Gobierno de Ceará, como lugar de innovación, en el desarrollo económico del Estado? - ¿Se consumirá la energía renovable en el país o se utilizará para exportar H₂V? - ¿Quién es el propietario de las tecnologías vinculadas a la cadena de producción de H₂V?
Escala	El tamaño de las estructuras y la extensión espacial de los sistemas energéticos descarbonizados son contingentes y exigen el diálogo entre los actores.	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cómo se establecen lazos de conocimiento e influencia entre representantes del Gobierno de Ceará, autoridades federales de energía e inversionistas? - ¿Qué grupos se incluyen y excluyen en la formulación de políticas de H₂V?
Dinámica Institucional (Spatial Embeddedness y Path Dependency)	La inercia de los combustibles fósiles podría ser un obstáculo para la descarbonización.	- ¿Qué grupos industriales y arreglos económicos brasileños están preparados para apoyar (u oponerse) al H ₂ V?

Fuente: 1ª y 2ª columnas: Bridge *et al.* (2013); 3ª columna: Autoría propia.

Figura 1 - Imagen elaborada por Porto do Pecém que configura una idea esquemática del hub de hidrógeno verde en el Complejo Industrial y Portuario del Pecém



Fuente: Ceará (2021c).

El paisaje se refiere a conjuntos de características naturales y culturales. Casi todos los estudios de aceptación y rechazo de la comunidad anfitriona asumen que la energía renovable alimenta las redes regionales o nacionales en lugar de los mercados de exportación (RAND; HOEN, 2017). ¿Cómo responderán las comunidades receptoras cuando los parques eólicos y solares cercanos se conviertan en fábricas de exportación para apoyar los objetivos climáticos y de carbono de los países ricos? El comercio de hidrógeno promete “redibujar la geografía del comercio mundial de energía, crear una nueva clase de exportadores de energía y remodelar las relaciones geopolíticas y las alianzas entre países” (GRAAF *et al.*, 2020, p.1), pero aún no sabemos sobre las implicaciones sociales y políticas a escala del paisaje de las comunidades receptoras.

Las territorialidades describen los procesos mediante los cuales los actores usan la autoridad y el poder para fragmentar y controlar el espacio. ¿Cómo creó el Gobierno de Ceará el espacio para las fábricas de H₂V? En términos más generales, ¿cómo se ponen a disposición sitios de energía renovable prometedores (*onshore* y *offshore*) para la energía eólica y solar? Para parques eólicos terrestres, Gorayeb *et al.* (2018) describieron procesos fraudulentos en el licenciamiento ambiental y Araújo *et al.* (2020) analizaron las afirmaciones exageradas y erróneas en los documentos de licencia de parques eólicos en Ceará. (Ver también el [Capítulo 5](#) sobre este tema). Por lo tanto, es posible que el éxito de la concesión de licencias para futuros parques eólicos *offshore*, que proporcionarán energía para la producción de H₂V, dependa de la invisibilidad de las comunidades pesqueras artesanales en la costa de Ceará, así como sobre indígenas y quilombolas.

Es interesante señalar que Brasil, al igual que Ceará, no cuenta con la Planificación Espacial Marina, instrumento básico de planificación territorial marina que presupone y coordina múltiples acciones y usos del territorio. Además, Brasil cuenta con dos documentos preliminares que integran el marco regulatorio de la actividad, (1) el *roadmap* Eólica *Offshore* Brasil, lanzada por EPE en abril de 2020 (EPE, [2020b](#)) y (2) el término de referencia estándar para complejos energéticos *offshore* eólica, lanzada por el IBAMA en noviembre de 2020 (IBAMA, [2020](#)). Estos dos documentos serán fundamentales para la composición del marco regulatorio nacional que subsidiará las inversiones en energía eólica *offshore* e H₂V.

El 25 de enero de 2022, el Gobierno Federal publicó el Decreto 10.946, que da lineamientos generales para la explotación de energía eólica marina en Brasil, abriendo un primer camino legal para la implementación de parques eólicos marinos, aunque el sector productivo e inversor todavía tiene muchas dudas con respecto a este primer marco legal. Y, el 12 de mayo de 2022, el Estado de Ceará instituyó el “Plan Estatal de Transición Energética Justa de Ceará”, a través del Decreto 34.733, considerando la Política Estatal de Cambio Climático del Estado de Ceará de 2016 (Ley Estatal 16.146), con el objetivo de “promover el fortalecimiento de la matriz energética baja en carbono en el Estado”, considerando fuentes de energía renovables, en especial la producción de H₂V.

Los patrones de desarrollo desiguales resultan de los procesos de ubicación, paisaje y territorialización. ¿Cómo creó el gobierno de Ceará un “polo” de H₂V como lugar de innovación? ¿Quién posee las tecnologías de H₂V y electrolizadores y la propiedad intelectual? Sabemos poco sobre las numerosas patentes que se necesitarán para proteger la adquisición de propiedad intelectual en la carrera por hacer que los electrolizadores sean económicamente viables. Ni siquiera sabemos con certeza cuáles son los requisitos de capital humano para mantener los electrolizadores. Goldthau *et al.* (2020) sugieren que el Sur Global puede ser “excluido” de las cadenas de valor

para la descarbonización, en ese sentido, ¿cuál será la demanda de capital humano local calificado para operar fábricas de H₂V?

La escala se refiere al tamaño del material y la extensión espacial de los sistemas de energía descarbonizados. El tamaño y la extensión son contingentes y debatidos. ¿Cuáles son los vínculos de conocimiento e influencia entre el Gobierno de Ceará, las autoridades energéticas federales y los empresarios? ¿Qué procesos y qué personas dentro del gobierno de Ceará negociaron con los inversionistas? ¿Qué estructuras físicas e institucionales de la industria de los combustibles fósiles pueden ser obstáculos para la descarbonización? Por otro lado, ¿qué grupos industriales brasileños están preparados para oponerse (o apoyar) al H₂V? Trabajos de Hochstetler (2021) y Soares *et al.* (2021), quienes describieron las interacciones entre los grupos industriales y los funcionarios gubernamentales para la política eólica, pueden extenderse al marco institucional emergente para comprender las territorialidades que envuelven la producción de H₂V en Ceará.

Conclusión

La extracción de litio en el altiplano andino ha insertado a América Latina en las redes globales de descarbonización, pero transformar las energías renovables en hidrógeno verde exportable representa una nueva tendencia que merece un análisis geográfico. El Brasil está emergiendo como un potencial *player* global líder en hidrógeno verde. En los próximos años, Porto do Pecém, en el estado de Ceará, podría convertirse en la ubicación de fábricas de exportación de hidrógeno verde alimentadas por parques eólicos y solares, *offshore* y *onshore*. Mostramos cómo se pueden implementar varios conceptos geográficos para crear una agenda de investigación sólida que ofrece un marcado contraste con las afirmaciones optimistas (NADALETI *et al.*, 2020; SCHMIDT *et al.*, 2019). Una aproximación crítica al hidrógeno verde acepta su importancia para la descarbonización, al mismo tiempo que cuestiona la distribución de beneficios de transformar parques eólicos y solares en fuentes de energía para fábricas de exportación, enfatiza los procesos de territorialización que hacen disponibles el espacio terrestre y oceánico, y cuestiona las implicaciones político-económicas, especialmente para las comunidades receptoras.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del proyecto CAPES/Programa de Cooperación Sur – Sur de Brasil (COOPRASS) Aviso público n. 5 de 2019, Proc. 88881.368924/2019-01 “Energías Renovables y Descarbonización en América del Sur: desafíos de la Energía Eólica/BR y Litio/AR” y CAPES/PRINT Proc. 88887.312019/2018-00:

Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate change.

Referencias

- ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE COMBUSTIBLES ALCOHOL Y PÓRTLAND. **ANCAP presentó el programa H2U Offshore**. In: ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE COMBUSTIBLES ALCOHOL Y PÓRTLAND. [s. l.], 5 out. 2021. Disponível em: <https://www.ancap.com.uy/9503/1/ancap-presento-el-programa-h2u-offshore.html>. Acesso em: 13 out. 2021.
- AJANOVIC, A.; HAAS, R. On the long-term prospects of power-to-gas technologies. **WIRES Energy and Environment**, v. 8, n. 1, p. e318, 2019.
- APOSTOLOU, D.; ENEVOLDSEN, P. The past, present and potential of hydrogen as a multifunctional storage application for wind power. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 112, p. 917-929, 2019.
- AQUILA, G.; PAMPLONA, E. O.; QUEIROZ, A. R.; ROTELA JUNIOR, P.; FONSECA, M. N. An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 1090-1098, 2017.
- ARAÚJO, J. C. H.; SOUZA, W. F.; MEIRELES, A. J. A.; BRANNSTROM, C. Sustainability challenges of wind power deployment in Coastal Ceará state, Brazil. **Sustainability**, v. 12, n. 14, p. 5562, 2020.
- AYERS, K.; DANILOVIC, N.; OUIOMET, R.; CARMO, M.; PIVOVAR, B.; BORNSTEIN, M. Perspectives on low-temperature electrolysis and potential for renewable hydrogen at scale. **Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering**, v. 10, n. 1, p. 219-239, 2019.
- BARANDIARÁN, J. Lithium and development imaginaries in Chile, Argentina and Bolivia. **World Development**, v. 113, p. 381-391, 2019.
- BLACKBURNE, A. **Hydrogen finance maturing from day trading to M&A**. In: S&P GLOBAL MARKETING INTELLIGENCE. [s. l.], 3 dez. 2020. Disponível em: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/hydrogen-finance-maturing-from-day-trading-to-m-a-61063243>. Acesso em: 30 dez. 2021.
- BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J. S.; LOUREIRO, C.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V.; FREITAS, A. L. R.; OLIVEIRA, R. F. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 62-71, 2017.
- BRIDGE, G.; BOUZAROVSKI, S.; BRADSHAW, M.; EYRE, N. Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy. **Energy Policy**, v. 53, p. 331-340, 2013.
- BRIDGE, G.; GAILING, L. New energy spaces: Towards a geographical political economy of energy transition. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 52, n. 6, p. 1037-1050, 2020.
- BUTTNER, A.; SPLIETHOFF, H. Current status of water electrolysis for energy storage, grid balancing and sector coupling via power-to-gas and power-to-liquids: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. 3, p. 2440-2454, 2018.
- CEARÁ. **Governo do Ceará e instituições parceiras lançam HUB de Hidrogênio Verde**. In: SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. Fortaleza, 19 fev. 2021a. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/2021/02/19/governo-do-ceara-e-instituicoes-parceiras-lancam-hub-de-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 17 jul. 2021.

- CEARÁ. Decreto nº 34.003, de 24 de março de 2021. Institui grupo de trabalho estratégico para elaborar e apresentar plano de ação com o objetivo de desenvolver políticas públicas de energias renováveis voltadas para o desenvolvimento sustentável e para configurar e implantar Futuro Hub de Hidrogênio Verde no Ceará, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**: série 3, Fortaleza, ano 13, nº 68, p. 2-3, 24 mar. 2021b.
- CEARÁ. **Complexo do Pecém e White Martins assinam Memorando de Entendimento para a implantação de HUB de Hidrogênio Verde no Ceará**. In: CEARÁ. Fortaleza, 19 abr. 2021c. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2021/04/19/complexo-do-pecem-e-white-martins-assinam-memorando-de-entendimento-para-implantacao-do-hub-de-hidrogenio-verde-no-ceara/>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Eletrobras, Cepel e Siemens Energy assinam memorando sobre hidrogênio verde**. In: CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. [s. l.], 8 abr. 2021. Disponível em: http://www.cepel.br/pt_br/sala-de-imprensa/noticias/eletrobras-cepel-e-siemens-energy-assinam-memorando-sobre-hidrogenio-verde.htm. Acesso em: 19 jul. 2021.
- CÉSAR, A. S.; VERAS, T. S.; MOZER, T. S.; SANTOS, D. C. R. M.; CONEJERO, M. A. Hydrogen productive chain in Brazil: An analysis of the competitiveness' drivers. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 751-763, 2019.
- DAVIS, S. J. *et al.* Net-zero emissions energy systems. **Science**, v. 360, n. 6396, p. eaas9793, 2018.
- DAWOOD, F.; ANDA, M.; SHAFIULLAH, G. M. Hydrogen production for energy: An overview. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 45, n. 7, p. 3847-3869, 2020.
- DORN, F. M.; RUIZ PEYRÉ, F. Lithium as a Strategic Resource: Geopolitics, Industrialization, and Mining in Argentina. **Journal of Latin American Geography**, v. 19, n. 4, p. 68-90, 2020.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota Técnica**: Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio. Brasília: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2021.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2050**. Brasília: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2020a.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Roadmap Eólica Offshore Brasil**. Brasília: Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2020b.
- ENEGIX ENERGY. **Enegix Energy to build US\$5.4 billion green hydrogen facility in Brazil**. In: ENEGIX ENERGY. [s. l.], 1 mar. 2021. Disponível em: <https://pressroom.enegix.energy/129246-enegix-energy-to-build-us54-billion-green-hydrogen-facility-in-brazil>. Acesso em: 20 jul. 2021.
- EUROPEAN COMMISSION. **A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe**. Brussels: European Commission, 2020.
- FACUNDO, M. Ceará Assina Protocolos com Mais Quatro Empresas para Investir em Produção de Hidrogênio Verde. In: DIÁRIO DO NORDESTE. [s. l.], 13 out. 2021. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/ceara-assina-protocolos-com-mais-quatro-empresas-para-investir-em-producao-de-hidrogenio-verde-1.3147584>. Acesso em: 18 out. 2021.
- FUNDACIÓN CHILE. **The National Green Hydrogen Strategy of Chile**: Hydrogen Technologies and Production of Synthetic Fuels. Santiago de Chile: Fundación Chile, 2021.
- GETIRANA, A., LIBONATI, R., CATALDI, M. Brazil is in water crisis – it needs a drought plan. **Nature**, v. 600, p. 218-220, 2021.

- GLENK, G.; REICHELSTEIN, S. Economics of converting renewable power to hydrogen. **Nature Energy**, v. 4, n. 3, p. 216-222, 2019.
- GOLDTHAU, A.; EICKE, L.; WEKO, S. The Global Energy Transition and the Global South. In: HAFNER M.; TAGLIAPIETRA, S. (ed.). **The Geopolitics of the Global Energy Transition**. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2020. p. 319-339.
- GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MENDES, J. S.; MEIRELES, A. J. A. Wind power gone bad: Critiquing wind power planning processes in northeastern Brazil. **Energy Research and Social Science**, v. 40, p. 82-88, 2018.
- GRAAF, T. V.; OVERLAND, I.; SCHOLTEN, D.; WESTPHAL, K. The new oil? The geopolitics and international governance of hydrogen. **Energy Research & Social Science**, v. 70, p. 101667, 2020.
- G1 RIO GRANDE DO NORTE. **Governo assina acordo para produção de energia eólica no mar, hidrogênio verde e amônia no RN**. In: G1 RIO GRANDE DO NORTE, Natal, 11 ago. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2021/08/11/governo-assina-acordo-para-producao-de-energia-eolica-no-mar-hidrogenio-verde-e-amonia-no-rn-ghtml>. Acesso em: 18 out. 2021.
- HAEGEL, N. M., *et al.* Terawatt-scale photovoltaics: Transform global energy. **Science**, v. 364, n. 6443, p. 836-838, 2019.
- HAUCH, A.; KÜNGAS, R.; BLENNOW, P.; HANSEN, A. B.; HANSEN, J. B.; MATHIESEN, B. V.; MOGENSEN, M. B. Recent advances in solid oxide cell technology for electrolysis. **Science**, v. 370, n. 6513, p. eaba6118, 2020.
- HEUSER, P.-M.; GRUBE, T.; ROBINIUS, M.; STOLTEN, D. Techno-economic analysis of a potential energy trading link between Patagonia and Japan based on CO2 free hydrogen. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, p. 12733-12747, 2019.
- HOCHSTETLER, K. **Political economies of energy transition: wind and solar power in Brazil and South Africa**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2021.
- HUBER, M. T.; MCCARTHY, J. Beyond the subterranean energy regime? Fuel, land use and the production of space. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 42, n. 4, p. 655-668, 2017.
- HOWARTH, J.; FELIBA, D. **Rich in renewable energy, Chile seeks to become global hydrogen powerhouse**. In: S&P GLOBAL MARKETING INTELLIGENCE. [s. l.], 30 ago. 2021. Disponível em: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/rich-in-renewable-energy-chile-seeks-to-become-global-hydrogen-powerhouse-66012212>. Acesso em: 13 out. 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Termo de referência: Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental EIA/Rima. Tipologia: Complexos Eólicos Marítimos (Offshore)**. Brasília: IBAMA, 2020. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/publicacoes/2020-11-TR_CEM.pdf. Acesso em: 26 jul. 2021.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Green Hydrogen: A Guide to Policy Making**. Abu Dhabi: IRENA, 2020.
- JUÁREZ, A. A.; ARAÚJO, A. M.; ROHATGI, J. S.; OLIVEIRA FILHO, O. D. Q. Development of the wind power in Brazil; Political, social, and technical issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 828-834, 2014.

- LEOW, W. R.; LUM, Y.; OZDEN, A.; WANG, Y.; NAM, D.-H.; CHEN, B.; WICKS, J.; ZHUANG, T.-T.; LI, F.; SINTON, D.; SARGENT, E. H. Chloride-mediated selective electrosynthesis of ethylene and propylene oxides at high current density. **Science**, v. 368, n. 6496, p. 1228-1233, 2020.
- LUNA, P.; HAHN, C.; HIGGINS D.; JAFFER, S. A.; JARAMILLO, T. F.; SARGENT, E. H. What would it take for renewably powered electrosynthesis to displace petrochemical processes? **Science**, v. 364, n. 6438, p. eaav3506, 2019.
- MCCARTHY, J. A socioecological fix to capitalist crisis and climate change? The possibilities and limits of renewable energy. **Environment and Planning A**, v. 47, p. 2485-2502, 2015.
- MEIRELES, A. J. A.; MELO, J. A. T.; SAID, M.A. Environmental injustice in northeast Brazil: The Pecém Industrial and Shipping Complex. In: COONEY P.; SACHER W. (ed.). **Environmental Impacts of Transnational Corporations in the Global South**. Bingley: Emerald Group Publishing, 2018. p. 171-187.
- MISCULIN, N.; GEIST, A. **Argentina, Fortescue unveils \$8.4 billion green hydrogen investment plan**. In: REUTERS. [s. l.], 1 nov. 2021. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/argentina-fortescue-hydrogen/argentina-fortescue-unveil-8-4-billion-green-hydrogen-investment-plan-idINKBN2HM35F>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- NADALETI, W. C.; SANTOS, G. B.; LOURENÇO, V. A. The potential and economic viability of hydrogen production from the use of hydroelectric and wind farms surplus energy in Brazil: A national and pioneering analysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 45, n. 3, p. 1373-1384, 2020.
- NATURE ENERGY. Bottling renewables. **Nature Energy**, v. 4, p. 721, 2019.
- NEEPES/ENSP/FIOCRUZ. CE – Povo indígena Anacé, pescadores, agricultores e outras comunidades tradicionais lutam e resistem contra impactos negativos do Complexo Industrial e Portuário do Pecém – CIPP. In: NEEPES/ENSP/FIOCRUZ. **Mapa de Conflitos**. [s. l.], 01 jun. 2019. Disponível em: <http://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/conflito/ce-povo-anace-e-desrespeitado-e-expulso-de-seu-territorio-para-construcao-do-complexo-industrial-e-portuario-do-pecem/>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- NEOENERGIA. **Neoenergia e governo de Pernambuco assinam memorando de entendimento para produção de hidrogênio verde**. In: NEOENERGIA. [s. l.], 10 jun. 2021. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/neoenergia-e-governo-de-pernambuco-assinam-memorando-para-producao-hidrogenio-verde.aspx>. Acesso em: 19 jul. 2021.
- O'FARRELL, S. **Brazil swaps hydro for hydrogen**. In: FDI INTELLIGENCE. [s. l.], 2 jul. 2021.
- PECÉM. **Hub de hidrogênio verde: Acordo entre Governo do Ceará e Fortescue prevê investimentos de US\$6 bi**. In: COMPLEXO DO PECÉM. [s. l.], 8 jul. 2021. Disponível em: <https://www.complexodopecem.com.br/hub-de-hidrogenio-verde-acordo-entre-governo-do-ceara-e-fortescue-preve-investimentos-de-u-6-bi/>. Acesso em: 18 jul. 2021.
- PORTO DO AÇU. **Fortescue Future Industries e Porto do Açú unem forças para desenvolver planta de hidrogênio verde no Brasil**. In: PORTO DO AÇU. [s. l.], 16 mar. 2021. Disponível em: <https://portodoacu.com.br/fortescue-future-industries-e-porto-do-acu-unem-forcas-para-desenvolver-planta-de-hidrogenio-verde-no-brasil/>. Acesso em: 19 jul. 2021.
- O GLOBO. **E agora, Brasil?: Brasileiro deve pagar a conta da crise hídrica até 2025**. In: O GLOBO. [s. l.], 24 set. 2021. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/e-agora-brasil-brasileiro-deve-pagar-conta-da-crise-hidrica-ate-2025-25210706>. Acesso em: 18 out. 2021.

- PERREAULT, T. Bolivia's High Stakes Lithium Gamble. **NACLA Report on the Americas**, v. 52, n. 2, p. 165-172, 2020.
- QUINTELA, S. **A empresa australiana que investirá cerca US\$5,4 bilhões no projeto espera ter o empreendimento 100% operacional em 2025**. *In*: DIÁRIO DO NORDESTE. [s. l.], 3 mar. 2021.
- RAND, J.; HOEN, B. Thirty years of North American wind energy acceptance research: What have we learned? **Energy Research and Social Science**, v. 29, p. 135-148, 2017.
- RAHMAN, M. N.; WAHID, M. A. Renewable-based zero-carbon fuels for the use of power generation: A case study in Malaysia supported by updated developments worldwide. **Energy Reports**, v. 7, p. 1986-2020, 2021.
- REED, S.; EWING, J. Hydrogen is one answer to climate change. *In*: NEW YORK TIMES. [s. l.], 13 jul. 2021.
- REDAÇÃO O POVO. **Hidrogênio verde: Qair e Camilo assinam memorando para usina no Pecém**. *In*: O POVO. [s. l.], 6 jul. 2021. Disponível em: <https://www.opovo.com.br/noticias/economia/2021/07/06/hidrogenio-verde--qair-e-camilo-assinam-memorando-para-usina-no-pecem.html>. Acesso em: 18 jul. 2021.
- SAEEDMANESH, A.; MACKINNON, M. A.; BROUWER, J. Hydrogen is essential for sustainability. **Current Opinion in Electrochemistry**, v. 12, p. 166-181, 2018.
- SANCHEZ-LOPEZ, M. D. From a white desert to the largest world deposit of lithium: Symbolic meanings and materialities of the Uyuni Salt Flat in Bolivia. **Antipode**, v. 51, n. 4, p. 1318-1339, 2019.
- SCHMIDT, J.; GRUBER, K.; KLINGLER, M.; KLÖCKL, C.; RAMIREZ CAMARGO, L.; REGNER, P.; TURKOVSKA, O.; WEHRLE, S.; WETTERLUND, E. A new perspective on global renewable energy systems: why trade in energy carriers matters. **Energy & Environmental Science**, v. 12, n. 7, p. 2022-2029, 2019.
- SIEMENS. **A new hydrogen reality: Fuel from wind and water**. 2020. *In*: SIEMENS. [s. l.], Disponível em: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offering/renewable-energy/hydrogen-solutions/haru-oni.html>. Acesso em: 19 jul. 2021.
- SILVA, R. C.; MARCHI NETO, I.; SEIFERT, S. S. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 328-341, 2019.
- SOARES, I. N., GAVA, R., OLIVEIRA, J. A. P. Political strategies in energy transitions: Exploring power dynamics, repertoires of interest groups and wind energy pathways in Brazil. **Energy Research & Social Science**, v. 76, p. 102076, 2021.
- STANČIN, H.; MIKULČIĆ, H.; WANG, X.; DUIĆ, N. A review on alternative fuels in future energy system. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 128, p. 109927, 2020.
- TOTAL EREN. **Total Eren secures lands and launches studies aiming to develop a large-scale green hydrogen project in Chile's Magallanes region**. *In*: TOTAL EREN. Paris, 2 dez. 2021. Disponível em: <https://www.total-eren.com/en/our-news/>. Acesso em: 30 dez. 2021.
- YAN, Z., HITT, J. L., TURNER, J. A., & MALLOUK, T. E. Renewable electricity storage using electrolysis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 23, p. 12558-12563, 2020.

CAPÍTULO 15

DESAFÍOS SOCIALES Y AMBIENTALES DE LA ENERGÍA EÓLICA *OFFSHORE* EN BRASIL

Adryane Gorayeb¹

Christian Brannstrom^{1 2}

Marcelo Soares¹

Thomaz Xavier¹

Resumen

Los parques eólicos *offshore* ofrecen un potencial considerable para extraer energía cinética a factores de alta capacidad en grandes áreas marinas, en comparación con la implantación terrestre. En Brasil, el análisis actual de la energía eólica *offshore* se ha centrado en definir áreas de alto potencial eólico, prestando poca atención a las comunidades que dependen de la pesca artesanal. Aquí ofrecemos ejemplos del caso de un parque eólico *offshore* proyectado para aguas costeras cerca de Fortaleza, capital de Ceará, en el municipio de Caucaia, cuyo estudio de impacto ambiental (EIA) mostró fallas significativas en el diagnóstico ambiental, social y marino y en la justicia procesal, demostrado en el informe de la primera audiencia pública de un parque eólico *offshore* en Brasil. Este capítulo genera preguntas específicas para la energía eólica *offshore*, especialmente en el Sur Global, donde las comunidades receptoras pueden estar especialmente marginadas políticamente y con poco acceso a la información, y a la educación formal, y con poca influencia sobre los inversores y las autoridades estatales.

Palabras clave: Parque eólico *offshore*. Justicia procesal. Impactos sociales. Pesca artesanal.

Introducción

La calidad del viento en el ambiente *offshore* es atractiva para inversores interesados en la construcción de parques eólicos; gobiernos, como el de Brasil, están haciendo

1 Universidad Federal de Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil. gorayeb@ufc.br

2 Texas A&M University (TAMU), College Station, Estados Unidos.

planes para atraer cada vez más inversores, especialmente con el escenario positivo de producción de hidrógeno verde en la región Nordeste (ver el capítulo 14 de este libro). La costa tropical en las regiones Sur, Sudeste y Nordeste del país tiene un alto potencial eólico *offshore*, estimado en alrededor de 3 TW, y más de 14.800 TWh de producción eléctrica anual promedio para las plataformas de aguas someras viables (considerando la velocidad del viento, la profundidad de la plataforma y distancia de la costa) (AZEVEDO *et al.*, [2020](#)).

Sin embargo, Bosh *et al.* (2019) evaluaron el costo promedio de la generación eólica *offshore* brasileña, comparándolo con otros ocho países en diferentes etapas de desarrollo, y concluyeron que Brasil, junto con China, tiene el mayor potencial con más de 7.000 TWh/año de producción de electricidad, pero al costo potencial general más alto considerando los costos de transmisión, las tecnologías base de turbinas eólicas y las profundidades promedio de la plataforma. A pesar de eso, el *roadmap* de la Empresa Pública Brasileira Pesquisa Energética (EPE, [2020](#)), vinculada al Ministerio de Minas y Energía, apuntaba la existencia de potencial técnico de cerca de 700 GW en lugares de hasta 50 m de profundidad y viento hasta 100 m de altura. En trabajos anteriores, mostramos cómo el mapeo participativo y las discusiones centradas en matrices FODA pueden producir datos cualitativos y cuantitativos precisos y válidos sobre ambientes y usos de recursos para informar la gobernanza democrática de la energía renovable. Revelamos conflictos potenciales entre los pescadores artesanales y los parques eólicos *offshore* y argumentamos que la descarbonización socialmente justa requiere atención al reconocimiento, y a la justicia procesal y distributiva entenderse mejor a través de métodos participativos con las comunidades tradicionales que utilizan territorios marinos. La implementación de estos conceptos fortalecerá los procesos de gobernanza democrática para la generación de energía renovable (XAVIER *et al.*, [2020](#)).

Este capítulo busca resumir el marco regulatorio brasileño y las inversiones anunciadas hasta mediados de 2021 para parques eólicos *offshore* en Brasil, con énfasis en Ceará. El estudio empírico fue posible a partir del análisis crítico del primer EIA de un proyecto de parque eólico en América Latina, realizado en el municipio de Caucaia, Ceará, que fue presentado al SEI del IBAMA en diciembre de 2019. Asimismo, se ofrecen reflexiones, a partir de la participación de la primera autora en la primera audiencia pública del proyecto del parque eólico *offshore* de Caucaia, que tuvo lugar una semana antes del estallido de la pandemia de COVID-19 en Brasil.

Tenemos como perspectiva teórica las implicaciones geográficas de la descarbonización, enfatizando cada vez más la justicia procesal y distributiva (LIEBE *et al.*, [2017](#); SOVACOOOL *et al.*, [2019](#); MULVANEY, [2019](#)).

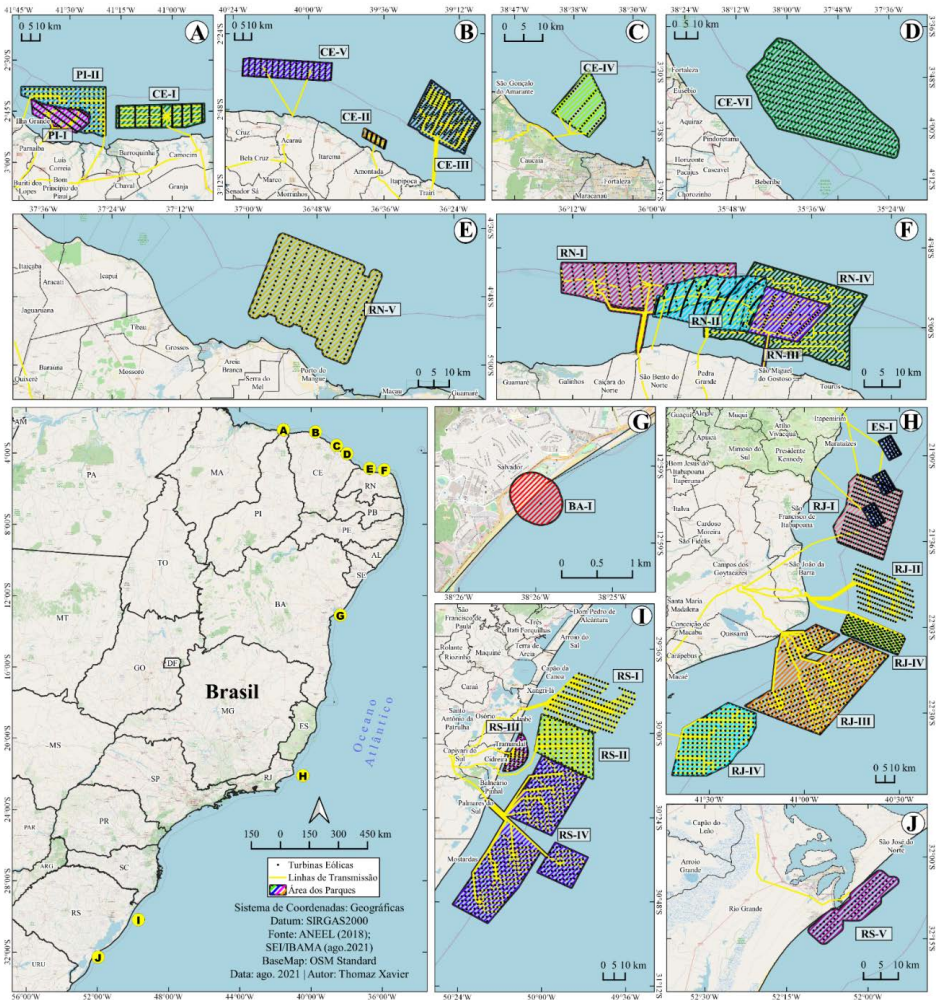
Energía eólica *offshore* brasileña: marco regulatorio y síntesis de inversiones anunciadas

En 2018, el EPE enumeró, en una nota técnica que analiza el potencial de los recursos energéticos para 2050, los principales desafíos de la energía eólica *offshore* en sus aguas [p. 127], e incluía “la incertidumbre sobre los posibles conflictos socioeconómicos que pueden surgir entre la energía eólica *offshore* y otras actividades”. Sin embargo, los ingenieros brasileños ofrecieron estimaciones optimistas para la energía eólica *offshore*, pero sin preocuparse por las comunidades receptoras caracterizadas por altos niveles de desigualdad social (LIMA *et al.*, 2015; AZEVEDO *et al.*, 2020; HERNANDEZ *et al.*, 2021).

A principios de 2020, el Brasil tenía 6 proyectos *offshore* en la fase de licencia ambiental (Figura 1), 4 de los cuales estaban ubicados en el Estado de Ceará. En septiembre de 2021, Brasil ya contaba con 25 proyectos y Ceará albergaba 6 de ese total. Sin embargo, en octubre de 2021 solo hay 2 proyectos en Brasil, ambos en Ceará, que están solicitando una licencia previa (LP) para sus emprendimientos y presentados al Sistema de Información Electrónica (SEI) del Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables (IBAMA), Estudio de Impacto Ambiental (EIA): Parque Eólico Caucaia y Parque Eólico Dragão do Mar.

Al hacer una perspectiva histórica de los registros contiguos en el SEI del IBAMA con relación al primer EIA para la instalación de un parque eólico *offshore* en Brasil, nos dimos cuenta de que, hasta el momento, no existen estudios consistentes en el país para este fin, y ni siquiera las empresas han invertido en análisis socioeconómicos biofísicos rigurosos. En este escenario, llama la atención que el marco legal para la energía eólica *offshore* en Brasil aún no haya sido determinado y el Brasil no cuente con una Ordenación del Espacio Marino con enfoque participativo, con diagnóstico del medio marino y compatibilidad de diferentes usos (ejemplo: navegación, pesca, petróleo y gas, turismo, entre otros).

Figura 1 - Ubicación geográfica de los proyectos de parques eólicos offshore en Brasil registrados en el Sistema de Información Electrónica (SEI) del Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Renovables (IBAMA), junio de 2022



Fuente: Autoría propia.

La Figura 1 muestra la especialización de los 55 proyectos de parques eólicos *offshore* existentes en junio de 2022 en Brasil, siendo 24 en el Nordeste (11 en Ceará, 8 en Rio Grande do Norte, 4 en Piauí, 1 en Bahía), 13 en el Sudeste (9 en Río de Janeiro y 4 en Espírito Santo) y 18 en el Sur (17 en Rio Grande do Sul y 1 en Santa Catarina). El Cuadro 1 muestra la capacidad total proyectada de 133 GW y 9.075 torres eólicas, casi seis veces, en números, la realidad actual de los parques eólicos *onshore* en Brasil, que presentó, en junio de 2022, 21 GW de potencia supervisada (SIGA/ ANEEL, 2021).

Cuadro 1 - Datos de proyectos de parques eólicos *offshore* en Brasil (junio de 2022)

n.º	Cód.	Parque Eólico <i>Offshore</i> (PEM)	Fecha del protocolo	Número de Turbinas	Capacidad (MW)	Distancia desde la costa (km)	< Profund. (m)
1	BA-I	Nova Energía	mar. 2019	1	3,4	0,2	*
2	CE-I	Camocim	jun. 2020	100	1200	*	*
3	CE-II	Asa Branca	mar. 2017	50	400	3	7
4	CE-III	Jangada	dic. 2019	200	3000	22	20
5	CE-IV	Caucaia	ago. 2016	48	576	4	10
6	CE-V	Dragão do Mar	jul. 2021	128	1216	20	9
7	CE-VI	Alpha Winf	sep. 2021	340	5100	16,5	42
8	ES-I	Votu Winds	dic. 2020	144	1440	20	18
9	PI-I	Vento Tupi	ene. 2021	74	999	14	10
10	PI-II	Palmas do Mar	abr.2021	93	1395	5,5	5
11	RJ-I	Aracatu	ago. 2020	320	3840	20	15
12	RJ-II	Maravilha	dic. 2019	200	3000	26	20
13	RJ-III	Ventos do Atlântico	ene. 2021	371	5008,5	12	10
14	RJ-IV	Ventos Fluminenses	abr.2021	188	2820	25	50
15	RJ-V	Ventos do Açú	ago. 2021	144	2160	20	14
16	RN-I	Maral	ene. 2021	149	2011,5	17	11
17	RN-II	Ventos Potiguar	mai. 2021	207	2484	8,2	*
18	RN-III	Pedra Grande	nov. 2020	52	624	*	*
19	RN-IV	Alísios Potiguar	abr.2021	123	1845	5	5
20	RN-V	Beta Wind	sep.2021	204	3060	6,5	*
21	RS-I	Águas Claras	dic. 2019	200	3000	7,3	20
22	RS-II	Ventos Litorâneos	abr.2021	83	1245	7,8	25
23	RS-III	Tramandaí <i>Offshore</i>	ene. 2021	52	702	6	11
24	RS-IV	Ventos do Sul	ene. 2021	482	6507	21	24
25	RS-V	Bravo Vento	ago. 2021	77	1155	1	6
Total				4030	54791,4		

Fuente: SEI/IBAMA (septiembre / 2021). * Sin información.

Aunque el Plan Decenal de Expansión Energética (PDE) 2029, elaborado por EPE (2020) informa que la tecnología eólica *offshore* aún no es económicamente competitiva en comparación con otras fuentes de energía renovable en Brasil (por ejemplo, energía solar y parques eólicos *onshore*) y, además, señala el horizonte de

ejecución solo a partir de 2027, los inversionistas se anticipan al escenario nacional y la gestión estatal tiene dificultades para acompañar la velocidad de las inversiones nacionales e internacionales que se están realizando a todo vapor.

Hasta el momento, la tecnología *offshore* en el mundo presenta discusiones consistentes en la literatura internacional, principalmente con temas que abordan aspectos de ingeniería (ARANY *et al.*, 2017; NEGRO *et al.*, 2014; WU *et al.*, 2019), costos financieros para la implementación de la tecnología (GONZALEZ-RODRIGUEZ, 2017; SARKER; FAIZ, 2017), la biofísica en los Mares del Norte (DEGRAER *et al.*, 2018) y los impactos en los paisajes marítimos (LADENBURG, 2009; PALMER, 2019).

Sin embargo, cuando dirigimos nuestro análisis a los impactos sociales y económicos de la energía *offshore*, especialmente en la pesca marina y la navegación (artesanal e industrial), tenemos la descripción de algunos casos en todo el mundo: (i) análisis de los impactos en la pesca comercial y recreación en Rhode Island en los Estados Unidos (BRINK; DALTON, 2020); (ii) modelización del sistema socioecológico de la costa de Courseulles-sur-mer, Francia, para predecir los posibles efectos de la instalación de un parque eólico *offshore* en el Canal de la Mancha (HARALDSSON *et al.*, 2020); (iii) políticas de territorialización para la implementación de parques eólicos *offshore* en Taiwán y los impactos sobre los delfines, los criadores de ostras y la pesca artesanal (HUNG, 2020; ZHANG *et al.*, 2017), y (iv) análisis del nivel de aceptación de los pescadores comerciales para la implementación de parques eólicos en Irlanda (REILLY *et al.*, 2015). Sin embargo, no existe un estudio para América Latina (América del Sur y el Mar Caribe).

Además, América Latina cuenta con los más ricos y exclusivos ecosistemas marinos y costeros en aguas poco profundas, totalmente diferentes a lugares donde ya se han instalado parques eólicos *offshore* (como Noruega, China, Alemania, Inglaterra, entre otros). Se pueden mencionar los arrecifes de coral, pastos marinos y lechos de rodolitos y manglares. Estos ya están seriamente amenazados por impactos locales y globales (contaminación, urbanización, granjas camarónicas, calentamiento, olas de calor). Estos ecosistemas tropicales proporcionan bienes y servicios ecosistémicos de alto valor en todo el mundo (por ejemplo, protección costera, filtrado de contaminantes, vivero de vida marina, captura de carbono) que deben analizarse rigurosamente antes de instalar proyectos de energía *offshore* debido a los riesgos acumulativos y los impactos socioeconómicos en las comunidades receptoras que dependen de estos ecosistemas saludables (ARAÚJO *et al.*, 2008; DEFEO; MCLACHLAN, 2013; GIBSON; YOSHIYAMA, 1999).

Hernández *et al.* (2021) concluyeron, con base en una revisión de la literatura, que existe una gran variedad de especies endémicas y migratorias en la costa brasileña (aves, mamíferos marinos, cetáceos y tiburones), además de arrecifes de coral, biota bentónica y biota pelágica, especialmente en las profundidades de hasta 50 metros. Sin embargo, no se tiene conocimiento sobre las características migratorias, estacionalidad

y reproducción de estas especies, las cuales pueden causar impactos ambientales negativos en los ecosistemas costeros durante las fases de instalación, operación, mantenimiento y desmantelamiento de parques eólicos *offshore* (HERNANDEZ *et al.*, [2021](#)).

Por otro lado, la región Nordeste tiene altos niveles de desigualdad social y el Índice de Desarrollo Humano (IDH) más bajo del país, 0,663 (IBGE [2010](#); IPEA, [2016](#)). Este análisis de perspectivas presenta el escenario socioambiental a escala local y enfatiza las cuestiones sociales y de justicia vinculadas a las actividades de pesca artesanal que involucran energía eólica en el Nordeste brasileño.

Perspectivas para el análisis de los impactos socioambientales derivados de la instalación de parques eólicos *offshore* en la costa del Nordeste

En trabajos anteriores (GORAYEB *et al.*, [2018](#)), argumentamos que los procesos de planificación de parques eólicos *onshore* “invisibilizan a una comunidad tradicional de pescadores artesanales, volviendo a los residentes invisibles para los tomadores de decisiones que proporcionaron las aprobaciones estatales necesarias para la construcción del parque eólico” y que el programa de mitigación posterior generó “efectos no deseados”. Advertimos que “el tema de la tierra puede emerger como el principal obstáculo social y político para la expansión de las energías renovables en los países en desarrollo, cumpliendo las previsiones de una carrera global por la tierra, produciendo conflictos sociales en el Sur Global”. Estas previsiones se presentan en el documento publicado por el Banco Mundial en 2011, en el que se destaca el creciente interés por la tierra en el Sur Global y se demuestra que el 75% de los pobres del mundo vive en zonas rurales que, tras la crisis de 2008, concentraron más de 1.000 millones de personas que viven en situación de inseguridad alimentaria grave a días de hoy (DEININGER *et al.*, [2011](#)).

Aquí ofrecemos ejemplos del caso de un parque eólico *offshore* planificado para aguas costeras cerca de Fortaleza, capital de Ceará, en la costa nordeste de Brasil. Es un complejo con 59 aerogeneradores con una potencia nominal total de 576 MW en un área entre 2 y 18 metros de profundidad. La solicitud de licencia ambiental de la empresa ante el IBAMA se inició en agosto de 2016, con la presentación del Formulario de Caracterización Ambiental por parte del proponente. En marzo de 2020 se realizó la primera audiencia pública con la comunidad anfitriona, pero en julio de 2020 el IBAMA rechazó la licencia previa por ausencia, inexactitud y omisión de datos básicos en el estudio. La empresa apeló en un procedimiento administrativo en septiembre de 2020, y en el mismo mes el IBAMA confirmó la negativa por falta de datos adicionales al estudio. El proceso permanece abierto en el sistema. La última posición del empresario fue en mayo de 2022, en respuesta al Dictamen de mayo

de 2021, en el que se desaprobaba el Estudio de Análisis de Riesgo (EAR) y el Plan Individual de Emergencia (PEI). La empresa presentó una posición técnica de una consultoría especializada, indicada por el propio IBAMA. No ha habido respuesta por parte de la institución.

Este EIA mostró fallas significativas en el diagnóstico del ambiente marino (biótico, socioeconómico y físico), especialmente debido a la ausencia de datos oceanográficos y socioeconómicos. Además, la falta de zonificación ambiental marina, y de un análisis del patrimonio arqueológico subacuático e inconsistencias, y fallas en las medidas mitigadoras, compensatorias y de seguimiento elaboradas sin datos marinos primarios invalidaron la solicitud de PL.

El EIA no presentó las alternativas de proyecto de ubicación de ingeniería en una escala compatible con el *layout*, el *design* y los mapas explicativos con diferentes dimensiones y ubicaciones de torres y estructuras *offshore* asociadas (como cables, subestaciones e infraestructura terrestre de apoyo). No se presentó el futuro plan de desmantelamiento, así como las ventajas y desventajas desde el punto de vista ecológico, social y económico de cada alternativa de ubicación en el medio marino, confrontándolo con la hipótesis de no ejecución del proyecto. Uno de los principales defectos es la ausencia de mapeo de fondos marinos de alta resolución y los impactos en hábitats únicos como los arrecifes de coral (LEÃO *et al.*, [2016](#); SOARES *et al.*, [2017](#)), lechos de rodolitos (HORTA *et al.*, [2016](#)) y esteras de pastos marinos (COPERTINO *et al.*, [2016](#)).

No se presentaron mapas, costos alternativos, impactos ambientales detallados ni características de proyectos alternativos de ingeniería costera aplicables a las torres de los fondos marinos. El estudio presentaba errores muy graves en cuanto al diagnóstico del medio marino, la modelización numérica y la propuesta de zonas de apoyo marítimo.

Se sabe que la instalación de torres puede provocar cambios en la dirección y velocidad del viento local provocados por las turbinas eólicas *offshore* (efecto cinta de correr) (PLATIS *et al.*, [2018](#)). Esto puede influir en la navegación en la actividad pesquera artesanal. Además del hecho de que los pescadores, incluso aquellos con lanchas a motor (menos del 10%) no pueden acercarse a las estructuras en el mar, sin desobedecer las Reglas de Maniobra y Navegación publicadas por la Armada de Brasil, que evitan colisiones en el mar. Ni siquiera estas reglas básicas fueron consideradas en los estudios EIA de Parques Eólicos *Offshore*. La existencia de caladeros paralelos a la costa del municipio, y no solo “al oriente” del emprendimiento, como consta en el EIA, y la indicación de la Autoridad Portuaria para la pesca artesanal en un área hasta 10 millas de la costa (18,52 km), donde se encuentra inserta todo el proyecto, puede afectar sustancialmente la actividad, perjudicando a miles de familias que viven en la costa. Otra preocupación es la limitación espacial de la navegación, que debe quedar muy clara en el estudio, en todas sus condiciones.

La ausencia de esta información con base científica de estudios ambientales conduce inequívocamente a la subestimación de los impactos negativos, la ausencia de medidas mitigadoras, medidas compensatorias adecuadas y estrategias de seguimiento para el parque eólico *offshore*. Por lo tanto, la ausencia de datos básicos sobre territorios marinos y de análisis detallados sobre estos elementos exigidos legalmente por la legislación brasileña genera un grave riesgo social, económico y ecológico.

Se entiende que la implementación de un proyecto de parque eólico *offshore* en Brasil, si se realiza de manera irresponsable e inexacta, tendrá un impacto negativo en ecosistemas tropicales únicos (como lechos de pastos marinos y arrecifes de coral), dinámicas costeras y aspectos sociales y económicos, ya que las comunidades directamente e indirectamente afectados, incluidos los que participan en actividades turísticas. Por ejemplo, la playa de Cumbuco, bajo la influencia indirecta del proyecto del parque eólico *offshore* de Caucaia, es hoy uno de los mayores destinos turísticos de Brasil, donde cuenta con una de las mejores playas del mundo para la práctica del *kitesurf*, que atrae a visitantes de todos los continentes, especialmente Europa (O POVO, 2019). La instalación del parque eólico puede cambiar el flujo de sedimentos, aumentando la erosión en las playas hacia el oeste y cambiando el patrón de circulación y corrientes (MCCOMBS *et al.*, 2014), sin embargo, estos impactos no se mencionan en el EIA.

Indicios de Fallas en la Justicia Procesal: el caso de la primera audiencia pública de un parque eólico *offshore* en Brasil

Sobre la base del análisis del EIA de Caucaia, identificamos evidencia de fallas de justicia procesal para las comunidades receptoras y brindamos oportunidades para reflexionar sobre un proceso que evita la marginación de estas comunidades de receptoras, considerando las lecciones aprendidas en Gorayeb *et al.* (2018).

Para empezar, es importante saber que la propiedad federal de los espacios marinos conduce a la participación federal en la concesión de licencias de parques eólicos lo que, en teoría, podría romper el control de las élites locales en el proceso. Irónicamente, la participación pública en las discusiones sobre la instalación del parque eólico en Caucaia durante la primera audiencia del proyecto, realizada en marzo de 2020, en una escuela pública en la playa de Icaraí, estuvo dominada por las autoridades locales. El proceso estuvo delimitado por un ritual formal, con información técnica entregada al público en formato de conferencia con tiempo limitado y bien definido para realizar preguntas, que no siempre fueron respondidas por los empresarios.

El trabajo de promoción del parque eólico se realizó, en este contexto, en vías populares con foco en los vecinos que viven en Icaraí, área de influencia directa del proyecto, dejando de lado las opiniones de los vecinos que no viven en la localidad, pero deberían verse potencialmente afectados por el proyecto, como los pescadores de la playa de Cumbuco (10 km al oeste del área de instalación de la torre eólica). En

otras palabras, lo que quedó claro, especialmente durante la primera audiencia pública, es que la construcción de muelles junto al mar en Icaraí, propuesta de la empresa que luego fue retirada del proyecto a pedido del IBAMA, dado que su licenciamiento no estaba a cargo de este organismo, justificó la construcción del parque eólico *offshore*, siendo utilizado como “moneda de cambio”, de manera explícita y sin titubeos, por empresarios y representantes del gobierno municipal, incluyendo el compromiso personal del propio alcalde, presente en la apertura de la audiencia.

Cabe señalar que Icaraí tiene un grave problema de erosión desde hace más de 20 años, lo que provoca daños a los residentes del lugar, porque pone en riesgo viviendas, desde poblaciones con un perfil de alta vulnerabilidad socioeconómica, hasta pequeños comerciantes y residentes en condominios de clase media. En ese contexto, la empresa de parques eólicos y la gestión municipal estimularon, durante la audiencia pública, un conflicto abierto entre residentes que estaban en contra (no habitantes de Icaraí) o a favor del proyecto (habitantes de Icaraí). Esto se pudo explicar en situaciones en las que el representante de la empresa se comportó con burla hacia las personas que estaban en contra del proyecto, incluyendo escenas flagrantes de humillación, ridiculizando el hecho de que algunas personas, con un bajo nivel de educación formal o incluso analfabetas, no entendieron la presentación del Informe de Impacto Ambiental (Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, en portugués). Una situación similar se revela cuando, en tono de broma, el representante de la empresa le dijo a un pescador, presidente de la Colonia Pesquera del Cumbuco, que ella le “enseñaría a pescar”, emocionando al “público” que estaba a favor del proyecto, quien prontamente expresó, en un tono alto, la burla contra el pescador. Estas actitudes crearon y estimularon continuamente una atmósfera tensa durante casi cinco horas de audiencia que se prolongó hasta las primeras horas de la mañana (7:40 pm a 12:40 am), alimentando sentimientos de enemistad entre los dos grupos, y dando a la reunión un carácter contraproducente, generando caos y bloqueando cualquier diálogo, reflexión o análisis sobre las implicaciones del proyecto, tal como lo sugieren los objetivos de este tipo de consultas (SANTOS, 2004; SANCHEZ, 2013).

Consideraciones finales y perspectivas para futuras investigaciones

El despliegue de parques eólicos *offshore* en una región particular carente de infraestructura y con altos niveles de pobreza, como es el caso de un país en desarrollo, se ve como una gran oportunidad también para la población local que tiene esperanzas de mejoras en los servicios públicos (carreteras, energía, saneamiento, etc.) además de la evidente expectativa de generar empleo e ingresos. Sin embargo, trabajos académicos exponen lo que ha sucedido con frecuencia en la implementación de parques eólicos *onshore* en el Nordeste de Brasil debido a la baja representación de las comunidades

locales en la implementación y planificación participativa de proyectos. En muchos casos, el desarrollo es visto como algo aislado del contexto de ese espacio, con poca interacción positiva con la comunidad (GORAYEB; BRANNSTROM, 2016). En el EIA de este primer proyecto en el Sur Global y en su audiencia pública, no encontramos ninguna planificación adecuada que anteceda a este problema y, de hecho, garantice beneficios a largo plazo para las poblaciones receptoras afectadas por el proyecto, no solo en Icará, sino también en otras comunidades que sobreviven de la pesca artesanal y el turismo y que serán influenciadas indirectamente por el proyecto, como el ejemplo de Cumbuco.

Estos desafíos emergentes plantean problemas específicos para la energía eólica *offshore*, especialmente en el Sur Global, donde las comunidades receptoras pueden estar especialmente marginadas y con poco acceso a la información, y a la educación formal, y con poca influencia sobre los inversores y las autoridades estatales. El Cuadro 2 describe las características del entorno tropical *offshore* que influyen directamente en los resultados de justicia para las comunidades receptoras. Estas características informan las observaciones específicas que ofrecemos sobre cómo los parques eólicos *offshore* pueden comprometerse productivamente con las comunidades receptoras para reducir o eliminar las injusticias que surgen de aquellos, considerando los principios establecidos en Russell, Bingamán y García (2021) y los desafíos que desarrollamos para los parques eólicos terrestres (BRANNSTROM *et al.*, 2017).

Esta posición refuerza los resultados de Haraldsson *et al.* (2020), quienes construyeron un modelo matemático cualitativo para comprender los posibles efectos en la dinámica socioecológica de una parte de la costa de Francia tras la posible instalación de un parque eólico *offshore*. Los resultados sugieren que cuanto mayor es el número de titulares de proyectos estén involucrados, de diversas maneras, en el sistema socioecológico local, más se beneficiará la sociedad en su conjunto, ya que los beneficios aumentan cuando hay una mayor aceptación general y apropiación del proyecto por parte de las comunidades receptoras.

Cuadro 2 - Desafíos de la energía eólica en Brasil y sugerencias de *best practices* para el Estado, Empresas y Comunidades

Desafíos de Sustentabilidad	Acciones gubernamentales	Acciones comerciales	Acciones comunitarias
Reducción de impactos en los sistemas naturales costeros (geo-hábitats, playas, dunas, manglares)	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis riguroso de los impactos ambientales. - Declaración de moratoria contra parques eólicos que pretendan instalarse sin compromiso social y medioambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar instalar parques eólicos en sistemas geofísicos, arqueológicos y sociales (pesca y navegación) relevantes e invertir en la creación de alternativas de ubicación. - Tener una actitud esceptica y ética hacia los productos de las consultorias ambientales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vigilar y supervisar, con la participación del Ministerio Público y entidades de apoyo, la preservación de los recursos naturales y el mantenimiento de los derechos tradicionales, culturales y públicos sobre los territorios marinos y costeros.
Garantía de acceso de las poblaciones locales tradicionales a los territorios y recursos naturales para la subsistencia	<ul style="list-style-type: none"> - Fortalecimiento de las leyes para el uso de los territorios marítimos tradicionales (SPU, Marina de Brasil - NORMAN, IBAMA, etc.). - Construcción del PEM (Plan Espacial Marino) como herramienta fundamental e imprescindible para posibilitar la instalación de parques eólicos <i>offshore</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adecuar el proyecto de ingeniería de ubicación de las torres eólicas considerando los múltiples usos del mar. - No condonar y fomentar la creación de contratos dudosos y fraudulentos en relación con las posibles medidas de mitigación. - Investigar, con sumo cuidado y asesoramiento profesional (abogados, investigadores, instituciones acreditadas), el comportamiento ético y social de las élites políticas y económicas locales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ayudar a las entidades de apoyo en la elaboración de estudios y planes de manejo de los sistemas ambientales marinos y costeros, con base en el suministro de información y conocimiento local. - Crear mapas que muestren los aspectos espaciales y territoriales de los recursos naturales.
Mejoras sociales y económicas para las comunidades tradicionales locales	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer instrumentos económicos y fiscales que beneficien a las comunidades. - Controlar, inspeccionar y regular las relaciones entre empresas y comunidades, teniendo como premisa la transparencia y rectitud jurídica en las actuaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - No fomentar la cooptación de líderes comunitarios y la división interna de grupos de vecinos y colonias pesqueras. - No haga promesas exageradas y poco realistas sobre beneficios económicos y empleos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Crear juntas de vecinos, fortalecer colonias de pescadores y consejos participativos para administrar, de manera racional y colectiva, los recursos financieros y los proyectos que surjan de las empresas. - Crear foros con amplia participación social y grupos de gestión local para monitorear las acciones de la empresa.

Fuente: Autoría propia.

Nuestros estudios apuntan a la compatibilidad entre el desarrollo económico, con la ampliación de la matriz energética renovable, y la justicia distributiva y procesal de la implantación de los emprendimientos en las comunidades, es decir, queremos que los pobladores directa e indirectamente afectados se beneficien de la instalación de los proyectos, para que no se queden simplemente con las externalidades negativas derivadas de los mismos.

Otras políticas y prácticas pueden reducir los conflictos relacionados con la energía eólica (*onshore* y *offshore*), como el establecimiento de instrumentos legales para regular el desarrollo de parques eólicos a escala estatal y municipal, especialmente a través de la actualización de leyes de zonificación marina y la construcción de la Ordenación del Espacio Marino, que comenzó en Brasil en 2001, pero que hasta ahora ha tenido pocos avances (GRANDRA; BONETTI; SCHERER, 2018).

La creación de un proceso de planificación marina participativo y multicriterio, como la propuesta de Vinhoza y Schaeffer (2021), que identifique las áreas donde los proyectos de energía renovable son más compatibles con los asentamientos humanos y el uso de los recursos naturales puede prevenir conflictos antes de que surjan. Porque se sabe que la información pública de calidad ayuda en la formulación de políticas, en la construcción y ejecución de marcos normativos y ayudan a la sociedad a conocer mejor sus derechos, brindando un ambiente seguro para que los inversionistas sean capaces de diseñar e implementar proyectos que generen ganancias, pero, también respeten los derechos locales y brinden beneficios a las comunidades directa e indirectamente afectadas (DEININGER *et al.*, 2011).

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del proyecto CAPES/Programa de Cooperación Sur – Sur de Brasil (COOPRASS) Aviso público n. 5 de 2019, Proc. 88881.368924/2019-01 “Energías Renovables y Descarbonización en América del Sur: desafíos de la Energía Eólica/BR y Litio/AR” y CAPES/PRINT Proc. 88887.312019/2018-00: *Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate change.*

Referencias

- ARANY, L.; BHATTACHARYA, S., MACDONALD, J.; HOGAN, S. J. Design of monopiles for offshore wind turbines in 10 steps. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 92, p. 126-152, 2017.
- ARAÚJO, M. S. M.; FREITAS, M. A. V. Acceptance of renewable energy innovation in Brazil - case study of wind energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 2, p. 584–591, 2008.

- AZEVEDO, S. S. P.; PEREIRA JUNIOR, A. O.; SILVA, N. F.; ARAÚJO, R. S. B.; CARLOS JUNIOR, A. A. Assessment of Offshore Wind Power Potential along the Brazilian Coast. **Energies**, v. 13, p. 2557, 2020.
- BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J. S.; LOUREIRO, C. V.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V.; FREITAS, A. L. R.; OLIVEIRA, R. F. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 62-71, 2017.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Brasília: MME/EPE, 2020.
- BRINK, T. S. T.; DALTON, T. Perceptions of Commercial and Recreational Fishers on the Potential Ecological Impacts of the Block Island Wind Farm (US). **Frontiers in Marine Science**, v. 5, p. 1-13, 2018.
- COPERTINO, M. S.; CREED, J. C.; LANARI, M. O.; MAGALHÃES, K.; BARROS, K.; LANA, P. C.; SORDO, L.; HORTA, P. A. Seagrass and submerged aquatic vegetation (VAS) habitats off the coast of Brazil: state of knowledge, conservation and main threats. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64(sp2), p. 53-80, 2016.
- DEFEO, O.; MCLACHLAN, A. Global patterns in sandy beach macrofauna: Species richness, abundance, biomass and body size. **Geomorphology**, v. 199, p. 106-114, 2013.
- DEININGER, K.; BYERLEE, D.; LINDSAY, J.; NORTON, A.; SELOD, H.; STICKLER, M. **Rising Global Interest in Farmland: Can it Yield Sustainable and Equitable Benefits?**. Washington, D. C.: The World Bank, 2011. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2263>. Acesso em: 19 out. 2021.
- DEGRAER, S.; BRABANT, R.; RUMES, B.; VIGIN, L. (ed.). **Environmental Impacts of Offshore Wind Farms in the Belgian Part of the North Sea: Assessing and Managing Effect Spheres of Influence**. Brussels: Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Natural Environment, Marine Ecology and Management, 2018.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Roadmap Eólica Offshore Brasil: Perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima**. Rio de Janeiro: EPE, 2020.
- GANDRA, T. B. R.; BONETTI, J.; SCHERER, E. G. Onde estão os dados para o Planejamento Espacial Marinho (PEM)? Análise de repositório de dados marinhos e das lacunas de dados geoespaciais para a geração de descritores para o PEM no Sul do Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 44, p. 405-421, 2018.
- GIBSON, R. N.; YOSHIYAMA, R. M. Intertidal fish communities. *In*: HORN, M. H.; MARTIN, K. L. M.; CHOTKOWSKI, M. A. (ed.). **Intertidal Fishes: life in two worlds**. San Diego: Academic Press, 1999. p. 264-296.
- GONZALEZ-RODRIGUEZ, A. G. Review of offshore wind farm cost components. **Energy for Sustainable Development**, v. 37, p. 10-19, 2017.
- GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. DE A.; MENDES, J. S. Wind power gone bad: Critiquing wind power planning processes in northeastern Brazil. **Energy Research and Social Science**, v. 40, p. 82-88, 2018.
- GORAYEB, A., BRANNSTROM, C. Caminhos para uma gestão participativa dos recursos energéticos de matriz renovável (parques eólicos) no nordeste do Brasil. **Mercator**, v.15, p. 101-115, 2016.

- HARALDSSON, M.; RAOUX, A.; RIERA, F.; HAY, J.; DAMBACHER, J. M.; NIQUIL, N. How to model social-ecological systems? – A case study on the effects of a future offshore wind farm on the local society and ecosystem, and whether social compensation matters. **Marine Policy**, v. 119, p. 104031, 2020.
- HERNANDEZ, M.; SHADMAN, M.; AMIRI, M. M. SILVA, C.; SEGEN, F. E. LA ROVERE, E. Environmental impacts of offshore wind installation, operation and maintenance, and decommissioning activities: A case study of Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 144, p. 110994, 2021.
- HORTA, P. A. *et al.* Rhodolith in Brazil: Current knowledge and potential impacts of climate change. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 2, 2016.
- HUNG, P-Y. Placing Green Energy in the Sea: Offshore Wind Farms, Dolphins, Oysters, and the Territorial Politics of the Intertidal Zone in Taiwan. **Annals of the American Association of Geographers**, v. 110, n. 1, p. 56-77, 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Desenvolvimento Humano nas Macro-regiões Brasileiras**. Brasília: PNUD, IPEA, FJP, 2016.
- LADENBURG, J. Visual impact assessment of offshore wind farms and prior experience, **Applied Energy**, v. 86, n. 3, p. 380-387, 2009.
- LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; FERREIRA, B. P.; NEVES, E. G.; SOVIERZOSKI, H. H.; OLIVEIRA, M. D. M.; MAIDA, M.; CORREIA, M. D.; JOHNSON, R. **Brazilian coral reefs in a period of global change: a synthesis**. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64 (spe2), 2016.
- LIEBE, U.; BARTCZAK, A.; MEYERHOFF, J. A turbine is not only a turbine: The role of social context and fairness characteristics for the local acceptance of wind power. **Energy Policy**, v. 107, p. 300–308, 2017.
- LIMA, D. K. S.; LEÃO, R. P. S.; SANTOS, A. C. S.; MELO, F. D. C.; COUTO, V. M.; NORONHA, A. W. T.; OLIVEIRA JÚNIOR, D. S. Estimating the offshore wind resources of the State of Ceará in Brazil. **Renewable Energy**, v. 83, p. 203–221, 2015.
- MCCOMBS, M. P. Offshore Wind farm impacts on surface waters and circulation in Eastern Lake Ontario. **Coastal Engineering**, v. 93, p. 32-39, 2014.
- MULVANEY, D. **Solar Power: Innovation, Sustainability, and Environmental Justice**. Berkeley: University of California Press, 2019.
- NEGRO, V.; LÓPEZ-GUTIÉRREZ, J. S.; ESTEBAN, M. D.; MATUTANO, C. Uncertainties in the design of support structures and foundations for offshore wind turbines. **Renewable Energy**, v. 63, p. 125-132, 2014.
- O POVO. **Cumbuco é palco de recorde mundial: 596 kitesurfistas entram na água ao mesmo tempo**. In: O POVO. [s. l.], 29 set. 2019. Disponível em: <https://www.opovo.com.br/esportes/2019/09/22/cumbuco-e-palco-de-recorde-mundial--596-kitesurfistas-entram-na-agua-ao-mesmo-tempo.html>. Acesso em: 19 out. 2021.
- PALMER, J. F. The contribution of a GIS-based landscape assessment model to a scientifically rigorous approach to visual impact assessment. **Landscape and Urban Planning**, v. 189, p. 80-90, 2019.
- PLATIS, A.; SIEDERSLEBEN, S.; BANGE, J. *et al.* First *in situ* evidence of wakes in the far field behind offshore wind farms. **Scientific Reports**, v. 8, p. 2163, 2018.

- REILLY, K.; O'HAGAN, A. M.; DALTON, G. Attitudes and perceptions of fishermen on the island of Ireland towards the development of marine renewable energy projects. **Marine Policy**, v. 58, p. 88-97, 2015.
- SANCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental**: conceitos e métodos. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2013.
- SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de textos, 2004.
- SARKER, B. R.; FAIZ, T. I. Minimizing transportation and installation costs for turbines in offshore wind farms. **Renewable Energy**, v. 101, p. 667-679, 2017.
- SOARES, M. O.; ROSSI, S.; MARTINS, F. A. S.; CARNEIRO, P. B. M. The forgotten reefs: benthic assemblage coverage on a sandstone reef (Tropical South-western Atlantic). **Journal of The Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 97, p. 1585-1592, 2017.
- SOVACOOOL, B. K.; HOOK A.; MARTISKAINEN, M.; BAKER, L. The whole systems of energy injustice of four European low-carbon transitions. **Global Environmental Change**, v. 58, p. 101958, 2019.
- TRIBUNA DO NORTE. **Governo assina protocolo para instalação de usina eólica offshore no RN**. In: TRIBUNA DO NORTE. [s. l.], 22 set. 2020. Disponível em: <http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/governo-assina-protocolo-para-instalaa-a-o-de-usina-ea-lica-offshore-no-rn/490542>. Acesso em: 19 out. 2021.
- VINHOZA, Amanda; SCHAEFFER, Roberto. Brazil's offshore wind energy potential assessment based on a Spatial Multi-Criteria Decision Analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 146, p. 111185, 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111185.
- WU, X.; HU, Y.; LI, Y.; YANG, J.; DUAN, L.; WANG, T.; ADCOCK, T.; JIANG, Z.; GAO, Z.; LIN, Z.; BORTHWICK, A.; LIAO, S. Foundations of offshore wind turbines: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 104, p. 379-393, 2019.
- XAVIER, T.; GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Energia eólica offshore e pesca artesanal: impactos e desafios na costa oeste do Ceará, Brasil. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. S. (org.). **Geografia marinha**: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: Caroline Fontelles Ternes, 2020. p. 608-631.
- ZHANG, Y.; ZHANG, C.; CHANG, Y.-C.; LIU, W.-H.; ZHANG, Y. Offshore wind farm in marine spatial planning and the stakeholders engagement: Opportunities and challenges for Taiwan. **Ocean & Coastal Management**, v. 149, p. 69-80, 2017.

CAPÍTULO 16

RELACIONES ENTRE DESCARBONIZACIÓN, VULNERABILIDADES SOCIOAMBIENTALES E IMPACTOS REGIONALES DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EL CONTEXTO DEL NORESTE DE BRASIL: EL CASO DE RIO GRANDE DO NORTE

Zoraide Souza Pessoa¹

Luziene Dantas de Macedo¹

Rylanneive Leonardo Pontes Teixeira¹

Moema Hofstaetter¹

Yonara Claudia dos Santos¹

Eunice Ferreira Carvalho¹

Ellitamara Alves de Oliveira Melo¹

Resumen

La energía eólica ha ganado centralidad mundial como fuente alternativa de energía y fuerte adhesión a los supuestos de descarbonización, sustentabilidad y cambio climático, considerados esenciales para la construcción de la transición de los modelos de desarrollo de los países. En Brasil, se pueden observar avances en la expansión de fuentes de energía renovables orientadas a diversificar su matriz energética, cuya principal fuente es la hidroelectricidad, la cual es insuficiente para responder a las demandas reprimidas de consumo, en expansión desde fines de la década de 1990, pero que, a principios de la década de 2000, estalló en una crisis de suministro de energía. En este sentido, el objetivo de este estudio es comprender en qué medida la dinamización de las energías renovables, en particular, la eólica, es un indicador importante para el proceso de diversificación de la matriz energética nacional en el contexto de la sustentabilidad, la descarbonización y la capacidad de respuesta al cambio climático, así como inducir nuevas perspectivas para el desarrollo de los territorios, considerando específicamente la región Nordeste de Brasil (NEB), con especial enfoque en Rio

1 Univeridad Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Brasil. zoraide.pessoa@ufrn.br

Grande do Norte (RN). La metodología privilegia el análisis cualitativo, a partir de datos secundarios, documentales y de investigación. Los resultados y discusiones sugieren que, efectivamente, el país ha avanzado en la diversificación de sus fuentes de energía. Sin embargo, esto se dio de manera separada de una orientación efectiva para la elaboración de políticas públicas basadas en los supuestos de sustentabilidad, cambio climático y descarbonización, realizada en el proceso de planeación estratégica energética a corto, mediano y largo plazo. A modo de conclusiones y, de manera parcial, ya son perceptibles las contradicciones en torno a la generación de energía mediante energía eólica, lo que, además de no traer matices innovadores con relación a la perspectiva de sustentabilidad y descarbonización efectiva, ni impactos regionales significativos en términos de dinamismo económico, contribuyeron a incrementar las situaciones de vulnerabilidad de territorios y poblaciones, sin la correlativa ampliación de oportunidades sustentadas en la justicia socioambiental.

Palabras clave: Energías renovables. Sustentabilidad. Cambios climáticos. Impactos regionales. Vulnerabilidades socioambientales.

Introducción

La dinamización de las energías renovables en las primeras décadas del siglo XXI es un hecho a escala mundial, y a nivel nacional ha ido acompañada, especialmente en la última década, de forma vertiginosa. Sin embargo, los enfoques de los estudios en general se focalizan en discusiones centradas en esta dinamización, así como en las inversiones públicas y privadas en el contexto del proceso de diversificación de matrices energéticas, y en los impactos socioambientales en los territorios con instalación de emprendimientos y conflictos derivados. Son más recientes los enfoques centrados en relacionar las energías renovables y su relación con la descarbonización y la capacidad de respuesta al cambio climático, así como aquellos que inducen nuevas perspectivas para el desarrollo de los territorios, con un enfoque en la sustentabilidad y las condiciones de vulnerabilidad que estos pueden presentar.

En este sentido, en cierta medida, este capítulo busca llenar este vacío, por lo que la idea que lo permea, reside en la importancia de la energía eólica como vector de seguridad energética y, por lo tanto, impulsor de la diversificación de la matriz eléctrica en el mundo, y también, como expectativa estratégica para enfrentar el cambio climático y el desarrollo socioeconómico en las zonas que reciben inversiones en generación de energía eléctrica por fuente eólica de manera más sustentable.

Efectivamente, el objetivo de este estudio es comprender en qué medida la dinamización de las energías renovables, en particular la eólica, es un indicador importante para el proceso de diversificación de la matriz energética nacional en el contexto de la sustentabilidad, la descarbonización y la adaptación climática, así como un inductor de nuevas perspectivas para el desarrollo de los territorios, considerando

la región Nordeste de Brasil (NEB), con un enfoque particular en Rio Grande do Norte (RN).

La importancia de esta reflexión radica en el vertiginoso crecimiento de la participación de las fuentes renovables en la composición de las matrices energética y eléctrica mundial y brasileña en la última década. El Nordeste brasileño se destaca en esta expansión nacional de la capacidad eólica instalada, que alcanzó 13,25 GW en 2019, contra 0,43 GW en 2009, o sea, un crecimiento porcentual de cerca del 41% en 10 años. En el contexto estatal, el RN, a su vez, obtuvo una tasa del crecimiento promedio del 55,2%, en el mismo período, quedando detrás de Bahía, pero por delante de Piauí y Ceará (EPE, [2020](#)).

Cabe señalar que la energía eólica, junto con otras fuentes renovables modernas, como la solar y la biomasa, entre otras, se consideran una base fundamental para una transición energética completa. Principalmente, debido a que el sector energético es responsable de alrededor del 73% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (GE; FRIEDRICH, [2020](#)), como resultado de su dependencia mundial de los combustibles fósiles.

Ante este hecho, para muchos organismos internacionales como el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y la Conferencia de las Partes de la Convención-Cuadro de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP), enfrentar el cambio climático requiere que el planeta sea capaz de reducir las emisiones de GEI. En los últimos años, han destacado la necesidad de limitar el calentamiento global a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales, así como delinear caminos relacionados con las emisiones de GEI para fortalecer la respuesta global a las amenazas climáticas, el desarrollo sostenible y promover los esfuerzos para erradicar la pobreza. Estos son objetivos ambiciosos y complejos en todo nivel (IPCC, [2021](#)), ya que dependen de la “voluntad” de los gobiernos.

La premisa básica de los acuerdos internacionales sobre cambio climático es que este fenómeno, al afectar a todos los países a escala planetaria, debe ser tratado de una forma que considere las especificidades del desarrollo económico de cada país y/o región, requiriendo la implementación de un proceso de cooperación internacional donde todos los países están llamados a presentar soluciones efectivas, teniendo el compromiso de reducción de GEI en una relación directa con la diferenciación de la base económica y socioambiental. Esto se debe a que, según Macedo ([2016](#)), los grados de desarrollo alcanzados por países y/o regiones son asimétricos, de tal manera que el crecimiento económico y social debe ser tratado a la luz de los patrones deseados de producción, consumo, el uso de la energía, el acceso responsable a los recursos naturales y, por supuesto, los acuerdos climáticos, que establecen objetivos obligatorios de reducción de dióxido de carbono (CO₂) para mitigar los problemas ambientales contemporáneos.

Solo así las oportunidades de desarrollo económico y socioambiental se anclarán en los principios básicos de conservación de la naturaleza y la biodiversidad, contar con el potencial de reducción de GEI, a partir de las energías renovables modernas, como prerequisite fundamental para superar el calentamiento global y otros impactos ambientales. La promoción de una economía de bajo carbono debe ser vista como una oportunidad para pensar en una planificación y acciones colectivas globales frente a la aceleración del ritmo del cambio climático, pero también como una respuesta a la necesidad de proteger la competitividad industrial y las comunidades vulnerables (WEC, [2021](#)).

Así, con base en los supuestos presentados en esta introducción, este capítulo utiliza como metodología el análisis cualitativo, a partir de datos secundarios, documentales y de investigación realizados por los autores. En términos organizativos, el capítulo se estructura en tres secciones. La primera sección está dedicada a un examen más amplio de la diversificación de la matriz energética, la descarbonización y la adaptabilidad climática en el contexto de la sustentabilidad. La segunda sección analiza la expansión de la generación eólica en el contexto de su capacidad potencial para el desarrollo regional y local. La tercera y última sección presenta aspectos discursivos que involucran la vulnerabilidad y los impactos socioambientales de la energía eólica en RN.

Diversificación de la matriz energética, descarbonización y adaptación climática en el contexto de la sustentabilidad

El sector energético se sitúa como una actividad importante y fundamental en la lucha y control del cambio climático en los territorios, especialmente por ser el que más emite GEI, principalmente CO₂, correspondiendo aproximadamente al 73% del total de estas emisiones entre los años 2007 y 2017 (GE; FRIEDRICH, [2020](#)). Entre los subsectores energéticos, la generación de electricidad y calor, el transporte, la manufactura y la construcción se consideran los más activos en este escenario (GE; FRIEDRICH, [2020](#)).

En este sentido, la reducción de las emisiones de GEI relacionadas con el uso de la energía requiere esfuerzos globales para diversificar la matriz energética, incluso a través de acuerdos institucionales suscritos por los Estados nacionales, los cuales, a su vez, entienden tales esfuerzos como acciones esenciales frente al cambio climático global. (WALTER, [2007](#)). Para su efectividad, se deben proponer caminos para la transición energética, que consiste en el proceso de transición de un sistema basado en fuentes no renovables (como el carbón mineral, el gas natural y el petróleo) a uno anclado en fuentes renovables (por ejemplo, se puede mencionar la energía eólica y solar), con el objetivo de promover una reducción de las emisiones de GEI y, en consecuencia, evitar la intensificación del cambio climático.

La sustitución de fuentes de energía no renovables por fuentes de energía renovables es, por tanto, percibida como una alternativa clave para cumplir con la meta de mantener la temperatura global por debajo de los 2 °C hasta 2100, establecida en el ámbito del Acuerdo de París, de 2015. Este producto también se configura en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), sobre todo, en el objetivo 7, que pretende garantizar a todos los individuos del planeta, especialmente en los países menos desarrollados, un acceso confiable, sostenible, moderno y asequible a la electricidad (ONU, [2015](#)).

Aunque estudios realizados, por ejemplo, por el quinto informe del IPCC ([2014](#)) indican que las emisiones de GEI del sector energético deberían duplicarse o incluso triplicarse hasta 2050, en comparación con el año de 2010 (SOUZA, [2017](#)), las evidencias muestran que este sector seguirá interfiriendo de manera directa y cada vez más negativa en los cambios climáticos y ambientales globales, si no se adoptan medidas para diversificar la matriz energética mundial. Cabe señalar que esta matriz está compuesta en su mayoría (alrededor del 81%) por fuentes no renovables (ALCOFORADO, [2019](#)).

La diversificación de la matriz energética nacional es necesaria para combatir y controlar el cambio climático; pero cabe señalar, según Reis ([2015](#)), que también es importante para el desarrollo de la seguridad energética del país. En otras palabras, esto significa que diversificar la matriz energética de un país es promover una oferta energética que sea capaz de subsidiar sus necesidades internas.

En tanto, Reis ([2015](#)) señala que la diversificación de la matriz energética constituye un campo permeado de oportunidades para el desarrollo del país en términos de nuevos encadenamientos productivos vinculados al sector energético, así como para la democratización del acceso a la energía a través de la generación distribuida y descentralizada. A raíz de esta discusión, se afirma que, entre las fuentes de energía renovables (eólica, solar, hidráulica, etc.), la eólica ocupa un lugar destacado en el mundo, con avances a un ritmo vertiginoso debido a su desarrollo tecnológico de eficiencia, los incentivos fiscales y su retorno de la inversión (RAMPINELLI; ROSA JÚNIOR, [2012](#)).

Además, la diversificación de la matriz energética de un país es una alternativa clave en el camino hacia la descarbonización global que, para González ([2018](#)), consiste en un proceso que pretende reducir la cantidad de emisiones globales de CO₂, especialmente generados por el uso de combustibles fósiles. Así, la descarbonización es un proceso que está íntimamente asociado a la necesidad de insertar más matrices energéticas renovables en la cadena productiva de los países. Es importante resaltar que la descarbonización es uno de los enfoques para combatir el cambio climático, pues se centra en mitigar las emisiones de GEI, tal como lo prevén las metas globales postuladas, por ejemplo, por el Acuerdo de París.

Los segmentos que guían la descarbonización están estrechamente entrelazados con los más diversos sectores. Se argumenta que la descarbonización del sector eléctrico, por ejemplo, es fundamental; pero no lo suficiente para mantener la temperatura global promedio, considerando que, con la continuidad del desarrollo de los demás sectores de la cadena productiva, solo el sector eléctrico no será suficiente para lograr la meta antes mencionada y, por lo tanto, se promoverá una descarbonización global (PFEIFFER *et al.*, 2016). Por lo tanto, un proceso de descarbonización, con la participación de varios sectores, es ideal para enfrentar los desafíos globales actuales que combinan la demanda de electricidad y el cambio climático.

Vale la pena considerar que la transición hacia las energías renovables, con percepción a promover la descarbonización global, no es algo sencillo y presenta dificultades. Ejemplos de estas dificultades son las injusticias energéticas y socioambientales provocadas por la implementación de proyectos de energía renovable, además de otros problemas estructurales, como problemas de desempleo y disrupción del mercado global de combustibles fósiles (SOVACOOOL *et al.*, 2019). Aun así, autores como Tavares (2020) ven la expansión de las energías renovables, por ejemplo, en Alemania, bajo un espectro positivo, en la medida en que el suministro de electricidad a partir de este tipo de matriz energética puede promover resultados “más amigables” para el clima, reduciendo su dependencia de los combustibles fósiles.

En este contexto, las metas previstas para limitar el aumento de la temperatura media global por debajo de los 2°C, con relación a los niveles preindustriales, hacen característica la utilización sostenible de la bioenergía, de tal forma que es necesario ampliar la matriz energética mundial a gran escala hasta 2050, utilizando fuentes de energía con bajas emisiones de CO₂ (IPCC, 2014). La bioenergía se convierte en constitutiva de una forma de capitalismo del siglo XXI, basada en la valoración del medio ambiente y de las cuestiones sociales como forma de alcanzar el desarrollo sostenible.

Así, la necesidad de apalancar un proyecto de crecimiento económico con la implementación de grandes inversiones en diversos sectores económicos permea la eficiencia en el uso de la energía, el cumplimiento de la equidad en su distribución, el acceso universal a la energía, y la exploración y aprovechamiento de los recursos naturales. (PHILIPPI JÚNIOR; REIS, 2016). Frente a esto, se debe considerar que, en sistemas de producción y distribución basados en economía sostenible, la valorización de todas las formas de capital (humano, industrial, financiero y natural) “depende de la superación de las desigualdades globales de ingresos y bienestar material” (CAPRA, 2007, p. 9).

No es de extrañar que en los últimos años se haya debatido, analizado y defendido la necesidad de reinventar la idea de progreso económico, para hacerlo más coherente con la aceleración de la descarbonización de las diversas economías mundiales. En este sentido, el aumento de la productividad, incluyendo los recursos naturales, está ligado al proceso productivo a través de la optimización del consumo de materiales y

energía, y la búsqueda de una mejor calidad de vida (CAPRA, 2007). Esto significa reducir los niveles de emisión de GEI y *pari passu*; e incrementar las medidas de mitigación, adaptación y financiamiento en los próximos años, especialmente por parte de los países más desarrollados al concentrar los niveles más altos de emisiones de GEI (CLIMATE TRANSPARENCY, 2019).

El enfoque de la adaptación climática comenzó a tener, sobre todo a partir de 2007, una mayor adherencia en los ámbitos académicos y políticos, aunque la mitigación aún asume un papel destacado (HOGAN; MARANDOLA JÚNIOR, 2009; OJIMA; MARANDOLA JÚNIOR, 2010; MARTINS; FERREIRA, 2012; DI GIULIO *et al.*, 2019; TEIXEIRA; PESSOA; DI GIULIO, 2020a; 2020b).

Además de las medidas de mitigación y descarbonización, las energías renovables también constituyen estrategias de adaptación al cambio climático, ya que su producción y expansión son importantes para el objetivo de la seguridad energética de un país y para la sustitución de energías no renovables (SPERANZA; WILLS, 2019). Se señala aquí, entonces, que el uso de energías renovables es de suma importancia para frenar los procesos de cambio climático, ya sea mitigando las emisiones de GEI o adaptándose a los efectos del cambio climático.

En el caso brasileño, pensar en la cuestión energética requiere pensar considerando no sólo la necesidad de diversificación de sus fuentes, sino también cómo puede prevalecer el mantenimiento del uso de fuentes renovables que pueden ser afectadas por el cambio climático. Dicho esto, es importante observar cómo se pueden pensar escenarios de adaptación climática y, al mismo tiempo, mitigación de emisiones de GEI con la diversificación de su matriz energética y eléctrica. Esta demanda de investigaciones que promuevan la sinergia entre mitigación y adaptación en el contexto del cambio climático puede ser corroborada por varios estudios (GUARIGUATA *et al.*, 2008; LOCATELLI, 2011; LOCATELLI *et al.*, 2011, BERRY *et al.*, 2015; ALTIERI; NICHOLLS, 2017).

Actualmente en Brasil, en cierta medida, existe una aparente situación de confortabilidad con relación a la composición de sus matrices energéticas y eléctricas, mayoritariamente de base renovable, con predominio del uso de fuentes hidráulicas y el avance de la participación de la eólica y solares. Sin embargo, las hidráulicas son muy susceptibles a la variabilidad climática y pueden verse aún más afectadas ante escenarios climáticos para los próximos años, que auguran mayor inestabilidad y escasez de agua, y que pueden comprometer principalmente la distribución regional de energía eléctrica en el país. Esto exige una mayor necesidad de planificación energética, considerando los factores climáticos como elementos que pueden comprometer la seguridad energética del país para las próximas décadas, y provocar contextos de conflicto.

Aun reconociendo la situación de diversificación de matrices energéticas y eléctricas existente en Brasil, su estructuración en el tiempo está históricamente marcada

por escenarios significativos de impactos socioambientales en lugares que configuran conflictos en todo el territorio nacional. Estos conflictos ponen en debate los posibles beneficios traídos al desarrollo regional y local, y que no parecen estar alineados con una perspectiva de Estado para la mitigación y adaptación al cambio climático en los diferentes niveles de gobierno en Brasil, tal como se presenta y discute en los siguientes temas.

Desarrollo regional y local y expansión eólica

Uno de los aspectos que promueve la reciente expansión de la energía eólica en Brasil es que podría contribuir a dinamizar regional y localmente las economías de los estados con la instalación de unidades de producción de este tipo de energía. Con casi dos décadas, de la reciente dinamización de las energías renovables, la región Nordeste de Brasil se destaca por sumar en su territorio los estados brasileños con mayor inserción en la producción de energía eólica.

La inserción de la energía eólica y otras fuentes renovables en el Nordeste encontró una fuerte adhesión debido a sus características físicas naturales favorables a la explotación productiva, eólica y solar. Con un extenso litoral y radiación solar, parecía una combinación perfecta para convertirse en la principal región productora de fuentes renovables emergentes, aunque esta promoción no está anclada en una visión centrada en la planificación energética que considere los problemas climáticos actuales.

Por otro lado, cabe señalar que, según el Plan Decenal de Expansión Energética 2030, se espera que el consumo eléctrico en el subsistema Nordeste crezca a una tasa promedio del 4,3% en el período 2020 – 2030, por encima de la proyección realizada para el país, que fue del 3,7% (BRASIL, [2021](#)). En ese sentido, es importante reiterar el papel de la Región Nordeste no sólo para el desarrollo energético, sino también cómo podría ser encaminado considerando la demanda de consumo, ya que agrega una población de 57.374.243 habitantes, correspondiente al 27,1% de la población total, según la estimación de 2020 presentada por el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE, [2021](#)).

De esta forma, podemos resaltar la importancia de orientar los esfuerzos para satisfacer esta creciente demanda en el contexto de una economía de bajo carbono, cuyo núcleo del proceso de expansión productiva está vinculado a la valorización de una política energética que busque, por el lado de la demanda, valorar la conservación de la energía eléctrica, la eficiencia en el uso de la energía y por el lado de la oferta, proporcionar energía relativamente más limpia a partir de recursos naturales como el viento, el sol, la biomasa, las mareas, etc. Pero también que puede ampliar su accesibilidad, potenciando efectivamente los ODS de forma general e integrada.

En el caso del Nordeste, la producción de energía renovable puede entenderse a la luz de las posibilidades de desarrollo regional, a partir del aprovechamiento de las oportunidades de inversión que se dan como resultado de las ventajas comparativas

de clima, vegetación, suelo, entre otras. En el caso de las nuevas tecnologías de generación de energía eléctrica, el viento y el sol tienen la capacidad de transformar los espacios en un mecanismo de expansión socioeconómica y ambiental, pero lo que permite el aprovechamiento de este recurso natural no es lo que puede representar en términos de construcción de capacidad productiva para la generación de energía, pero eso es lo que es capaz de permitir en el contexto que sacude el proceso de apreciación del capital. En este sentido, el viento y el sol se convierten en instrumentos incesantes de reproducción del capital, instalándose en el espacio/territorio con el fin de autorreproducirse.

Es en este sentido que el papel del Estado, como inductor del proceso de desarrollo económico regional/local, tiene el papel de reponer capitales en un entorno que ofrece la capacidad no sólo de recibirlos, como mecanismo propulsor para la obtención de capitales lucrativos, sino transformar el espacio/territorio donde se asienta está cualitativamente determinado por las actividades que allí se desarrollan.

Sin embargo, debe prestarse atención a la dinámica de estas actividades cuando se las reconoce en toda su capacidad tecnoproductiva. Por ejemplo, en el caso de la energía eólica se sabe que el sector es intensivo en capital y tecnología. Así, llama la atención que la capacidad inversora del sector se concentre en la fase de planificación de proyectos, así como en la fabricación y compra, cuando los costos de inversión de capital (entre el 60% y 84%) están asociados al costo de las turbinas eólicas (MACEDO, 2015).

De esta forma, el sector eólico ofrece condiciones sectoriales para desarrollar la industria de equipos para el consumo interno y la exportación (SIMAS; PACCA, 2013), siempre que se puedan aprovechar las oportunidades de ocupación humana en toda la estructura productiva del sector eólico, especialmente en las fases de Operación & Mantenimiento (O&M), Instalación y Conexión a la Red, y Fabricación y Compras. En este aspecto, la contratación de mano de obra puede representar el 43%, 30% y 17%, respectivamente, en el total general de ocupaciones humanas demandadas por el sector, según información recopilada por el *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2017).

Desde una perspectiva regional/local, la creación de empleo es uno de los factores clave para el desarrollo socioeconómico del espacio receptor de estas inversiones. Esto requiere la configuración del desarrollo de actividades capaces de reducir la característica de enclave, a favor de la expansión de los procesos productivos y, por tanto, de la extensión de las actividades de transformación. Tales actividades pueden considerarse una forma sostenida de cambio, cualitativamente determinada por las características del espacio/territorio, al generar empleo e ingresos, abrir nuevos negocios, mejorar la infraestructura urbana y el acceso a servicios básicos como salud, saneamiento y seguridad pública. Sin embargo, la generación de empleo y renta es estacional, no constituyendo una perspectiva estructurante, que podamos hablar de una mayor expansión permanente de ocupados en este segmento productivo.

El sector energético es un complejo de cadena integradora, ya que las actividades de aguas abajo y aguas arriba exigen el desarrollo industrial de sectores vinculados regionalmente por la producción de energía. Al mismo tiempo, tienen la capacidad de presionar la demanda regional de bienes y servicios, con una mejora en el nivel de ingresos y, en consecuencia, esto afecta al sector eléctrico al presionar la demanda de energía eléctrica.

El Nordeste tiene una matriz energética mayoritariamente renovable, ya que cerca del 80% de la energía generada proviene de fuentes eólicas, solares e hidráulicas, con predominio de fuentes eólicas y solares (ONS, diciembre de [2020](#)). En términos de capacidad instalada de energía eólica, el Nordeste representa cerca del 36% de la potencia total concedida para generación eléctrica en el país, totalizando 565 centrales en operación en diciembre del año pasado (ANEEL, [2020](#)).

En cuanto a la capacidad eólica en construcción y proyectos aún no iniciados, los datos de la ANEEL también indican que la citada región representa el 77,2% y el 49,8%, respectivamente. Esto demuestra un impacto importante en la economía de la región, dado que la ubicación de las fábricas de aerogeneradores, palas y torres se concentra en el Complejo de Camaçari y Simões Filho, en el estado de Bahía, el Complejo Industrial y Portuario de Pecém/CE y Porto de Suape/PE (ABDI, [2017](#)). Estos espacios reúnen el montaje completo de equipos eólicos, como parte de una estrategia para hacer de la región Nordeste una frontera para la generación de energía renovable, a partir del aprovechamiento de la infraestructura económica existente.

En la región Nordeste, por lo tanto, la energía eólica ha sido vista como un motor de desarrollo regional, debido a la concentración de la cadena de fabricantes de equipos en algunos estados como Bahía, Pernambuco y Ceará, siendo globalmente considerada como eminentemente ventajosa, debido a su competitividad económica en términos de precios y costos en relación con las demás fuentes comercializadas en las subastas.

Es posible señalar algunos impactos importantes, pero de corto y mediano plazo, como la contratación de mano de obra local, aunque sea temporal, la generación de ingresos localizados, producto del arrendamiento de terrenos y la satisfacción de la demanda de energía eléctrica en el Nordeste, en general, y en RN, en particular, alcanzando más del 90% (según datos ONS, [2020](#)) en los meses de mayor productividad en generación eólica, en particular a partir de agosto, cuando la producción de este tipo de fuente retoma su representatividad significativamente (MACEDO, [2015](#)). Sin embargo, si bien se considera una energía “limpia” y renovable, es necesario relativizarla, ya que los impactos negativos sobre el medio ambiente y las comunidades locales, donde se ubican las instalaciones de los Parques Eólicos, exigen una adecuada planificación, políticas públicas específicas e innovaciones tecnológicas.

Las contradicciones más significativas que involucran la generación de energía eólica están asociadas a conflictos socioambientales que pueden resultar en, la

“imposición” de esta fuente de energía como vector de inversión en determinados espacios, sin compensación productiva a través de la densificación de la cadena de equipamientos, o incluso sin presentar objetivos claros de mitigación e inclusión en una agenda de adaptación al cambio climático. Esto ocurre cuando los inversores y gestores valoran más cuestiones técnicas, como la eficiencia y la calidad del viento, por encima de consideraciones sociales, como los vínculos productivos y afectivos de las personas con su territorio (PASQUALETTI, 2011).

Por lo tanto, la presencia de emprendimientos de energía eólica en el Nordeste brasileño apunta a una perspectiva de existencia de efectos e impactos negativos en los lugares de su instalación, generando disputa con otras actividades económicas, y con fuertes impactos sociales y ambientales. Algunos estudios han demostrado que estos conflictos estallan cuando la comunidad o los grupos de interés social actúan en defensa del uso del espacio que siempre han utilizado, entrando en disputas contra esta ocupación y contra la ocurrencia de efectos no deseados de esta actividad sobre el medio ambiente (OLIVEIRA; FERREIRA, 2019).

La diversidad de conflictos en torno a la producción de energía eólica surge porque estos emprendimientos modifican las dinámicas territoriales, ecológicas, sociales y económicas de las zonas donde se instalan, imponiendo a las comunidades externalidades negativas derivadas de la actividad y, por tanto, una situación de injusticia ambiental. Este escenario se destaca en el siguiente tema, cuando se trata de un territorio específico, el caso de RN, que ha alcanzado una situación de evidencia para las energías renovables, y el alcance de la expansión de la energía eólica en Brasil en la última década.

Vulnerabilidades e impactos socioambientales de la energía eólica en Rio Grande do Norte

En la última década, el estado de RN pasó a ocupar un papel destacado en la producción de energía renovable, sumando, en su territorio, plantas de emprendimientos para la producción de energía eólica. Impulsado tanto por sus gobiernos estatales a lo largo de este período como por las políticas públicas energéticas nacionales, con énfasis en el Programa de Incentivo a las Fuentes Alternativas de Energía Eléctrica (PROINFA), creado por Ley n.º 10.438/2002, territorios que presentan condiciones favorables, tanto desde el punto de vista físico natural, como la apertura de los gobiernos estatales y municipales a los emprendimientos eólicos y solares.

Al cierre de 2020, el RN cuenta con una potencia total concedida de más de 9,7 GW (ANEEL, 2020), distribuida tanto en municipios costeros como continentales. Existen más de 173 emprendimientos en operación e instalados en 21 municipios, la mayoría de los cuales tienen un tamaño poblacional pequeño y cuyos niveles de desarrollo humano son medios a bajos (PNUD; IPEA; FJP, 2013). Todos los

municipios son esencialmente rurales, sin dinámicas sociales, económicas y urbanas significativas, constituidos en territorios marcados por condiciones de múltiples vulnerabilidades. Sin embargo, tienen una capacidad de potencia importante para la generación de energía eólica, produciendo un total de 4,8 GW de energía eólica (ANEEL, [2021](#)).

Es importante considerar que las energías renovables, como producto final, la electricidad generada, son consideradas fuentes de bajas emisiones de GEI^{2,3}. Sin embargo, su proceso productivo no es limpio, caracterizándose ya por la generación de impactos socioambientales (OLIVEIRA, [2012](#); HOFSTAETTER; PESSOA, [2015](#); GORAYEB *et al.*, [2018](#)), agravando las condiciones de vulnerabilidad que ya existen en los territorios y sus poblaciones (HOFSTAETTER, [2016](#); SOVACOOOL *et al.*, [2020](#)).

Los impactos socioambientales se presentan de forma multidimensional en RN, como apunta HOFSTAETTER ([2016](#)) en el contexto de los municipios analizados en su investigación (Areia Branca, Guamaré, João Câmara, Macau, Parazinho y Rio do Fogo), con análisis en profundidad del municipio de João Câmara. Además de señalar los impactos resultantes de este trabajo, incluye información de la escucha a las comunidades costeras y de la región de la Serra de Santana, realizada por el Foro de Cambio Climático y Justicia Socioambiental/Núcleo RN a lo largo de 2020, de los cuales algunos de los autores de este artículo hacen parte ([Cuadro 1](#)).

Se observa que aún con la verificación de los impactos antes señalados en los municipios de RN, aún no existe un marco normativo que considere todos los ítems mencionados en cualquier nivel de gobierno, ya sea federal, estatal y/o municipal. Por lo tanto, los instrumentos de control regulatorio, como el licenciamiento ambiental, no pueden actuar de manera efectiva frente a los impactos negativos sobre los sistemas sociales y ecológicos existentes en los territorios. Esta realidad multidimensional se observa en otros estados del Nordeste de Brasil (MEIRELES, [2011](#)). Lo que sugieren, que no son impactos aislados, sino ya apremiantes y característicos de este tipo de actividad productiva.

2 IPCC (2008). Disponible en: <<https://www.ipcc.ch/languages/spanish.htm>>. Acceso en: 13 de mar. de 2021.

3 “El futuro que queremos”, Rio + 20

Cuadro 1 - Dimensiones de los impactos socioambientales de la energía eólica en municipios de Rio Grande do Norte, Nordeste, Brasil

Impactos Socioambientales			
Dimensiones	Tipo	Descripción	Municipio(s)
Social	Segregación de comunidades	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desplazamiento de agricultores y pescadores ▪ Cambiar las rutas de las comunidades pesqueras ▪ Interrupción de caminos de acceso; ▪ Cercado con imposibilidad de acceso al terreno ▪ Reducción del área de siembra y crianza de animales 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Areia Branca ▪ Guamaré ▪ São Miguel do Gostoso ▪ Galinhos ▪ Pedra Grande ▪ Lagoa Nova ▪ Cerro Corá ▪ Rio do Fogo
Social	Cambio de estatus social	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Debido al arrendamiento de la tierra, se produce un cambio de estatus social, es decir, la pérdida del reconocimiento como asegurado especial ante el INSS, tanto para los agricultores como para los pescadores, lo que implica la pérdida de la jubilación rural y la pérdida de la jubilación Especial. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ João Câmara
Social	Contrato de arrendamiento de terreno	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Imposibilidad de realizar otra actividad en el sitio, debido al arrendamiento y cercado del terreno (en algunos parques con presencia policial), lo que pone en riesgo la seguridad alimentaria de las poblaciones ▪ contratos de 20 a 30 años con prórroga automática ▪ Imposibilidad de transmisión a herederos ▪ Generación de conflictos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En municipios donde hay parques eólicos
Social	Promesa de mejorar los ingresos y la vida.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las expectativas de mejores ingresos y vida no se materializaron 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ São Miguel do Gostoso ▪ Galinhos ▪ Pedra Grande ▪ João Câmara

Social	Cambio en las condiciones de salud	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbaciones causadas por Ruido - motores y tráfico al principio / dinámica (generadores) y aerodinámica (palas) en funcionamiento, así como por el efecto estroboscópico <ul style="list-style-type: none"> - Insomnio - Dolor de cabeza - La depresión - Uso de medicamentos controlados; - el estrés - Aumento de solicitudes de exámenes de alta resolución 	<ul style="list-style-type: none"> • João Câmara • São Miguel do Gostoso • Pedra Grande • Areia Branca
Social	Cambios en la dinámica sociocultural	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la prostitución infantil y juvenil, con aumento del número de enfermedades de transmisión sexual • Aumento de casos de SIDA (incluyendo nacimientos) • Nueva realidad: Los hijos de los vientos (Los hijos de los vientos se mencionan en todos los municipios donde hay parques eólicos) • Expansión del uso de estupefacientes 	<ul style="list-style-type: none"> • João Câmara • São Miguel do Gostoso • Pedra Grande • Lagoa Nova
Social	Cambios en la dinámica económica local y regional	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del empleo formal con el consiguiente aumento de los ingresos familiares. trabajo a corto plazo (3 a 18 meses) • Trabajo estacional y mal pagado • Sobrevaloración del mercado inmobiliario • Mejoramiento de la economía local y regional, con inversión en construcción y arrendamiento de estructuras para alimentación y alojamiento, muchas de las cuales se encuentran inactivas tras la finalización de las obras • Aumento de la recaudación de impuestos municipales al momento de la construcción de las obras 	<ul style="list-style-type: none"> • En municipios donde hay parques eólicos
Ambientales y Sociales	Descaracterización del paisaje	<ul style="list-style-type: none"> • Cortes de dunas • Reducción de lagunas, puesta a tierra de lagunas dunares • Cambio en el diseño costero • Interferencia en el turismo • Descaracterización de APAs y APPs • Aumento de temperatura • Deforestación 	<ul style="list-style-type: none"> • En municipios donde hay parques eólicos
Ambientales y Sociales	Disminución de la producción animal	<ul style="list-style-type: none"> • Las abejas están produciendo menos • Inseguridad alimentaria de agricultores y pescadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Serra do Mel

Ambiental	Cambio geográfico territorial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extracción de vegetación nativa ▪ Apertura de nuevos caminos (incluso sobre las dunas) y modificación de trazados de caminos ▪ Modificación de drenaje ▪ Aumento de la erosión ▪ Pérdida de áreas de refugio de vida silvestre, con el consiguiente daño a la reproducción de la fauna ▪ Retención de aguas superficiales 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En municipios donde existan parques eólicos
Ambiental	Residuos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nuevos materiales extraños al sitio, como metales y minerales ▪ Falta de una política relacionada con la reutilización de materiales después de su vida útil ▪ Preocupación por el cementerio de basura. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Empieza a haber preocupación al respecto

Fuente: Hofstaetter (2016); Foro de Cambio Climático y Justicia Socioambiental/Núcleo RN (2020). Adaptado por los autores.

En general, los emprendimientos traen consigo la promesa de dinamizar la economía local, principalmente generando empleos e ingresos. Sin embargo, ya es evidente que la contratación de mano de obra local se restringe al período de construcción, quedando pocos puestos de trabajo después de este período (HOFSTAETTER, 2016; GORAYEB *et al.*, 2018). Al escuchar a las comunidades se comparte el sentimiento de que fueron engañadas y que esta vez la pobreza disminuiría, lo cual no se confirma. Se observa que, en efecto, los emprendimientos no contribuyen a reducir la vulnerabilidad social y ambiental que ya existe en los municipios, por el contrario, la amplían aún más.

En ese sentido, se observó en Rio do Fogo, el primer municipio de RN en tener un emprendimiento eólico en 2009, que su realidad fue poco alterada a lo largo de una década de explotación productiva de la energía eólica (Figura 1). Según relatos de vecinos, obtenidos en actividades de investigación de campo en marzo de 2020, señalan que la realidad del municipio no ha cambiado significativamente desde la llegada de los parques eólicos, lo que confirma que las promesas no se han cumplido. Es clara la existencia de varios conflictos, que involucran desde los beneficiarios, otros vecinos y tomadores de decisiones en los municipios, públicos y privados.

En RN se visualizan escenarios de conflictos y resistencias, como en Galinhos (SANTOS, 2018) y Areia Branca (FERREIRA; CAMACHO; GUIMARÃES, 2019). Otros conflictos ocurren entre los beneficiarios de los arrendamientos de tierras, la población y los gestores públicos, como en el caso de Rio do Fogo, donde los vecinos se quejan de que sólo los “asentados” reciben ingresos directos y exención de su factura eléctrica. También señalan los beneficios, obtenidos por desvíos, por los

gestores municipales para sus intereses particulares, que no son transparentes y no dialogan con la población. Hay una clara disputa entre los habitantes de Rio do Fogo (perímetro urbano) y los de la comunidad de la playa de Zumbi (PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, 2020).

Aspectos similares también fueron observados en el municipio de Areia Branca, en diciembre de 2019, en otra etapa de la investigación de campo, los residentes entrevistados destacaron que la dinámica del municipio ha cambiado poco, especialmente en las comunidades donde se ubican emprendimientos de energía renovable, tanto eólica como solar. Los residentes reportaron estar indignados por producir tanta energía y las comunidades tienen problemas para acceder a internet y usar teléfonos celulares, ya que no hay cobertura en las comunidades (PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, 2019). Es importante señalar que ambos municipios se ubican en la ruta turística del estado, cuyos paisajes naturales se han alterado significativamente, pareciendo que las torres eólicas también se incluyen en las dinámicas y espacios cotidianos, como se observa en las Figuras 1 y 2.

Figura 1 - Municipio de Rio do Fogo (Rio Grande do Norte, Brasil)



Fuente: Proyectos de Investigación (2020)⁴.

4 Debido a la declaración de estado de emergencia en salud en Rio Grande do Norte, el 17 de marzo de 2021, debido a la pandemia mundial de Covid-19, se suspenden las actividades de investigación de campo del mencionado Proyecto de Investigación.

Figura 2 - Municipio de Areia Branca (Rio Grande do Norte, Brasil)



Camino que une la Comunidad de São José con la Comunidad de Morro Pintado.



Comunidad de São José



Comunidad de São José de Redonda



Parque eólico Nova Esperança - Comunidad de São Cristóvão



Comunidad de São José



Dunas con torres eólicas - Comunidad de São Cristóvão



Praia de São Cristóvão, Comunidad de São Cristóvão



Parque Híbrido: Solar y Eólico Comunidad de Ponta do Mel



Comunidad São Cristóvão



Comunidad de Redonda



Carretera que une las Comunidades de Redonda a São Cristóvão



Parque Eólico Comunidad de Ponta do Mel

Fuente: Proyecto de Investigación (2019).

En términos de síntesis, podemos decir que, desde una perspectiva social, lo que se registra con la llegada de los parques eólicos son promesas incumplidas y un aumento de los problemas sociales, y las nuevas dinámicas instaladas contribuyen, directa o indirectamente, al mantenimiento de la desigualdad social, por el aumento de la delincuencia y por el aumento de la presión de los equipamientos sociales como puestos de salud, escuelas, comisarías, centros de asistencia social, etc. (HOFSTAE-TTER, 2016; GORAYEB *et al.*, 2018; BOLETIM DO FMCJSA, 2020).

Esta realidad se supone que podría ser diferente si existiera una reforma tributaria que pudiera beneficiar a los municipios productores de energía, y no a los consumidores (COSTA, 2017). Con ello, la captación de recursos podría favorecer la resolución de problemas locales. Obviamente, esto solo no sería suficiente, sería necesario tener una buena gestión pública, enfocada en las necesidades de la población en general.

Desde una perspectiva ambiental, los parques eólicos modifican el paisaje con sus torres y hélices, insertándose en espacios naturales y construidos (Figuras 1 y 2), así como en la cotidianidad y dinámica de estos paisajes (MIRASGEDIS *et al.*, 2014; HOFSTAETTER, 2016). En las zonas costeras se cortan dunas y se entierran lagunas interdunares, además de cambios en los caminos con la consecuente deforestación (HOFSTAETTER; PESSOA, 2015; HOFSTAETTER, 2016). Además de esta interferencia estructural, los parques provocan interferencias sonoras y visuales (PEDERSEN; WAYE, 2007; PIRES, 2011; DELICADO, 2013) y, en este sentido, existe una preocupación por la interferencia de estos parques en la dinámica del sol y el turismo de mar, que podría provocar un desinterés por los paisajes antes bucólicos, provocando un descenso de la actividad (DELICADO, 2013; HOFSTAETTER, 2016).

La instalación de parques eólicos también provoca un cambio en el estado normal del suelo, debido a la erosión por la deforestación de las áreas, como se observa, por ejemplo, en la playa de Zumbi (Rio do Fogo), además de desencadenar una presión sobre la diversidad biológica (BARROS; MAGALHÃES; RUI, 2015; FERREIRA, 2019; KUNZ *et al.*, 2007; ZOELLNER *et al.*, 2008; KIKUCHI, 2008; CARRETE *et al.*, 2012; MEIRELES, 2011; HOFSTAETTER, 2016) resultantes de la destrucción de vegetación natural debido a la migración de especies.

Finalmente, es importante resaltar que los bosques nativos, ubicados alrededor de los parques, fueron removidos (NERI *et al.*, 2019) a favor de la construcción de caminos capaces de permitir el flujo de camiones y maquinaria pesada. Sin mencionar la cantidad de agua destinada a la producción de concreto, indispensable en la construcción de las bases de cimentación de las torres eólicas, y en la generación de los residuos sólidos generados en las obras y otras actividades constructivas.

De este escenario presentado, se evidencia que los espacios de los parques eólicos son impactados por estos emprendimientos y, como consecuencia, surgen conflictos sociales y ambientales, además de situaciones que afectan directamente tanto a las comunidades locales como a los ecosistemas.

También es claro que sus promociones desde las esferas de los gobiernos estatales y municipales están desligadas de las preocupaciones por el tema climático, siendo impulsadas por la vieja lógica productivista y economicista, sin sustentar nuevas perspectivas de desarrollo con sesgo sustentable. ¡Es lo nuevo, en lo viejo!

Conclusiones

En este capítulo se señaló la relevancia del sector energético, desde el punto de vista de su diversificación frente a los problemas ambientales y climáticos contemporáneos, que se perpetúan a lo largo de los años debido a la intensificación de la producción y consumo de energía de origen fósil. Esto, a su vez, se convirtió en la base fundamental para la construcción de un modelo de desarrollo basado en dinámicas

productivas intensivas en recursos naturales, mano de obra, capital y extremadamente desiguales desde el punto de vista social, ampliando e intensificando problemas.

Las energías renovables empiezan a configurarse como vectores fundamentales para los procesos de transición energética y el desarrollo de actividades productivas más sostenibles y con menor impacto climático. Estos presentan un potencial importante para la mitigación climática, que puede tener repercusiones en el rumbo de las metas globales de reducción de GEI, pero aún es poco aprovechado como insumo para las agendas de adaptación climática, ante escenarios cada vez más inciertos, en cuanto a los fenómenos climáticos y su variabilidad, lo que puede afectar al suministro energético, dependiente principalmente de los recursos hídricos.

Por otra parte, es evidente que las energías renovables, y en este caso la eólica, objeto central de análisis en este capítulo, no están exentas desde el punto de vista de los impactos socioambientales, caracterizándose ya por el estallido de Conflictos y disputas socioambientales en los territorios donde se instala, como lo evidencia la realidad de RN, puntuada en el tercer tema, pero presente en otros estados que producen este tipo de fuente de energía.

La importancia ya asumida por la energía eólica para la seguridad energética mundial y nacional también es evidente, pero también es reflexiva su importancia en el contexto del desarrollo regional/local destacado en el segundo tema. Considerando la perspectiva económica, la generación eólica tiene fundamentos técnico-económicos basados en la capacidad de ser competitivos en términos de costos y precios, así como tener potencial sectorial aguas arriba y aguas abajo para generar empleo y renta de forma sostenible en los espacios receptores de los parques, parques eólicos, aunque no sea un elemento permanente, sino estacional, con un mayor impacto cuantitativo, durante la fase de construcción de los emprendimientos.

Es en este contexto que entra en juego la importancia de la inversión inducida, la planificación estratégica, el gobierno local, las instituciones públicas y privadas y las comunidades ubicadas en el entorno mapeado para la instalación de parques eólicos que puedan actuar de manera integrada y participativa. En otras palabras, la idea es que la inversión se realice de forma que permita no sólo la consecución de la ganancia económica, sino también el cambio cualitativo de espacio y el mantenimiento del empleo y la renta a lo largo de la cadena sectorial, a través de la densificación de la base, la producción de forma localizada y construida regionalmente al servicio de los agentes que componen las inversiones.

Por otro lado, se necesita mayor atención a los impactos socioambientales de la generación eólica, teniendo en cuenta el caso de RN discutido en el tercer tema, que no es una situación singular, pero tiende a ser general, donde existe este tipo de emprendimiento. Es importante señalar que el RN, a pesar de ser uno de los mayores productores de energía eólica del país, no tiene el desarrollo sectorial de la cadena eólica, solo una importante capacidad instalada de parques eólicos, en MW.

En este sentido, se trata de preguntarse: ¿cuál es el resultado efectivo de toda esta inversión realizada? En términos cuantitativos, es posible mencionar algunos aspectos no desdeñables, relacionados con el pago de la renta por el uso de la tierra, en detrimento de la falta de una regulación más precisa sobre los contratos de arrendamiento y derechos de propiedad; el uso de mano de obra local, al inicio de la implementación de parques eólicos; el desarrollo de algunos proyectos socioambientales, estipulados en los contratos de financiamiento de inversiones; y, el aumento temporal de la recaudación de impuestos municipales.

En cuanto a la generación, cabe mencionar que el estado satisface la demanda de energía eléctrica, ya que la generación de energía eólica en RN permite abastecer a la población, especialmente en los meses de julio, agosto y septiembre, hasta diciembre, cuando se realizan las ferias de vientos presentan un aumento significativo de la productividad en el proceso de producción de energía eléctrica a partir de energía eólica, alcanzando un factor de capacidad entre el 60% y 80% por encima de la garantía física (ONS, [2020](#)).

A pesar de este aspecto, el uso de este tipo de fuentes tampoco está asociado a políticas públicas que incluyan las energías renovables dentro de una política de mitigación y adaptación climática, que considere los efectos de los escenarios climáticos y que puedan repercutir en la garantía de la base renovable de la matriz energética brasileña, que aún depende de la hidroelectricidad. Sin embargo, con la perspectiva de la escasez de agua, surge la necesidad de organizar rutas de seguridad energética para las próximas décadas, incorporando medidas de mitigación y adaptación climática en la base de su planificación.

Sin embargo, en términos cualitativos, la energía eólica ha dejado un vacío en los espacios donde se están instalando los parques eólicos, ya que no es capaz de permitir el pleno aprovechamiento de la mano de obra local desde la operación comercial de la inversión, no generando ingresos sostenidos a lo largo del tiempo de la cadena sectorial, ni la mejora del espacio aprovechando oportunidades en diversas dimensiones como salud, educación, ocio, apertura consistente de puestos de trabajo, etc.

En términos ambientales, el resultado tampoco es prometedor, ya que la inversión ha dejado un pasivo al desplazar comunidades y/o pobladores, sin la debida compensación económica y/o productiva. Esto ocurre, por ejemplo: al intensificar el uso de la tierra, muchas veces sin dejar espacio para el desarrollo de otras actividades de subsistencia; alterando el paisaje; abriendo caminos sin preocuparse por el acceso de las personas a sus localidades, descaracterizando el espacio construido por las familias; y, asimismo, por desencadenar una serie de otros problemas como cambios en las condiciones de salud y desplazamiento de fauna y flora, entre otros.

En cuanto a la gestión pública, hay más una ausencia normativa del Estado, que solo cumple tangencialmente el control ambiental, aun así, convirtiendo al licenciamiento ambiental en un instrumento de negociación competitiva entre estados,

dentro de la lista de incentivos para atraer inversiones. En RN, no existen medidas ni, políticas públicas que ordenen y regulen de forma clara y transparente la dinámica de las energías renovables en su territorio, y que puedan repercutir en los impactos socioambientales y económicos ya evidenciados a lo largo de casi dos décadas de existencia la presencia de estos emprendimientos en su territorio.

Finalmente, las controvertidas dimensiones de la energía eólica hacen que el tema de la ubicación de los parques eólicos sea un problema muy complejo, dada la incompatibilidad entre los impactos locales y el beneficio público asociado a la seguridad energética del país. Al respecto, diversos estudios realizados han señalado la ocurrencia de un proceso de desestructuración de las bases socioeconómicas-ambientales de los espacios receptores de inversiones eólicas, y siendo, por tanto, cuestiones ambientales y sociales, camufladas por el discurso de la sustentabilidad, contribuyendo a ampliar las situaciones de vulnerabilidad de territorios y poblaciones, sin la correspondiente ampliación de oportunidades sustentadas en la justicia socioambiental.

Agradecimientos

Este capítulo apunta algunos resultados surgidos de las discusiones asociadas a los Proyectos de Investigación: 1 - “Energías, Riesgos, Vulnerabilidades e Impactos Sociales y Ambientales en Ciudades con Emprendimientos de Energía Renovable en el Nordeste: el caso de la energía eólica en Rio Grande do Norte”, que cuenta con apoyo financiero a través de la Circular MCTIC/CNPq n° 28/2018 (Proceso: 437421/2018-0), y 2 - “Sustentabilidad, Adaptación Climática, Energías y Sociodiversidad de los Territorios: un análisis comparativo de estudios de casos gubernamentales en el contexto del Nordeste brasileño”. Red de Investigación, Aviso Público 20/2020/UFRN. Nro. de proceso PVC18326-2020. Ambos coordinados por el primer autor.

Referencias

- ABRAM, N. *et al.* Framing and Context of the Report. *In: PÖRTNER, H.O. et al. (ed.). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.* Cambridge, UK; New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2019. p. 73–129
- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Atualização do Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil.** Brasília: ABDI, 2017. Disponível em: http://inteligencia.abdi.com.br/wp-content/uploads/2017/08/2018-08-07_ABDI_relatorio_6-1_atualizacao-do-mapeamento-da-cadeia-produtiva-da-industria-eolica-no-brasil-WEB.pdf. Acesso em: 12 dez. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Capacidade de geração do Brasil. *In: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Sistemas de Informação de Geração da ANEEL - SIGA.* Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 12 dez. 2020.

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Capacidade de geração do Brasil. *In: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Sistemas de Informação de Geração da ANEEL - SIGA*. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 12 jan. 2021.
- ALCOFORADO, F. Global Climate Change and its Solutions. *HSOA Journal of Atmospheric & Earth Sciences*, v. 2, p. 007, 2019.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, v. 140, n. 1, p. 33-45, 2017.
- BARROS, M. A. S.; MAGALHÃES, R. G.; RUI, A. M. Species composition and mortality of bats at the Osório Wind Farm, southern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, v. 50, n. 1, p. 31-39, 2015.
- BERRY, P. M.; BROWN, S.; CHEN, M.; KONTOGIANI, A.; ROWLANDS, O.; SIMPSON, G.; SKOURTOS, M. Cross-sectoral interactions of adaptation and mitigation measures. *Climatic Change*, v. 128, n. 3-4, p. 381-393, 2015.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030** Brasília: MME/EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf. Acesso em: 26 fev. 2021.
- CAPRA, F. **Capitalismo natural: criando a próxima revolução industrial**. São Paulo: Cultrix, 2007.
- CARRETE, M.; SÁNCHEZ-ZAPATA, J. A.; BENÍTEZ, J. R.; LOBÓN, M. MONTOYA, F.; DONÁZAR, J. A. Mortality at wind-farms is positively related to large-scale distribution and aggregation in griffon vultures. *Biological Conservation*, v. 145, n. 1, p. 102-108, 2012.
- CLIMATE TRANSPARENCY. Brown to Green. **The G20 Transition**. Towards a Net-Zero Emissions Economy. Berlin: Climate Transparency, 2019. Disponível em: <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2019/11/Brown-to-Green-Report-2019.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2021.
- COSTA, J. M. F. Medidas de compensação ambiental para instalação de parques eólicos nas áreas de rede Natura 2000. *RevCEDOUA*, p. 63-88, 2017.
- DELICADO, A.; SILVA, L.; JUNQUEIRA, L.; HORTA, A.; FONSECA, S.; TRUNINGER, M. Ambiente, paisagem, patrimônio e economia: Os conflitos em torno de parques eólicos em Portugal. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, v. 100, p. 11-36, 2013.
- DI GIULIO, G. M. *et al.* Bridging the gap between will and action on climate change adaptation in large cities in Brazil. *Regional Environmental Change*, v. 19, n. 8, p. 2491-2502, 2019.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Balanco Energético Nacional 2020**: Ano base 2019. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf. Acesso em: 26 fev. 2021.
- FERREIRA, W. L. S. Potenciais Impactos Ambientais De Parques Eólicos Sobre Morcegos No Extremo Sul Do Brasil. *In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Fortaleza, 10., 2019, Fortaleza. Anais [...]*. Bauru (SP): IBEAS, 2019, p. 1-6. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/X-036.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022.
- FERREIRA, F. S. M.; CAMACHO, R. G. V.; DE CARVALHO, R. G. Percepção dos impactos socioambientais da implantação de parques eólicos na comunidade de Ponta do Mel, Areia Branca/RN. *Geosul*, v. 34, n. 73, p. 262-279, 2019.

- GE, M.; FRIEDRICH, J. **4 Charts Explain Greenhouse Gas Emissions by Countries and Sectors**. Washington: WRI, 2020. Disponível em: <https://www.wri.org/blog/2020/02/greenhouse-gas-emissions-by-country-sector>. Acesso em: 05 ago. 2020.
- GONZÁLEZ, C. G. M. **Transição energética global e desenvolvimento sustentável: limites e possibilidades no capitalismo contemporâneo**. 2018. Tese (Doutorado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- GORAYEB, A.; BRANNSTORM, C.; MEIRELES, A. J. A.; MENDES, J. S. Wind power gone bad: Critiquing wind power planning processes in northeastern Brazil. **Energy research & social science**, v. 40, p. 82-88, 2018.
- GUARIGUATA, M. R.; CORNELIUS, J. P.; LOCATELLI, B.; FORNER, C.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G. A. Mitigation needs adaptation: Tropical forestry and climate change. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 13, n. 8, p. 793-808, 2008.
- HOFSTAETTER, M. **Energia eólica: entre ventos, impactos e vulnerabilidades socioambientais no Rio Grande do Norte**. 2016. Dissertação (Mestrado em Estudos Urbanos e Regionais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- HOFSTAETTER, M.; AMARO, V. E.; BENTES, D. **Para onde e para quem sopram os ventos**. Natal: Fórum de Mudanças Climáticas e Justiça Socioambiental, 2020. Disponível em: https://sarnn.org.br/images/pdf/fmcjs_boletiminformativoersaofinal.pdf. Acesso em: 26 fev. 2021.
- HOFSTAETTER, M.; PESSOA, Z. S. Impactos Socioambientais e Regionais da Energia Eólica no Rio Grande do Norte. *In: Encontro Nacional da Anppas*, 7., 2015, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: UNB-ANPPAS, 2015. p. 1-16. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/novosite/arquivos/pgt16.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021.
- HOGAN, D. J.; MARANDOLA JÚNIOR, E. **População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais**. NEPO/Unicamp. Brasília: UNFPA, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e estados do Brasil**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12 mar. 2021.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. Acesso em: 30 nov. 2020.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Energy Benefits**. Abu Dhabi: IRENA, 2017. Disponível em: <https://www.irena.org/>. Acesso em: 06 dez. 2020.
- KIKUCHI, R. Adverse impacts of wind power generation on collision behaviour of birds and anti-predator behaviour of squirrels. **Journal for Nature Conservation**, v. 16, n. 1, p. 44-55, 2008.
- KUNZ, T. H.; ARNETT, E. B.; COOPER, B. M.; ERICKSON, W. P.; LARKIN, R. P.; MABEE, T.; MORRISON, M. L.; STRICKLAND, M. D.; SZEWCZAK, J. M. Assessing impacts of wind-energy development on nocturnally active birds and bats: a guidance document. **The Journal of Wildlife Management**, v. 71, n. 8, p. 2449-2486, 2007.
- LOCATELLI, B.; EVANS, V.; WARDELL, A.; ANDRADE, A.; VIGNOLA, R. Forests and climate change in Latin America: linking adaptation and mitigation. **Forests**, v. 2, n. 1, p. 431-450, 2011.
- LOCATELLI, B. **Synergies between adaptation and mitigation in a nutshell**. Bogor: Centro Internacional de Investigación Florestal (CIFOR), 2011.

- MACEDO, L. D. **Produção de energia elétrica por fonte eólica no Brasil e aspectos de seu impacto na região Nordeste e Rio Grande do Norte**. 2015. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- MACEDO, L. D. O estado da arte da geração de energia eólica no mundo: apresentação e discussão. **Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas**, Vitória da Conquista, ano XIII, n. 21, p. 133-149, 2016.
- MARTINS, R. D. A.; FERREIRA, L. C. Vulnerabilidade, adaptação e risco no contexto das mudanças climáticas. **Mercator (Fortaleza)**, v. 11, n. 26, p. 237-251, 2012.
- MEIRELES, A. J. A. Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais. **Confins. Revista franco-brasileira de geografia**, n. 11, 2011.
- MIRASGEDIS, S.; TOURKOLIAS, C.; TZOVLA, E.; DIAKOULAKI, D. Valuing the visual impact of wind farms: An application in South Evia, Greece. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 296-311, 2014.
- NERI, M.; JAMELI, D.; BERNARD, E.; MELO, F. P. L. Green versus green? Adverting potential conflicts between wind power generation and biodiversity conservation in Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 3, p. 131-135, 2019.
- OJIMA, R.; MARANDOLA JÚNIOR, E. Indicadores e políticas públicas de adaptação às mudanças climáticas: vulnerabilidade, população e urbanização. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 18, p. 16-24, 2010.
- OLIVEIRA, A. Planejamento Elétrico: uma agenda amigável com a natureza. *In*: VEIGA, J. E. (org.). **Energia Eólica**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.
- OLIVEIRA, H. E. L.; FERREIRA, J. G. Energia eólica: Entre o dilema do desenvolvimento regional e o conflito socioambiental. *In*: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 18., Natal. **Anais**[...], Natal: ANPUR, 2019, p. 1-18. Disponível em: <<http://anpur.org.br/xviiienanpur/anaisadmin/capapdf.php?reqid=1709#:-:~:text=e%20o%20conflito%20socioambiental,-INTRODU%C3%87%C3%83O&text=O%20Brasil%20come%C3%A7ou%20a%20promover,E%20LIMA%2C%202017%2C%20p>>. Acesso em: 13 de mar. de 2021.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Resultados da operação**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>. Acesso em: 05 dez. 2020.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2020.
- PASQUALETTI, M. J. Social Barriers to Renewable Energy Landscapes. **The Geographical Review**, v. 101, n. 2, p. 201-223, 2011.
- PEDERSEN, E.; WAYE, K. P. Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. **Occupational and environmental medicine**, v. 64, p. 480- 486, mar. 2007.
- PFEIFFER, A.; MILLAR, R.; HEPBURN, C.; BEINHOCKER, E. The ‘2°C capital stock’ for electricity generation: cumulative committed carbon emissions and climate change. **Applied Energy**, v. 179, p. 1395-1408, 2016.
- PHILIPPI JÚNIOR, A.; REIS, L. B. Questão energética e sua relação com a sustentabilidade: à guisa de introdução. *In*: PHILIPPI JÚNIOR, A.; REIS, L. B. **Energia e Sustentabilidade**. Barueri-SP: Manole, 2016. p. 3-9.

- PIRES, L. F. A. **Parque Eólico Alegria**. In: SEMINÁRIO BRAZIL WINDPOWER, Rio de Janeiro, 2011.
- PNUD. IPEA. FJP. Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro. In: **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Brasília: PNUD, IPEA, FJP, 2013. 96 p.
- RAMPINELLI, G. A.; ROSA JUNIOR, C. G. Análise da geração eólica na matriz brasileira de energia elétrica. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 14, n. 2, p. 273-302, 2012.
- REIS, C. M. **Caminhos para o futuro que queremos: diversificação da Matriz Energética Brasileira - Caminho para a Segurança Energética em Bases Sustentáveis**. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Relações Internacionais (CEBI), 2015. Disponível em: http://midias.cebri.org/arquivo/diversifica%C3%A7%C3%A3o-matriz-energetica_vol1.pdf. Acesso em: 05 dez. 2020.
- SANTOS, C. S. **Percepção em movimento: análise das transformações em Galinhos/RN à luz da implementação dos parques eólicos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Estudos Urbanos e Regionais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/25837>>. Acesso em: 14 mar. 2021.
- SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estudos avançados**, v. 27, n. 77, p. 99-116, 2013.
- SOUZA, M. C. O. **Mudanças climáticas e energia: um estudo sobre contribuições brasileiras diante de um novo regime climático**. 2017. Dissertação (Mestrado em Política Científica e Tecnológica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.
- SOVACOOOL, B. K; HOOKA, A.; MARTISKAINENA, M.; BAKER, L. The whole systems energy injustice of four European low-carbon transitions. **Global Environmental Change**, v. 58, p. 101958, 2019.
- SOVACOOOL, B. K.; ALI, S. H.; BAZILIAN, M.; RADLEY, B.; NEMERY, B.; OKATZ, J.; MULVANEY, D. Sustainable minerals and metals for a low-carbon future. **Science**, v. 367, n. 6473, p. 30-33, 2020.
- SPERANZA, J.; WILLS, W. **Estratégia de Longo Prazo para Descarbonização da Economia Brasileira**. [s. l.]: Fórum Brasileiro de Mudança do Clima, 2019. Disponível em: http://www.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=de3a982d-a7af-fe87-52d8-2bc5eae52ead&groupId=36208. Acesso em: 09 dez. 2020.
- TAVARES, C. V. C. C. **Os desafios da descarbonização da economia por meio da energia solar no Semiárido: estudo de caso em Juazeiro Do Norte – CE**. 2020. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.
- TEIXEIRA, R. L. P.; PESSOA, Z. S.; DI GIULIO, G. M. Mudanças Climáticas e capacidade adaptativa no contexto da cidade do Natal/RN, Brasil. **Revista Geotemas**, v. 10, n. 1, p. 95-115, 2020a.
- TEIXEIRA, R. L. P.; PESSOA, Z. S.; DI GIULIO, G. M. Cidades, mudanças climáticas e adaptação: um estudo de caso de Natal/RN, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 54, p. 468-483, 2020b.
- WALTER, A. As mudanças climáticas e a questão energética. **Revista Multiciência**, Campinas, v. 8, p. 29-47, 2007.
- WORD ENERGY COUNCIL. **World Energy – Issues Monitor 2020: decoding new signals of change**. London: Word Energy Council, 2020. Disponível em: https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World_Energy_Issues_Monitor_2020_-_Full_Report.pdf?v=1583420330. Acesso em: 06 jan. 2021.
- ZOELLNER, J.; SCHWEIZER-RIES, P.; WEMHEUER, C. Public acceptance of renewable energies: Results from case studies in Germany. **Energy policy**, v. 36, n. 11, p. 4136-4141, 2008.

CAPÍTULO 17

LA EXPANSIÓN DE PARQUES EÓLICOS EN ÁREAS PROTEGIDAS DEL EL ESTADO DE RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

Rodrigo Guimarães de Carvalho¹
Ramiro Gustavo Valera Camacho¹
Márcia Regina Farias da Silva¹
Dweynny Rodrigues Filgueira Gê¹
Fabiana Silva Medeiros Ferreira¹
Stênio Freitas Felix²
Louize Nascimento¹
Oswaldo da Cunha¹
Maria Zilda Rosado Neta¹

Resumen

La protección ambiental en Brasil tiene instrumentos previstos en la Constitución y en la legislación federal, con énfasis en la creación de Unidades de Conservación de la Naturaleza (UCs). El objetivo principal de las UCs es preservar partes de los biomas nacionales, y existen 12 tipos de categorías que tienen diferentes niveles de restricciones en el uso y ocupación de la tierra y los recursos naturales. Este estudio reúne investigaciones desarrolladas en dos UCs costeras en el estado de Rio Grande do Norte, donde está en marcha la expansión de proyectos de energía eólica. Ambas unidades fueron impactadas por parques eólicos y los resultados presentados discuten los dilemas de construir emprendimientos de “energía limpia” dentro de territorios protegidos.

Palabras clave: Energía eólica. Unidades de conservación. Impactos socioambientales. Costa. Rio Grande do Norte.

1 Universidad del Estado de Rio Grande do Norte (UERN), Mossoró, Brasil. rodrigocarvalho@uern.br

Introducción

La expansión de parques eólicos, especialmente en municipios costeros del nordeste de Brasil, viene provocando cambios significativos en los ambientes costeros, que van desde la modificación visual del paisaje, hasta la privatización de extensas áreas en ambientes de dunas, playas y lagunas (PINTO-FILHO *et al.*, [2014](#); MEIRELES, [2011](#); PORTO; FINAMORE; FERREIRA, [2013](#)). Debido a la rápida expansión de la instalación de parques eólicos, se requieren estudios para evaluar el proceso, con el fin de minimizar la posible generación de conflictos de diversa índole, ya que los espacios costeros son objeto de legislación ambiental por la importancia de sus ecosistemas y la fragilidad que expresa la intensa dinámica geoambiental, además, la costa es también un espacio para el desarrollo de actividades de carácter habitacional, industrial, turístico, pesquero, y, en particular, residencia y sustento de comunidades tradicionales que están dispersos en la costa brasileña.

La falta de una planificación adecuada para la expansión de parques eólicos en la costa establece un proceso desordenado que, de manera preliminar, observa cuatro criterios: la calidad de los vientos locales; la disponibilidad de terrenos para la implantación de centrales; la facilidad del proceso de licenciamiento ambiental y el apoyo político. Desde una perspectiva global, la expansión de los parques eólicos en el mundo cumple con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 (ver Capítulos [13](#) y [14](#)) y la descarbonización energética mediante la reducción del consumo de combustibles fósiles que forma parte del acuerdo climático internacional (LOPES, [2012](#); ABEEÓLICA, [2016](#)). Desde la perspectiva energética brasileña, en los últimos años se ha observado la diversificación de la matriz, que depende principalmente de la generación hidroeléctrica y viene mostrando fragilidad debido a la inconsistencia en la recarga de embalses y sucesivos años con precipitaciones por debajo del promedio histórico, especialmente en el nordeste. Con base en esa lógica y considerando el fuerte potencial de vientos del nordeste, la expansión de los centrales eólicos encuentra un campo propicio para su desarrollo.

Es importante mencionar que el Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) a través de la Resolución n.º 279/2001, favoreció y aceleró el proceso de licenciamiento ambiental, permitiendo la clasificación de las centrales eólicas como emprendimientos con bajo potencial de impacto ambiental, requiriendo únicamente estudios ambientales simplificados. También favoreció la expansión de centrales eólicas, la fragilidad de la Política Nacional Ambiental y el Plan Nacional de Ordenamiento Costero, que presentan retrasos en la implementación de instrumentos de planificación y gestión socioambiental y territorial. Como ejemplo, observamos los casos de tres estados líderes en la producción de energía a partir de los vientos en Brasil: Rio Grande do Norte (RN), Bahia (BA) y Ceará (CE) en relación con la

implementación de la Zonificación Ecológica - Económica (ZEE) costera. El RN solo tiene la ZEE costera en la costa oriental, desarrollada en la década de 1990, pero los parques eólicos están instalados en la costa norte, que no tiene la ZEE; La BA tiene una ZEE en todo el estado, pero no está regulada por ley; y el CE cuenta con una ZEE costera, que se encuentra en proceso de revisión. Cabe mencionar que ninguna de las ZEEs antes mencionadas fue validada por el Comité Coordinador Nacional de ZEE.

En el mismo sentido, los organismos ambientales estatales y municipales cuentan con recursos limitados para atender la demanda de licenciamiento de parques eólicos y, en algunos casos, pueden verse debilitados desde el punto de vista técnico con un bajo número de profesionales que se han presentado a concurso público y/o entrenado. Esto crea un conflicto entre el interés de los estados y municipios en atraer grandes inversiones en generación eólica y la capacidad de análisis técnico de los organismos licenciadores y de control social que puedan garantizar un proceso justo desde el punto de vista social y ambiental.

Ante esta problemática, este capítulo tiene como objetivo presentar los resultados de investigaciones realizadas por el grupo de trabajo de la Universidad del Estado de Rio Grande do Norte (UERN), que evalúan la producción de energía eólica en áreas protegidas y los impactos y beneficios generados. (GÊ, [2010](#); GÊ, [2018](#); FELIX, [2018](#); NASCIMENTO, [2016](#); COSTA NETA, [2018](#); CUNHA, [2019](#)). Fueron desarrollados a partir del proyecto de investigación “Impactos de la Energía Eólica en el Litoral Nordeste: perspectivas para la construcción de una visión integrada de la producción de energía limpia en Brasil”, coordinado por el Departamento de Geografía de la Universidad Federal de Ceará (UFC) con la alianza del Laboratorio de Estudios Costeros y Áreas Protegidas (LECAP), el Laboratorio de Ecología Aplicada (LEA) y los Programas de Posgrado en Geografía y Ciencias Naturales, todos de la UERN.

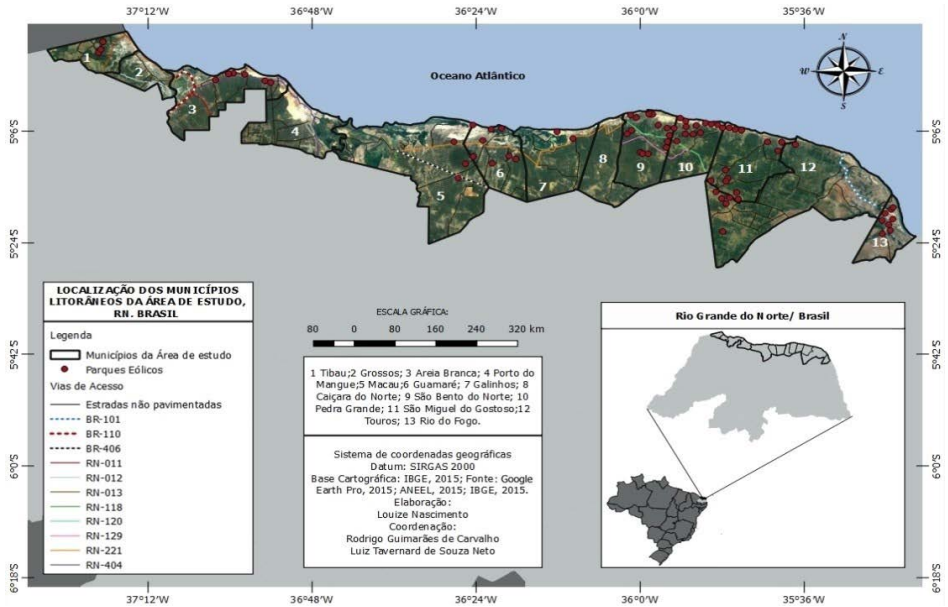
Específicamente, los estudios están dirigidos al Área de Protección Ambiental de Dunas do Rosado y la Reserva Estatal de Desarrollo Sostenible Ponta do Tubarão, ambas ubicadas en la costa norte del estado de Rio Grande do Norte. La investigación desarrollada permite realizar comparaciones con los trabajos de Hofstaetter ([2016](#)), Frate *et al.* ([2019](#)) y Dantas *et al.* ([2019](#)), en el que se encuestaron comunidades impactadas por la implementación de parques eólicos en el estado de Rio Grande do Norte.

Distribución espacial de parques eólicos en la costa de Rio Grande do Norte

En 2015, la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) registró diez municipios ribereños frente al mar en el litoral de RN con centrales **eólicos en operación, en construcción**, con concesión o construcción no iniciada, a saber: Tibau, Areia

Branca, Macau, Guararé, Galinhos, São Bento do Norte, Pedra Grande, São Miguel do Gostoso, Touros y Rio do Fogo ([Figura 1](#)).

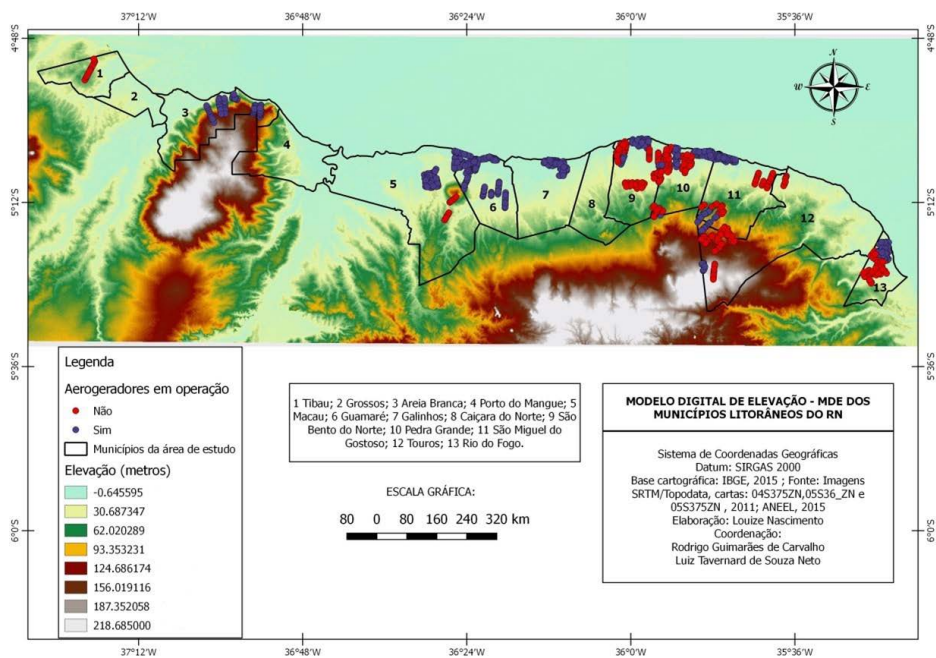
Figura 1 - Mapa de ubicación de los municipios costeros en el área de estudio, RN, Nordeste de Brasil



Fuente: Autoría propia.

En la [Figura 2](#) es posible observar la disposición de los aerogeneradores con relación al relieve costero del estado de RN. De los trece municipios presentados, doce tienen una elevación entre 0 y 30 metros cerca de la costa, donde se encuentran la mayoría de los parques eólicos, y solo el municipio de Areia Branca tiene un relieve de mayor altitud asociado a la Serra do Mel, que puede llegar hasta a 200 m de altitud. Así, es posible percibir una concentración de parques eólicos en la planicie costera, que representa las zonas más bajas cercanas al mar septentrional de RN.

Figura 2 - Mapa con el Modelo Digital de Elevación del área de estudio y la distribución de los aerogeneradores, RN, Nordeste de Brasil

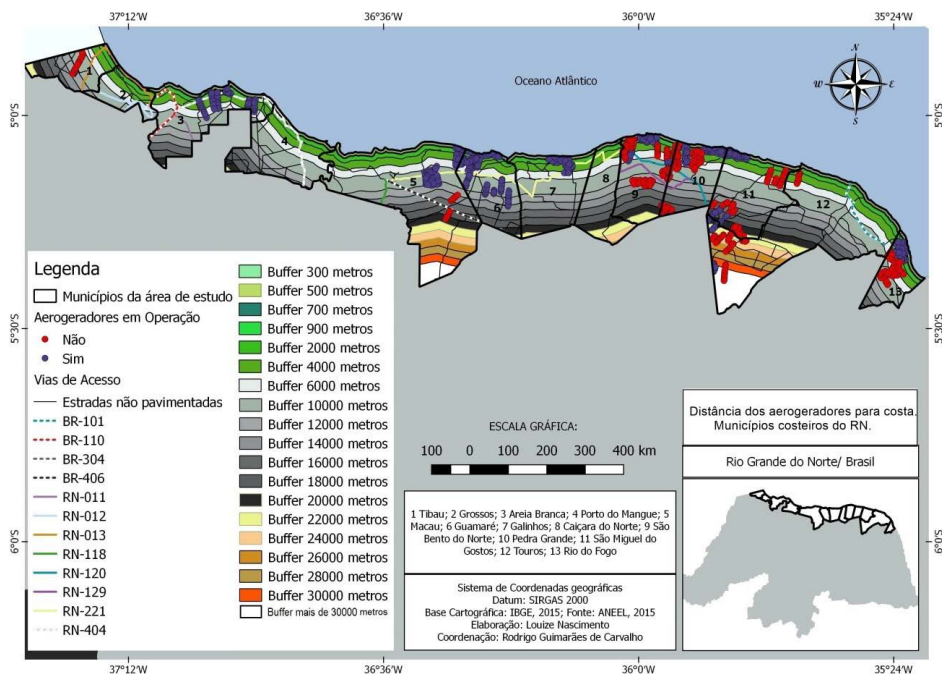


Fuente: Autoría propia.

La distribución de los aerogeneradores con relación a la línea de costa se verificó mediante geoprocesamiento utilizando el software Quantum Gis 2.18. Se produjeron los resultados generales, que se pueden ver en la [Figura 3](#) considerando 19 buffers a partir de la línea de costa, comenzando con 300 m y llegando hasta los 30 km en los municipios de Macao y Touros. Esta forma de presentación permitió una visión global del posicionamiento de los aerogeneradores con relación a la costa.

En el Sistema de Información Geográfica (SIG) que se creó, se contabilizaron los aerogeneradores dispuestos en seis clases de distancia, según el [Cuadro 1](#). En este enfoque, se interpretaron los intervalos de distancia a la costa a través de mapas temáticos e imágenes satelitales para la descripción cualitativa de los componentes y procesos geoambientales que se desarrollan predominantemente en cada intervalo espacial.

Figura 3 - Mapa con la distribución de aerogeneradores en intervalos espaciales (buffers) a partir de líneas del litoral de la costa septentrional, RN, Nordeste de Brasil



Fuente: Autoría propia.

Cuadro 1 - Distribución de aerogeneradores en intervalos espaciales (buffers) a partir da línea de la costa del litoral septentrional, en correlación con las características socioambientales predominantes, RN, Brasil

Distancia de la orilla	Número de aerogeneradores	Características socioambientales predominantes	Áreas de Preservación Permanente
0 a 500 metros	54	Franjas de playa con transporte de sedimentos por deriva costera, dunas frontales, intenso transporte eólico, planicie de deflación eólica, campos de dunas recientes, manglares, acantilados, zonas de desove de tortugas, varamiento de fauna marina, circulación intensa de cientos de especies de aves, actividades pesqueras tradicionales, comunidad zonas de ocio, uso turístico.	Áreas de Preservación Permanente de Playa, Dunas, Borde de Tabuleiros, Manguezal.

501 a 1000 metros	72	Intenso transporte eólico, planicie de deflación eólica, campos de dunas recientes, manglares, acantilados, circulación intensa de cientos de especies de aves, pesca tradicional, áreas de esparcimiento comunitarias, uso turístico, recarga de acuíferos costeros, dunas y Formación Barreiras.	Áreas de Preservación Permanente de Dunas, Borde de Tabuleiros, Manglar.
1001 a 1500 metros	84	Intenso transporte eólico, campos de dunas, manglares, intensa circulación de cientos de especies de aves, actividades tradicionales de pesca, viviendas tradicionales de pescadores, áreas de esparcimiento comunitarias, uso turístico, recarga de acuíferos costeros, dunas y Formación Barreiras.	Áreas de Preservación Permanente de Dunas, Borde de Tabuleiros, Manglar.
1501 a 2000 metros	81	Transporte eólico, campos de dunas, viviendas tradicionales de pescadores, áreas de esparcimiento comunitarias, uso turístico, lagunas intermitentes, recarga de acuíferos costeros, dunas y Formación Barreiras.	Áreas de Preservación Permanente de Dunas.
2001 a 5000 metros	341	Áreas de predominio de la llanura litoral con campos dunares intercalados por el tablero costero.	Áreas de Preservación Permanente de Dunas.
Por encima de 5000 metros	415	La llanura litoral se extiende en algunos lugares como estuarios e importantes campos dunares como las dunas rosadas, pero predomina el tablero costero.	Áreas de Preservación Permanente de Dunas.
TOTAL DE AEROGERADORES		1047	

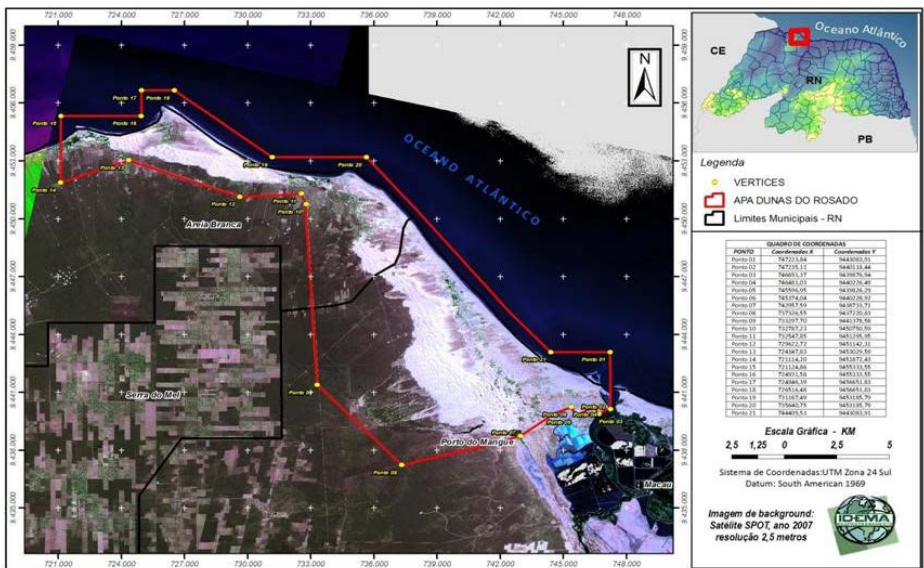
Fuente: Autoría propia.

Se aprecia una cantidad expresiva de aerogeneradores ocupando la planicie costera y, en consecuencia, ambientes altamente dinámicos con una variada tipología de áreas de preservación permanente, según la Resolución CONAMA 303 de 2002 y la Ley Federal 12.651 de 2012 (Código Forestal). Esta ocupación desordenada se ve facilitada por la ausencia de instrumentos básicos de ordenamiento territorial y ambiental, como la Ordenación Económica Ecológica Costera.

Parques eólicos en el Área de Protección Ambiental Dunas do Rosado

El Área de Protección Ambiental Dunas do Rosado (APADR) ubicada en la costa norte de Rio Grande do Norte, a pesar de haber sido creada formalmente en 2018, ya había sido estudiada y definida, incluida la construcción de un ECOPOSTO (Estructura Física de Gestión de la APA) del IDEMA, desde 2008. Con la publicación del Decreto Estadual n.º 27.695 de 2018, la delimitación de la APA fue definitivamente presentada como se muestra en la [Figura 4](#), donde se encuentra el mayor campo de dunas móviles de Rio Grande do Norte, ubicado entre los municipios de Areia Branca y Porto do Mangue.

Figura 4 - Mapa con la delimitación de la APA das Dunas do Rosado, costa septentrional, RN, Nordeste de Brasil



Fuente: Autoría propia.

Con un área de 16.593 ha, ubicada en un entorno con gran potencial para la generación de energía eólica, la APADR fue absorbida por proyectos de centrales eólicas y estructuras asociadas entre 2008 y 2018. Directamente instalados en APADR están los parques eólicos: Carcará I; Cárcara II; Mel II, Mar y Tierra y Areia Branca. Las comunidades pesqueras tradicionales más cercanas a los emprendimientos São Redonda, São Cristóvão y Ponta do Mel ([Figura 5](#)).

En la comunidad de São Cristóvão ubicada en APADR, Cunha, Silva y Carvalho (2019) encontraron que el proceso de implementación del parque eólico involucró a varios actores sociales, con énfasis en el gobierno local que lideró la discusión con

la empresa. En este sentido, se adoptaron mecanismos legales a nivel municipal, con el objetivo de atraer empresas y garantizar la inversión. Una de estas estrategias fue la aprobación de la Ley Municipal Complementaria n.º 1.195/2011, que en su artículo 4 prevé la reducción de la tasa del Impuesto sobre Servicios de Cualquier Naturaleza (ISS) para los prestadores de servicios que participen en Proyectos de Instalación de Parques de Energía Eólica en el Municipio de Areia Branca y hace otras disposiciones. Según ítems, se justifican: I- Desarrollo económico considerable para el municipio, II- Alcance Social, III- Efecto multiplicador de la actividad, IV- Previsión de ingresos anuales por la prestación de servicios sujetos a impuestos en Areia Branca; V- Porcentaje de contratación de mano de obra en el Municipio de Areia Branca no inferior al 30% (AREIA BRANCA, [2011](#)).

Figura 5 - Ubicación de parques eólicos y comunidades tradicionales en la región APADR



Fuente: Autoría propia.

La investigación de Félix ([2018](#)) analizó la relación entre las centrales eólicas y los modos de vida de la comunidad de São Cristóvão, que tiene 663 habitantes (IBGE, [2010](#)). Se aplicaron 70 formularios de encuesta a jefes de familia elegidos al azar en la comunidad. La mayoría de los jefes de familia entrevistados (70%) no fueron informados sobre los impactos (positivos o negativos) causados por el parque eólico, quedando así fuera del proceso de discusión. El uso de lenguaje técnico por parte de los representantes de las empresas en las reuniones con las comunidades dificulta que la población local se involucre con el proyecto (CHAVES; BRANNSTROM; SILVA, [2017](#)). En Rio Grande do Norte, la falta de información durante el período de instalación y la participación de la población local en la toma de decisiones fueron identificadas en varios estudios, entre estos, los realizados en los municipios de João Câmara (HOFSTAETTER, [2016](#)), Macau y Guamaré en la Reserva Estatal de

Desarrollo Sostenible Ponta do Tubarão (RDSEPT) (PONTES, [2017](#)) y Rio do Fogo (NUNES, [2017](#)).

En cuanto a la percepción de impactos ambientales, el 51,43% de los jefes de familia reportaron la ocurrencia. Este valor puede indicar que los impactos ambientales que implica la implementación de parques eólicos en las zonas costeras, incluidas las áreas donde la población hace uso de los recursos naturales locales, es parcialmente percibido por la población, que observó principalmente los impactos que implicaron la remoción de la vegetación nativa para la construcción de carreteras e instalación de aerogeneradores. Silva ([2014](#)), sobre los impactos que provocan los emprendimientos eólicos, afirma que la falta de información sobre los impactos que estos pueden tener en las comunidades hizo que la mayoría de ellas no presente ningún tipo de resistencia. Según Improta ([2008](#)), el bajo nivel de escolaridad de las comunidades aledañas a los emprendimientos eólicos puede contribuir a su aceptación sin mayores críticas.

La ocurrencia de conflictos con relación a la tenencia de la tierra fue reportada por el 82,86% de los jefes de familia. Los conflictos reportados por la comunidad están asociados a los siguientes factores: implementación del emprendimiento eólico; falta de regularización de tierras; y tenencia de la tierra. Inicialmente, la población se posicionó positivamente con relación a la llegada del emprendimiento a la comunidad, pues había expectativa con la generación de empleo, ingresos y la intensificación del turismo (GÊ, [2010](#)).

Sin embargo, según Silva ([2018](#)) la instalación del emprendimiento eólico en la comunidad generó interés en la propiedad de la tierra por parte de agentes internos y externos. Entre las externas, una empresa, que opera en el área de la educación superior y tiene intereses en el área de hoteles, empresas en el ramo de generación de energía (fotovoltaica) e inmobiliarias en la región. Los conflictos entre los residentes y la empresa se reportaron principalmente por la tenencia de la tierra, ya que, en ausencia de títulos de propiedad, los conflictos resultaron en la destrucción de cercas, embarcaciones y amenazas a los residentes.

El interés por la tierra en la comunidad había sido identificado por Aurélio, Vale Neto y Pinto Filho ([2011](#)), quienes, con base en una encuesta con la población local, identificaron que el 90% de la población mostraba una demanda expresiva por la tierra, con un 54% de la población ya habría vendido terrenos en la comunidad y que el 5% de estos fueron vendidos a compradores de origen extranjero, destacando que durante el periodo de investigación la comunidad tenía el 76% de la población formada por nativos.

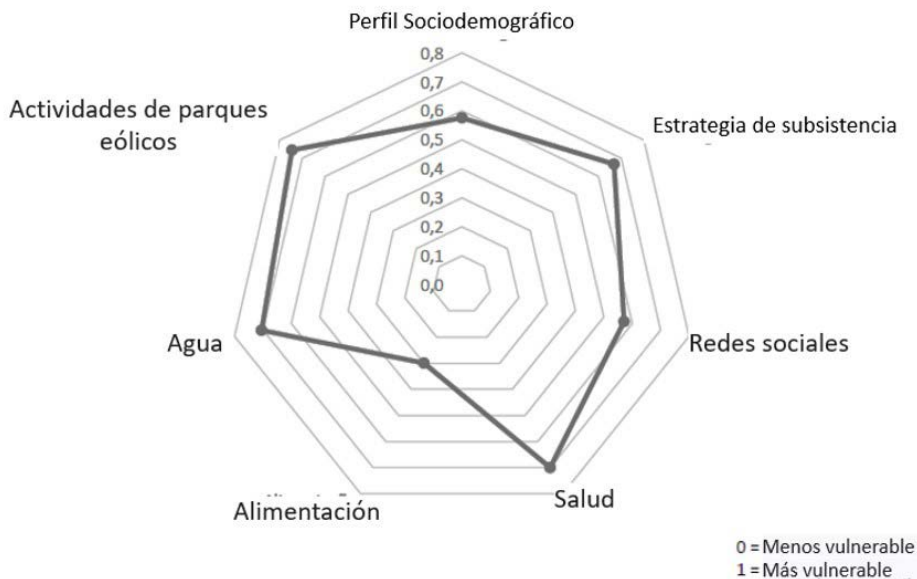
Según Viana, Nascimento y Meireles ([2016](#), p. 68-69) “la apropiación de espacios y bienes naturales, con fines de desarrollo basados en una visión económica de acumulación financiera, afectan a las poblaciones y pueblos en sus derechos territoriales, provocando la expropiación en estas comunidades.”

La mayoría de los encuestados, el 52,86%, no está a favor de instalar nuevos parques eólicos en la localidad. Previo a la instalación del emprendimiento, Gê (2010) identificó que la comunidad de São Cristóvão era favorable y defendía la energía eólica con una perspectiva de beneficios directos e inmediatos para la comunidad, sin embargo, identificó que la vulnerabilidad y falta de información en las comunidades aledañas a los emprendimientos facilita la apropiación del espacio sin mayores beneficios para la población local.

El Livelihood Vulnerability Index – LVI, desarrollado por Hahn, Riederer y Foster (2009), fue adaptado para la elaboración del Índice de Vulnerabilidad a los Impactos Sociales y Ambientales de los Parques Eólicos (IVISPE) en la comunidad de São Cristóvão. El LVI utiliza múltiples indicadores para evaluar la exposición de las comunidades a los desastres naturales y la variabilidad climática. Tiene siete componentes principales: perfil sociodemográfico, estrategias de subsistencia, redes sociales, salud, alimentación, agua y desastres naturales o cambio climático. Estos componentes se componen de varios subcomponentes. En la elaboración del IVISPE fue necesario adecuar los principales componentes y subcomponentes para el cálculo del índice, excluyendo el componente, desastres naturales o cambio climático y sus respectivos subcomponentes. Posteriormente, se agregó el indicador de emprendimientos eólicos (Actividad de Parque Eólico) y se elaboraron los subindicadores a partir de una revisión bibliográfica sobre los impactos socioambientales causados por los parques eólicos. Después de aplicar los cuestionarios, cuantificar los datos y aplicar la fórmula, la investigación llegó al resultado expresado en la [Figura 6](#). Se evidencia que la comunidad de São Cristóvão presenta mayor vulnerabilidad en los indicadores de acceso al agua, salud y actividad de parques eólicos y una moderada vulnerabilidad a la soberanía alimentaria. Ya, a través de la unión de los indicadores, el Índice de Vulnerabilidad a los Impactos Sociales y Ambientales de los Parques Eólicos presentó el valor de 0,6159, que se considera ALTO según la clasificación Major (2014).

Otra comunidad existente en la APADR es Ponta do Mel, que también tiene características de una comunidad pesquera tradicional. Ferreira (2019) realizó una investigación en Ponta do Mel similar a la realizada por Felix (2018) en la comunidad de São Cristóvão. Se encontraron diferentes realidades entre las dos comunidades que, a pesar de ser vecinas, se percibe un mayor impacto del parque eólico en la comunidad de São Cristóvão, ya que presentó varios conflictos con relación a la posesión de los terrenos donde se implantaron los parques, debido a la falta de regularización de la tenencia de la tierra. Esto es muy diferente a Ponta do Mel, donde los parques se instalaron más lejos de la comunidad y el terreno ya era de propiedad privada, siendo la negociación directamente con el propietario.

Figura 6 - Valores de los Indicadores relacionados con IVISPE en la Comunidad de São Cristóvão



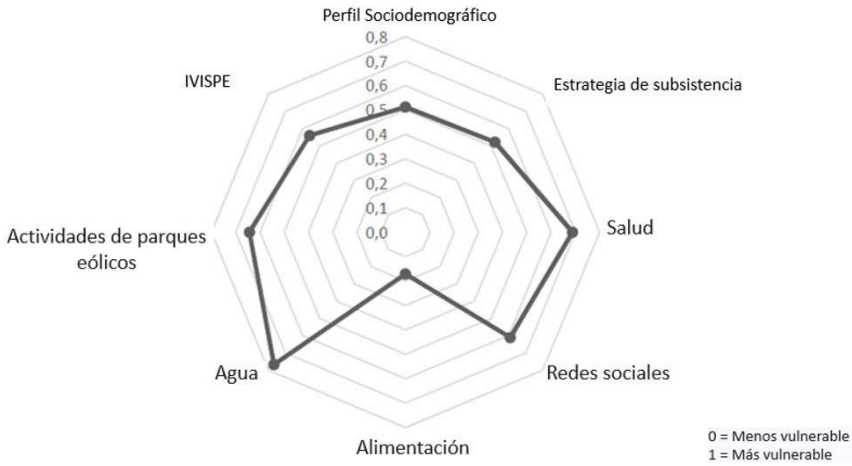
Fuente: Autoría propia.

En cuanto a la instalación de nuevos parques, la comunidad de Ponta do Mel se posicionó favorablemente con el 85,71% de aprobación. Por lo tanto, las agencias de licencias públicas y ambientales deben analizar cuidadosamente las áreas donde se ubican los parques eólicos para que no se multipliquen ejemplos como el de la comunidad de São Cristóvão.

En cuanto a la aplicación del Índice de Vulnerabilidad a los Impactos Sociales y Ambientales de los Parques Eólicos (IVISPE) en la comunidad de Ponta do Mel, se obtuvieron resultados parciales relacionados con los 7 indicadores como se muestra en la [Figura 7](#). Se observa en el diagrama una mayor vulnerabilidad en relación con la energía eólica, el acceso al agua y la salud y una menor vulnerabilidad en relación con la soberanía alimentaria, tal como sucedió en São Cristóvão.

Como resultado integrado, se obtuvo un IVISPE de 0,5592, considerado de vulnerabilidad media. Por lo tanto, Ponta do Mel presentó, en general, una vulnerabilidad ligeramente menor a las actividades de parques eólicos que São Cristóvão.

Figura 7 - Diagrama que muestra los valores de los Indicadores relacionados con IVISPE en la Comunidad de Ponta do Mel



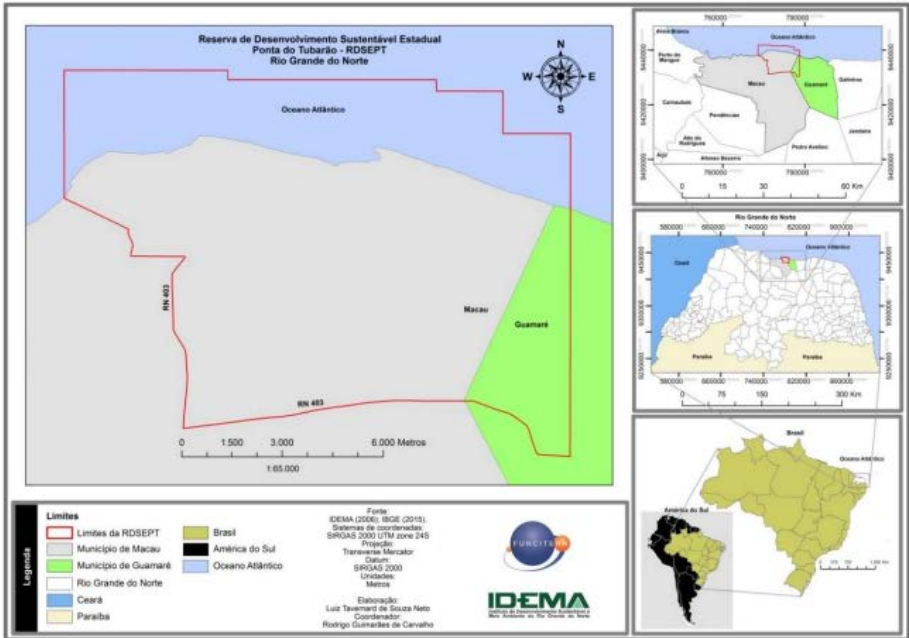
Fuente: Autoría propia.

Así, parece que aun estando dentro de una unidad de conservación, muchas veces en áreas de preservación permanente, los parques eólicos generan impactos ambientales, lo que se va aclarando con la investigación es la precariedad del proceso de diálogo con las comunidades afectadas, muchas veces resultando en una compensación ambiental que no es compatible con el daño socioambiental causado.

Parques eólicos en la Reserva Estatal de Desarrollo Sostenible Ponta do Tubarão

La Reserva Estatal de Desarrollo Sostenible Ponta do Tubarão (RDSEPT) está ubicada en el área de dos municipios ubicados en la costa norte de Potiguar, Macaó y Guamaré (Figura 8). Unidad de Conservación (UC) creada por Ley Estatal 8.349 del 18 de julio de 2003, la reserva cuenta con aproximadamente 12.940 hectáreas, distribuidas en 13 comunidades que suman aproximadamente 10.000 habitantes. La reserva cuenta con un Consejo de Gestión deliberativo compuesto por el Instituto de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de Rio Grande do Norte (IDEMA) como Órgano de Gestión del Consejo de Gestión y otras instituciones de la sociedad civil. El RDSEPT está ubicado entre los biomas caatinga y marino y presenta unidades geocológicas como una playa, planicie de marea con manglares, dunas, meseta costera con bosque de caatinga y ambiente marino. Estas unidades están habitadas por poblaciones que utilizan actividades pesqueras tradicionales (BRASIL, 2003, GÊ; GUIMARÃES; SILVA, 2019; MATTOS *et al.*, 2012; RIO GRANDE DO NORTE 2018).

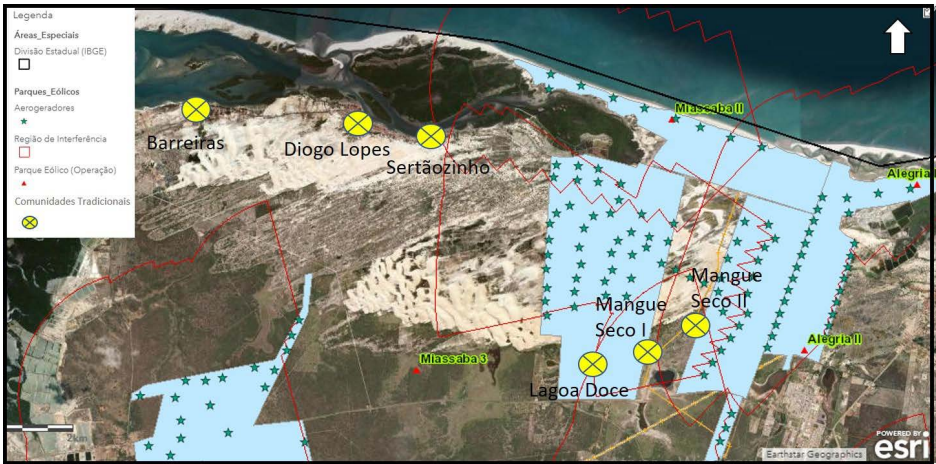
Figura 8 - Ubicación de RDSEPT



Fuente: Rio Grande do Norte (2018).

La RDSEPT, según el Atlas del Potencial Eólico de RN, está ubicada en un área de aprovechamiento eólico (AMARANTE, [2003](#)), con esto ya se puede realizar la instalación de 3 (tres) parques eólicos ([Figura 9](#)) dentro de la reserva: Miassaba II (9 aerogeneradores por un total de 14,4 MW, instalados en un área de arenal, entrada en operación en diciembre/2011); Miassaba III (41 aerogeneradores por un total de 68,47 MW, instalados en un área de tablero, con inicio de operación en febrero/2014) y Alegria II (61 aerogeneradores por un total de 100,65 MW, instalados en dunas, con inicio de operación en diciembre/2012), además a 1 (un) parque eólico en su entorno: Mangue Seco V (BRASIL, [2018](#)).

Figura 9 - Ubicación de parques eólicos y comunidades tradicionales en la región RDSEPT



Fuente: Autoría propia.

En un estudio realizado por Gê (2018), donde se analizaron actas de reuniones de la Junta Directiva de la RDSEPT entre 2008 y 2011, además de investigaciones sobre impactos ambientales y sociales de la implementación y operación de parques eólicos en la reserva, se encontró que la deliberación del proceso para la instalación y operación de parques eólicos en el área de la RDSEPT se desarrolló de manera desordenada y sin observar las consideraciones presentadas a la Junta Administradora de la Reserva, en este sentido, se señalaron aspectos que, durante la instalación y operación de emprendimientos eólicos, podrían generar impactos ambientales y sociales en los ecosistemas. Por tanto, el órgano gestor (IDEMA) no tuvo en cuenta las opiniones, estudios y documentos presentados al pleno del Consejo Gestor sobre la instalación y explotación de parques eólicos en el ámbito del RDSEPT.

En este contexto, surgieron conflictos entre las comunidades de la reserva, ya que algunas apoyaban la implementación de parques eólicos, mientras que otras las rechazaban. El estudio de Gê (2018) mostró que 3 comunidades recibieron beneficios económicos directos, mientras que otras comunidades sufrieron interferencias en el acceso a la playa utilizado por los pescadores tradicionales; privatización de los accesos a las comunidades, además de las tradicionales zonas de ocio que se privatizaron con la implantación de emprendimientos eólicos.

En cuanto a los impactos ambientales, durante la instalación y operación de los parques eólicos se observaron los siguientes: Soterramiento de lagunas, movimiento de tierras de dunas, deforestación de vegetación nativa. Cabe señalar que uno de los parques eólicos (Miassaba II) está ubicado en una zona de restinga que presenta una intensa dinámica sedimentaria de influencia marina que en poco tiempo puede

presentar procesos de erosión o acumulación de sedimentos, además de ser una zona con intensa actividad de nidificación de las tortugas marinas. Otro parque (Alegría II) fue instalado en áreas de dunas que, de acuerdo con la Resolución del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) n° 303/2002, son consideradas Áreas de Preservación Permanente (BRASIL, [2002](#)). Además, el entorno de dunas brinda servicios ambientales esenciales a las comunidades RDSEPT y ecosistemas asociados al proporcionar agua dulce que satisface las necesidades sociales y regula los procesos ecológicos de los manglares (GÊ, [2018](#)).

En un estudio sobre la implementación de parques eólicos en la costa de Ceará realizado por Meireles ([2011](#)), ya se verificaron registros de impactos que también fueron presentados en el RDSEPT, por ejemplo: movimientos de tierra, rellenos y cortes en las dunas, apertura de caminos de acceso para cada uno de los aerogeneradores, deforestación de dunas fijas, movimiento de grandes volúmenes de arena mediante tractores de orugas y palas mecánicas y soterramiento de lagunas interdunares.

Estudios en la costa de Ceará reportan que las comunidades tradicionales fueron invisibilizadas en el proceso de planificación, instalación y operación de centrales eólicas (GORAYEB *et al.*, [2018](#)). En el RDSEPT, las comunidades no fueron invisibilizadas como en Ceará, el asunto fue discutido en el ámbito del Consejo de Gestión, sin embargo, no hubo consenso en cuanto a la aprobación de la instalación y operación de los parques en la zona. Aun así, los parques eólicos se instalaron en el RDSEPT, es decir, se desconoció la Junta Directiva, aún con carácter deliberativo y no habiendo aprobado la instalación y operación de los parques eólicos, fue ignorado.

Compensación ambiental y Unidades de conservación en RN

Cuando los impactos ambientales significativos generados por los emprendimientos sean comprobados en estudios ambientales, estos deberán ser compensados en el proceso de licenciamiento ambiental. La compensación ambiental surge como un instrumento jurídico, en el cual el empresario debe, por obligación, destinar recursos al momento de otorgar la licencia para apoyar la implementación o mantenimiento de unidades de conservación, según lo previsto en el artículo 36 de la Ley n.º de Unidades de Conservación (SNUC).

La mayoría de los parques eólicos del estado y las unidades estatales de conservación están ubicadas en la costa septentrional de RN: el Área de Protección Ambiental Dunas do Rosado en Areia Branca y Porto do Mangue y la Reserva Estatal de Desarrollo Sostenible Ponta do Tubarão - RDSEPT, en Macao y Guamaré.

La legislación Estatal menciona tanto la compensación ambiental del SNUC como las medidas compensatorias, entendidas como un cargo extra y una obligación que debe ser aplicada en las comunidades afectadas por emprendimientos impactantes, de acuerdo con la Ley Estatal Complementaria n.º 336 de 2006.

Luego de aclarar la aplicación de los recursos focalizados, los líderes comunitarios del RDSEPT manifestaron que la aplicación de medidas compensatorias o cualquier recurso compensatorio es algo negativo y sin sentido. Para ellos, dichos recursos solo sirven para tratar de paliar una serie de situaciones e impactos negativos que surgieron tras la instalación de parques eólicos en la RDSEPT.

En APADR, Ferreira (2019) encontró que el 70% de los jefes de familia entrevistados en la comunidad de Ponta do Mel dijo que no hubo compensaciones económicas, educativas y de salud con la instalación del parque en la comunidad y el 12,85% no sabía cómo responder cuando se le pregunta. Solo el 17,14% reconoció alguna compensación citando aspectos específicos como la entrega de kits escolares, una oficina móvil para atención odontológica y la donación de computadoras. En São Cristóvão, la encuesta de Felix (2018) encontró que el 87,14% de los encuestados afirmó que la comunidad no recibió compensación.

En Galinhos, RN, la Municipalidad estuvo de acuerdo y afirmó tener conocimiento de las medidas compensatorias aplicadas, como el mantenimiento de una fuente comunitaria para disfrute de los residentes, con ciertos días de funcionamiento en la semana y una cantidad de agua controlada (medida en litros) por cada domicilio registrado (Figura 10). Y para consolidar la aplicación de las medidas, se sugirió por parte de la alcaldía y vecinos la creación de un relleno sanitario para la correcta destinación de los residuos sólidos en el municipio, ya que hoy se realiza de manera inadecuada en botaderos improvisados, ubicados en ambientes frágiles y sin ningún tipo de preparación o cuidado del medio ambiente. El vertedero aún no está construido, pero el proyecto aún existe y está en fase de planeamiento, según el entrevistado de la alcaldía de Galinhos.

En un estudio realizado por Dantas *et al.* (2019), en Galinhos-RN, se verificó que la narrativa que apoya la expansión de los parques eólicos utiliza el argumento de promover el desarrollo sustentable, sin embargo, se observó fragilidad, porque existe el temor de que la instalación de parques eólicos pueda causar daños ambientales, culturales y socioeconómicos, en este caso en las comunidades tradicionales. Además, identificó la necesidad de una planificación de la producción de energía más inclusiva, donde las fuentes de energía renovable puedan promover mayores ingresos y empleos locales (DANTAS *et al.*, 2019).

Figura 10 - Fuente pública de Galinhos que fue renovada como medida compensatoria de un parque eólico



Fotografía: Rodrigo Guimarães de Carvalho (abril, 2019).

Persson (2013) afirma que, para algunos, la compensación ambiental contribuye a la explotación de la naturaleza y, a pesar de ser un instrumento destinado a la planificación de Unidades de Conservación en Brasil, muchos la asocian con el uso o explotación de la naturaleza, lo que viola principios éticos al intentar valorar el medio ambiente y los recursos naturales. Esta explotación o apropiación privada de la naturaleza puede ser erróneamente justificada por razones ambientales o ecológicas, como es el caso de los emprendimientos eólicos, que son una forma alternativa de producción de energía, pero aún generan impactos en ambientes frágiles.

Para evitar la “imposición” de los emprendimientos, las comunidades cercanas deben estar políticamente organizadas internamente, conocer sus principales actividades económicas y culturales, dificultades y problemas, interesarse en participar, colaborar y asistir a reuniones que anteceden las decisiones acordadas con el organismo ambiental responsable, además de organizar movimientos de protesta, actuando directamente en la fiscalización del cumplimiento de las condiciones ambientales dentro de la comunidad y no aceptando ninguna propuesta compensatoria impuesta por el empresario.

Para ello, es necesario atender y cumplir la vasta legislación pertinente y contar con profesionales y técnicos preparados y capaces en sus atribuciones de elaborar estudios ambientales completos y detallados, inspeccionando cada paso del proceso y actuando en acciones comunitarias de educación ambiental. Dichos profesionales incluyen, por ejemplo, administradores ambientales, geógrafos, ingenieros, biólogos y sociólogos, sin mencionar el papel esencial de las universidades.

Consideraciones finales

Los resultados parciales presentados demuestran los impactos socioambientales de los parques eólicos en áreas protegidas en la costa septentrional de Rio Grande do Norte. Existe, por tanto, un evidente conflicto de intereses, ya que las áreas protegidas (APP y UC) cumplen una importante función socioambiental para los ecosistemas y la sociedad y, ante la construcción de parques eólicos, se han comprometido los servicios ambientales que brindan. Aun siendo de impacto relativamente bajo, los proyectos de energía eólica deben contar con una planificación o cumplimiento de instrumentos de ordenamiento territorial como la zonificación ecológica económica, de manera que se minimicen los impactos socioambientales, y evitar, la instalación de emprendimientos dentro de unidades de conservación o solo permitir si existe una previsión en el plan de ordenamiento y zonificación de las UC. Otro punto importante es que los impactos acumulativos deben ser evaluados, ya que la expansión de los parques eólicos está en marcha en Rio Grande do Norte y la nueva frontera de exploración son los parques *offshore* (ver [Capítulo 16](#)), por lo tanto, quedan las siguientes preguntas: ¿cuál es la dimensión de los impactos socioambientales de los parques eólicos en la costa norte de Rio Grande do Norte? ¿Cuál es el límite para instalar nuevos parques? ¿Cómo se dañarán los sistemas costeros?

Agradecimientos

Agradecemos a la Fundación Ceará de Apoyo al Desarrollo Científico y Tecnológico (FUNCAP), al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) y al Programa de Apoyo a los Núcleos Emergentes (PRONEM) por financiar el proyecto “Análisis socioambiental de la implementación de energía eólica haciendas en el Nordeste: perspectivas para la sustentabilidad de la generación de energía renovable en Brasil (EDITAL PRONEM/CNPq/FUNCAP y Alianza con UFC/ UFCA/ UERN/ TEXAS A&M UNIVERSITY).

Referencias

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Capacidade de Geração do Rio Grande do Norte**. 2018. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/GeracaoTipoFase.asp>. Acesso em: 22 jan. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Boletim anual de geração eólica 2016**. São Paulo: Pigma Gráfica e Editora, 2016. Disponível em: http://www.abeolica.org.br/wp-content/uploads/2017/05/424_Boletim_Anual_de_Geracao_Eolica_2016_Alta.pdf. Acesso em: 18 mai. 2017.
- AMARANTE, O. A. C.; SILVA, F. J. L.; RIOS FILHO, L. G. **Atlas do potencial eólico do Estado do Rio Grande do Norte**. Natal: Companhia Energética do Rio Grande do Norte - COSERN, 2003.

- AREIA BRANCA (RN). **Lei Municipal Complementar nº 1.195/2011**. Dispõe sobre a redução da alíquota do Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISS) para as empresas prestadoras de serviços participantes de Projetos de Instalação de Parques de Energia Eólica no Município de Areia Branca e dá outras providências. Areia Branca, RN: Câmara Municipal, 2011. Disponível em: <https://coragempravaler.files.wordpress.com/2018/09/lei-municipal-complementar-1-195-2011-reduc3a7c3a3o-das-alc3adquotas-do-imposto-sobre-servic3a7ois-de-qualquer-natureza-iss-para-as-empresas-de-energia-ec3b3lica.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2017.
- AURÉLIO, M. H. S.; VALE NETO, R. N.; PINTO FILHO, J. L. O. Impactos socioambientais na praia de São Cristovão, Areia Branca – RN = Brasil. **Revista Verde**, v. 6, n. 1, p. 256-269, 2011.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 279, de 27 de junho de 2001. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 138, n. 125-E, p. 165-166, 29 jun. 2001.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 90, p. 68, 13 mai. 2002.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 149, n. 102, p. 1-8, 28 mai. 2012.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, SNUC. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 138, n. 138-E, p. 1, 19 jul. 2000.
- CARVALHO, R. G. (coord.). **Plano de Manejo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão**. Natal: Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, 2018.
- CHAVES, L. O.; BRANNSTROM, C.; SILVA, E. V. Energia eólica e a criação de conflitos: ocupação dos espaços de lazer em uma comunidade no nordeste do Brasil. **Revista Sociedade e Território**, Natal, v. 29, n. 2, p. 49-69, 2017.
- COSTA NETA, M. Z. R. **Análise socioambiental da implantação de parques eólicos no Nordeste**: perspectivas para a sustentabilidade da geração de energia renovável no Brasil. 2018. Iniciação Científica - Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- CUNHA, O.; SILVA, M. R. F.; CARVALHO, R. G. The new winds: territorial (re) production from the introduction of wind farms in Rio Grande do Norte. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 21944-21957, 2019.
- CUNHA, O. **Novos ventos**: a (re) produção territorial a partir da introdução de parques Eólicos no Rio Grande do Norte. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
- DANTAS, E. J. A.; ROSA, L. P.; SILVA, N. F.; PEREIRA, M. G. Wind Power on the Brazilian Northeast Coast, from the Whiff of Hope to Turbulent Convergence: The Case of the Galinhos Wind Farms. **Sustainability**, v. 11, n. 14, p. 3802, 2019.

- FELIX, S. F. Índice de vulnerabilidade, percepção e impactos socioambientais de parque eólico na comunidade de São Cristóvão, Areia Branca – RN. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2018.
- FERREIRA, F. S. M. Índice de vulnerabilidade socioambiental dos impactos dos parques eólicos em Ponta do Mel, Areia Branca - RN. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2019.
- FRATE, C. A.; BRANNSTROM, C.; GIRÃO DE MORAIS, M. V.; CALDEIRA-PIRES, A. Procedural and distributive justice inform subjectivity regarding wind power: A case from Rio Grande do Norte, Brazil. **Energy Policy**, v. 132, p. 185-195, 2019.
- GÊ, D. R. F. **Unidades de conservação e expansão de usinas eólicas no Rio Grande do Norte: o caso da reserva de desenvolvimento sustentável estadual ponta do tubarão.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2018.
- GÊ, D. R. F.; CARVALHO, R. G.; SILVA, M. R. F. Unidades de conservação e energia eólica no Rio Grande do Norte: o caso da reserva de desenvolvimento sustentável estadual ponta do tubarão. *In: GORAYEB, A. et al. (org.). Impactos socioambientais da implantação dos parques de energia eólica no Brasil.* Fortaleza: Edições UFC, 2019. p. 251-262.
- GÊ, D. R. F. **Contribuição aos Estudos Ambientais Prévios à Implantação de Usinas Eólicas no Litoral de Areia Branca - RN: População Local e Impactos Socioambientais.** 2010. Monografia (Graduação em Gestão Ambiental) – Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2010.
- GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. A.; MENDES, J. S. Wind power gone bad: Critiquing wind power planning processes in northeastern Brazil. **Energy Research & Social Science**, v. 40, p. 82-88, 2018.
- HAHN, M. B.; RIEDERER, A. M.; FOSTER, S. O. The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change—A case study in Mozambique. **Global Environmental Change**, v. 19, n. 1, p. 74-88, 2009.
- HOFSTAETTER, M. **Energia eólica: entre ventos, impactos e vulnerabilidades socioambientais no Rio Grande do Norte.** 2016. Dissertação (Mestrado em Estudos Urbanos e Regionais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010: sinopse por setores.** Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>. Acesso em: 17 jul. 2018.
- IMPROTA, R. L. **Implicações socioambientais da construção de um parque eólico no município de Rio de Fogo-RN.** 2008. Dissertação (Mestrado em Psicologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- LOPES, R. A. **Energia Eólica.** 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2012.
- MAIOR, M. M. S. **Vulnerabilidade socioambiental e expansão urbana: uma proposta metodológica para análise da cidade de João Pessoa-PB.** 2014. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.
- MATTOS, P. P.; KONIG, A.; FREIRE, F. A. M.; ALOUFA, M. A. I. Etnoconhecimento e percepção dos povos pesqueiros da Reserva Ponta do Tubarão acerca do ecossistema manguezal. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.481-489, 2012.

- MEIRELES, A. J. A. Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais. **Revista franco-brasileira de geografia**, n. 11, 2011. Disponível em: <<https://confins.revues.org/6970?lang=fr#bodyftn2>>. Acesso em: 04 out. 2016.
- NASCIMENTO, L. **Análise das transformações socioambientais a partir da instalação de usinas eólicas na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão, Rio Grande do Norte**. 2016. Iniciação Científica (Graduando em Gestão Ambiental) - Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- NUNES, A. C. P. **Proposta de indicadores para avaliação de impacto ambiental de parques eólicos na percepção dos habitantes: o caso do assentamento Zumbi/Rio do Fogo- RN**. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- PERSSON, J. Perceptions of environmental compensation in different scientific fields. **International Journal of Environmental Studies**, v. 70, n. 4, p. 611-628, 2013.
- PINTO, M. F.; NASCIMENTO, J. L. J.; BRINGEL, P. C. F.; MEIRELES, A. J. A. Quando os conflitos socioambientais caracterizam um território? **Gaia Scientia**, v. 8, n. 2, p. 272-288, 2014.
- PONTES, O. M. **Consequências socioeconômicas e ambiental dos parques eólicos para comunidades da reserva de desenvolvimento sustentável estadual ponta do tubarão**. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- PORTO, M. F. S.; FINAMORE, R.; FERREIRA, H. Injustiças da sustentabilidade: Conflitos ambientais relacionados à produção de energia “limpa” no Brasil. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v. 100, p. 37-64, 2013. Disponível em: <http://rccs.revues.org/5217>. Acesso em: 12 nov. 2016.
- RIO GRANDE DO NORTE. **Lei Complementar nº 336, de 12 de dezembro de 2006**. Altera a Lei Complementar Estadual nº 272, de 03 de março de 2004 e dá outras providências. Natal: Assembleia Legislativa, 2006. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC00000000004018.PDF>. Acesso em: 17 jul. 2018.
- RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 8.349, de 17 de julho de 2003**. Cria a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão, na região de Diogo Lopes e Barreiras nos Municípios de Macau e Guamaré no Rio Grande do Norte e dá outras providências. Natal: Assembleia Legislativa, 2003. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000043673.PDF>. Acesso em: 17 jul. 2018.
- SILVA, D. R. F. **Ventos de Discórdia: território, energia eólica e conflitos socioambientais na zona costeira do Ceará**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- SILVA, I. H. M. **Moinhos de vento: a energia eólica na comunidade de São Cristóvão, município de Areia Branca (RN)**. 2018. Monografia (Graduação em Gestão Ambiental) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, RN, 2018.
- VIANA, L. A.; NASCIMENTO, J. L. J.; MEIRELES, A. J. A. Complexos eólicos e injustiças ambientais: mapeamento participativo e visibilização dos conflitos provocados pela implantação de parques eólicos no Ceará. **Revista Geografar**, Curitiba, v.11, n.1, p.64-83, 2016.

ANÁLISIS DE LOS MARCOS INSTITUCIONALES PARA LA EXPLOTACIÓN DE LITIO EN SUDAMÉRICA

Martín A. Iribarnegaray¹

Elizabeth Jiménez²

Ingrid Garcés³

Mauricio Lorca⁴

Melisa L. Escosteguy¹

Walter F. Díaz Paz¹

Araceli Clavijo¹

Resumen

El litio se ha convertido en un elemento clave para la producción de baterías, utilizadas para el almacenamiento de energía proveniente de fuentes renovables y para vehículos eléctricos cuya demanda está en auge a nivel mundial. Argentina y Chile están entre los principales productores mundiales de litio a partir de salmueras y Bolivia posee los mayores recursos de litio del mundo que aún no se han explotado comercialmente. Actualmente, la extracción de litio en Sudamérica se lleva a cabo bajo diferentes marcos institucionales, con actores clave (gobiernos, sector privado, ciencia y técnica y comunidades) desempeñando diferentes roles y en contextos socio-políticos significativamente diferentes. Estos contextos van desde el neoliberalismo orientado al mercado (Chile) hasta el enfoque estatista (Bolivia). En este trabajo se identifican y analizan los marcos institucionales bajo los cuales se está llevando a cabo la extracción de litio en los tres países, centrandó el análisis en el papel que juegan los diferentes actores en los

1 Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa), Salta, Argentina. iribarnegarayma@gmail.com

2 Universidad de San Andrés, La Paz, Bolivia.

3 Universidad de Antofagasta, Antofagasta, Chile.

4 Instituto de Investigaciones en Ciencias Sociales y Educación, Universidad de Atacama, Chile.

diversos contextos institucionales. Posteriormente se propone un análisis comparativo para determinar las similitudes y diferencias entre ellos e identificar su incidencia en aspectos de la gobernanza del litio y sus posibles impactos socio-productivos. Finalmente, se discute la importancia de indagar y modificar los marcos normativos vigentes para avanzar hacia una transición energética justa, basada en los principios de la justicia social y ambiental.

Palabras Clave: Litio. Marcos institucionales. Transición energética. Gobernanza. Sudamérica.

Introducción

En los últimos años, el mundo inició una transición global que intenta dejar atrás la dependencia económica de los combustibles fósiles y conducir a economías verdes basadas en fuentes de energía renovables o carbono cero (BONSU, 2020). Por su potencial de almacenamiento de energía, el litio se presenta como un elemento clave para esta etapa (ALI *et al.*, 2019). Siempre que se establece una actividad extractiva, existen cambios en los marcos institucionales que rigen la gobernanza del recurso, es decir, las reglas (normativas) y procesos de toma de decisión que configuran los derechos a la propiedad, acceso y uso de la tierra y de los recursos naturales. En Sudamérica, por ejemplo, se puede decir que un “marco institucional extractivo” se fue constituyendo progresivamente en diferentes etapas (desde la colonización española hasta los Estados neoliberales), habilitando al Estado y al capital privado para expandir su influencia. Las actividades extractivas han colaborado a la acumulación de capital en el “centro” o “Norte Global” a través del despojo de la “periferia” (HARVEY, 2003). En Sudamérica, la extracción de litio es uno de los ejemplos más recientes de esta tendencia histórica, habiéndose iniciado hace unos 35 años en el Salar de Atacama (Chile), pero con un impulso global más fuerte en la última década.

Actualmente, la extracción de litio en Sudamérica se lleva a cabo bajo diferentes marcos institucionales, con actores clave desempeñando diferentes roles de acuerdo a las posiciones que ocupan dentro de la red de producción y en contextos político-económicos significativamente diferentes. Estos contextos van desde orientaciones al mercado (ARGENTINA; CHILE) hasta procesos liderados por el Estado (Bolivia) (OBAYA; PASCUINI, 2020). En este trabajo se identifican y analizan las estructuras institucionales bajo las cuales se está llevando a cabo la extracción de litio en Sudamérica, el impacto de las leyes, códigos y regulaciones formales y las prácticas informales (de facto) que juntas determinan la propiedad, el acceso y el uso de los recursos (litio, tierra y agua), así como los regímenes de distribución de la renta, influenciados por la presencia de mercados y actores internacionales. Se analiza también la estructura institucional (las reglas del juego), cómo estas instituciones interactúan con los diferentes actores involucrados y cómo tales reglas e interacciones

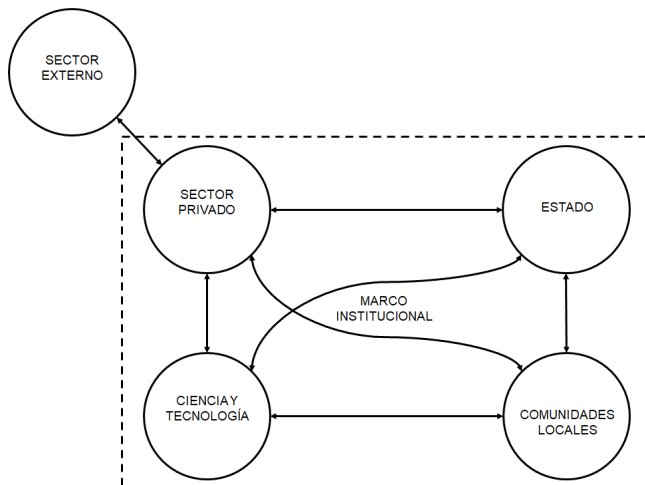
han cambiado a lo largo del tiempo. El análisis incluirá una comparación entre Argentina, Bolivia y Chile con el fin de identificar similitudes, diferencias y explorar posibles implicaciones para las comunidades locales.

Marco conceptual de análisis

Los marcos institucionales y normativos reflejan “las reglas de juego” en cada uno de los países. El marco institucional del litio en los países sudamericanos está conformado por el conjunto de reglas que determinan los derechos de propiedad, acceso y uso de este recurso y que regulan también los regímenes de distribución, es decir la forma en que se distribuirán las rentas generadas por la explotación entre los diferentes actores. Este marco institucional, junto con los diferentes actores y las relaciones que se establecen entre ellos se refleja en lo que se caracteriza como la gobernanza en el manejo de este recurso. En este trabajo utilizamos un marco conceptual que incluye cinco dimensiones de análisis para el estudio de los arreglos institucionales, incluyendo las interacciones entre las mismas, configurando su evolución en el tiempo ([Figura 1](#)). La selección de las dimensiones analíticas se realizó en base a algunos trabajos previos aplicados específicamente al análisis de la gobernanza del litio (FORNILLO, 2018; SÁBATO; BOTANA, 1968).

Las cinco dimensiones de análisis adoptadas son las siguientes: en el sector corporativo se incluyen dos tipos de actores o dimensiones: (1) el Sector Externo, representado por capitales de inversión y empresas mineras transnacionales que mediante sus casas matrices han interactuado históricamente con los gobiernos. En esta dimensión de análisis pueden ser incluidos también organismos internacionales con influencia en el comercio internacional (como el Banco Mundial), (2) Sector Privado Local, conformado por las sedes locales de las casas matrices de las empresas transnacionales, así como otras instancias privadas de inversión y prestación de servicios mineros conformadas por capitales locales ligados a la explotación de litio. Las siguientes dimensiones de análisis son, (3) el Estado, actor central en la estructuración y modificación de “las reglas del juego”, representado tanto por los gobiernos centrales nacionales como por las escales regionales o provinciales, y los municipios o gobiernos locales respectivos según cada país. (4) la Ciencia y Tecnología, representada por universidades, centros tecnológicos e institutos de investigación diversos que conforman el aparato técnico-científico con actual o potencial influencia en el desarrollo de tecnologías para la explotación y / o transformación del litio. (5) las Comunidades locales y Organizaciones de la sociedad civil, compuestas por distintos actores de la sociedad afectados directa o indirectamente por la explotación de litio. Esta dimensión puede incluir a comités cívicos, organizaciones campesinas, comunidades originarias con derechos y/o reclamos sobre los territorios de los salares, entre otros actores.

Figura 1 - Modelo conceptual para describir el marco institucional de los países del ABC



Fuente: Autoría propia.

Descripción de las dimensiones de análisis

Sector privado y externo

Estas dos dimensiones de análisis están íntimamente relacionadas y representan en parte facetas locales y externas de los capitales de inversión e intereses transnacionales de la cadena de producción de litio. Incluye también pequeñas y medianas empresas, extranjeras o domésticas, que brindan bienes y servicios a las empresas extractivas. En la actualidad, el sector minero en Argentina está caracterizado por la participación casi exclusiva de actores privados, especialmente empresas internacionales, con una presencia importante de capitales provenientes de Australia, Canadá, Estados Unidos y China (FES, 2019). La empresa FMC (hoy Livent Corporation), a través de su subsidiaria argentina Minera del Altiplano S.A. fue la primera en radicarse en el Salar del Hombre Muerto a finales de los años 90. Desde ese momento se han aprobado proyectos y otorgado concesiones a multiplicidad de empresas en la mayoría de los salares situados en la región de la Puna Argentina. Actualmente existen dos proyectos en etapa de producción: Fenix, de Livent Corp. en el Salar del Hombre Muerto, operando desde 1997 (MINEM, 2017), y Salar de Olaroz, ubicado en el Salar de Olaroz y operado por Sales de Jujuy S.A., un joint venture entre la australiana Orocobre Limited, Toyota Tsusho Corporation y Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE), esta última una empresa estatal de la provincia de Jujuy. Además

de estas empresas ya en producción, se encuentran en distintas etapas de desarrollo más de 50 proyectos nuevos y existen otros tantos, que potencialmente entrarán en etapas de producción en los próximos años (USGS, [2017](#)). La empresa JEMSE, si bien participa de un 8,5% en el proyecto en producción en el Salar de Olaroz, su paquete accionario será financiado/adquirido por las ganancias futuras de la empresa, por lo que su participación puede constituir simplemente una estrategia para justificar procesos de sustentabilidad socio-política y el acceso a licencias legales por parte de los gobiernos (NACIF, [2018](#)). La producción de carbonato y cloruro de litio (en menor medida) de las empresas radicadas en Argentina se exporta desde puertos chilenos, en el caso de Livent Corp., a sus propias sedes en EE. UU y China. Este escenario de control tanto de la producción como de varios eslabones de la cadena de comercialización es repetido. Debido a la importancia del litio como insumo clave en la fabricación de baterías y la industria automotriz, los actores de la cadena de producción y uso de baterías también participan y financian las etapas de extracción a fin de asegurarse el suministro futuro. Esto se puede ver, por ejemplo, en la conexión de Nissan con el proyecto Fénix, la presencia de Toyota Tsusho Corp. en Salar de Olaroz, y entre Minera Exar y Mitsubishi (FES, [2019](#)).

En Bolivia, la extracción de litio en Bolivia por parte de empresas extranjeras ha sido históricamente controvertida. Años atrás, las empresas interesadas podían obtener concesiones mineras, otorgadas por el Estado sujetas a determinados pagos. Estas concesiones otorgaban al titular el derecho exclusivo de explorar, explotar y refinar la sustancia mineral situada dentro de la concesión. La legislación boliviana daba igualdad de condiciones a las empresas locales y extranjeras con respecto a las concesiones adquiridas. En el año 2010 la legislación cambió gracias a un decreto presidencial y a partir de entonces todas las concesiones mineras se han convertido en transitorias, de tal manera que todo el litio pertenece al Estado, que también lo gestiona. El gobierno boliviano mantiene la producción y la exportación bajo control estatal, pero con algunos acuerdos de asistencia técnica con empresas privadas. Por ejemplo, en 2014 se firmó un acuerdo de cooperación entre los Países Bajos y Bolivia, con el fin de desarrollar la industria boliviana del litio. Además de la legislación específica sobre la explotación mineral en Bolivia, una ley de 2011 otorga a la naturaleza derechos legales, y esta “Ley de la Madre Tierra” también otorga a las comunidades locales poderes legales en materia de desarrollo. Dado que los derechos de la naturaleza están consagrados en la legislación boliviana, esto ha sido considerado históricamente como un obstáculo para el desarrollo de la industria (PEROTTI; COVIELLO, [2015](#)).

Por su parte, en Chile en la década de los 80, se concretaron las inversiones y la ejecución de los primeros proyectos, especialmente a manos de empresas privadas, proceso que se vio facilitado por el nuevo ordenamiento jurídico y económico implantado por el régimen de dictadura militar y la Constitución Política de 1980, sublimando el derecho de propiedad y estableciendo un régimen especial de

concesiones (ROMERO *et al.*, 2019). La única fuente de Litio desde los 70 ha sido el Salar de Atacama, en el que operan dos empresas privadas. Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (SQM), de capitales chilenos que se dedica a la explotación, procesamiento y comercialización del nitrato de potasio y fertilizantes de especialidad, yodo, potasio y litio (donde el 24% pertenece a Tianqi Lithium Corp., de China) y la otra, la norteamericana Albemarle (dueña a su vez del 51% de Tianqi), que produce sales de litio y sus derivados. Ambas empresas pasaron los años 2017 y 2018, respectivamente, por un proceso de acuerdos con el Estado, que derivó en nuevos contratos firmados en los cuales aseguraron mayores cuotas de extracción y un mayor período de lo establecido en los contratos originales (hasta el año 2043). Antes del acuerdo, el contrato no tenía fecha cierta de término; no pagaba comisiones por la venta de litio; no consideraba acceso a información, control y fiscalización; no consideraba aportes a investigación y desarrollo estatal; ni contemplaba incentivo al valor agregado en Chile. En el caso de SQM, el 2018 se firma un acuerdo en que la extracción del litio en el Salar de Atacama será hasta el 2030, estableciendo además aportes económicos a la región de Antofagasta (un 1,7% de las ventas totales) y a las comunidades indígenas locales (entre \$10 y \$15 millones de USD por año). Conjuntamente, en él se establecen los derechos y protecciones de la Corporación de Fomento de la Producción de Chile (CORFO) como propietario del Salar. Previo a este acuerdo, la empresa tenía incumplimientos hacia CORFO en los pagos de renta de arrendamiento. Otros actores, como Lithium Chile Inc. (Canadá) comenzó en 2016 exploraciones y ha adquirido propiedades mineras, incluida parte del Salar de Atacama. Por su parte, Wealth Minerals Ltd., adquirió activos en el Salar de Atacama a mediados del 2016, cuyas concesiones cubren 46.200 hectáreas, ubicadas en la parte norte del salar.

Estado

El Código de Minería de Argentina, en vigencia desde 1887, regula la explotación de litio a pesar de las inmensas diferencias que esta “minería del agua” (bombeo desde acuífero y posterior extracción de sales de litio de la salmuera) tiene con otras actividades mineras más tradicionales que extraen minerales desde rocas. El Código establece que, si bien las minas están dentro del ámbito de control del Estado, este no puede explotarlas ni disponer de ellas y, por ende, las minas deben ser explotadas mediante un sistema de concesiones mineras, donde los inversores privados pueden ser nacionales e internacionales, recibiendo un trato igualitario (HILPERT; MILDNER, 2013). Se ha generado entonces un mercado “inmobiliario-financiero” a partir de la transferencia y comercialización de las pertenencias mineras (FES, 2019), donde las provincias son las dueñas y responsables del uso de los recursos, pero se ven inhibidas de su explotación. El Código de Minería argentino fue complementado en la década de los 90 con la Ley de Inversiones Mineras, la cual ofrece una innumerable cantidad de

beneficios económicos y jurídicos a las firmas inversoras [un resumen de las leyes que rigen la actividad minera en Argentina puede encontrarse en Secretaría de Minería de la Nación (2020a; 2020b)]. Entre otros beneficios, la Argentina ofrece a las empresas mineras 30 de años de estabilidad fiscal, haciendo al país más competitivo frente a otros países de la región. Mediante mecanismos de este tipo, el país ofrece marcos legales estables, incentivos económicos a la actividad extractiva y contextos políticos que promueven el desarrollo de la actividad minera (ZICARI, 2015). En el marco de la Ley de Inversiones Mineras (Ley 24.196), también se otorgan inmensos beneficios impositivos para la atracción de empresas extranjeras y se transfirieron los recursos naturales mineros a las provincias, desplazando al Estado nacional de la interacción con los capitales inversores. El Estado incluso realiza la devolución de los gastos de todas las actividades exploratorias desarrolladas que no hayan llegado a resultados positivos, asumiendo todos los riesgos financieros de talen actividades. A pesar de la aparente descentralización administrativa, la distribución de los beneficios no favorece a los gobiernos provinciales ni locales, ya que la mayoría de los impuestos que la actividad minera paga son nacionales, recaudando el Estado nacional en promedio 8 a 10 veces más que las provincias (MARCHEGANI *et al.*, 2018). Los escasos ingresos genuinos provinciales se limitan al cobro de regalías con un tope del 3% sobre el valor bruto del recurso, calculado luego de descontar costos de transporte, procesos de tratamiento, comercialización y administración. Si bien algunas provincias han intentado a través de iniciativas públicas generar encadenamientos productivos que deriven en un agregado de valor en la producción del litio (elaboración de cátodos o baterías, por ejemplo), estas no se concretaron aun.

El Código Minero de Bolivia data de 1992 y en él se declaran que todos los yacimientos minerales son propiedad del Estado (PEROTTI; COVIELLO, 2015). En efecto, desde el primer gobierno presidencial de Evo Morales en 2006, Bolivia abandonó el modelo económico neoliberal e implementó una política orientada a los intereses nacionales y a la justicia social, dentro de la cual la creación de industrias nacionales debía cobrar una importancia central. En el marco de esa política, la explotación del litio se configuró bajo la dirección de la estatal Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), que se encargaría de la explotación y el posterior tratamiento industrial; y no bajo las condiciones de los inversores privados extranjeros. A partir de ese momento, todas las nuevas concesiones a empresas privadas, deben formar un consorcio con la COMIBOL de tal manera que ambas partes tienen el 50%. A partir del 2009, se incluyó en la Constitución Nacional la declaración de que el Estado boliviano tiene el control de todos los recursos naturales de Bolivia. En este marco, se inició un proyecto público para industrializar los recursos de litio. El Comité Nacional de Gestión de Recursos Evaporíticos (GNRE) encabezó el proyecto, como una rama operativa especializada de la COMIBOL. Se presentó un plan estratégico estatal de desarrollo en 2008, pero no fue hasta 2016 cuando la planta piloto envió un

pequeño cargamento de casi 10 toneladas de carbonato de litio a China, (SANDERSON; SCHIPANI, [2016](#)). Actualmente Bolivia defiende su férreo control estatal de cada etapa del proceso de industrialización del litio y lo considera como un recurso estratégico al que añadir valor (BUSTOS, [2017](#)). China se ha convertido en un país clave e interesante aliado en este sentido, ya que a principios de 2019 fue elegida como socio estratégico a través de la empresa Xinjiang TBEA Group Ltd. que tendrá una participación del 49% por ciento en una empresa conjunta con la compañía boliviana de litio YLB (Yacimientos de Litio Bolivianos) (RAMOS, [2019](#)).

Em Chile, los antecedentes jurídico-políticos que posibilitaron el desarrollo temprano de la minería de litio y su crecimiento bajo la dictadura militar (1973-1990), hicieron que, en un corto tiempo, se produjeran dos procesos simultáneos. Por una parte, se clasifica el litio como material estratégico indispensable para la energía nuclear, otorgando al litio carácter prioritario para la seguridad nacional y, por otra parte, SQM, que en su origen (1968-1971) fue una empresa con capitales mixtos entre el Estado de Chile y la compañía Anglo Lautaro S.A., se estatiza durante el gobierno de Salvador Allende (1971) y mantiene esta condición hasta bien avanzado el periodo autoritario (1983), momento en el que se inicia su privatización (entre 1983 y 1986) (GUNDERMANN; GÖBEL, [2018](#)). Producto del acuerdo del 2018 entre CORFO y SQM, los montos trimestrales pagados por la empresa al Estado, por concepto de arrendamientos en el salario, se cuadruplicaron frente al contrato anterior, pasando desde unos US\$10-12 millones al trimestre a unos US\$40-45 millones. Teniendo el 2018 anualizado como base, la modificación del contrato aporta más de US\$120 millones al año sólo por concepto de renta de arrendamiento adicionales a lo que se pagaba anteriormente

Ciencia y tecnología

En Argentina existen variados núcleos de investigación con financiamiento público dedicados a la investigación y desarrollo relacionada con el litio. El Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), máximo organismo de investigación del país, cuenta con más de 200 investigadores abocados a la temática. Esta inversión en el aparato científico se direcciona a diferentes institutos de investigación que desarrollan tecnologías de extracción e industrialización del litio, así como también muchos realizan investigaciones socioambientales y económicas. Sin embargo, en todos los casos las empresas que se encuentran en fase de explotación utilizan técnicas y patentes desarrolladas en el exterior del país, generalmente protegidas por acuerdos de confidencialidad, por lo que es escasa la interacción con el sector científico local. El Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía de Jujuy (CIDMEJu), por ejemplo, es un centro interinstitucional perteneciente a la Universidad Nacional de Jujuy, el CONICET y el Gobierno provincial dedicado a la investigación, desarrollo tecnológico y transferencia

de líneas de desarrollo para la extracción e industrialización del litio en la provincia. Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF S.A), la empresa hidrocarburífera de capitales nacionales, también ha generado una línea de negocios e investigación tecnológica (YPF Tecnología S.A. o Y-TEC), con participación directa del CONICET. Sin embargo, a pesar de las diferentes líneas de investigación relativas al Litio YTEC no ha logrado aún articular con las empresas trasnacionales que se encuentra explotando los salares ni general valor agregado a nivel local.

En Bolivia, el debate se ha centrado fundamentalmente en el grado en que la tecnología usada en las fases de explotación efectivamente respondía a las condiciones particulares del Salar de Uyuni. La composición de las sales que forman el salar y las características ecológicas del territorio, son significativamente diferentes de las encontradas en los salares de Chile y Argentina. El desafío más grande ha sido el de producir la tecnología apropiada primero para la extracción de las sales de litio y luego para su transformación en carbonatos. Al apostar a una tecnología 100 % boliviana durante la primera etapa, se estaba asumiendo que esta puede lograrse casi exclusivamente como resultado del compromiso y esfuerzo del estado y sin el desarrollo de marcos institucionales suficientes con otros actores (universidades, por ejemplo). Frente a la ausencia de marcos que faciliten una articulación virtuosa entre investigación, innovación y producción de tecnologías, la producción de tecnología nacional sin duda representa un gran desafío.

En Chile los aspectos de investigación y desarrollo son asignados a CORFO, entre ellos, crear o adaptar mejores técnicas de producción, generar estudios y nuevas iniciativas en áreas productivas. Con la creación en 1978 del Comité de Sales Mixtas, dependiente de la CORFO, se inicia el desarrollo de la investigación de procesos en salmueras, en conjunto con otros proyectos no metálicos. Posteriormente, este Comité se disuelve a causa de las privatizaciones que lleva adelante el gobierno. Por otra parte, algunas universidades a finales de los 70, comienzan a desarrollar estudios con sales de litio, creándose por ejemplo, el laboratorio de electroquímica en la ex Universidad Técnica del Estado (actual Universidad de Antofagasta), cuyos primeros trabajos están en la electroquímica y posteriormente en pilas de litio y diversos estudios de los materiales de interés en pilas de combustible, baterías de metal/aire, baterías de litio, control de la contaminación automotriz (RESTOVIC *et al.*, 1991). El potencial desarrollo del litio y sus aplicaciones también se realiza en otros centros de investigación en los 80, como en la Universidad de Chile, desarrollando proyectos en materiales superconductores. Al igual que en caso de Argentina, muchas de las líneas de investigación no obedecen a un plan de desarrollo científico coordinado, sino que son iniciativas personales de investigadores que vieron el litio como una futura fuente de investigación. En la actualidad, a través de CORFO se lleva adelante la creación e instalación de un Instituto Tecnológico que desarrolle actividades de investigación y desarrollo, transferencia de tecnología e innovación, asistencia tecnológica y técnica

especializada, difusión tecnológica o generación de investigación e información de apoyo a la regulación y a las políticas públicas, en las áreas de Energía solar, Minería de bajas emisiones y Materiales avanzados de litio y otros minerales. Finalmente, en 2017 y 2018 CORFO firmó acuerdos con las empresas Albemarle y SQM, logrando la incorporación de mayores aportes a investigación y desarrollo, como también a las comunidades, a gobiernos regionales y municipalidades.

Comunidades locales

En Argentina existe un cuerpo normativo que protege y garantiza la identidad y los derechos colectivos de los pueblos indígenas, a través de la Constitución Nacional, Leyes Nacionales, Provinciales y de Convenios Internacionales suscriptos por el Estado. El derecho a la consulta previa a los pueblos indígenas en Argentina es reconocido en el inciso 17 del artículo 75 de la Constitución Nacional, así como por varias leyes nacionales tales como la Ley 26.160 sobre Emergencia de la Propiedad Comunitaria y la Ley 26.331 sobre Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos. Sin embargo, la población indígena en Argentina ha sido históricamente excluida de procesos de decisión relativos al uso de recursos naturales y/o del territorio. En el caso particular del litio, las comunidades directamente no han sido consultadas o bien, la “consulta” fue realizada por las mismas empresas, por el sector privado, a través de reuniones informativas y consultivas, pero sin tener en cuenta la legislación vigente.

Ante la falta del efectivo cumplimiento de los mecanismos de consulta establecidos por ley, existe la obligación de readecuar el marco del Estado y sus instituciones en función del reconocimiento de su pluralidad étnica y cultural. Los reclamos de las comunidades han creado tensiones entre pobladores locales, grupos empresariales y el gobierno, debido a las antagónicas y múltiples perspectivas, percepciones e intereses sobre la producción de litio. En la Puna argentina se manifestaron algunos conflictos entre los que se destacan los sucedidos en la Cuenca de Salinas Grandes y Laguna Guayatayoc, y en el Salar de Olaroz (GÖBEL, 2013; 2014; ARGENTO *et al.*, 2017; ARGENTO; ZICARI, 2017; ARGENTO; PUENTE, 2019; PRAGIER, 2019), ambos en torno a la defensa de los territorios en los que habitan ancestralmente. A través de la Mesa de comunidades originarias de la Cuenca de Salinas Grandes y Laguna de Guayatayoc para la defensa y gestión del Territorio (2011), treinta y tres comunidades kollas y atakamas originarias de la zona se manifestaron en contra de la actividad y denunciaron la posible salinización del agua subterránea. El colectivo “Apacheta” formado por miembros de las comunidades cercanas al Salar de Olaroz reclamaron contra la gran cantidad de agua que se utiliza a lo largo del proceso de producción (JEREZ HENRIQUEZ, 2018). El área de influencia directa del proyecto Fénix incluye una población de 1436 habitantes que residen en diferentes comunidades del departamento de Antofagasta de la Sierra (INDEC, 2010). Estas

comunidades se encuentran atravesadas por diferentes condiciones de pobreza estructural, en muchos casos sin acceso a derechos básicos como educación, salud, y vivienda. La mayoría de sus habitantes carece de un empleo permanente y basan su sustento económico en el apercibimiento de algún tipo de programa de ayuda económica brindada por el Gobierno Nacional (TAPIA *et al.*, 2015). El gobierno provincial, sin embargo, destaca la importante participación de las exportaciones del proyecto en la recaudación impositiva y también la Responsabilidad Social Empresaria que, a partir de un fideicomiso celebrado en 2015, asume el compromiso de contribuir a las arcas provinciales con el 1.2% de su facturación anual. El área de influencia directa del proyecto Olaroz incluye a 10 comunidades originarias que habitan en el departamento Susques y en su conjunto conforman la totalidad de 3.791 habitantes (INDEC, 2010). Todas estas comunidades presentan títulos de propiedad sobre la tierra (SUBSECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL DE LA INVERSIÓN PÚBLICA, 2014) que utilizan para la realización de actividades productivas de pequeña escala como el pastaje de ganado doméstico y la siembra de cultivos locales (ABELVIK-LAWSON, 2019).

En Bolivia las comunidades originarias y sus representaciones han resistido históricamente a la privatización del Salar de Uyuni y han sido las propulsoras de que el gobierno plurinacional controle la totalidad de la cadena litífera (FORNILLO, 2018). El actual proyecto de explotación e industrialización del litio fue inicialmente propuesto por la Federación Regional de Trabajadores Campesinos del Altiplano Sud de Bolivia (FRUTCAS), quienes jugaron un rol muy importante en la inicial organización y diseño de este proyecto. Algunas comunidades han logrado cierta participación en tareas asociadas al proyecto y tienen una alta participación como empleados en las actividades productivas (OBAYA; PASCUINI, 2020). A pesar que la constitución de Bolivia reconoce la autonomía y la participación de las comunidades locales, los procesos de consulta previa han sido muy poco desarrollados. En líneas generales, a pesar de que los procesos de explotación son llevados adelante por el Estado, existen actualmente importantes críticas desde las comunidades a causa de la falta de transparencia en el desarrollo y la distribución de recursos generados, los impactos ambientales y la afectación a aspectos productivos y culturales de la región, preexistentes al proyecto de litio (OBAYA, 2019).

En el caso chileno, la explotación actual del Salar de Atacama se encuentra en el área de desarrollo indígena “Atacama La Grande”, territorio que ha sido reclamado como propio por el pueblo atacameño o Lickanantay, quienes aseguran haber ocupado y habitado históricamente el salar y su cuenca (ESPÍNDOLA, 2020). La explotación minera del litio compromete la Reserva Nacional Los Flamencos, el equilibrio ecosistémico del Salar, zonas de vegas y bofedales, flora y fauna que sustentan las comunidades quienes ven con muchísima preocupación la gran cantidad de agua que utilizan las empresas mineras causando grandes impactos en sus territorios (MORALES;

AZÓCAR, [2019](#)). Las empresas mineras operaron sin control durante décadas, aunque en el caso de Albemarle en el 2017 firmó un acuerdo de “Cooperación, Sustentabilidad y Beneficio Mutuo” con CORFO y 18 comunidades indígenas Lickanantay que marcó un nuevo paradigma de entendimiento entre la minera y las comunidades indígenas. Este acuerdo los beneficia, ya que el 3.5% de las ventas de Albemarle pasarán a las comunidades indígenas, cuyos fondos serán invertidos por las propias comunidades bajo un sistema de gobernanza. El desglose es el 3% a las comunidades y un 0,5% a investigación y desarrollo para el Consejo de Pueblos Atacameños. La situación de CORFO con SQM es más compleja, debido a distintos litigios vigentes entre la empresa y el Estado chileno. Sin embargo, en enero del 2018 se llega a un acuerdo de Conciliación, poniendo término a las disputas y arbitrajes existentes entre SQM y CORFO. Con la reforma de los contratos de arrendamiento y de proyecto se fijaron una serie de condiciones, entre los cuales se incluyeron aportes anuales a favor de las comunidades y de gobiernos (POVEDA BONILLA, [2020](#)).

Principales diferencias entre los países

El [Cuadro 1](#) muestra un resumen de las diferencias más importantes entre los países respecto a las dimensiones analizadas. Hasta el momento, cada uno ha adoptado diferentes enfoques y estrategias para la explotación de litio, con una alta incidencia de factores histórico-políticos que han influido en el desarrollo de la actividad. En líneas generales, Chile tiene actualmente unas pocas empresas privadas, pero con una importancia geopolítica importante e institucionalmente arraigadas mediante acuerdos con el Estado, que monopolizan la actividad y generan en cierto modo barreras de entrada para potenciales nuevos actores privados. Este país cuenta con una tradición minera superior a sus vecinos, pero se ha caracterizado por una historia de denuncias y conflictos por corrupción que han marcado negativamente a la actividad, a pesar de recientes intentos de reformas tendientes a reconfigurar la distribución de ganancias y el rol tanto del Estado como de su sistema científico. Bolivia, en cambio, muestra un modelo de gestión estatal. La planta montada en el Salar de Uyuni es operada por el gobierno nacional a través de asociaciones público-privadas entre empresas estatales y corporaciones privadas de propiedad extranjera (HANCOCK *et al.*, 2018). En los últimos años se han profundizado las cooperaciones estratégicas Estado-empresas extranjeras, lo que ha posibilitado cientos avances especialmente en materia de tecnología e infraestructura. Argentina, por su parte, tiene un enfoque centrado en la atracción de inversiones privadas principalmente de capitales trasnacionales, con un rol del Estado limitado a un mínimo control de la actividad, mientras que los gobiernos provinciales se muestran resueltos a continuar con la promoción de las actividades explotación de litio a cambio del cobro de regalías y el movimiento económico periférico a las explotaciones.

Cuadro 1 - Resumen de las principales diferencias en cada dimensión de análisis en el ABC

Dimensiones	Argentina	Bolivia	Chile
Sector privado y externo	Explotación a cargo de empresas privadas (Estado no interviene) Facilidades para nuevas empresas Explotación sin industrialización	Explotación a cargo del Estado (asociado a empresas) Fuerte restricción para nuevas empresas Explotación con industrialización (teórica)	Explotación a cargo de empresas (convenio con Estado) Dificultad para nuevas empresas Explotación con cuota a precio preferencial para industrialización
Instituciones públicas	Recurso NO estratégico Propiedad: Concesible Impuesto a la renta: 35% Regalías: 3% Normativa no específica Gobierno federal	Recurso estratégico Propiedad: No Concesible Impuesto a la renta: 25% Regalías: 12,5% Normativa específica Gobierno centralizado	Recurso estratégico Propiedad: No Concesible Impuesto a la renta: 35% Regalías: 6,8% Normativa específica Gobierno centralizado
Ciencia y tecnología	Sin aportes para I+D Baja interacción con explotación	Sin aportes para I+D Baja interacción con explotación	Aportes de I+D Mediana interacción con explotación
Comunidades locales	Responsabilidad Social Empresaria Propiedad comunitaria	Cooperativas (mano de obra, servicios) Propiedad comunitaria	Aportes financieros a comunidades Propiedad comunitaria

Fuente: Autoría propia.

Marcos institucionales y gobernanza del litio en Sudamérica

El núcleo duro del marco institucional y normativo aún vigente en cada uno de estos países se ha estructurado en momentos históricos específicos y, por lo tanto, es posible reconocer en el espíritu reglamentario actual de la explotación de litio el influjo de procesos políticos pasados (OBAYA; PASCUINI, 2020). En Argentina y Chile, la estructura institucional de gestión de los recursos minerales fue moldeada por procesos políticos particulares. En el caso de Chile por un gobierno militar en la década de los 70, con fuerte impronta hacia la transferencia de actividades de explotación de recursos naturales a capitales privados y políticas de liberalización de la economía, y en el caso de Argentina por medio de reformas estructurales del Estado y apertura irrestricta de la economía influenciadas por el denominado “Consenso de Washington” en los 90 (WILLIAMSON, 2003). En Bolivia, en cambio, los procesos de estructuración normativa son quizás más recientes y tienen que ver con un modelo fuertemente controlado por el gobierno central, con una perspectiva de integración vertical que asume un rol protagonista y fundamental al Estado. Argentina y Chile promulgaron modelos de explotación y exportación de materias primas con escasa industrialización. En el modelo argentino, las provincias tienen potestad para celebrar

convenios internacionales, en tanto no sean incompatibles con la política exterior de la Nación y no afecten las facultades delegadas al gobierno federal o el crédito público de la Nación. De hecho, el dominio de los recursos naturales está establecido en los territorios de las provincias, incluyendo los minerales. En este contexto, el Estado nacional se presenta como un organismo facilitador y garante de la actividad extractiva de capitales trasnacionales. Empresas como Albemarle, SQM, Livent, o EXAR entre otras presentes en Argentina y Chile, muchas veces en asociación directa o indirecta con empresas productoras de autos eléctricos como Toyota, Volkswagen o Tesla por nombrar algunas, manejan el suministro global del litio proveniente de salmueras, definiendo un mercado fuertemente concentrado y poco transparente que puede afectar o favorecer la manipulación de los precios reales de litio a escala global. Las empresas productoras (y exportadoras) de litio comúnmente son brazos locales de holdings complejamente estructurados que participan también de la demanda de litio, estructurando mecanismos oligopólicos. El interés en el agregado de valor al litio en los países productores claramente no es un objetivo en sí para las empresas extractivas ni para sus países de origen. Ministros de economía como los de Alemania y Francia han anunciado recientemente una estrategia productiva común para la Unión Europea, con el objetivo de crear condiciones industriales en toda Europa para consolidar la fabricación de baterías, incluyendo la revalorización de potenciales fuentes de litio en el mismo continente europeo (FES, [2019](#)). China, el actor central en la cadena de lito global, muestra una estrategia similar desde hace muchos años.

De esta forma, la explotación del litio ocurre en el marco de redes de producción mundial con una gobernanza en manos de empresas transnacionales cuyas estrategias productivas ejercen una presión que desencadena transformaciones a nivel doméstico. La influencia de actores externos en la estructuración de los marcos institucionales específicos no solo fue fruto de la presión de capitales externos sino también de la convivencia con organismos trasnacionales como el Banco Mundial. Esto propició una “commodificación” de muchas economías emergentes con disponibilidad de recursos naturales, en un contexto donde la transición energética ya era un fenómeno ineludible y donde el acaparamiento de la producción de litio sería vital en la geopolítica de la evolución hacia una matriz energética renovable.

Si bien en los tres países los vínculos entre las comunidades locales y la producción del litio es ambigua, este es uno de los aspectos más relevantes en la evolución de los marcos institucionales. En Argentina, la participación de las comunidades en las ganancias y decisiones respecto a la explotación de litio en su territorio es prácticamente nula (FORNILLO, [2015](#)), mientras que las interacciones empresas-comunidades, cuando existen, no son fiscalizadas ni mediadas por el estado (MARCHEGANI *et al.*, [2018](#)). En Bolivia, que hasta el momento no ha sido tan permeable a los capitales trasnacionales, aún no está muy claro cuál será el papel del Estado en la distribución futura de los ingresos de la producción de litio y su relación con las comunidades.

Chile, por su parte, ha implementado recientemente nuevas reglas de juego en la interacción empresas-comunidades, con contratos de distribución directa de ganancias a las comunidades, litio a precio local y un fondo para investigación y desarrollo.

Revette (2017) plantea que en Bolivia las expectativas de las comunidades sobre la extracción de litio son complejas y contradictorias. Por un lado, las comunidades locales muestran un deseo por ser consultados de forma más democrática y transparente, pero por otro reconocen que ha habido cambios positivos en la región, especialmente en cuanto al acceso a servicios básicos con el que antes no contaban (REVETTE, 2017). Para Argentina y Chile, por el contrario, Jerez Henriquez (2018) ha planteado que la producción de litio generó rupturas en el tejido social comunitario y contribuyó a la intensificación de las desigualdades sociales en las regiones donde se produce. Por su parte, Marchegiani *et al.* (2018) resaltaron que en Argentina la falta de consulta y el acceso limitado a la información creó asimetrías de poder entre las empresas mineras y las comunidades indígenas.

“Triángulo del litio”: apropiación y exclusión

Estudiar los marcos normativos vigentes en torno a la extracción de litio en Argentina, Bolivia y Chile ha permitido identificar a los actores y dimensiones intervinientes más importantes, la forma en la que interaccionan y qué lugar ocupan dentro de la red de producción del litio. También permitió resaltar que muchos de los marcos institucionales actuales en los países analizados pueden remitirnos a conceptos de “acumulación por desposesión” (HARVEY, 2003) o bien a definiciones más recientes referidas a procesos de “cercamiento” y “exclusión” (SOVACOOOL, 2021). El cercamiento (*enclosure*, en inglés) se relaciona a la dimensión económica, a la apropiación de elementos de la naturaleza, al desplazamiento y despojo de poblaciones económica y políticamente marginales. El concepto también tiene que ver con la transferencia de activos o recursos públicos a manos privadas, y la expansión de roles privados sobre el sector público. Los procesos de exclusión están ligados a la dimensión política e implican la marginalización de algunos actores. En los tres países analizados, la estructuración institucional y normativa ha posibilitado una ocupación física con desplazamiento de actores con derechos sobre los recursos y el territorio, y finalmente una apropiación simbólica de los salares e incluso de las regiones, con expresiones ya popularizadas como “el triángulo del litio”, que en cierta medida oculta la diversidad cultural e histórica de esta región de Sudamérica, alineándola y reduciéndola a la explotación de este recurso.

Una transición energética justa debe trascender a la descarbonización del Norte Global y garantizar la justicia social y ambiental a lo largo de toda la cadena de producción, desde los paneles solares y los autos eléctricos, por ejemplo, hasta la extracción. El análisis del marco normativo e institucional vigente en los tres países muestra que es

importante que la producción de litio se sostenga sobre procesos de toma de decisiones más inclusivos y democráticos, que incluyan a todas las dimensiones de análisis y que permitan poner en discusión cómo se produce, con qué fines y cómo se distribuyen los costos y beneficios. Que las comunidades participen en los procesos de gobernanza del litio en iguales condiciones que los Estados y las empresas es fundamental. De igual manera es esencial que los Estados fomenten el desarrollo científico-tecnológico local a través de la financiación de distintos proyectos y programas.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen el apoyo de las siguientes instituciones: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina, Universidad Nacional de Salta (UNSa), Departamento de Geografía de la Universidad de Texas A&M, Red Suiza de Estudios Internacionales (SNIS) (Proyecto “LITHIUM”), CAPES-PVE/BRASIL Proc. 88881.068108/2014-01 (Proyecto “Impactos da Energia Eólica no Litoral do Nordeste”), y PRONEM FUNCAP/CNPq Proc. PNE 0112-00068.01.00/16 (Proyecto “Análise socioambiental da implantação de parques eólicos no Nordeste: perspectivas para a sustentabilidade da geração de energia renovável no Brasil”).

Referencias

- ABELVIK-LAWSON, H. **Indigenous environmental rights, participation and lithium mining in argentina and Bolivia**: a socio-legal analysis. 2019. Tese (Doutorado) - University of Essex, 2019.
- ALI, S. H.; PERRONS, R. K.; TOLEDANO, P.; MAENNLING, N. A model for “smart” mineral enterprise development for spurring investment in climate change mitigation technology. **Energy Research and Social Science**, v. 58, p. 101282, 2019.
- ARGENTO, M.; PUENTE, F. Entre el boom del litio y la defensa de la vida. Salares, agua, territorios y comunidades en la región atacameña. *In*:: FORNILLO, B. (ed.), **Litio en Sudamérica**, CLACSO, Bs. As. 2019. p. 173-220.
- ARGENTO, M.; ZICARI, J. Las disputas por el litio en la Argentina: ¿materia prima, recurso estratégico o bien común? **Prácticas de oficio**, v. 19, n. 1, p. 37-49, 2017.
- ARGENTO, M.; PUENTE, F.; SLIPAK, A. Conflictos territoriales y activación de demandas colectivas en los salares del noroeste argentino. *In*:: ALIMONDA (ed.), **Ecología política latinoamericana. Pensamiento crítico, diferencia latinoamericana y rearticulación epistémica**, CLACSO, Bs. As. 2017.
- BONILLA, R. P. **Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile**. Serie Recursos Naturales y Desarrollo 195. (LC/TS.2020/40), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile, 2020.
- BONSU, N. O. Towards a circular and low-carbon economy: Insights from the transitioning to electric vehicles and net zero economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, n. 1, p. 120659, 2020.

- BUSTOS, E. **The lithium triangle**. LatinTrade.com No. 30/2014, 2017. Disponible em: <http://latintrade.com/the-lithi-umtriangle/>.
- ESPÍNDOLA, C. Testimonio de mi vida en Toconao y de la presencia de la minería en nuestro Territorio. *In*: BALTAZAR, R. M. (coord.), **Salares Andinos**. Ecología de saberes por la Protección de Nuestros Salares y Humedales, Observatorio Plurinacional de Salares Andinos. Fundación Tanti, 2020. p. 33-41.
- FES (FRIEDRICH-EBERT-STIFTUNG). Lito y transición socio-ecológica en Sudamérica. **Análisis**, v. 51, 2019. Disponible em: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/argentinien/15912.pdf>.
- FLEXER, V.; BASPINEIRO, C.F.; GALLI, C. I. Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. **Science of the Total Environment**, v. 639, p. 1188-1204, 2018.
- FORNILLO, B. **Geopolítica del Litio**. Industria, Ciencia y Energía en Argentina. CLACSO, Bs. As., 2015.
- FORNILLO, B. La energía del litio en Argentina y Bolivia: Comunidad, extractivismo y posdesarrollo. **Colombia Internacional**, v. 93, p. 179-201, 2018.
- GÖBEL, B. La minería del litio en la Puna de Atacama: interdependencias transregionales y disputas locales. **Revista Iberoamericana**, v. 49, n. 13, p. 135-149, 2013.
- GÖBEL, B. La minería del litio en Atacama: disputas sociales alrededor de un nuevo mineral estratégico. *In*:: GÖBEL, B.; ULLOA, A. (ed.), **Extractivismo minero en Colombia y América Latina**, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, p. 167-196, 2014.
- GUNDERMANN, H; GÖBEL, B. Comunidades indígenas, empresas del litio y sus relaciones en el Salar de Atacama. **Chungará (Arica)**, v. 50, n. 3, p. 471-486, 2018.
- HARVEY, D. **The New Imperialism**. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- HILPERT H.G.; MILDNER S.A. **Fragmentation or cooperation in global resource governance?** A comparative analysis of the raw materials strategies of the G20. Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP) y Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), Berlin, 2013.
- INDEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS). **Datos estadísticos de Argentina**, 2010. Disponible em: <http://www.indec.com.ar>.
- MARCHEGIANI, P.; HÖGLUND HELLGREN, J.; GÓMEZ, L. **Extracción de litio en Argentina: un estudio de caso sobre los impactos sociales y ambientales**. Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN), 2018. Disponible em: https://www.farn.org.ar/wp-content/uploads/2019/05/DOC_LITIO_ESPA%C3%91OL-1.pdf.
- MINEM (MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA). **Nuevo Acuerdo Federal Minero de la República Argentina**, 2017.
- MORALES, H.; AZÓCAR, R. Crónica analítica de un triunfo etnoambiental en el Salar Atacama: Pampa Colorada. **Revista Chilena de Antropología**, v. 39, p. 38-57, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5354/0719-1472.2019.53720>.
- NACIF, F. El ABC del litio sudamericano. **Revista de Ciencias Sociales**, p. 1737-1747, 2018.
- OBAYA, M. **Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en el Estado Plurinacional de Bolivia**. Documento de proyecto - 2019/49, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile, 2019.

- OBAYA, M.; PASCUINI, P. Estudio comparativo sobre los modos de gobernanza del litio en Argentina, Chile, y el Estado Plurinacional de Bolivia. *In*: LEÓN, M., MUÑOZ, C., SÁNCHEZ, J. (ed). **La gobernanza del litio y el cobre en los países andinos**. Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/124), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile, 2020.
- OROCOBRE. **Sustainability report-environmental performance – water and effluents**, 2019.
- PEROTTI, R.; COVIELLO, M. F. **Governance of strategic minerals in Latin America**: The case of lithium. Documento de proyecto - LC/W.669, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile, 2015.
- PRAGIER, D. Comunidades indígenas frente a la explotación de litio en sus territorios: contextos similares, respuestas distintas. **Polis. Revista Latinoamericana**, v. 52, p. 76-91, 2019.
- RAMOS, D. Bolivia Picks Chinese Partner for \$2.3 Billion Lithium Projects. **Reuters**, n. 06, 2019. Disponible em: <https://www.reuters.com/article/us-bolivia-lithium-china/bolivia-picks-chinese-partner-for-23-billion-lithium-projects-idUSKCN1PV2F7>.
- RESTOVIC, A.; POILLERAT, G.; GAUTIER, J. L. Oxygen evolution electrocatalysis at thin Cu_{1.4}Mn_{1.6}O₄ spinel films on CdO and nickel substrates. **Thin Solid Films**, v. 199, p. 139-151, 1991.
- REVETTE, A. C. This time it's different: Lithium extraction, cultural politics and development in Bolivia. **Third World Quarterly**, v. 38, n. 1, p. 149-168, 2017.
- ROMERO, A.; AYLWIN, J.; DIDIER, M. Globalización de las empresas de energía renovable: Extracción de litio y derechos de los pueblos indígenas en Argentina, Bolivia y Chile. **Observatorio Ciudadano**, 2019. Disponible em: https://media.business-humanrights.org/media/documents/files/documents/INFORME_LITIO_FINAL_PARA_WEB.pdf.
- SÁBATO, J. A.; BOTANA, N. La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina. **Revista de Integración**, v. 3, p. 15-36, 1968.
- SANDERSON, H.; SCHIPANI, A. Bolivia makes first shipment of lithium to China. **Financial Times**, n. 17, 2016. Disponible em: <https://www.ft.com/content/78be1902-645c-11e6-a08a-c7ac04ef00a>.
- SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN. **Informativo N° 1**. Ley de Inversiones mineras, 2020^a. Disponible em: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ley_de_inversiones_mineras_v2.pdf
- SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN. **Haciendo negocios**. Principales aspectos fiscales y legales de la industria minera de Argentina, 2020b. Disponible em: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/marco_regulatorio_argentino.pdf
- SOVACOOOL, B. K. Who are the victims of low-carbon transitions? Towards a political ecology. **Energy Research & Social Science**, v. 73, p. 101916, 2021.
- TAPIA, M. D. V.; QUIROGA, D. E.; SÁNCHEZ, D. La gran minería ¿sinónimo de desarrollo?: La aplicación del Índice de Calidad de Vida (ICV) en el caso de Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca. **Revista Iberoamericana de Estudios Municipales**, v. 12, p. 41-66, 2015.
- USGS (U. S. GEOLOGICAL SERVICE). **Argentina Lithium Map**. Data Sources and Explanatory Notes. US Geological Survey, 2017.
- WILLIAMSON, J. Visión general: Una agenda para relanzar el crecimiento y las reformas. *In*: KUCZYNSKI, P.; WILLIAMSON, J. (ed.). **Después del Consenso de Washington: Relanzando el crecimiento y las reformas en América Latina**, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, p. 1-23, 2003.

ZICARI, J. El mercado del litio desde una perspectiva global: de la Argentina al mundo. Actores, lógicas y dinámicas. *In*: FORNILLO, B. (ed.), **Geopolítica del Litio**. Industria, Ciencia y Energía en Argentina. CLACSO, Buenos Aires, 2015.

CAPÍTULO 19

ENERGÍA EÓLICA EN ARGENTINA, DISTRIBUCIÓN DE SITIOS

Fernando Tilca¹

Juan Francisco Mathisson Malvasio²

Resumen

Se presenta una zonificación para la instalación de granjas eólicas en regiones de Argentina, desde zona centro del país hasta el extremo sur, que es donde existe el recurso eólico para ello; como consecuencia se puede inferir una propuesta que podría tenerse en cuenta en una nueva planificación de distribución eléctrica para producción industrial del país. En primer lugar, se trabaja con sitios en particular en los cuales el autor realizó diseños en virtud de su trabajo de evaluador de parques eólicos en esos lugares, para los cuales se dispuso de datos medidos. Con este trabajo se determinó la producción anual de energía de una granja eólica para las probabilidades de excedencias P50 a P99. Los resultados obtenidos son: factor de capacidad, velocidad media anual del viento a una altura de 100 m sobre el suelo y el porcentaje del aporte de energía eléctrica respecto del total, que puede obtenerse de cada zona para una unidad de medida de granja eólica de 1 GW.

Palabras clave: Argentina. Granjas eólicas. *Siting*. Zonificación. Modelos de pronóstico.

Introducción

Argentina tiene una distribución demográfica que puede adjetivarse como poco racional o contrario a su propio desarrollo armónico e inclusivo. Es consecuencia de decisiones políticas del siglo XIX que tuvieron como fin la extracción de materias primas desde todo el país hacia Buenos Aires, para ser exportadas; con el devenir de la historia, también se crearon puertos en el Río Paraná, en particular en la ciudad de Rosario, destinados principalmente a la exportación de la producción agropecuaria,

1 Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina. fertilca@gmail.com

2 Universidad Tecnológica, Centro Sur, Uruguay.

principalmente productos primarios. Estos hechos, promovidos por un sector social privilegiado, con poder tanto político como económico y reducido en número de personas en comparación con el resto de la población, es decir, una oligarquía. Dicha oligarquía se adueñó de las tierras en épocas de formación de la Patria, luego apoyados por los nuevos propietarios y arrendatarios de enormes latifundios de fértiles tierras de la llamada Pampa Húmeda, trajo como consecuencia la concentración de poderes económicos y financieros que dominan los medios hegemónicos de comunicación, con la ramificación hacia los otros poderes del Estado, que dificultan todo intento de gobiernos que tienen por objetivo el bienestar de la población.

Sin embargo, hubo períodos de tiempo con gobiernos que defendieron los intereses soberanos del país, promoviendo el desarrollo industrial, el mercado interno y la justicia social, en los cuales se formaron y fortalecieron organizaciones del pueblo que permanecieron en el tiempo, dando una característica propia al país.

El desarrollo industrial llevado a cabo a lo largo del siglo XX, se hizo principalmente en el llamado Gran Buenos Aires (que incluye a la ciudad de Buenos Aires) que concentra el 39% de la población del país, y en las ciudades de Rosario y Córdoba con sus áreas de influencia. La consecuencia lógica de lo descrito es que el consumo energético se concentrara en esos lugares, como se muestra en el [Cuadro 1](#), con una distribución de redes eléctricas que hasta el año 2011 era radial con el centro en la pampa húmeda. A partir de ese año es que, por una parte, entran en funcionamiento en el Sistema Interconectado, las líneas de alta tensión en forma de mallas que permiten a varias provincias contar con altas potencias eléctricas que antes no poseían, y por la otra, se integra al Sistema Interconectado, el Sistema Patagónico, de manera que queda integrado casi todo el país en el sistema de distribución eléctrica (la excepción es la Provincia de Tierra del Fuego, que incluye islas y sector antártico). La construcción y puesta en servicio de parques eólicos y fotovoltaicos, llevó a que la potencia instalada de fuentes renovables sea el 10% de la potencia total instalada, [Cuadro 1](#), mientras que la generación de energía eléctrica de fuentes renovables sea del 9.5% del total (131300 GWh/año) según datos de CAMMESA a octubre de 2020, Cuadro 1. Las centrales hidráulicas de hasta 50 MW se consideran renovables.

Cuadro 1 - Potencia eléctrica total instalada y potencia de fuentes renovables, por regiones. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA

Región	Potencia GW	%	Eólica		Fotovoltaica		Hidro MW	Bio MW	Total MW	%
			MW	%	MW	%				
Gran Buenos Aires	7.96	19.3								
Provincia de Buenos Aires	7.97	19.3	1124	42.8						
Comahue	7.09	17.2	253.2	9.7			32	0		
NOA	3.97	9.6	158.2	6	492.5	64.9	119	72		
Litoral	3.74	9.1					2	10		
Centro	3.27	7.9	127.8	4.9	61.2	8.1	116	30		
NEA	3.09	7.5						74		
Cuyo	2.00	4.9			205.3	27.0	184			
Patagonia	2.11	5.1	960	36.6			47	0		
Total	41.2	100	2623.2	6.4 ⁽¹⁾	759	1.8 ⁽¹⁾	500	186	4068	10 ⁽¹⁾

Fuente: Autoría propia en base a datos de CAMMESA³

³<https://cammesa.com.ar>

Quizás la principal desventaja de la fuente eólica es su intermitencia. La demanda varía en forma predecible en períodos diarios y estacionales, pero hay una componente impredecible debido a variaciones de carga imprevistas. Para compensarlas, se necesita capacidad de generación adicional para satisfacer estas variaciones, la que debe estar disponible en todo momento. Los generadores dentro de un sistema eléctrico tienen diferentes funciones en la curva de demanda: algunos son plantas de carga base como por ejemplo las nucleares (Atucha, Río Tercero); otras, como las hidráulicas o de fuente fósil, son más ágiles en cuanto a respuesta a las fluctuaciones y tiempos de puesta en marcha. La introducción de la generación mediante parques eólicos puede aumentar la necesidad de reservas, debido a la intermitencia natural del viento. El impacto de la variabilidad de la energía generada por el parque eólico puede cambiar de insignificante a muy significativo, dependiendo del nivel de penetración en red y de intermitencia del viento.

En el Sistema Argentino de Interconexión (SADI), la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA) les solicita a las centrales generadoras un pronóstico de al menos 24 horas de anticipación, que indique cuánto podrán generar hora por hora, para planificar el despacho y la potencia efectivamente a inyectar en la red, como así también la potencia disponible para entrar a generar cuando el consumo del país lo requiera. En este punto las centrales eólicas deben enfrentarse a un desafío muy distinto que las centrales

hidráulicas, nucleares o térmicas, debido al comportamiento aleatorio del viento (F. TILCA, [2013](#)). Por ley, la energía generada por fuentes renovables tiene prioridad en inyección a red en Argentina. Por esta razón, la predicción de la producción de energía de los parques eólicos es importante, veremos una descripción de cómo llevar a cabo este trabajo.

Predicción eólica

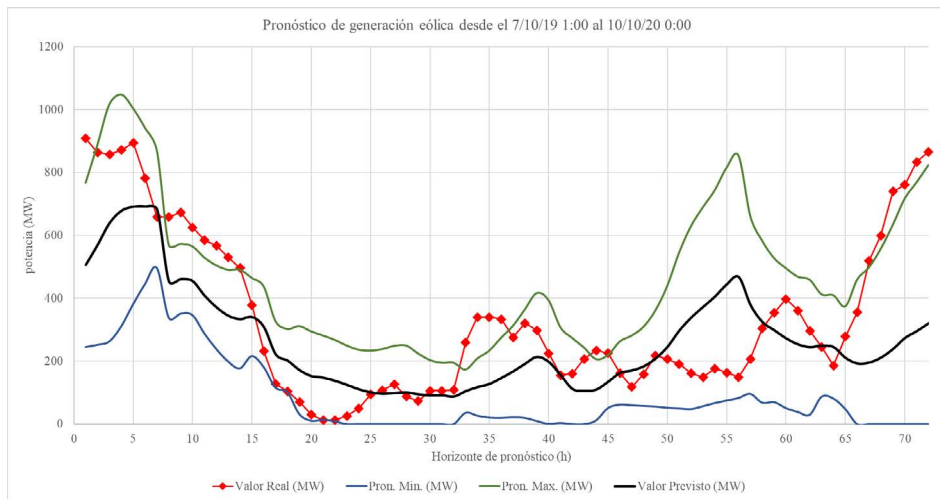
Dos de los más grandes desafíos del futuro de la energía eólica son los problemas de la intermitencia del viento y de la disponibilidad de la red, por lo que la gestión de la transmisión y distribución operativa está siendo puesta a prueba debido a la reestructura del mercado eléctrico, la seguridad de las empresas y la integración de las nuevas tecnologías como la eólica, (GEOGILAKIS, [2008](#)). Con la distribución actual de generación y consumo en Argentina, el mejor recurso eólico disponible se encuentra en la Patagonia, es decir en zonas alejadas de la carga, que está en la zona centro del país, como Buenos Aires, Rosario, Córdoba, Santa Fe; hasta donde la generación eléctrica debe ser transportada y para ello necesitaría de la construcción de líneas de transmisión, lo que no se considera muy razonable por lo que más adelante en este capítulo se hace una propuesta al respecto. En un tamaño dado del sistema de potencia, la capacidad mixta de generación brinda una flexibilidad al propio sistema, lo que, sumado a las variaciones de la propia carga, tiene un efecto en cuanto a la producción intermitente que puede asimilar el sistema (GEOGILAKIS, [2008](#)). No obstante, observando las características particulares de la Argentina, tal cual se ve, un recurso eólico abundante en la región patagónica y una demanda de energía eléctrica importante en el centro del país, es contrario a lo que Geogilakis ([2008](#)) expone: Si la proporción de la producción de potencia intermitente es pequeña y la producción de energía eólica está bien dispersada a lo largo del país y se correlaciona con la carga, entonces es más sencillo integrar la energía eólica dentro del sistema eléctrico nacional.

Se tienen al menos 4 horizontes de intermitencia: muy corto plazo (very short-term), corto plazo (Short-term), mediano plazo (Medium-term) y largo plazo (Long-term). El muy corto plazo (very short-term), se refiere a la variación de la intermitencia de segundos a minutos hacia adelante, y su impacto se amortigua con un mayor control de la regulación en el propio aerogenerador. En este espectro de tiempo, la regulación y el control instantáneo de la producción es lo principal, en la adecuación de la producción a la demanda, la tecnología de la máquina tiene un impacto significativo: control instantáneo de pitch, generadores doblemente alimentado (DFIG - Doubly Feed Induction Generator, donde el inversor proporciona, de manera instantánea, la frecuencia del campo magnético giratorio al rotor compensando así la frecuencia de red, estando el estator conectado directo a la red),

que, frente a un cambio instantáneo de la carga (o del viento, como ser una ráfaga), se ajusta su frecuencia de manera inmediata y luego el sistema de pitch (control activo de las palas del rotor) ajusta el ángulo de ataque optimizando el punto de operación al variar el torque de giro. Si se observa desde el punto de vista de la gestión de un Sistema Interconectado (Red), el impacto en el aumento de las reservas que debe ser proporcionado por centrales convencionales debido a las variaciones de muy corto plazo, es pequeño. La predicción a corto plazo (*short-term*) es una subclase de la predicción de la producción de energía eólica. La escala temporal a la que se refiere el término *corto plazo*, se ubica en el orden de algunos días, para un horizonte de predicción, y de minutos a horas, los intervalos de predicción; es decir, se puede pronosticar las 48 horas siguientes (horizonte de predicción) cada 1 hora un valor de predicción (intervalo de predicción, o en voz inglesa puede ser encontrado como *time-step*) (COSTA *et al.*, 2008).

Un ejemplo de predicción de un horizonte de 72 horas y un intervalo temporal de 1 hora se puede apreciar en la [Figura 1](#). El valor pronosticado central (línea negra), está asociado a un valor de pronóstico mínimo (línea azul inferior) y un valor de pronóstico máximo (línea verde), que, para el período seleccionado de ejemplo, los valores reales de producción se presentan en rojo. Dicho pronóstico se brinda por 72 horas (horizonte de predicción) e intervalo de predicción de 1 hora. En Pinson *et al.* (2008) se discute el valor agregado que la predicción de producción de energía eólica tiene en un entorno de mercado, mostrando cómo las estimaciones de incertidumbre asociadas aumentan ese valor. En dicho trabajo, dentro de las conclusiones se cita que, la predicción eólica tiene interés en los generadores (parques eólicos) en la participación de los mercados eléctricos (como ser el mercado spot), sin embargo, debido a que la predicción de producción de energía eléctrica a partir de generación eólica contiene una parte inherente de incertidumbre, y que a su vez, su nivel de precisión no cuenta con una mejora significativa en un futuro próximo, siempre habrá costos de regulación inducidos por errores de predicción (PINSON *et al.*, 2008).

Figura 1 - Elaboración propia a partir de informe de pronóstico de generación eólica para Uruguay (todo el país), desde el 7/10/2019 al 10/10/2019



Fuente: Autoría propia en base a datos na UTE (Uruguay, [20--]).

Se podría decir que el propósito es la predicción de la producción del parque eólico directa o indirectamente, donde primero se estima el comportamiento del viento (velocidad) y luego convirtiéndolo en energía (curva de potencia del aerogenerador); siendo la predicción de corto plazo orientada principalmente al ya mencionado mercado spot, y además a la gestión y planificación de tareas de mantenimiento, a intereses de los operadores de sistemas, compañías de electricidad y los promotores de parques eólicos, (COSTA et al., 2008). De lo anterior se puede ver que la predicción eólica, dependiendo de la penetración que la generación eólica tenga en la matriz energética nacional, no sólo impacta en los beneficios y utilidades de las inversiones de parques eólicos, como un mejor acceso a precios en el mercado spot, una planificación de mantenimiento más dirigida hacia la menor pérdida de producción por paradas, en algunos países con ciertas reglamentaciones de penalización de desvíos en la inyección en la red, la reducción de dichas penalizaciones; sino que también es importante para todo el sistema energético en su conjunto, debido a que las fluctuaciones de generación eólica produce preocupaciones en los operadores de los sistemas de energía de distribución eléctrica, porque las variaciones en la producción de las plantas eólicas obligan a las centrales eléctricas convencionales a proporcionar variaciones compensadoras para mantener el equilibrio del sistema, haciendo que las centrales eléctricas convencionales se desvíen de los puntos de operación que se eligen para minimizar el costo total de operación de todo el sistema. Las preocupaciones de los operadores se ven agravadas por el hecho de que las centrales eléctricas convencionales están generalmente bajo su control y, por lo tanto, son despachables,

mientras que las plantas eólicas no están controladas por ellos sino por la naturaleza (GEOGILAKIS, 2008). La predicción eólica a corto plazo no es un abordaje de estos últimos años, en el reporte final realizado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, específicamente por el Laboratorio del Pacífico Noroeste (NOTIS et al., 1983), menciona que a medida que el uso de grandes turbinas eólicas por parte de las empresas eléctricas se vuelve más frecuente, las penetraciones significativas de los generadores de turbinas eólicas (WTG) en las redes eléctricas de servicios públicos introducirán una mayor variabilidad minuto a minuto en la generación de energía de la que se ha experimentado en el pasado.

La potencia del viento disponible que atraviesa un área dada (área de rotor) es proporcional a la tercera potencia de la velocidad del viento, por tanto, pequeñas variaciones de la velocidad de viento, producen variaciones importantes de potencia generada. La predicción meteorológica de las variables climatológicas como el viento, temperatura, humedad, entre otras, pasan a tener (principalmente la velocidad del viento) importancia estratégica económica, de seguridad energética y de gestión. Con la incorporación del viento en la mezcla de generación, el compromiso eficiente de la unidad y el despacho sólo pueden ocurrir si se conoce la disponibilidad de energía eólica. La principal preocupación es la fiabilidad de las previsiones de viento producidas para las operaciones WTG. (NOTIS et al., 1983). Ya, en aquel entonces, se concluye que la técnica de predicción es la más adecuada para la incorporación a las previsiones de carga diaria de los servicios públicos para reducir la capacidad de generación de reservas que podría estar programada para respaldar la generación eólica fluctuante (IBID, 1983).

Los modelos de predicción pueden ser clasificados según incluyan un Modelo de Predicción Climatológica Numérica (Numerical Weather Prediction – NWP), o no. En el caso de la predicción a corto plazo (Short-term) existen dos metodologías: física o estadística. En la aproximación física se trata de utilizar consideraciones físicas (orografía, rugosidad, altura del eje, etc.) para estimar de la mejor manera posible el viento local, y que, una vez obtenido, con la curva de potencia del aerogenerador se estima la potencia de salida. En la aproximación estadística se busca encontrar correlaciones entre una gran cantidad de variables que incluyen los resultados del NWP con los valores medidos de producción del parque eólico, para ello utilizando técnicas recursivas, pero en ningún momento el modelo estadístico realiza una consideración física. (GIEBEL et al., 2004).

La Predicción Climatológica Numérica (NWP) típicamente cubre un área de varios miles de kilómetros, donde el tamaño de la grilla está en el rango de 5 a 25 km de lado. Sus resultados no son analíticos y los insumos para los mismos vienen de datos meteorológicos satelitales, sinópticos de todo el mundo, entre otros. El modelo NWP típicamente es ejecutado cada 6 horas y genera predicciones por 48 horas, es decir, se va actualizando, y esa actualización al ser incluida en la predicción eólica mejora la

misma (LANDBERG; GIEBEL, 2003). La combinación de ambas aproximaciones (estadísticas y físicas) son utilizadas para mejorar el horizonte de predicción, en las primeras horas, como en las horas más alejadas.

El modelo de escala mundial de NWP, al realizar un pronóstico cada 6 horas para determinados puntos del globo, permite, para el interesado conocer la predicción de producción energética de un parque eólico, mediante la elección del punto más cercano y conveniente de predicción (NWP) para dicho parque. A su vez, el parque eólico tiene registro histórico de producción. Ese registro histórico de producción será utilizado para el entrenamiento del modelo, que se hará buscando correlaciones entre el NWP y las variables de producción (por ejemplo, potencia generada). En los últimos años, las técnicas de análisis de datos mediante redes neuronales han avanzado (COSTA *et al.*, 2008) permitiendo un aprendizaje del modelo adecuado para cada situación particular y mejorando también la precisión en el horizonte de predicción. Estos modelos de predicción requieren una serie de datos de entrada, para los modelos físicos, por ejemplo, se requiere el diseño (*layout*) del parque eólico, tener en cuenta la dependencia direccional de los efectos estela entre aerogeneradores, las curvas de potencia, con el propósito de relacionar la velocidad de viento con la potencia generada. A su vez, las medidas de producción del parque eólico son insumos, para el entrenamiento del modelo. La información proveniente de lo local, como ser la topografía, la rugosidad y/o los obstáculos, son necesarios para los modelos de meso y micro escala (LANDBERG; GIEBEL, 2003). En el caso de los modelos de micro escala, que se ubican en la escala de las decenas de metros, son requeridas soluciones de Fluidodinámica Computacional (CFD).

El proceso de cálculo que se realiza desde el NWP más cercano al Parque eólico, teniendo en cuenta las condiciones locales (topografía, rugosidad, entre otras), las características de los aerogeneradores (altura del eje), permitiendo el modelado de la curva de cizalladura (voz inglesa *Windshear*), hasta el parque eólico e inclusive hasta cada máquina, se denomina *downscaling*. En Costa *et al.* (2008) identifican como una necesidad urgente contar con mejores herramientas operativas, como, por ejemplo: la adopción de normas que permitan la medición del rendimiento de los modelos, mejorar la precisión de los modelos actuales, mejorar la precisión de los métodos de *downscaling*, nuevos enfoques en terrenos complejos que contemplen, por ejemplo, modelos más precisos de turbulencia, entre otros.

Metodología para determinación de producción de energía

Para este estudio se decidió por una altura de eje de aerogenerador de 90 m, porque es una altura para la cual no se presentan problemas para el montaje en el país (cabe aclarar que la mayoría de los parques eólicos instalados en los últimos años tienen aerogeneradores con altura de eje mayores a 100 m). Se determina la velocidad

media (VMED) de viento a esta altura, utilizando el mapa eólico nacional³, dato que se utiliza para la determinación del factor de capacidad (Fc) de parques eólicos en diversos sitios, y su Producción Anual de Energía (PAE) para la probabilidad de excedencia P90 por cada GW de potencia instalada en el área de influencia. Cabe recordar que una P90 significa que hay un 90% de probabilidad de obtener al menos esa cantidad de energía generada por el parque eólico; esta probabilidad de excedencia incluye pérdidas técnicas e incertidumbres. La P50 (que incluye sólo las pérdidas técnicas), significa que hay un 50% de probabilidad de obtener al menos esa cantidad de energía generada por el parque eólico. Se trabaja con valores de pérdidas técnicas de 8% y de incertidumbres de 12%. Se siguen los siguientes pasos:

- En base a diseños de parques eólicos, realizados cuando se hizo la evaluación de los mismos, se obtuvo el factor de capacidad (Fc) para las distintas probabilidades de excedencia, es decir que se cuenta con los valores de Fc calculado en base a datos reales, medidos. Se utilizará el Fc correspondiente a P50 para comparar con el Fc* (que se explica en el siguiente párrafo).
- Para estos parques eólicos, se calcula el Fc*, obtenido por uno de los autores en su tesis doctoral, el que está en función de la velocidad media del sitio (VMED) y de la velocidad nominal del aerogenerador a utilizar (VNOM), se calcula con la siguiente ecuación:

$$Fc^* = 0.6891(V_{MED}/V_{NOM})^3 - 0.9856(V_{MED}/V_{NOM})^2 + 1.4285(V_{MED}/V_{NOM}) - 0.257 \quad (1)$$

Como se muestra en el [Cuadro 2](#), el Fc* difiere en menos del 1% del Fc de la P50.

Cuadro 2 - Fc de parques eólicos con datos medidos, y Fc* obtenidos con la ecuación (1), para altura de buje indicada en la 2ª columna del Cuadro

Parque eólico, ubicación	Altura buje (m)	V _{MED} (m/s)	V _{NOM} (m/s)	F _{CP50} (%)	Fc* (%)
BAJO HONDO. Prov. de Buenos Aires	80	8.8	12	52	53.2
RAWSON III. Prov. de Chubut	80	8.29	12	48.4	48.7
EGAL. Prov. de Chubut	67	9.06	14	44.7	44.1

Fuente: Autoría propia.

Es decir que se puede admitir, que tomar el Fc* equivalente al Fc de la P50, es razonable. Esto se hará para estos mismos sitios, a la altura de buje de 90 m, como se explica en seguida.

3 <https://sigeolico.energia.gob.ar>

- La velocidad media a la altura de 90 m, V₂, se calcula con la conocida ecuación (2); V₁ es la velocidad a la altura H₁, medida. recordemos que tenemos el exponente de rugosidad alfa de las mediciones realizadas:

$$V_2 = V_1 (H_2/H_1)^\alpha \quad (2)$$

Se determina el Fc* de cada uno de estos 3 sitios para la altura de buje de 90 m, que se muestra en el [Cuadro 3](#).

Cuadro 3 - Fc* calculado a la altura de buje de 90 m

Parque eólico, ubicación	Altura buje (m)	V _{MED} (m/s)	V _{NOM} (m/s)	Fc*
BAJO HONDO. Prov. de Buenos Aires	90	9.06	12	55.6
RAWSON III. Prov. de Chubut	90	8.52	12	50.7
EGAL. Prov. de Chubut	90	9.66	14	48.6

Fuente: Autoría propia.

Entonces, se calculará el Fc* (tomado como el correspondiente a P50), a la altura de 90 m, para otros sitios, donde la velocidad media del viento se obtiene del SIG Eólico nacional.

- Para calcular el Fc correspondiente a P90, se utiliza la siguiente expresión:

$$F_{CP90} = F_{CP50} \cdot (1 - 1.282 \cdot Inc) \quad (3)$$

En donde:

F_{CP50}: Factor de capacidad correspondiente a una PAE P50, es el Fc* mencionado antes.

Inc: valor de la incertidumbre, como se dijo antes es 12 % en este caso, es decir 0.12.

Fp: Factor de descuento que corresponde a la Probabilidad de Excedencia elegida.

Como se eligió P90, corresponde un valor de 1.282, como lo indica el Cuadro 4.

Cuadro 4 - Factor Fp según probabilidad de excedencia

Probabilidad de Excedencia (%)	Factor Fp
50	0.00
75	0.674
84	1.00
90	1.282
99	2.326

Fuente: Autoría propia.

- Para calcular la PAE correspondiente a P90, para un parque eólico de 1 GW de potencia instalado, se utiliza la ecuación que surge de la definición de F_{CP90} :

$$PAE(P90) = F_{CP90} * 8760 \text{ (hs/año)} * 1000 \text{ MW instalados} \quad (4)$$

Sitios considerados

Con los datos de viento a obtener del mapa eólico nacional, se eligen para este trabajo sitios a partir de la latitud de 33° hacia el sur. Esto se basa en los valores de la velocidad media anual del viento, lo que no significa que más al norte de esta latitud no haya sitios aprovechables para la energía eólica (de hecho, hay parques eólicos en funcionamiento bastante más al norte por ejemplo en la provincia de La Rioja), pero es claro que, en Argentina, dicha velocidad de viento es menor para latitudes menores. En la [figura 2](#) se muestran las zonas elegidas, con las coordenadas, temperatura media anual y la velocidad media anual de viento (V_{media}) a 90 m sobre el suelo.

Determinación de la producción anual de energía

En los lugares indicados, se obtiene la Producción Anual de Energía (PAE) para las probabilidades de excedencia P50 y P90, por cada Gigavatio (GW) de potencia instalada de parque eólico, para una altura de eje de aerogenerador de 90 m. Para ello se determina en primer lugar el F_c^* y luego el F_c correspondiente a la PAE P90, con los valores de pérdidas técnicas e incertidumbres indicados (8 y 12 % respectivamente). Los resultados se muestran en el [Cuadro 4](#), en ella la última columna es el % de PAE que cada parque generaría respecto del total consumido en el país, tomado éste el generado por todas las fuentes en el año 2019, que fue de 131300 GWh.

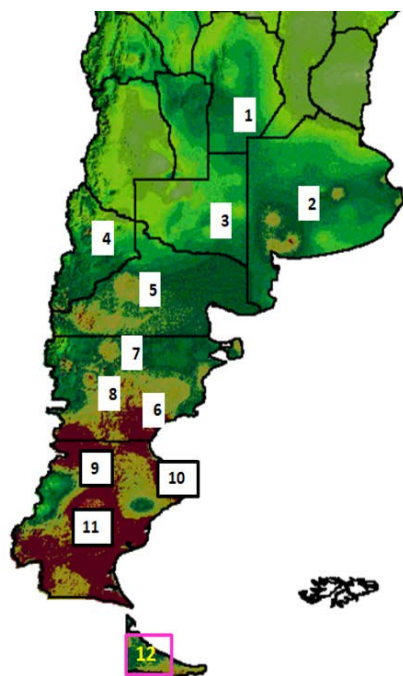
Cuadro 4 - Factor de capacidad P50 y P90, PAE correspondiente a P90 y % del total de energía eléctrica consumida por el país en el año 2019

Lugar	Vm (m/s)	Vm/Vnom	Fc* %	F _{CP90} %	PAE P90 (GWh) por cada GW instalado	% del total
1. Córdoba	8.5	0.71	50.52	42.8	3745	2.85
2. Buenos Aires	9.1	0.76	56.00	47.4	4151	3.16
3. La Pampa	7.8	0.65	44.44	37.6	3294	2.51
4. Neuquén	8.3	0.69	48.76	41.3	3614	2.75
5. Río Negro	9.1	0.76	56.00	47.4	4151	3.16
6. Chubut	11.0	0.85	66.35	56.1	4918	3.75
7. Chubut	9.0	0.75	55.07	46.6	4082	3.11
8. Chubut	10.9	0.84	65.40	55.3	4848	3.69
9. Santa Cruz	11.8	0.91	74.29	62.9	5507	4.19
10. Santa Cruz	13.0	1.00	87.50	74.0	6486	4.94
11. Santa Cruz	12.0	0.92	76.38	64.6	5662	4.31
12. Tierra del Fuego	11.3	0.87	69.26	58.6	5134	3.91

Fuente: Autoría propia.

En los sitios donde la velocidad media anual del viento es mayor que 10 m/s, que son sitios con viento clase especial según la norma IEC 61400-1, en los cuales los aerogeneradores deben ser muy robustos para soportar los esfuerzos estructurales que provoca esa clase de viento, se consideran máquinas con velocidad nominal de 13 m/s, mientras que, en los demás lugares, en donde el viento es clase I o II, la velocidad nominal de los molinos se considera de 12 m/s. Un parque eólico de 1 GW de potencia instalada, con aerogeneradores de 3 MW, respetando con creces las recomendaciones en cuanto a distancias, espacios para caminos internos, oficinas, subestación transformadora etc. puede ocupar unos 370 km². Las áreas, en cada sitio de los especificados, que tienen velocidades medias de viento similares o superiores, son, desde luego, muy mayores.

Figura 2 - Sitios – Regiones escogidos y datos de los mismos. La velocidad media (Vmedia) de viento es a 90 m sobre el suelo



N°	Provincia	Lat. Sur Lon. Oeste	msnm	Tmedia °C	Vmedia m/s
1	Córdoba	33.302° 64.714°	556	16	8.5
2	Buenos Aires	38.768° 61.873°	80	14	9.1
3	La Pampa	37.345° 61.85°	240	14	7.8
4	Neuquén	38.943° 69.19°	594	11	8.3
5	Río Negro	40.272° 64.988°	140	13	9.1
6	Chubut	45.930° 67.614°	152	10	11
7	Chubut	43.11° 66.595°	168	11	9
8	Chubut	44.142° 69.385°	272	10	10.9
9	Santa Cruz	46.547° 69.827	538	7	11.8
10	Santa Cruz	47.142° 66.091°	124	9	13
11	Santa Cruz	49.797° 71.272	530	5	12
12	Tierra del Fuego	54.797° 66.086°	162	5	11.3

Fuente: Autoría propia en base a datos del SIG Eólico.

Comentarios

La primera lectura que surge del [Cuadro 4](#), es que los sitios con mayores Fc, y en consecuencia mayor Producción Anual de Energía mediante parques eólicos, están en la Patagonia (Santa Cruz, Tierra del Fuego, Chubut, Río Negro), seguidos por la Provincia de Buenos Aires. En esta última, actualmente hay instalados parques eólicos de potencia total mayor a 1 GW; en esta zona es donde se ubica también la mayor parte del consumo industrial y concentración poblacional (53 hab/km²). Es decir, es razonable que la potencia eólica instalada sea grande, pero esta potencia se puede multiplicar varias veces, dadas todas las características de la zona, desde la demanda energética, existencia de redes de distribución eléctrica, ubicación de fábricas de componentes de aerogeneradores y características del viento.

Pero en la Patagonia, la densidad poblacional es muy baja (del orden de 2 hab/km²) y si bien hay industrias que demandan energía eléctrica en las ciudades de Puerto Madryn y Comodoro Rivadavia (Chubut), en el resto de esta vasta región hay muy

poca o ninguna otra industria. Además, la Patagonia tiene abundantes fuentes fósiles, principalmente gas y petróleo, lo que permitiría la generación eléctrica en grandes cantidades mediante parques eólicos con el respaldo suficiente mediante generación térmica fósil. Esto, probablemente, indicaría que, en una planificación energética, se debería considerar la instalación de grandes centros industriales en la Patagonia. Esto también significa un ahorro de miles de km de líneas de alta tensión para transportar esa energía hacia la pampa húmeda, y hacer un estudio cuidadoso del recurso agua de esta zona, ya que es, aparentemente, escaso.

Es muy importante tener en cuenta que, en una planificación energética racional, en Argentina hay grandes yacimientos de petróleo y gas no convencional y convencional, son fuentes que no se pueden obviar, máxime si se tiene en cuenta que Argentina genera un 0.5 % de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel global, ya que, si se apagarán todas las centrales eléctricas térmicas de combustible fósil, si se detuviera todo el parque automotor, si todos anduviésemos a caballo o en bicicleta, el planeta no se daría cuenta. Por lo tanto, una consecuencia de esto parece ser que, la generación o no de GEI no debe ser una condicionante importante en cuanto a la fuente de energía a utilizar.

Las consideraciones en cuanto al tipo de fuente de energía pueden ser otras, tales como:

- Las fuentes de energía existentes en cada región. La eólica está presente en los sitios indicados en este capítulo, junto a la fósil para el respaldo necesario.
- La fuente solar es muy abundante en la parte noroeste y oeste del país, desde Salta y Jujuy hasta Mendoza. Nuevamente, no parece ser razonable llevar energía eléctrica a granel desde esta zona hacia la pampa húmeda, sino que lo racional puede ser la instalación de zonas industriales de consumo acorde, en esta extendida zona de abundante radiación solar.
- La utilización de generación eléctrica mediante fuentes renovables, trae consigo el desarrollo tecnológico necesario para la fabricación e instalación de los parques eólicos y fotovoltaicos, con la consiguiente creación de puestos de trabajo, y el mejoramiento de calidad de vida de zonas que pueden estar deprimidas económicamente.

En Argentina, es muy probable que la cuestión más importante de la planificación energética, tenga que ver con lo que se pretenda en cuanto al aprovechamiento de la fuente fósil. En este sector, las mejores políticas tienen que ver con la continuación de lo iniciado por el Gral. Mosconi en 1922, que al frente de YPF inició la producción, elaboración, transporte y comercio del petróleo, es decir pensó a YPF como el motor del desarrollo no sólo del petróleo sino también industrial argentino, con la mayor parte de los insumos necesarios de fabricación nacional, acompañando estas políticas con el

propio desarrollo de conocimiento para tener soberanía tecnológica⁴; con este objetivo es que se creó Y-TEC en el año 2013 compuesta por un paquete accionario del 51% de YPF y 49% del CONICET. Si no se realizan estos objetivos, se corre el riesgo de seguir con la importación de servicios y conocimientos, para ... extraer una materia prima, lo que significa una re-primarización, además que se concluye por girar los dividendos a las casas matrices de los países desde donde viene la tecnología ya desarrollada.

En este mismo sentido, es que, en el caso de la instalación de parques eólicos, se debe tener muy en cuenta la fabricación de la mayor parte de los componentes de los aerogeneradores en el país, puesto que cuando el insumo o bien de capital es de fabricación nacional, existe una creación de valor agregado que implica ocupar mano de obra, capital, capacidad empresarial y demanda de insumos locales que pueden estar desempleados y, por lo tanto, es un beneficio social. Esta generación de valor agregado, debería considerarse como un adicional en favor del proyecto que presente mayor cantidad de fabricación de insumos de aerogeneradores a nivel local, nacional o de Mercosur. Al respecto, hay estudios realizados por algunos gobiernos provinciales (GOBIERNO DE MENDOZA, [2016](#)).

Conclusiones

La fuente eólica existe en gran parte de Argentina, y si bien alguna región está avanzando en su aprovechamiento en forma razonable como ser en la provincia de Buenos Aires, hay vastas regiones sobre todo en la Patagonia, en las que el aprovechamiento de la energía eólica para generación eléctrica es aún muy bajo respecto de su potencial, debido en forma principal a dos motivos: en estas regiones la demanda de energía eléctrica es muy baja y las líneas de distribución eléctrica de alta tensión que llevan la energía a la zona de alta demanda, que es la pampa húmeda, están ya ocupadas por los parques eólicos existentes.

En la vasta región patagónica los factores de capacidad de parques eólicos calculados en este capítulo son los más altos, hay además petróleo y gas que pueden utilizarse para centrales térmicas convencionales que son necesarias para respaldo y estabilidad de red, pero no hay alta demanda de energía eléctrica industrial, comercial ni domiciliaria. Ante esta situación se podría incentivar la instalación de centros industriales en la Patagonia, con la generación eléctrica en el lugar, principalmente la generación proveniente de la energía eólica, además, si se tiene en cuenta la mejora de

4 Entre 1927 y 1928 Mosconi recorrió América Latina informando sobre la experiencia argentina con los combustibles fósiles, promoviendo la integración de esfuerzos en materia de petróleo. Defendió la nacionalización de estos recursos, un absoluto monopolio estatal en su exploración y explotación, la necesidad de los países latinoamericanos de tomar medidas coordinadas en este asunto, y la promulgación de leyes relacionadas con los recursos naturales que fueran ventajosas para los intereses de los estados nacionales. La influencia de esta doctrina tuvo impacto en México, Brasil (CNP), Uruguay (ANCAP), Bolivia (YPFB) y Colombia.

los métodos de predicción de generación de energía eléctrica a partir de energía eólica (recursos para investigación y desarrollo), con horizontes que permitan una gestión eficiente entre la generación y despacho (puesta en línea de centrales convencionales ante el aumento de demanda o ante la calma de viento), se podría estar viabilizando el aprovechamiento de un recurso energético disponible y de abundancia significativa en la región patagónica. Estas acciones implicarían cambios sociales y económicos considerables por cuanto sería una medida que incluso puede impulsar cierta tendencia hacia la modificación de la distribución demográfica del país; esto sería altamente beneficioso en múltiples sentidos, puesto que tener el 39% de la población del país en el Gran Buenos Aires es irracional desde muchos puntos de vista.

Referencias

- COSTA, A.; CRESPO, A.; NAVARRO, J.; LIZCANO, G.; MADSEN, H.; FEITOSA, E. A review on the young history of the wind power short-term prediction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 6, p. 1725-1744, 2008.
- F. TILCA; G. LAZARTE; S. SÁNCHEZ; H. MATTIO. Predicción de generación eléctrica en parques eólicos. **Acta, XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 1, p. 06.99-06.103, 2013, Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5.
- F. TILCA, Tesis doctoral, Biblioteca del INENCO, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta, Argentina.
- GEORGILAKIS, P. S. Technical challenges associated with the integration of wind power into power systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 3, p. 852-863, 2008.
- GIEBEL, G.; BROWNSWORD, R.; KARINIOTAKIS, G. **The state-of-the-art in short-term prediction of wind power**. A literature overview. Version 1.1, 2004.
- GOBIERNO DE MENDOZA. **Consideraciones sobre el Componente Nacional Declarado en el RenovAr** – Proyectos de generación Eólicos y Fotovoltaicos. Ciudad de Mendoza: Ministerio de Economía, Infraestructura y Energía, 2016. Disponible em: <http://www.melectrico.com.ar/web/pdfs/Mendoza-trabajo%20Renovar.pdf>. Acceso em: 11 jun. 2022.
- LANDBERG, L.; GIEBEL, G.; NIELSEN, H. A.; NIELSEN, T.; MADSEN, H. Short-term prediction—an overview. **Wind Energy: An International Journal for Progress and Applications in Wind Power Conversion Technology**, v. 6, n. 3, p. 273-280, 2003.
- NOTIS, C.; TRETTEL, D. W.; AQUINO, J. T.; PIAZZA, T. R.; TAYLOR, L. E.; TRASK, D. C.; MILLER, A. H. **Learning to forecast wind at remote sites for wind energy applications**. Final report (No. PNL-4318). Pacific Northwest Lab., Richland, WA (USA), 1983.
- PÁGINAS DE INTERNET (todas las consultas realizadas en diciembre de 2020): <https://cammesa.com.ar>; <https://sigeoico.energia.gob.ar>.
- PINSON, P.; CHEVALLIER, C.; KARINIOTAKIS, G. N. Trading wind generation from short-term probabilistic forecasts of wind power. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 22, n. 3, p. 1148-1156, 2007.
- URUGUAY. **Pronóstico de Generación Eólica**. In: ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE USINAS Y TRANSMISIONES ELÉCTRICAS DEL ESTADO. [20--]. Disponible em: <https://apps.ute.com.uy/SgePublico/ConsPrevGeneracioEolica.aspx>. Acceso em: 11 jun. 2022.

CAPÍTULO 20

TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y PRODUCCIÓN DE LITIO: PRINCIPALES DEBATES Y DESAFÍOS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN ARGENTINA

Walter F. Díaz Paz¹

Melisa L. Escosteguy¹

Araceli Clavijo¹

Lucas Seghezso¹

Martín Iribarnegaray¹

Resumen

El litio es considerado un mineral estratégico en tanto que es un elemento crítico para la producción de tecnologías “verdes” diseñadas para contribuir en la actual transición energética. La necesidad de contar con grandes cantidades de litio está ejerciendo una fuerte presión sobre los salares altoandinos de Argentina, donde se han manifestado algunos conflictos socio-ambientales vinculados al consumo de agua y la producción de litio. El objetivo de este trabajo fue identificar cuáles son los debates académicos actuales en torno a la producción de litio en salares y el consumo de agua durante el proceso. Para ello se realizó una recopilación selectiva de artículos científicos, los cuales fueron analizados y clasificados según la temática abordada. Los principales resultados indican que las preocupaciones sobre la gestión del agua en la minería del litio en Argentina están sujetas a percepciones e intereses que los actores involucrados tienen respecto al litio, así como al lugar material y discursivo que estos ocupan en la red de producción. En Argentina, la gestión de los recursos hídricos aún no forma parte de la agenda pública de los gobiernos nacionales y provinciales; los desafíos planteados al respecto suponen la necesidad de un trabajo conjunto entre el Estado, las comunidades, los investigadores locales y las compañías mineras.

Palabras clave: Minería del litio. Nexos agua-litio. Transición energética.

¹ Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa), Salta, Argentina. walterfdiazpaz@gmail.com

Introducción

La década 2010-2019 ha registrado las temperaturas más altas a lo largo de la historia, con niveles de CO₂ y otros gases de efecto invernadero en su concentración más alta en 2019. Los impactos actuales y potenciales del cambio climático han sido extensamente documentados, por lo que la necesidad de mitigarlos es impostergable (IPCC, 2018). A partir de la firma del Acuerdo de París y de la publicación de la Agenda 2030 de Naciones Unidas se estableció la importancia de coordinar acciones internacionales para mantener la temperatura por debajo de los 2°C sobre los niveles preindustriales. En este contexto, el desafío climático se presenta como un desafío energético, en el que el desarrollo de nuevas tecnologías y una transición orientada hacia fuentes de energía más sustentables es fundamental (GIELEN *et al.*, 2019). Además del desarrollo tecnológico, la actual transición energética debería implicar cambios en los hábitos de consumo, estando este aspecto aun escasamente cuestionado, ya que no se discute la lógica de las demandas crecientes de los llamados “minerales estratégicos” (MIGNAQUI, 2019). Una transición energética basada únicamente en una sustitución de fuentes fósiles por fuentes de energía más limpias o renovables no conducirá a una sustentabilidad global, en tanto requiera la extracción de minerales estratégicos en grandes cantidades. Algunos autores plantean que, en todo caso, esto conducirá a una transición energética “sostenible” del Norte Global que tendrá como contrapartida la creación de “áreas de sacrificio” que exacerbarán las desigualdades e inequidades sociales, ambientales y políticas existentes en el Sur Global (GEGyBC, 2019).

El litio es considerado un mineral estratégico o tecnológico en tanto que es un elemento crítico para la producción de tecnologías “verdes” diseñadas para contribuir en esta transición energética (ALI *et al.*, 2019; SOVACOOOL *et al.*, 2020). Actualmente el litio es utilizado para la elaboración de baterías destinadas al almacenamiento de energía proveniente de fuentes renovables y, en mayor medida a la producción de vehículos eléctricos (VE). Los VE se han posicionado como la tecnología dominante para reducir las emisiones del sector de transporte, ya que solamente las emisiones de los automóviles a combustión interna, representan el 7% del aporte a las emisiones globales (VICTOR *et al.*, 2019). Por el momento, la demanda futura de litio depende del desarrollo en escala de los VE y del contenido de litio por vehículo (HACHE *et al.*, 2019) y podría aumentar drásticamente con la penetración de tecnologías bajas en carbono en el sector (BUCHHOLZ; BRANDENBURG, 2018). Por su parte, la fabricación de acumuladores de energía podría suponer una alternativa tecnológica viable para la electrificación de zonas remotas a partir de fuentes renovables intermitentes, como el sol y el viento, de ese modo, se calcula que solo en Sudamérica unos treinta millones de personas podrán tener acceso a la energía eléctrica (CALVO, 2019).

Más del 50% de las reservas de litio se localizan en los salares altoandinos de Argentina, Bolivia y Chile, siendo actualmente Argentina el cuarto país productor de carbonato de litio después de Australia, Chile y China (USGS, [2020](#)). La producción de litio a partir de salmueras naturales supone la utilización de la técnica evaporítica, la cual se posiciona actualmente como la alternativa tecnológica más conveniente (CHOUBEY *et al.*, [2016](#)). Se estima que durante el proceso de concentración evaporítica se pierde a la atmósfera entre 50 y 500 m³ de agua por tonelada de LCE producido (BASPINEIRO *et al.*, [2020](#)), a lo cual se adiciona un consumo de agua dulce de entre 5 y 50 m³ por tonelada del mismo producto (FLEXER *et al.*, [2018](#)).

En Argentina el litio es producido en territorios donde habitan comunidades originarias, quienes utilizan los diferentes recursos naturales existentes para su supervivencia (GÖBEL, 2013). En este contexto, la minería del litio representa una forma de competencia por el uso de un recurso escaso en la región, el agua (TAPIA, QUIROGA; SÁNCHEZ, [2015](#); MIGNAQUI, [2019](#)). Los múltiples reclamos y conflictos socio-ambientales sucedidos entre los diferentes actores que intervienen en la producción de litio en Argentina (comunidades originarias, Estado, compañías mineras) tienen su origen en el temor de las comunidades locales a un potencial agotamiento de las fuentes de agua dulce existentes por la minería del litio (FORNILLO, [2018](#)). Sin embargo, las empresas aseguran que no existen tales riesgos y que el litio es un mineral sustentable porque su producción no genera grandes huellas de carbono y el consumo de agua es despreciable en comparación con el de otros procesos mineros (LIVENT, 2019; OROCOBRE, 2019). Por su parte, los gobiernos provinciales consideran a la producción de litio como una oportunidad para atraer inversiones, y favorecen la ocurrencia de procesos administrativos poco transparentes que les permiten a las compañías mineras avanzar rápidamente en las diferentes fases de la prospección y explotación minera (ARGENTO; ZICARI, [2015](#); PUENTE; ARGENTO, [2015](#)). Desde el ámbito académico local, algunas investigaciones destacan el potencial impacto ambiental negativo existente sobre los recursos hidrogeológicos de la región (MIGNAQUI, [2019](#)), pero al mismo tiempo señalan que el conocimiento científico respecto al comportamiento de los salares es escaso aún (IZQUIERDO *et al.*, [2018](#); GEGyBC, 2019). Avanzar en este sentido representa un gran desafío para el sistema científico argentino ya que, por un lado, en muchos casos el acceso al territorio para recabar información está limitado por las compañías mineras (FORNILLO, [2018](#)), mientras que, por otro, el acceso a la información ambiental existente en los diferentes organismos públicos provinciales es escaso y está sujeto a una burocracia institucional que dificulta su accesibilidad (GEGyBC, 2019; MIGNAQUI, [2019](#)). Pese a esta situación, la discusión sobre costos sociales, ambientales y políticos que la minería del litio en Argentina externaliza hacia las comunidades locales, a fin de sostener la transición energética en los países del Norte Global no ha merecido aún la suficiente atención pública (TAPIA; QUIROGA;

SANCHEZ, 2015). Asimismo, tanto el Estado como las compañías mineras han prestado escasa atención al conocimiento científico generado en el país en torno al litio (CALVO, 2019; FORNILLO; GAMBA, 2019).

Este trabajo se focaliza en identificar cuáles son los debates académicos actuales en torno a la producción de litio en salares y al consumo de agua asociado al proceso. Para ello se aplicó una metodología estandarizada para la recopilación selectiva de artículos científicos (ARTHUR *et al.*, 2019), los cuáles fueron analizados detalladamente y clasificados según la temática abordada. La hipótesis planteada sostiene que en los debates académicos internacionales no se incluye un análisis de los desafíos existentes en torno a los conflictos socio-ambientales territoriales asociados al consumo de agua en la producción de litio. Mientras que, por su parte, los debates académicos locales intentan abordar estos desafíos y evidenciar la conflictiva trama socio-ambiental que se manifiesta en el territorio en torno a la producción de litio y el consumo de agua. Esta disidencia en el entendimiento de la minería del litio podría deberse a relaciones asimétricas de poder, acceso a la información, capacidad de investigación y financiación entre los diferentes actores de la red global de producción de litio (AGUSDINATA *et al.*, 2018). Para la identificación de los debates académicos internacionales y locales se utilizó la base de datos web Science Direct y la base de datos de artículos científicos publicados del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET), respectivamente. Mientras que la identificación de los desafíos planteados desde el territorio respecto a la problemática se realizó a partir de la codificación de distintos documentos en el software MAXQDA.

Materiales y Metodología

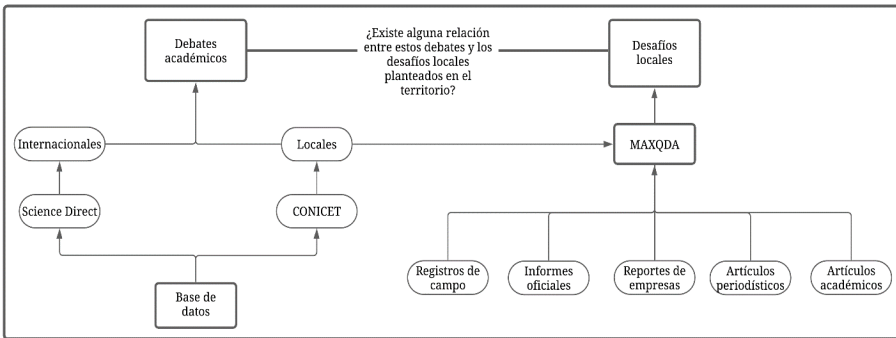
En la Figura 1 se presenta en forma gráfica la organización metodológica llevada a cabo para el desarrollo del presente capítulo. De acuerdo a la base de datos utilizada para la recopilación y selección de los artículos científicos, los debates académicos han sido considerados como: (i) debates académicos internacionales y (ii) debates académicos locales. En la discusión, los debates académicos internacionales fueron vinculados en su conjunto al término de debates académicos del Norte Global, debido a que como señala Agusdinata *et al.* (2018) el concepto de Norte Global supera los límites políticos de un determinado país o región. Así pues, el concepto está ligado a una lógica de pensamiento relativa a la actual transición energética, la producción de litio y otros minerales estratégicos, que se enfoca mayoritariamente en aspectos tecnológicos extractivos que responden a intereses económicos e industriales de los países del Norte Global. En este trabajo, tanto en los debates académicos internacionales como en los debates académicos locales, el foco fue puesto únicamente en el abordaje de la temática “agua-litio”.

Para la recopilación de los artículos científicos publicados en la base de datos web Science Direct (debates académicos internacionales) se han establecido los siguientes patrones de búsqueda: (i) idioma del texto: “inglés”, (ii) palabras claves: “water and lithium”, (iii) tipo de publicación: “artículos de investigación”, (iv) área temática: “ciencias ambientales” y (v) año de publicación: 2010 - 2020 inclusive. Sobre los resultados arrojados por el buscador únicamente han sido incluidos en la confección de la base de datos propia aquellos artículos en los que se presentan ambas palabras claves, ya sea en: (a) el título del artículo, (b) resumen o (c) en las palabras claves presentes en el mismo. Posteriormente, se seleccionaron para el análisis aquellos artículos que plantean el estudio de la temática en salares continentales. Este criterio se definió debido a que el mayor abastecimiento de carbonato y cloruro de litio en el mercado global actual proviene de la explotación de este tipo de recursos hídricos (USGS, 2020). Finalmente, se procedió a la lectura, análisis y sistematización de los mismos. Para llevar a cabo este proceso se organizó la lectura en torno a cuatro preguntas de investigación: (i) ¿Cuál es la hipótesis u objetivo del trabajo?, (ii) ¿Se plantea algún posible desafío o barrera para la producción de litio en salares?, (iii) ¿Cuál?, (iv) ¿Cómo se podría superar el desafío o barrera planteada? Dichas preguntas fueron respondidas de acuerdo a la temática abordada en cada uno de los artículos con la intención de organizar las discusiones y debates académicos actuales respecto a la producción de litio en salares.

Para analizar los conflictos, preocupaciones y debates académicos locales en torno al consumo de agua en la extracción del litio se codificaron alrededor de 550 documentos utilizando MAXQDA Analytics Pro, un software que permite el análisis de datos cualitativos. Los documentos fueron divididos en 5 grupos: (i) registros de campo, que incluyen conversaciones informales y entrevistas semiestructuradas con miembros de distintas comunidades de la Puna argentina (5 documentos); (ii) informes oficiales publicados por distintos organismos de gobierno (12 documentos); (iii) reportes de empresas disponibles en sus sitios web (101 documentos); (iv) artículos periodísticos que contienen la palabra “litio” publicados entre Abril 2018-Abril 2020, por los dos diarios más leídos de Salta, Jujuy y Catamarca y los dos diarios de acceso libre más leídos en Argentina (395 documentos); y (v) artículos científicos y técnicos publicados en español (22 documentos). En este último grupo se incluyeron los artículos científicos identificados en la base de datos de CONICET, con los cuales se buscó establecer cuáles son los debates académicos locales en torno a la producción de litio y el consumo de agua involucrado. El proceso de codificación se inició con la elaboración de un sistema de códigos o categorías compuestos por cinco códigos principales: (a) visiones acerca de la producción de litio, (b) impactos positivos, (c) impactos negativos, (d) percepciones sobre los salares y el territorio, y (e) gobernanza. Cada uno de estos códigos principales se dividió en subcódigos para poder codificar el material con mayor precisión. Algunos de los subcódigos se establecieron de manera

deductiva, antes de la codificación, mientras que otros fueron agregados de manera inductiva o *in vivo*, a medida que aparecían nuevas categorías en los documentos. El subcódigo “agua” fue central en este trabajo para reflejar empíricamente las tensiones en torno al acceso y disponibilidad del agua en las zonas cercanas a los proyectos de extracción de litio. Este subcódigo es parte del código principal “impactos negativos” y fue definido como “menciones a problemas en torno al agua en la extracción del litio”, por ejemplo, escasez de agua, cambios en la disponibilidad de agua en vegas y arroyos, salinización de las napas de agua dulce en el salar.

Figura 1 - Organización gráfica de la metodología utilizada

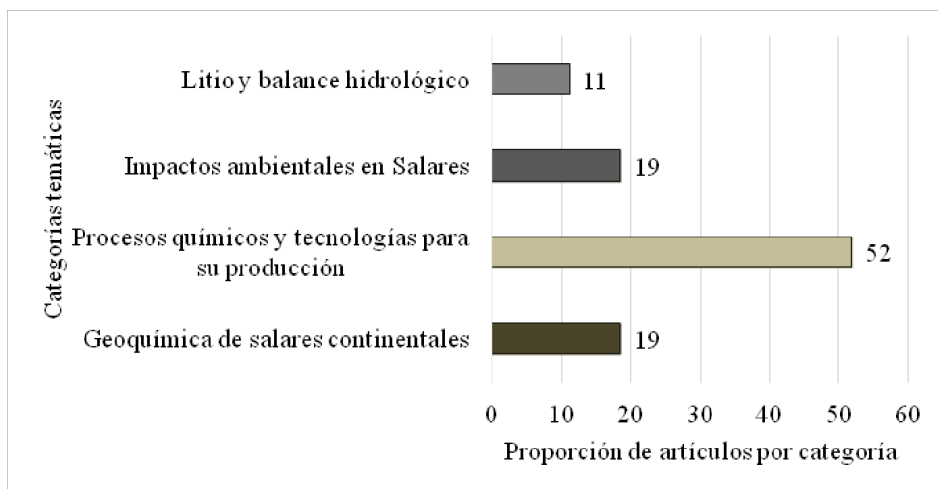


Fuente: Autoría propia.

Resultados y Discusión

En primera instancia, desde la base de datos *Science Direct* se pudieron identificar un total de 5.436 artículos científicos en los cuales de algún modo apareció la palabra clave “*water and lithium*”. Sin embargo, siguiendo los criterios de inclusión, únicamente 27 artículos fueron seleccionados para el análisis y discusión de este capítulo. Las diferentes temáticas abordadas permitieron realizar una sistematización en cuatro categorías (Figura 2).

Figura 2 - Porcentaje de artículos identificados según las diferentes categorías temáticas



Fuente: Autoría propia.

Los debates y discusiones más relevantes identificados en cada categoría fueron los siguientes:

1. Procesos químicos y tecnológicos para su producción

Con el 52% de los artículos analizados, esta categoría se constituye como el principal tema de discusión e investigación según nuestra base de datos. El principal objetivo de investigación en esta categoría es el desarrollo de alguna nueva técnica para la recuperación de litio desde salmuera. Las propuestas incluyen membranas de adsorción selectiva (ZANTE *et al.*, 2020), nanofiltración (SUN *et al.*, 2015; PRAMANIK *et al.*, 2020), filtros de intercambio iónico (CHEN *et al.*, 2017), polímeros impresos de iones de litio (HUANG; WANG, 2018), electrodiálisis (GUO *et al.*, 2018; YING *et al.*, 2020), membranas bipolares (BUNANI *et al.*, 2017), baterías de desalinización por litificación selectiva (ZHAO *et al.*, 2020), entre otras. Todas las propuestas están orientadas a atender un desafío tecnológico asociado a la producción de litio. Algunos autores señalan que ante una demanda global creciente del mineral debido principalmente a la electromovilidad es indispensable diversificar e intensificar la producción de litio desde la mayor cantidad de fuentes posibles (SUN *et al.*, 2015; CHEN *et al.*, 2017; ZANTE *et al.*, 2020; PALAGONIA *et al.*, 2020; PRAMANIK *et al.*, 2020; WEI *et al.*, 2020), esto involucra salares con altas tasas Mg⁺/Li⁺ y agua de mar (GUO *et al.*, 2018; ZANTE *et al.*, 2020). Otros, por su parte, consideran que para superar el desafío es necesario atender las desventajas de la tecnología evaporítica (KIM *et al.*, 2015; ZHAO *et al.*, 2020) que incluyen extensos periodos de tiempo en las fases previas a la carbonatación, baja eficiencia

en la separación de las sales de litio e identificación de algunos impactos ambientales (HUANG; WANG, [2019](#); PALAGONIA *et al.*, [2020](#)). Sin embargo, la mayoría de estas alternativas tecnológicas están aún en diferentes fases de laboratorio y a medida que la investigación avanza se identifican ciertas ventajas y desventajas en su aplicación a gran escala (PRAMANIK *et al.*, [2020](#); ZANTE *et al.*, [2020](#)), las cuales siempre están asociadas a las características propias de cada salar, lo que determina la posibilidad de recuperar sales de litio utilizando diferentes tecnologías y procesos (ZHAO *et al.*, [2020](#)). Es así que, dada la importancia del litio en la actual transición energética el objetivo debería ser desarrollar la mayor cantidad de alternativas tecnológicas posibles para su extracción (WEI *et al.*, [2020](#)).

2. Impactos ambientales en salares

El 19% de los artículos analizados discuten temáticas vinculadas a esta categoría. El objetivo planteado conduce a identificar y evaluar diferentes impactos ambientales de las alternativas tecnológicas para la recuperación y producción de LCE en salares. Así entonces, Li *et al.* ([2020](#)) determinaron que, desde el punto de vista ambiental, la alternativa tecnológica basada en la nanofiltración presenta una huella ecológica considerable asociada principalmente al consumo energético. Por otra parte, Baspineiro *et al.* ([2020](#)) reconocen el impacto ambiental de la producción de litio en salares sobre el balance hidrogeológico regional y proponen mitigarlo a partir de la implementación de un sistema integrado entre la producción de LCE y la desalinización de salmuera para consumo humano. Sin embargo, algunos autores señalan que, vincular el suministro de un recurso natural indispensable como el acceso al agua potable a la producción de un bien privado como el litio podría comprometer aún más la gobernanza y gestión de los recursos hídricos en el territorio, ya que de este modo se podría justificar el excesivo consumo de agua llevado a cabo en la producción (STICCO, [2018](#)). El aprovisionamiento de un bien común, necesario y escaso para las comunidades de la Puna argentina, no puede depender de la prevalencia de procesos extractivos que impactan negativamente sobre el mismo recurso (PEYRÉ; DORN, 2019). La minería del litio en salares afecta los recursos hídricos no solo por su excesivo consumo, sino también por los efectos secundarios que genera sobre la dinámica natural de las cuencas hidrogeológicas existentes en la región (MARAZUELA *et al.*, [2019b](#)). La sustentabilidad de la minería del litio no puede ser determinada considerando únicamente aspectos técnicos, es necesario incluir una visión holística, interdisciplinaria e integrada (LIU; AGUSDINATA, [2020](#)). En este sentido, Liu y Agusdinata ([2020](#)) han llevado a cabo un estudio basado en el marco teórico de “sistemas socio-naturales”, lo cual permitió identificar impactos ambientales que trascienden las barreras tecnológicas, de producción y mercado. La minería del litio en los salares Sudamericanos ya presenta evidencias

de una retrogresión paulatina que afecta la biodiversidad, la oscilación de variables climáticas, edáficas e hídricas (LIU *et al.*, 2019). Pese a estas evidencias, el desarrollo científico presta escasa atención a esta etapa de la red global de producción de litio (STAMP *et al.*, 2012). Las investigaciones respecto a los impactos ambientales se focalizan mayormente en las etapas de industrialización y fabricación de baterías y vehículos eléctricos, mientras que las investigaciones en torno a la producción de litio en salares aborda generalmente aspectos técnicos.

3. Litio y balance hidrológico

Esta categoría se encuentra compuesta por el 11% de los artículos analizados. El objetivo de investigación está vinculado con la necesidad de determinar el comportamiento hidrológico de la cuenca endorreica del Salar de Atacama (SdA) en Chile, y constituye una línea de investigación integrada por 3 artículos secuencialmente abordados. En Marazuela *et al.* (2019a) los autores presentan una línea de base para entender el comportamiento hidrogeológico del salar y cuantificar el balance hídrico del mismo bajo régimen natural, es decir, sin considerar el bombeo intensivo de salmuera para la producción de litio. Este estudio fue necesario para investigar posteriormente, en Marazuela *et al.* (2019b), la interacción entre los procesos naturales y antropogénicos que coexisten en el salar y predecir su respuesta a la presión antropogénica. La mayor contribución de este estudio fue demostrar que el bombeo de salmuera tiene un impacto ecológico en el salar, el cual es atenuado de forma natural mediante la “damping capacity” (capacidad de amortiguación) que presentan los salares. Este impacto provocó un descenso del nivel freático que, en consecuencia, genera una disminución de la tasa de evaporación en la superficie de agua libre del salar, lo que impacta negativamente en el régimen natural del nivel freático. Teniendo en cuenta este impacto, los autores propusieron un modelo y una forma de mitigar estas perturbaciones, sugiriendo que es necesaria una mejor distribución de los pozos de bombeo (MARAZUELA *et al.*, 2020). La cual muchas veces es determinada de forma arbitraria según los intereses y objetivos de producción de las compañías mineras. Estos artículos representan un gran avance en el estudio del comportamiento hidrogeológico de los salares ya que, contribuyen al conocimiento de la cuenca del SdA y proponen un modelo hidrológico que puede ser potencialmente utilizado para cuencas de un régimen similar.

4. Geoquímica en salares continentales

De la base de datos construida, el 19% de los artículos corresponden a esta categoría. El objetivo general de investigación está asociado con la necesidad de determinar las condiciones hidrogeoquímicas de los diferentes salares continentales. Este aspecto se considera de gran importancia para establecer la factibilidad económica

y técnica de la recuperación y producción de litio (LÓPEZ STEINMETZ *et al.*, 2018). Alexeev *et al.* (2020) al analizar la geoquímica de los salares continentales en Siberia, concluyendo que las técnicas de extracción de litio deben adaptarse a las condiciones naturales de los salares. En este sentido, los autores plantean una crítica a la minería del litio en Sudamérica, consideran que el uso generalizado de la tecnología evaporítica no permite focalizar en las características geoquímicas de los salares, y que la misma es utilizada arbitrariamente sin considerar las consecuencias futuras que podría implicar para el sistema hidrogeológico. Además, se pone en relieve que los procesos basados en la concentración de las salmueras por evaporación son altamente ineficientes en términos de gestión en el uso del agua. Por lo cual proponen sustituir la tecnología por aquellas con principios de absorción. Godfrey *et al.* (2013) y Marazuela *et al.* (2020) por su parte realizan una investigación orientada a determinar las condiciones actuales e históricas que rigen el enriquecimiento de litio en las salmueras. Sin embargo, en su trabajo no aportan mayores elementos a la discusión sobre los procesos de recuperación y producción de litio ni a la problemática de la gestión del agua. Zatout *et al.* (2020) advierten que más allá de la existencia y posibilidad de recuperación de sales de litio desde salares, es necesario considerar que este tipo de minería tiene impactos ambientales insostenibles, principalmente aquellos asociados al consumo de agua, por lo que es muy importante fomentar la investigación científica orientada a desarrollar y evaluar métodos alternativos para reemplazar la evaporación solar.

Los resultados surgidos del análisis realizado sobre los artículos seleccionados demuestran que, dentro de las cuatro categorías temáticas identificadas, es en la de “*Procesos químicos y tecnológicos para su producción*” donde mayormente se está avanzando en el conocimiento científico y donde a su vez se concentran la mayoría de los debates académicos internacionales. “*Eficiencia técnica para la producción de litio*” es el enfoque utilizado en la mayoría de los artículos analizados, pero esa eficiencia es discutida únicamente en términos de costos de producción y máxima recuperación posible del mineral. Por otra parte, la categoría “*Impactos ambientales en salares*” refleja de algún modo el surgimiento en los últimos años de algunas líneas de investigación que intentan avanzar con la identificación de los impactos ambientales asociados a la producción de litio. Sin embargo, los debates en esta temática son aún escasos. Las categorías siguientes “*Litio y balance hidrológico*” y “*Geoquímica en salares continentales*” demuestran que en los últimos años también ha surgido el interés por el estudio y conocimiento de los procesos geológicos naturales que determinan el comportamiento de los salares, interés que quizás está siendo impulsado por el escaso acceso a la información ambiental e hidrogeológica sobre estos recursos hídricos para la sociedad en general. En este sentido, López Steinmetz *et al.* (2018) menciona a este aspecto como una barrera del conocimiento, sobre el cual plantea que la información es ampliamente existente, pero que la misma solo está disponible para un grupo reducido de actores (compañías mineras y organismos de control y fiscalización del Estado).

Estos resultados muestran que los debates académicos internacionales surgidos en torno a la temática “agua-litio” no abordan de forma adecuada el análisis del conflictivo contexto territorial existente en la Puna argentina en relación a la producción de litio. En este sentido, tal como lo propone Agusdinata *et al.* (2018) la diferencia entre los debates académicos llevados a cabo en el Norte Global y el Sur Global refleja claramente la intencionalidad y la lógica extractiva bajo la cual la transición energética actual busca una vez más polarizar y centralizar el acceso a las tecnologías bajas en carbono. Esta misma lógica es cuestionada e impugnada por diferentes actores locales, principalmente comunidades originarias, quienes lejos de oponerse a la extracción y explotación de los salares reclaman una mayor participación en las decisiones que se toman al respecto, incluyendo la distribución de los beneficios económicos obtenidos mediante la comercialización del carbonato de litio (GÓMEZ, 2017; FORNILLO, 2018). Por otra parte, mientras que los debates académicos en el Norte Global buscan avanzar con el desarrollo de tecnologías más eficientes en la recuperación del mineral, en el Sur Global los debates incluyen al menos dos posturas. Una postura federal, que busca impulsar la industrialización y agregado de valor a la materia prima obtenida actualmente por las compañías mineras (CALVO, 2019; FORNILLO; GAMBA, 2019), y otra que asegura que la situación económica, financiera y social de Argentina necesita el ingreso acelerado divisas, para lo cual es prioritario exportar materia prima (GEGyBC, 2019). En el caso de la segunda postura se observa una temática tangencial con los autores del Norte Global, cuya principal preocupación gira en torno a beneficios y costos económicos. Sobre este aspecto algunos autores señalan que existe una intención de simplificar y hegemonizar el debate, invisibilizando de alguna forma la conflictiva realidad socio-ambiental bajo la cual la minería del litio avanza sobre los salares altoandinos (FORNILLO, 2018; GEGyBC, 2019). La determinación de los costos y beneficios de la minería del litio debería incluir una visión holística, donde además de los aspectos económicos se incluya la existencia de conflictos socio-ambientales por el uso del agua y el territorio, las disputas políticas y territoriales detrás de las regalías mineras que reciben las provincias, el nivel de ingreso, la ocupación laboral local permanente, entre otras variables socio-ambientales que reflejen la situación bajo la cual interactúan las comunidades originarias y la producción de litio en Argentina.

A partir de la utilización de la herramienta MAXQDA fue posible codificar un total de 121 segmentos bajo el subcódigo “agua”. Como se observa en el Cuadro 1, la mayoría de estos fueron identificados en artículos periodísticos y en artículos científicos. Las comunidades locales también mencionaron repetidas veces distintos impactos negativos de la extracción de litio vinculados al agua. Entre los informes oficiales y los reportes de las empresas se ha observado un número muy bajo de referencias a las implicancias del consumo de agua. En algunos casos estas preocupaciones están más vinculadas a asegurar la continuidad y rentabilidad de la extracción de litio, que por el acceso y la disponibilidad de agua por parte de las comunidades locales.

De esta forma, en referencia a los impactos negativos de la producción de litio, el proceso de codificación muestra que las preocupaciones de los distintos actores acerca del consumo de agua están relacionadas a las distintas percepciones e intereses que tienen en torno a la producción y al lugar que ocupan material y discursivamente en dicha red de producción. Ya que, por un lado, para las compañías mineras el agua salobre que constituye el salar no es considerada un recurso hídrico con potencial agotamiento. Sino más bien la definen como una “sustancia acuosa rica en sales minerales” (OROCOBRE, 2019). Por lo cual, es sus estimaciones de consumo de agua por tonelada de LCE producido no se incluye el volumen total de agua evaporada durante la fase evaporítica. En este sentido, la compañía Orocobre en su informe de sustentabilidad de 2019, sostiene que los reclamos de las comunidades locales son una mera manifestación del desconocimiento científico, respaldado muchas veces por grupos “sociales ambientalistas”. Por otro lado, para el Estado argentino la minería del litio en salares no es una actividad productiva a ser considerada dentro de las políticas de gestión de los recursos hídricos (STEINMETZ *et al.*, 2011). Tal como señala Steinmetz y Fong, (2019) en este contexto de producción creciente de LCE a partir de salmueras continentales, resulta indispensable en términos de gobernanza y gestión de los recursos hídricos que Argentina elabore instrumentos jurídicos unificados en todo el territorio, a partir de los cuales se garantice la planificación y ejecución de políticas públicas orientadas a gestionar correctamente los mismos.

Cuadro 1 - Clasificación y distribución de los conflictos identificados

Fuente	Problemas identificados	Segmentos
Registros de campo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disponibilidad de agua superficial (sequías), complicaciones para la cría de ganado. 2. “Hundimiento” del salar 3. Recarga del salar (filtraciones de agua dulce) 4. Contaminación de las napas de agua dulce. 	16
Informes oficiales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consumo de agua en un ambiente frágil. 	1
Reportes de empresas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Filtraciones de agua dulce en el salar y dilución de la salmuera. 2. Consumo de agua en un ambiente frágil. 	5
Artículos periodísticos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disponibilidad de agua superficial (sequías), complicaciones para la cría de ganado. 2. Contaminación de las napas de agua dulce (salinización) y del agua superficial. 3. Dificultades en el acceso al agua. 	41
Artículos científicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disponibilidad de agua superficial (sequías), complicaciones para la cría de ganado. 2. Recarga del salar. 3. Contaminación de las napas de agua dulce (salinización) y del agua superficial. 4. Consumo excesivo de agua en los actuales procesos de extracción. 5. Dificultades en el acceso al agua. 	58

Fuente: Autoría propia.

La codificación realizada sobre los 12 artículos científicos identificados en la base de datos de CONICET permitió determinar la correspondencia existente entre estos debates académicos y los desafíos locales que han sido identificados en los registros de campo y artículos periodísticos. En ambos casos, la minería del litio está siendo cuestionada y se intenta establecer la forma más adecuada mediante la cual Argentina asegure maximizar su crecimiento económico, sin comprometer el abastecimiento presente y futuro de agua (LÓPEZ STEINMETZ *et al.*, 2018; MIGNAQUI, 2019). En este aspecto, los debates locales actuales en torno al litio no parecerían incluir el paradigma de la actual transición energética “verde”, el cual es ampliamente discutido en los países del Norte Global (ALI *et al.*, 2019; GIELEN *et al.*, 2019). Para Argentina, el litio representa una nueva oportunidad para atraer capitales financieros extranjeros que permitan aumentar las recaudaciones mediante el pago de impuestos a la exportación y regalías mineras (FORNILLO; GAMBA, 2019; GEGyBC, 2019). En términos de impactos socio-ambientales asociados al consumo de agua en la producción de litio, son escasos los artículos científicos publicados que abordan la temática. Los artículos disponibles enfatizan en la preocupante explotación que se está llevando a cabo de los salares y los efectos negativos que ello podría suponer para las comunidades locales (FLEXER *et al.*, 2018; IZQUIERDO *et al.*, 2018; LÓPEZ STEINMETZ *et al.*, 2018; MIGNAQUI, 2019; BASPINEIRO *et al.*, 2020). Según nuestros resultados se pudo determinar que los desafíos planteados en el territorio en torno al consumo de agua y la producción de litio en Argentina son el resultado de amplios debates que se dan mayoritariamente en entornos no académicos. Estos se manifiestan a través de: notas periodísticas, reuniones y foros de divulgación local. Sin embargo, la atención pública que estos debates generan, es escasa en muchas ocasiones y no impacta en la planificación y ejecución de políticas públicas mineras (TAPIA, QUIROGA; SANCHEZ, 2015; FORNILLO, 2018). Sobre este aspecto en particular se pudo establecer la existencia de un reclamo colectivo que de algún modo involucra a las comunidades locales de la Puna argentina y a algunos investigadores pertenecientes al CONICET que investigan la problemática del litio desde diferentes campos del conocimiento. Ambos grupos solicitan al Estado nacional y a los Estados provinciales mayor transparencia institucional, una participación ciudadana activa en las decisiones respecto a las políticas públicas de gestión de los recursos hídricos, el territorio y los criterios de repartición de las regalías mineras (ARGENTO; ZICARI, 2015; PUENTE; ARGENTO, 2015; CALVO, 2019; FORNILLO; GAMBA, 2019; GEGyBC, 2019).

Analizando la lógica discursiva de los reportes de las empresas mineras es posible encontrar una clara convergencia respecto a los debates académicos planteados en los artículos identificados en la base de datos *Science Direct*. En ambos casos, la lógica está orientada a diversificar e intensificar la producción de litio (PALAGONIA *et al.*, 2020; PRAMANIK *et al.*, 2020), para lo cual el conocimiento científico avanza en

el desarrollo de alternativas tecnológicas con desempeños cada vez más específicos en cuanto a la cantidad de litio recuperado (WEI *et al.*, 2020).

En ambos grupos de documentos no se cuestionan ni se vinculan los conflictos socio-ambientales existentes en el territorio con el consumo de agua durante la producción. Al contrario, señalan que para avanzar en una transición energética verde y sostenible es importante identificar y mitigar los impactos ambientales en etapas industriales sucesivas a la extracción del litio, tales como la fabricación de acumuladores de energía, cátodos de baterías y vehículos eléctricos (PHILIPPOT *et al.*, 2019; CHEN *et al.*, 2020). Estas afirmaciones sugieren que los investigadores desconocen la conflictiva trama socio-ambiental que se vincula al litio en el territorio donde este es producido (AGUSDINATA *et al.*, 2018; FORNILLO; GAMBA, 2019). Tal como lo indica Fornillo, (2018) esta situación genera que voluntaria o involuntariamente estos debates académicos se transforman en herramientas discursivas que simplifican y hegemonizan la discusión respecto a la sustentabilidad del litio.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este capítulo permitieron avanzar sobre la identificación de los debates y desafíos existentes en la Puna argentina respecto a la gestión del agua en la minería del litio. Sin embargo, los mismos son de carácter preliminar y sería necesario ampliar aún más la búsqueda de artículos científicos. Posiblemente será necesario incluir un mayor número de palabras claves para la búsqueda e incorporar publicaciones provenientes de las ciencias sociales, ya que existen abordajes del conflicto socio-ambiental en torno a la producción de litio y el consumo de agua desde la antropología y la sociología ambiental, que han sido incluidos sólo parcialmente en este capítulo. Del mismo modo, en esta ocasión únicamente se utilizaron las bases de datos Science Direct y CONICET, bases que, a pesar de contar con un amplio volumen de publicaciones científicas, no representan la totalidad existente.

Las diferencias encontradas entre los debates académicos locales e internacionales podrían deberse a una cuestión idiomática y de acceso a las publicaciones, ya que muchos artículos científicos publicados en inglés requieren para su acceso el pago de un determinado arancel. Mientras que las publicaciones científicas locales son de libre acceso, pero se encuentran escasamente difundidas, con lo cual, en cierto modo también su acceso es limitado. La utilización de la herramienta MAXQDA permitió determinar que en Argentina los debates sobre el consumo de agua en la producción de litio se dan mayoritariamente en entornos no académicos. Consideramos importante destacar que los debates académicos locales y los desafíos surgidos en torno a la problemática reflejan la existencia de conflictos socio-ambientales escasamente documentados, los cuales en su mayoría quedan restringidos a escala local y carecen de atención pública. Los debates del Norte Global avanzan principalmente sobre

el desarrollo de alternativas tecnológicas para la extracción de litio desde la mayor cantidad posible de fuentes naturales. Además, el abordaje llevado a cabo en estos artículos en torno a impactos ambientales incluye únicamente las etapas sucesivas a la industrialización del carbonato de litio extraído desde los salares, invisibilizando la conflictiva trama socio-ambiental que se circunscribe al territorio donde el mismo es producido. Mientras que, los debates académicos en el Sur Global evidencian el surgimiento de investigaciones científicas que se dirimen mayoritariamente entre la discusión sobre el desarrollo industrial de productos derivados del carbonato de litio y las consecuencias económicas a mediano y largo plazo de la exportación del litio como materia prima. Las preocupaciones sobre la gestión del agua en un contexto de minería del litio en Argentina gira en torno a las diferentes percepciones e intereses que los actores involucrados tienen respecto al litio, como así también, al lugar material y discursivo que estos ocupan dentro de la red de producción. En Argentina, la gestión de los recursos hídricos en la minería del litio aún no forma parte de la agenda pública del gobierno nacional y provincial, los desafíos planteados al respecto suponen la necesidad de un trabajo conjunto entre el Estado, las comunidades, los investigadores locales y las compañías mineras.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen el apoyo de las siguientes instituciones: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina, Universidad Nacional de Salta (UNSa), Departamento de Geografía de la Universidad de Texas A&M, Red Suiza de Estudios Internacionales (SNIS) (Proyecto “LITHIUM”), CAPES-PVE/BRASIL Proc. 88881.068108/2014-01 (Proyecto “Impactos da Energia Eólica no Litoral do Nordeste”), y PRONEM FUNCAP/CNPq Proc. PNE 0112-00068.01.00/16 (Proyecto “Análise socioambiental da implantação de parques eólicos no Nordeste: perspectivas para a sustentabilidade da geração de energia renovável no Brasil”). Agradecemos a las comunidades locales que nos recibieron y, particularmente, a quienes nos brindaron su tiempo y charlaron con nosotros.

Referencias

- ARGENTO, M.; ZÍCARI, J. N. **Las disputas por el litio en la Argentina:** ¿materia prima, recurso estratégico o bien común?, 2017.
- ARTHUR, M.; LIU, G.; HAO, Y.; ZHANG, L.; LIANG, S.; ASAMOAH, E. F.; LOMBARDI, G. V. Urban food-energy-water nexus indicators: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 151, p. 104481, 2019.
- ALEXEEV, S. V.; ALEXEEVA, L. P.; VAKHROMEYEV, A. G. Brines of the Siberian platform (Russia): Geochemistry and processing prospects. **Applied Geochemistry**, v. 117, p. 104588, 2020.

- BASPINEIRO, C. F.; FRANCO, J.; FLEXER, V. Potential water recovery during lithium mining from high salinity brines. **Science of The Total Environment**, v. 720, p. 137523, 2020.
- BUNANI, S.; ARDA, M.; KABAY, N.; YOSHIZUKA, K.; NISHIHAMA, S. Effect of process conditions on recovery of lithium and boron from water using bipolar membrane electro dialysis (BMED). **Desalination**, v. 416, p. 10-15, 2017.
- CALVO, E. J. **Litio, un recurso estratégico para el mundo actual**, 2019.
- CHEN, C. W.; CHEN, P. A.; WEI, C. J.; HUANG, H. L.; JOU, C. J.; WEI, Y. L.; WANG, H. P. Lithium recovery with LiTi₂O₄ ion-sieves. **Marine Pollution Bulletin**, v. 124, n. 2, p. 1106-1110, 2017.
- CHEN, H. L.; LIU, Y.; GONG, X. Z.; HAO, L. W.; SUN, B. X.; LI, X. Q. A Review on Water Footprint Research of Materials Industry. **Materials Science Forum**, v. 993, p. 404-413, 2020. Trans Tech Publications Ltd.
- CHOUBEY, P. K.; KIM, M. S.; SRIVASTAVA, R. R.; LEE, J. C.; LEE, J. Y. Advance review on the exploitation of the prominent energy-storage element: Lithium. Part I: From mineral and brine resources. **Minerals Engineering**, v. 89, p. 119-137, 2016.
- FLEXER, V.; BASPINEIRO, C. F.; GALLI, C. I. Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. **Science of The Total Environment**, v. 639, p. 1188-1204, 2018.
- FORNILLO, B. La energía del litio en Argentina y Bolivia: comunidad, extractivismo y posdesarrollo. **Colombia Internacional**, v. 93, p. 179-201, 2018.
- FORNILLO, B. M.; GAMBA, M. **Industria, ciencia y política en el Triángulo del Litio**, 2019.
- GODFREY, L. V.; CHAN, L. H.; ALONSO, R. N.; LOWENSTEIN, T. K.; MCDONOUGH, W. F.; HOUSTON, F. J.; LI, J.; BOBST, A.; JORDAN, T. E. The role of climate in the accumulation of lithium-rich brine in the Central Andes. **Applied Geochemistry**, v. 38, p. 92-102, 2013.
- GUO, Z. Y.; JI, Z. Y.; CHEN, Q. B.; LIU, J.; ZHAO, Y. Y.; LI, F.; YUAN, J. S. Prefractionation of LiCl from concentrated seawater/salt lake brines by electro dialysis with monovalent selective ion exchange membranes. **Journal of Cleaner Production**, v. 193, p. 338-350, 2018.
- GRUPO DE ESTUDIOS EN GEOPOLÍTICA; BIENES COMUNES (GEGYBC). Litio y transición socio-ecológica en Sudamérica. **Revista Fundación Friedrich Ebert**, v. 51, 2019.
- HUANG, Y.; WANG, R. An efficient lithium ion imprinted adsorbent using multi-wall carbon nanotubes as support to recover lithium from water. **Journal of cleaner production**, v. 205, p. 201-209, 2018.
- HUANG, Y.; WANG, R. Green recovery of lithium from water by a smart imprinted adsorbent with photo-controlled and selective properties. **Chemical Engineering Journal**, v. 378, p. 122084, 2019.
- IZQUIERDO, A. E.; ARAGÓN, R.; NAVARRO, C. J.; CASAGRANDA, E. Humedales de la Puna: principales proveedores de servicios ecosistémicos de la región. **Serie conservación de la naturaleza**, v. 24, 2018.
- KIM, S.; LEE, J.; KANG, J. S.; JO, K.; KIM, S.; SUNG, Y. E.; YOON, J. Lithium recovery from brine using a λ -MnO₂/activated carbon hybrid supercapacitor system. **Chemosphere**, v. 125, p. 50-56, 2015.
- LI, B.; WU, J.; LU, J. Life cycle assessment considering water-energy nexus for lithium nanofiltration extraction technique. **Journal of Cleaner Production**, v. 261, p. 121152, 2020.

- LIU, W.; AGUSDINATA, D. B. Interdependencies of lithium mining and communities sustainability in Salar de Atacama, Chile. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 120838, 2020.
- LIU, W.; AGUSDINATA, D. B.; MYINT, S. W. Spatiotemporal patterns of lithium mining and environmental degradation in the Atacama Salt Flat, Chile. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 80, p. 145-156, 2019.
- LÓPEZ STEINMETZ, R. L.; SALVI, S.; GARCÍA, M. G.; PERALTA ARNOLD, Y.; BÉZIAT, D.; FRANCO, G.; CONSTANTINI, O.; CÓRDOBA, F. E.; CAFFE, P. J. Northern Puna Plateau-scale survey of Li brine-type deposits in the Andes of NW Argentina. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 190, p. 26-38, 2018.
- MIGNAQUI, V. Puna, litio y agua. Estimaciones preliminares para reflexionar sobre el impacto en el recurso hídrico. **Revista de Ciencias Sociales**, segunda época, v. 36, p. 37-55, 2019. Editorial de la Universidad Nacional de Quilmes.
- MARAZUELA, M. A.; AYORA, C.; VÁZQUEZ-SUÑÉ, E. Hydrogeological constraints for the genesis of the extreme lithium enrichment in the Salar de Atacama (NE Chile): A thermohaline flow modelling approach. **Science of the Total Environment**, v. 739, p. 139959, 2020.
- MARAZUELA, M. A.; VÁZQUEZ-SUÑÉ, E.; AYORA, C.; GARCÍA-GIL, A.; PALMA, T. Hydrodynamics of salt flat basins: The Salar de Atacama example. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 668-683, 2019a.
- MARAZUELA, M. A.; VÁZQUEZ-SUÑÉ, E.; AYORA, C.; GARCÍA-GIL, A.; PALMA, T. The effect of brine pumping on the natural hydrodynamics of the Salar de Atacama: The damping capacity of salt flats. **Science of The Total Environment**, v. 654, p. 1118-1131, 2019b.
- MARAZUELA, M. A.; VÁZQUEZ-SUÑÉ, E.; AYORA, C.; GARCÍA-GIL, A. Towards more sustainable brine extraction in salt flats: Learning from the Salar de Atacama. **Science of The Total Environment**, v. 703, p. 135605, 2020.
- MENG, F.; MCNEICE, J.; ZADEH, S. S.; GHAHREMAN, A. Review of lithium production and recovery from minerals, brines, and lithium-ion batteries. **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, v. 42, n. 2, p. 123-141, 2021.
- PALAGONIA, M. S.; BROGIOLI, D.; LA MANTIA, F. Lithium recovery from diluted brine by means of electrochemical ion exchange in a flow-through-electrodes cell. **Desalination**, v. 475, p. 114192, 2020.
- PHILIPPOT, M.; AYERBE, E.; HOEDEMAEKERS, E.; VAN MIERLO, J.; MESSAGIE, M. **Water footprint of the manufacturing of a traction lithium ion battery pack**. In: INTERNATIONAL ELECTRIC VEHICLE SYMPOSIUM & EXHIBITION, 32., Lyon, França, 2019.
- PRAMANIK, B. K.; ASIF, M. B.; ROYCHAND, R.; SHU, L.; JEGATHEESAN, V.; BHUIYAN, M.; HAI, F. I. Lithium recovery from salt-lake brine: Impact of competing cations, pretreatment and preconcentration. **Chemosphere**, v. 260, p. 127623, 2020.
- PUENTE, A. F.; ARGENTO, M. **Disputas territoriales en la Puna de Atacama: reactivación de los conflictos a la llegada del litio**. In: JORNADAS DE SOCIOLOGÍA, 11., Buenos Aires, 2015.
- STAMP, A.; LANG, D. J.; WÄGER, P. A. Environmental impacts of a transition toward e-mobility: the present and future role of lithium carbonate production. **Journal of Cleaner Production**, v. 23, n. 1, p. 104-112, 2012.
- STICCO, M. ¡Litio al agua!. **Pulso ambiental, revista política y de debate**, n. 10, p. 17-18, 2018.

- SUN, S. Y.; CAI, L. J.; NIE, X. Y.; SONG, X.; YU, J. G. Separation of magnesium and lithium from brine using a Desal nanofiltration membrane. **Journal of Water Process Engineering**, v. 7, p. 210-217, 2015.
- TAPIA, M. D. V.; QUIROGA, D. E.; SÁNCHEZ, D. La gran minería ¿sinónimo de desarrollo?: la aplicación del Índice de Calidad de Vida (ICV) en el caso de Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca. **Revista Iberoamericana de Estudios Municipales**, n. 12, p. 41-66, 2015.
- USGS (U.S. GEOLOGICAL SURVEY). **Mineral commodity summaries 2020**. Washington DC: U.S. Geological Survey, 2020.
- WEI, S.; WEI, Y.; CHEN, T.; LIU, C.; TANG, Y. Porous lithium ion sieves nanofibers: General synthesis strategy and highly selective recovery of lithium from brine water. **Chemical Engineering Journal**, v. 379, p. 122407, 2020.
- WORLD BANK. **Global Economic Prospects**. Washington, DC: World Bank, 2021.
- YING, J.; LUO, M.; JIN, Y.; YU, J. Selective separation of lithium from high Mg/Li ratio brine using single-stage and multi-stage selective electrodialysis processes. **Desalination**, v. 492, p. 114621, 2020.
- ZANTE, G.; BOLTOEVA, M.; MASMOUDI, A.; BARILLON, R.; TREBOUET, D. Highly selective transport of lithium across a supported liquid membrane. **Journal of Fluorine Chemistry**, v. 236, p. 109593, 2020.
- ZATOUT, M.; LOPEZ STEINMETZ, R. L.; HACINI, M.; BING FONG, S.; M'NIE, A.; HAMZAOUI, A. H.; LOPEZ STEINMETZ, L. C. Saharan lithium: Brine chemistry of chotts from eastern Algeria. **Applied Geochemistry**, v. 115, p. 104566, 2020.
- ZHAO, X.; FENG, M.; JIAO, Y.; ZHANG, Y.; WANG, Y.; SHA, Z. Lithium extraction from brine in an ionic selective desalination battery. **Desalination**, v. 481, p. 114360, 2020.
- ZHAO, Y.; WANG, H.; LI, Y.; WANG, M.; XIANG, X.. An integrated membrane process for preparation of lithium hydroxide from high Mg/Li ratio salt lake brine. **Desalination**, v. 493, p. 114620, 2020.

CAPÍTULO 21

CONEXIONES MULTIESCALARES PARA LA PRODUCCIÓN DE LITIO EN ARGENTINA

Melisa Escosteguy¹

Walter Díaz Paz¹

Araceli Clavijo¹

Martín Iribarnegaray¹

Lucas Seghezso¹

Resumen

El litio es considerado un elemento crítico para la transición hacia fuentes de energía más sustentables. Con la creciente utilización de baterías de ion-litio se espera que la demanda global de este metal aumente de manera exponencial. En la actualidad los compuestos de litio que se comercializan provienen solo de cuatro países, siendo Argentina el cuarto productor a nivel global. En Argentina el litio se localiza en los salares alto andinos de la Puna, al noroeste del país, y es extraído de salmuera a través de la aplicación de técnicas evaporíticas. En la Puna Argentina se materializan una serie de relaciones entre actores locales, provinciales, nacionales y globales que insertan a la región dentro las nuevas dinámicas de la economía global. En este capítulo se analizan las conexiones que configuran la producción de litio en Argentina, a partir de la codificación de aproximadamente 650 documentos y de un análisis multiescalar de los proyectos que se encuentran en producción. Los resultados revelan que las conexiones multiescalares, además de materializarse en el espacio, tienen consecuencias sociales y territoriales locales que ponen en discusión la justicia del proceso de producción de litio en el marco de la descarbonización.

Palabras clave: Análisis multiescalar. Puna Argentina. Descarbonización. Justicia energética. Litio.

Introducción

A finales de marzo de 2021, La Nación – uno de los diarios más leídos de Argentina – titulaba “Litio: BMW firma un contrato millonario que cambia el negocio para la Argentina”. Efectivamente, la automotriz alemana firmó un acuerdo con Livent Corporation, una empresa norteamericana que extrae litio en la Puna argentina desde finales de los años 90’, para aumentar la cartera de proveedores de litio. Este acuerdo le permitirá a BMW aumentar su producción de vehículos eléctricos (VE), en un escenario en el que se prevé que la mitad de los autos que se vendan en 2030 serán completamente eléctricos. Ahora bien, mientras en la nota se afirma que el acuerdo será beneficioso para Argentina y que le permitirá al país posicionarse como el segundo productor de litio a nivel mundial, también se resalta que existen incertidumbres vinculadas a las grandes cantidades de agua que se consumen en el proceso de producción.

La publicación de La Nación deja al descubierto al menos tres puntos centrales para el análisis de la producción de litio en Argentina. En primer lugar, queda planteada la urgencia de las automotrices por garantizar su aprovisionamiento de litio para cumplir con las políticas de descarbonización impulsadas, principalmente, por Estados Unidos, China y la Unión Europea. En segundo lugar, no pasan desapercibidos los problemas ambientales asociados a la producción de litio, que afectan directamente a las comunidades cercanas a las áreas de extracción. En tercer lugar, se puede ver que la producción de litio en Argentina está orientada por conexiones globales. En muchos casos, el Estado nacional ni siquiera participa de estas conexiones: el acuerdo que se menciona es entre dos empresas trasnacionales que en conjunto deciden acerca del destino del litio obtenido en Argentina. Qué peso tienen los factores y conexiones globales en la red de producción de litio en Argentina y qué consecuencias tienen a nivel local son dos cuestiones que deben ser analizadas para entender en profundidad la producción en la región.

Durante la última década, con el desarrollo de tecnologías más verdes y el impulso al desarrollo de energía procedente de fuentes renovables, el litio se ha constituido como un elemento esencial para el almacenamiento energético y la descarbonización (SOVACOOOL *et al.*, 2020). El litio es mayormente utilizado para la fabricación de baterías de ion-litio, indispensables para la transición hacia la electromovilidad. Es por ello que la demanda de litio depende directamente del mercado de los VE (HACHE *et al.*, 2019; QUINTEROS-CONDORETTY *et al.*, 2020), aunque se espera que, a medida que aumente el uso de energía proveniente de fuentes renovables, las baterías de litio también se generalizarán para acumular energía de fuentes solares y eólicas, por ejemplo (VÁSQUEZ, 2020). Según estudios recientes del Banco Mundial, tanto la demanda de litio como de aquellos minerales necesarios para propulsar la transición energética podría aumentar drásticamente para 2050, y con ella las actividades mineras

que actualmente ya son responsables de alrededor del 10% de las emisiones globales de gas invernadero (MINING WATCH CANADA, [2020](#)).

La mayoría de la producción mundial de litio proviene de cuatro países: Australia, Chile, China y Argentina (7%) (USGS, [2020](#)). En las salmueras de los salares altoandinos de Argentina, Bolivia y Chile se localiza aproximadamente el 50% de las reservas de litio, es decir, del recurso conocido y disponible tecnológicamente (VÁSQUEZ, [2020](#)). A pesar de que en los últimos años los elevados precios del litio y las oportunidades de inversión en nuevos proyectos favorecieron la diversificación del número de actores en la industria, la oferta mundial sigue estando muy concentrada y algunos autores incluso plantean que existe un oligopolio en la producción de litio ya que sólo cinco compañías lideran la producción (POVEDA-BONILLA, [2020](#); QUINTEROS-CONDORETTY *et al.*, [2020](#)).

Entre ellas se encuentran Albemarle Corporation y FMC-Livent Corporation con sus oficinas centrales en los Estados Unidos, Sociedad Química y Minera de Chile (SQM) con base en Chile, Lithium Americas Corp. con sede en Canadá y Ganfeng Lithium Co. Ltd. con sus oficinas centrales en China. Todas ellas, a excepción de SQM, poseen proyectos en etapa de exploración o producción en la Puna Argentina.

En Argentina existen más de 50 proyectos de litio, de los cuales 20 se encuentran en una etapa avanzada. Sin embargo, sólo dos están en fase de producción: Salar de Olaroz, ubicado en el salar homónimo en la provincia de Jujuy y Fénix situado en el Salar del Hombre Muerto entre el límite jurisdiccional de Salta y Catamarca. Según lo establece el Código Minero argentino, las minas están dentro del ámbito de control del Estado, pero este no puede explotarlas ni disponer de ellas. Las minas son explotadas mediante un sistema de concesiones mineras, es decir, que los yacimientos son otorgados en concesión a distintas empresas, ya sean públicas o privadas (ver Iribarnegaray *et al.* en este volumen). Alrededor de un millón de hectáreas fueron otorgadas en concesión a distintas empresas, la mayoría extranjeras, a lo largo de la Puna Argentina (USGS, [2018](#)). Estas concesiones se superponen con territorios indígenas, con tierras de pastoreo y con cauces de agua que han sido utilizados por generaciones por las comunidades originarias de la zona (DORN; PEYRÉ, [2020](#)). Tradicionalmente, la Puna ha estado habitada por comunidades originarias de las etnias Kolla y Atacama, y por comunidades campesinas. Su principal actividad económica ha sido el pastoreo de llamas, cabras y ovejas, acompañada muchas veces por una agricultura de baja escala a través de un sistema de vegas y canales (MARCHEGIANI *et al.*, [2020](#)).

Con la llegada de la explotación de litio a la región comenzaron a producirse una serie de conflictos socio-ambientales, vinculados a las preocupaciones de los habitantes locales por los posibles impactos asociados a esta actividad. En la región este metal es extraído a través de técnicas evaporíticas y algunos estudios han relacionado este proceso con una disminución de la cobertura vegetal en el área colindante a la extracción, el aumento de la temperatura local, cambios en el balance hídrico de los

salares y disminución de la fauna local (ver DÍAZ PAZ *et al.* en este volumen). En este contexto distintas comunidades se organizaron en contra de la extracción de litio, particularmente aquellas que habitaban los territorios de la Cuenca de Salinas Grandes y Laguna Guayatayoc, en el límite entre Salta y Jujuy (SOLÁ, 2016; PERROTO, 2020). Otras dieron su consentimiento para la extracción de litio, pero los conflictos no desaparecieron; algunos miembros de esas comunidades se agruparon en colectivos para denunciar las irregularidades en el proceso de consulta y los problemas ambientales vinculados a la producción (ARGENTO; PUENTE, 2019).

En la Puna Argentina se materializan, entonces, una serie de relaciones entre actores locales, provinciales, nacionales y globales que insertan a la región dentro las nuevas dinámicas de la economía global. Estas conexiones se superponen con territorialidades que poseen trayectorias históricas, dinámicas de articulación social y significaciones culturales propias (GÖBEL, 2013). Hasta el momento, las conexiones multiescalares de la producción del litio en Argentina y sus consecuencias locales no han sido adecuadamente estudiadas en la literatura sobre el tema. En este trabajo se desarrolla un análisis sistemático de los factores externos que guían la producción de litio en Argentina y de las conexiones multiescalares que se establecen a través de los dos proyectos en producción. Además, se discuten cuáles son las consecuencias de dichas conexiones para una descarbonización en línea con los principios de la justicia energética.

Litio y justicia energética

En el contexto de las transiciones energéticas orientadas al desarrollo de fuentes de energía renovables y más sustentables, la producción de litio tiene un componente con los que no cuentan otros *commodities* mineros. Al ser un metal estratégico, distintos actores y discursos posicionan al litio como un elemento clave para avanzar hacia futuros más sustentables (STERBA *et al.*, 2019). Es por ello que es preciso incorporar al análisis de las conexiones globales del litio una discusión acerca de las implicancias del proceso de producción en diferentes escalas, teniendo en cuenta cuestiones vinculadas a la equidad y justicia de dicho proceso. Este trabajo parte de considerar que las transiciones energéticas generan o pueden generar ganadores y perdedores (*winners and losers*) (SOVACOOOL *et al.*, 2019a).

Las transiciones hacia una matriz energética más sustentable se caracterizan por ser disruptivas, impugnadas y no lineales e implican cambios en las prácticas y los discursos de los consumidores, pero también nuevas luchas de poder (GEELS *et al.*, 2017). Esto se debe a que los cambios y las intervenciones en los sistemas energéticos van más allá del mero desarrollo tecnológico y económico; están vinculados al poder político, a la cohesión social e incluso a cuestiones éticas y morales sobre la equidad (SOVACOOOL, 2016). Los resultados y las discusiones presentadas en este capítulo están guiadas por el marco analítico de la justicia energética, un marco holístico, cualitativo y normativo, compuesto por los cuatro principios o dimensiones

de la teoría moderna de la justicia (MCCAULEY *et al.*, [2019](#); SOVACOOOL *et al.*, [2019a](#); SOVACOOOL *et al.*, [2019b](#)). La *justicia distributiva* ayuda a identificar qué se distribuye (costos, beneficios, bienes y males), entre quiénes (actores individuales y colectivos), y cómo (la forma de distribución). La *justicia procesal* se focaliza en la identificación de quiénes planean y aplican las reglas y leyes, quiénes toman las decisiones y quiénes pueden participar en estos procesos. La *justicia cosmopolita* toma en consideración el bienestar de las personas, partiendo de un enfoque universal. La *justicia de reconocimiento* se centra en identificar los actores vulnerables cuya vulnerabilidad se puedan profundizar con los procesos de la transición energética.

Si bien la transición energética debería garantizar la justicia social a lo largo de toda la red de producción – en el caso del litio, desde los paneles solares y los autos eléctricos, por ejemplo, hasta la extracción (PERREAULT, [2020](#)) – en los hechos, estas transiciones generan injusticias y víctimas, pudiendo ser vistas como luchas de poder y procesos de exacerbación de las vulnerabilidades (SOVACOOOL, [2021](#)). Desde esta perspectiva, el litio presenta un carácter dual: mientras que su aplicación en el almacenamiento energético y la electromovilidad pareciera contribuir a mitigar el cambio climático, a descarbonizar la matriz energética a escala global y a mejorar el acceso a la energía de poblaciones vulnerables; su extracción genera impactos negativos e injusticias a escala local (MARCHEGIANI *et al.*, [2020](#); ESCOSTEGUY *et al.*, [2021](#)). Dado este carácter dual, un análisis multiescalar, que permita identificar las conexiones que se dan entre distintas escalas espaciales a través del litio, es fundamental para conocer en mayor detalle las características de la red de producción e identificar las injusticias que de ella se desprenden (SOVACOOOL *et al.*, [2019a](#)).

Materiales y métodos

Área de estudio

Ubicada en el noroeste del país, la Puna argentina es una extensa planicie de aproximadamente 125.000 km² que se encuentra por encima de los 3000 msnm y se extiende sobre los cordones montañosos de las provincias de Salta, Jujuy, Catamarca, La Rioja y San Juan. La Puna constituye una de las regiones con los valores más altos de radiación solar, en el mundo, las precipitaciones allí son escasas y las temperaturas promedio muy bajas (REBORATTI, 2006; GONZÁLEZ, [2018](#)). En la Puna se desarrollan extensos salares, en los que a lo largo del tiempo se han ido acumulando elementos químicos como litio, boro, potasio y magnesio (ALONSO, [2018](#)). La elevada concentración del litio en salmueras en la Puna Argentina y sus condiciones climáticas son factores determinantes para la producción de litio. Para el análisis presentado en este trabajo se seleccionaron dos casos de estudio, correspondientes a los dos proyectos en operación.

Identificación de conexiones

Para la identificación de conexiones globales se codificaron 649 documentos utilizando MAXQDA Analytics Pro. Los documentos fueron divididos en seis grupos: (1) informes elaborados por organismos gubernamentales e instituciones vinculadas a la minería de las provincias de Jujuy y Catamarca (70 documentos), (2) informes elaborados por organismos gubernamentales e instituciones vinculadas a la minería a nivel nacional (77 documentos), (3) reportes elaborados por las dos empresas en producción (52 documentos), (4) informes elaborados por ONGs (28 documentos), (5) noticias publicadas en medios internacionales (18 documentos), (6) artículos periodísticos publicados en medios nacionales y provinciales (378 documentos), (7) el registro etnográfico elaborado en nuestra participación en el IX Seminario Internacional: Litio en la Región de Sudamérica (2 documentos), (8) literatura (24 documentos).

A través de la codificación se identificaron conexiones globales, nacionales, provinciales y locales desde cada uno de los proyectos en producción. Estas conexiones incluyeron relaciones establecidas a partir de tareas de extracción y producción, transacciones de exportación e intercambio, vínculos de financiamiento y cooperación, actividades de investigación y desarrollo. Si bien el punto de partida fueron las conexiones globales, a medida que se avanzaba con la codificación se incorporaron nuevas categorías al sistema de códigos inicial, agregando las conexiones entre (1) el proyecto y las instituciones nacionales (2) el proyecto y las instituciones provinciales, y (3) el proyecto y las comunidades y municipalidades locales. Esta incorporación permitió agregar un análisis acerca de cómo las conexiones globales del proyecto se materializan de manera multiescalar. A su vez, a lo largo de la codificación se reconocieron conexiones globales–locales que exceden a los proyectos en producción y afectan a toda la exploración y producción de litio en distintas escalas. Entre estas conexiones pueden reconocerse factores claves como las políticas de mitigación del cambio climático, el precio del litio y la pandemia por COVID-19. Los resultados que se detallan en el próximo apartado se desprenden de los segmentos codificados durante el proceso de codificación.

Resultados

Políticas ambientales, precios y COVID-19

Con la firma del Acuerdo de París y de la publicación de la Agenda 2030 de Naciones Unidas en 2015 se han desarrollado una serie de iniciativas a escala global para intentar disminuir las emisiones de CO₂. Algunos países han aprobado políticas orientadas a mitigar el cambio climático, en las que la transición hacia la

electromovilidad ha tenido un rol protagónico. Tanto China como la Unión Europea (a través del Banco Europeo de Inversión) brindaron incentivos para la producción de VE, que en muchos casos se materializaron como subsidios para los compradores y fabricantes. Durante los últimos años, motivada por estas políticas y los pronósticos de la creciente demanda de litio, la llegada de empresas productoras de litio a la Puna argentina fue exponencial. Muchas de ellas aún continúan en fase de factibilidad o prospección, pero algunas ya han avanzado en la construcción de sus plantas piloto.

Las políticas ambientales también generaron que las exigencias de las automotrices y de los fabricantes de baterías sean cada vez más grandes, pues deben cumplir con las normas estipuladas por los países donde poseen sus casas matrices. En el IX Seminario de Litio en Sudamérica, en el que participaron las empresas más importantes de litio de la región y funcionarios del gobierno nacional, muchos de los participantes mencionaron que sus clientes exigen litio más limpio y sostenible, es decir, con impactos ambientales y sociales mínimos. Esto ha derivado en que las empresas instaladas en la Puna tuvieran que aumentar el presupuesto destinado a la Responsabilidad Social Empresaria (RSE) y a que mejoraran los canales de comunicación con las comunidades. Sin embargo, en muchos casos, las comunidades aun manifiestan preocupaciones y dudas sobre la producción.

En medio de la llegada de nuevos proyectos, el Estado nacional ha sido un actor muy relevante. Desde la Secretaría de Minería de la Nación se vienen desarrollando políticas de promoción minera muy fuertes, que no se han modificado demasiado a pesar de los cambios de gobierno que se sucedieron. En el año 2019 el gobierno nacional lanzó la Mesa de Competitividad del Litio especialmente para discutir políticas en torno a este metal. En aquella ocasión participaban de la Mesa los gobernadores provinciales, funcionarios del gobierno nacional, representantes de la Cámara de Empresas Mineras (CAEM) y de la Cámara Argentina de Servicios Mineros (CASEMI) (estos últimos representando al sector privado). En 2021, la Mesa se volvió a consolidar, pero esta vez solo con los gobernadores provinciales y funcionarios nacionales. En ninguno de los dos casos fueron convocados a la Mesa las comunidades que habitan en las cercanías a los proyectos de extracción, ni la comunidad científica – a pesar de que en 2020 se constituyó el Foro Interuniversitario de Especialistas de Litio. La continuación de políticas en materia minera puede verse en el constante esfuerzo de los gobiernos nacionales de turno por atraer inversiones y aumentar las exportaciones. En este sentido, en el IX Seminario del Litio en Sudamérica, la Directora de Desarrollo Minero promocionaba a la Argentina como uno de los mejores destinos de inversión por su potencial geológico y minero, refiriéndose a la Ley N° 24.196 de inversiones mineras, que implica un conjunto de beneficios fiscales y la estabilidad jurídica por 30 años para las empresas mineras que se instalen en la región.

Otro de los factores a tener en cuenta es el precio del litio, que al mismo tiempo que está vinculado a las regulaciones ambientales globales, afecta directamente a la producción de litio en la Puna. El aumento de la demanda de baterías generó el incremento sostenido del precio del litio entre 2013 y 2018. Luego del anuncio del gobierno chino, en 2019, de recortar al 50% los subsidios para la compra de VE, aumentó el precio de los VE haciendo que el precio del litio cayera rápidamente. En el 2020 y con la pandemia por COVID-19 los precios volvieron a caer. En los informes de la coyuntura minera publicados semanalmente por la Secretaría de Minería de la Nación se pudo ver como los precios del carbonato y el hidróxido de litio oscilaron semana a semana durante el 2020. Si bien hubo momentos en los que parecía que el precio iba en alza, finalmente se mantuvieron bajos y, por el momento, se espera que estos precios continúen durante 2021 y se recuperen para 2022 una vez superadas las disrupciones generadas por la pandemia.

La caída del precio y la pandemia afectaron a la producción de litio en Argentina y a las exportaciones. Algunas empresas que se encontraban en la etapa de construcción de sus plantas interrumpieron el trabajo hasta que las condiciones mejoren. En cuanto a la exportación hubo una caída interanual de 46,7%. Mientras las exportaciones del complejo litio alcanzaron un valor de 102 millones de dólares en el primer semestre de 2019, para el primer semestre de 2020 las exportaciones rondaron los 56 millones de dólares (INDEC, [2020](#)). En ambos casos los principales destinos fueron China, Japón, Estados Unidos, y la Unión Europea. En tanto que las exportaciones de litio de Argentina provienen de únicamente de los dos proyectos que analizaremos en este capítulo, estos se vieron particularmente afectados por estos factores externos.

Proyecto Fénix

El proyecto Fénix es operado por Minera del Altiplano S.A. (MDA) que ha explotado las salmueras del Salar del Hombre Muerto en las provincias de Catamarca y Salta desde 1997, y coordina y ejecuta todas las fases operativas de recuperación y producción de sales de litio de Fénix (USGS, [2018](#)). El área de influencia directa del proyecto Fénix incluye una población de 1436 habitantes que residen en diferentes comunidades del departamento de Antofagasta de la Sierra (INDEC, [2010](#)). Estas comunidades se encuentran atravesadas por diferentes condiciones de pobreza estructural, en muchos casos sin acceso a derechos básicos como educación, salud, y vivienda. La mayoría de sus habitantes carece de un empleo permanente y basan su sustento económico en el apercibimiento de algún tipo de programa de ayuda económica brindada por el Gobierno Nacional (TAPIA *et al.*, [2015](#); MTEySS, [2020](#)).

Conexiones Fénix – actores globales

MDA es la subsidiaria argentina de Livent Corp., una empresa dedicada especialmente a la producción de litio, derivada de la estadounidense FMC Lithium Corp. MDA produce carbonato de litio equivalente (LCE) y cloruro de litio sólido en Argentina. El LCE, que se produce en el mismo Salar del Hombre Muerto, se dirige a las plantas que posee la compañía en Estados Unidos y China donde es convertido en hidróxido de litio, componente que la misma empresa define como “fundamental para la electrificación del futuro”. Para la producción del cloruro de litio sólido, la salmuera es transportada hacia una planta de Livent ubicada en la ciudad de General Güemes, en la provincia de Salta. El cloruro es utilizado en la fabricación de productos de butilitio en las plantas de los Estados Unidos, el Reino Unido, China y la India. La empresa exporta ambos productos vía puerto chileno, y considera su ubicación en el Salar del Hombre Muerto como estratégica en tanto que existe un Tratado de Integración Minero Argentino-Chileno. Este contempla la “cooperación mutua para la disminución de costos operativos y el aprovechamiento de infraestructura”, por lo que MDA cuenta con la facilidad de una salida directa al Océano Pacífico que le permite ahorrarse el traslado de la producción a puertos del Atlántico. Luego, la producción es enviada por barco hacia las instalaciones en China y Estados Unidos, y a los clientes que compran a Livent directamente. Estos clientes son mayormente asiáticos debido al fuerte desarrollo de baterías ion-litio.

De acuerdo a los reportes de la empresa, por más de 6 décadas Livent se ha asociado con distintos clientes para satisfacer la demanda de litio de forma segura y sustentable, y tiene una amplia gama de productos en su portfolio que le permite cubrir parte de la demanda de litio para energía verde, movilidad eléctrica y lubricantes. Actualmente emplea unos 800 trabajadores alrededor del mundo y cuenta con plantas de fabricación y extracción en Bessemer City (Estados Unidos), Bromborough (Reino Unido), Antofagasta de la Sierra y General Güemes (Argentina), Patancheru (India), Rugao y Zhangjiagang (China). Además, Livent cuenta con oficinas en Filadelfia, Pennsylvania, New Jersey, Pocitos, Shanghai, Tokyo, y Singapore. Algunas de estas instalaciones se abocan directamente a impulsar proyectos de investigación, desarrollo e innovación.

Livent presenta a su planta en el Salar del Hombre Muerto, de dónde sacan la totalidad del litio que comercializan, como una de las operaciones con costos más bajos a nivel mundial, lo que les otorga una ventaja comparativa importante. Al momento en el que FMC empieza a operar el proyecto Fénix logró reducir sus costos de operación, lo cual le permitió cerrar la antigua mina de litio a cielo abierto que operaba en Carolina del Norte y que había tenido serios cuestionamientos ambientales. Actualmente, la empresa tiene acuerdos con distintas automotrices para la provisión de litio: con Tesla firmó un contrato para la provisión de hidróxido de litio que se

extiende hasta 2021 y recientemente BMW anunció que invertirá en el proyecto Fénix más de 300 millones de dólares. Dado que, en muchos casos, las automotrices exigen ciertos estándares de calidad, Livent sigue las normativas internacionales de la ONU y la OIT en materia de DDHH, convirtiéndose en 2020 en “participante del Pacto Global de las Naciones Unidas”.

Conexiones Fénix – instituciones nacionales

El gobierno nacional es un actor importante en las negociaciones con las empresas instaladas en la región. En una entrevista realizada al director ejecutivo de Livent acerca de si estaban negociando con el gobierno nacional las retenciones a la exportación (un impuesto establecido por el gobierno nacional para los bienes exportados) respondió que están teniendo conversaciones para ser un cooperador responsable: “lo último que queremos es ser percibidos como alguien que no aporta lo justo en impuestos o en la creación de empleo (...) pero nuestra visión tiene que tener en cuenta que competimos con las exportaciones de Chile, Australia o China. Así que aquello tiene que estar incorporado en el análisis impositivo”. Se puede ver, entonces, que las conversaciones entre la empresa y el gobierno nacional son frecuentes. Por otro lado, entre los contratos más importantes a nivel nacional, MDA cuenta con un acuerdo con la empresa Pluspetrol S.A., con base en Argentina, para abastecerse de gas natural, y con la empresa estatal YPF S.A. para el abastecimiento de diésel y gasolina tanto para la planta del Salar del Hombre Muerto como para la de General Güemes.

Conexiones Fénix – instituciones provinciales

De acuerdo a lo establecido por la Constitución Nacional, son las provincias quienes otorgan las concesiones a las distintas empresas mineras. Una vez que una concesión es obtenida, su beneficiario es dueño de todos los depósitos minerales que allí se encuentran y pueden ser vendidas o arrendadas a un tercero. Sólo se deben cumplir dos requisitos para conservar la concesión: el dueño debe presentar un plan de trabajo inicial y realizar los pagos regulares del canon (un pago semestral). Además, antes de comenzar con las actividades mineras, los proyectos mineros son evaluados en materia ambiental con un proceso de evaluación de impacto ambiental (EIA), que es renovado cada dos años. En el año 2015, como parte de la retribución a la otorgación de concesiones y a los permisos para la ampliación del proyecto, Livent y la provincia de Catamarca acordaron la creación de un fideicomiso destinado a la construcción de obras de infraestructura a través de la firma de un Memorando de Entendimiento entre Fiscalía de Estado, Obras Públicas y MDA. Las contribuciones de MDA al fideicomiso son del 1,2% del Valor de Ventas Anual de la empresa y la administración del fondo está en manos de un comité de representantes designados por Livent y por funcionarios gubernamentales. Las obras tendrán lugar principalmente en Antofagasta

de la Sierra, departamento en el que se ubica el proyecto y donde las poblaciones locales aún carecen de caminos apropiados y de servicios básicos. Entre las propuestas iniciales se encontraban la construcción de una antena de Internet, el desarrollo de un parque fotovoltaico para Antofagasta de la Sierra y otro para Antofalla, y un sistema de saneamiento para Antofagasta de la Sierra. De acuerdo al informe de sustentabilidad de 2019, la empresa ya lleva “donados” alrededor de 6 millones de dólares a proyectos de infraestructura aprobados y terminados que benefician a la provincia de Catamarca. Además, según Livent, MDA emplea trabajadores de Catamarca; y para quienes no trabajan en la empresa ofrecen becas universitarias y capacitación laboral para que aprendan tareas de operario asistente en procesos y técnicas de minería.

En cuanto al pago de regalías, como Fénix está ubicada en el límite entre Salta y Catamarca, y produce el cloruro de litio sólido en Salta, ha habido varias disputas en torno al pago de regalías. A través de una acción judicial, Salta exigió el pago de regalías en la provincia, ya que hasta el año 2019 las regalías eran abonadas a la provincia de Catamarca. El fallo procedente de la denuncia determinó que Catamarca debe devolver parte del pago de las regalías a la provincia de Salta, correspondientes a los años 2012 en adelante.

Conexiones Fénix – comunidades y municipalidades locales

De acuerdo a Livent, MDA mantiene una comunicación continua con la comunidad del Salar del Hombre Muerto, enviando equipos a diario para visitar a los residentes y colaborar con alimentos y otros insumos esenciales. En muchos casos, también les acercan profesionales de la salud. A través de MDA, la empresa tiene un programa para el desarrollo de la nutrición a largo plazo de las comunidades locales: existen cuatro comedores en Antofagasta de la Sierra en los que brindan almuerzos nutricionalmente equilibrados, siendo el objetivo que los niños y mujeres embarazadas reciban una adecuada nutrición para su crecimiento y desarrollo. En el contexto de la pandemia por COVID-19, MDA aseguró haber contribuido con servicios de ambulancia y médicos y con transporte aéreo esencial.

En cuanto a la vinculación entre el proyecto y las comunidades locales, es importante mencionar que de acuerdo a la Constitución Nacional y a Tratados Internacionales, como el Convenio N°169 de la OIT ratificado por Argentina en 1992, las comunidades originarias deben ser consultadas antes del comienzo y de la ampliación de un proyecto extractivo o productivo en sus territorios. Dentro de estas normativas, orientadas a garantizar la identidad y los derechos colectivos de los pueblos indígenas, la consulta previa, libre e informada debe ser llevada adelante por el Estado que debe proveer los recursos necesarios y brindar toda la información disponible. En el Salar del Hombre Muerto, sin embargo, no hubo una consulta de este tipo. En el año 2020, algunos habitantes de Antofagasta de la Sierra (la ciudad más cercana a Fénix)

se manifestaron en contra de la construcción de un nuevo acueducto que proveerá agua al proyecto. El acueducto afectará el cauce del Río Los Patos y los habitantes temen que disminuya el agua superficial disponible, como sucedió durante años cuando Fénix tomaba agua desde el Río Trapiche. Como finalmente la construcción se detuvo, muchos de los trabajadores contratados para la obra fueron suspendidos; consecuentemente algunos de ellos se manifestaron a favor de las actividades mineras, exhortando a la Unión de Trabajadores de Catamarca a pedir más participación en las decisiones acerca de los proyectos mineros. En el contexto de la pandemia por COVID-19, alrededor de 500 trabajadores fueron despedidos sin compensación dado que las obras de ampliación se suspendieron.

Las familias que viven en las cercanías al proyecto Fénix no cuentan con los títulos de propiedad de los territorios que habitan; sin embargo, poseen derechos de posesión dado que han habitado allí por décadas. A pesar de eso, a principios de 2020, MDA volteó algunos alambrados que delimitaban la tierra de estas familias, argumentando que necesitaban transitar por ese espacio para acceder a la planta. Las familias intentaron oponerse y como respuesta arribó la policía provincial, se emitió una orden de desalojo y algunos de los habitantes del lugar fueron detenidos.

Salar de Olaroz

El proyecto Olaroz, es operado por Sales de Jujuy S.A. (SDJ) e inició su producción en el año 2015 en el Salar Olaroz, en la provincia de Jujuy. A diferencia de Fénix, el único producto final obtenido y exportado por Olaroz es carbonato de litio grado batería (OROCOBRE, 2019). El área de influencia directa de este proyecto incluye a 10 comunidades originarias que habitan en el departamento Susques (GARCÍA MORITÁN; CRUZ, 2011) y que en su conjunto conforman la totalidad de 3.791 habitantes (INDEC, 2010). Todas estas comunidades presentan títulos de propiedad sobre la tierra que utilizan para la realización de actividades productivas de pequeña escala como el pastaje de ganado doméstico y la siembra de cultivos locales (ABELVIK, 2019). Con la instalación del proyecto Olaroz algunos miembros de las comunidades han logrado una inserción en el mercado laboral oficial (OROCOBRE, 2019). Sin embargo, todavía existen muchos otros que basan toda o gran parte de su economía local en la comercialización de los productos obtenidos a través de la agricultura y ganadería.

Conexiones Salar de Olaroz – actores globales

SDJ es una subsidiaria del 91,5% de SDJ PTE, una compañía de Singapur propiedad de Orocobre (72,68%) y Toyota Tsusho Corporation (TTC) (27,32%). La asociación entre Orocobre y TTC comenzó en enero del 2010 a través de la ejecución de un acuerdo para desarrollar juntos el Proyecto Olaroz. Este acuerdo

incluyó un plan de financiamiento estructurado para asegurar la participación directa de TTC y su apoyo a la financiación del desarrollo previsto del proyecto. Según lo reporta Orocobre, la inversión de TTC implicó un fuerte respaldo a la calidad de los recursos y de los productos elaborados en Olaroz. Al consorcio empresarial (*joint venture*) constituido por Orocobre y TTC se suma en 2012 la empresa estatal Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE) con un 8.5% de participación. Esta empresa, perteneciente al gobierno de Jujuy, demuestra un interés directo del gobierno provincial en el desarrollo de Olaroz. Orocobre, TTC y JEMSE componen a SDJ, la empresa encargada de la operación del proyecto. Si bien SDJ opera desde su oficina localizada en Jujuy, todas las actividades y operaciones se reportan directamente a SDJ PTE en Singapur.

SDJ vende carbonato de litio purificado primario a alrededor de 100 clientes en Asia, Europa y Norteamérica. Los principales mercados para el producto de grado primario son los mercados de la cerámica, la química y el vidrio, y el grado purificado se vende normalmente a los fabricantes de cátodos para su uso en la producción de baterías. Comúnmente SDJ exporta su producción a través del Puerto de Antofagasta, en Chile. En algunas oportunidades, en los que el puerto chileno está cerrado por acciones sindicales (huelgas o cortes) o es imposible acceder por cuestiones climáticas, las importaciones y exportaciones se realizan a través del puerto de Buenos Aires.

Dado el aumento de la demanda de litio a nivel mundial, en 2018 Orocobre anunció una ampliación del proyecto que adicionará la producción de 25.000 toneladas, lo cual derivará en una producción anual total de 42.500 toneladas. Para la ampliación del proyecto Olaroz se firmó un memorándum entre Orocobre, TTC, SDJ, JEMSE, el banco japonés Mizuho Bank Ltd. y la compañía estatal japonesa Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (JOGMEC). Estas dos últimas instituciones financiaron la suma de 180 millones de dólares a través de una línea de crédito. El resto del capital necesario para la ampliación de la fase 2 será aportado mediante préstamos de los accionistas de Orocobre (75%) y TTC (25%).

La empresa propuso producir 17500 toneladas anuales de carbonato de litio de grado de batería (>99,5% Li_2CO_3) del circuito ya existente y 25000 toneladas anuales de carbonato de litio de grado primario (>99,0% Li_2CO_3); de las cuales alrededor de 10000 toneladas anuales se utilizarán como materia prima para la planta de hidróxido de litio de Naraha (Japón), también propiedad de Orocobre y actualmente en construcción. Esta planta está diseñada para convertir carbonato de litio de grado industrial en hidróxido de litio de grado de batería purificado. Según la misma empresa, la planta de Naraha proporcionará a Orocobre una “inestimable” diversificación de productos y consolidará aún más la posición de la empresa como productor mundial de productos químicos de litio. Tanto el hidróxido producido en Naraha y el carbonato producido en Olaroz servirán para proveer a Prime Planet Energy & Solutions (PPES), un consorcio entre Toyota y Panasonic. Además, en

2020, Orocobre y TCC firmaron dos contratos para el suministro de carbonato de litio de grado de batería a fabricantes chinos de cátodos de primer nivel.

Además, a comienzos de 2020 Orocobre y Advantage, otra empresa dedicada a la exploración de litio en la Puna Argentina, firmaron un acuerdo a partir del cual Orocobre adquirirá el 100% de las acciones emitidas y en circulación de Advantage. Este acuerdo permitirá a Orocobre contar con otros proyectos en exploración en Argentina y potencialmente aumentar su capacidad de producción.

Conexiones Salar de Olaroz – instituciones nacionales

A nivel nacional, SDJ tiene un convenio con el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) para proveer capacitaciones a los proveedores y asesoría técnica a los proveedores locales. Convenios similares fueron establecidos con CASEMI (Cámara Argentina de Servicios Mineros).

Conexiones Salar de Olaroz – instituciones provinciales

El principal vínculo del proyecto con la provincia es a través de la normativa y las exigencias provinciales requeridas tanto para la instalación como para el funcionamiento del proyecto. Tal como lo establece la ley nacional, SDJ paga regalías a la provincia de Jujuy, las cuales representan el 3% del valor “en boca de mina”, es decir, lo que se extrae en la primera etapa de producción. En 2018 SDJ pagó al Estado provincial un total aproximado de USD 1.694.500 en carácter de regalías, suma que el gobierno provincial se encarga luego de distribuir entre los 61 municipios de la provincia. De forma adicional, la Secretaría de Minería e Hidrocarburos de la provincia de Jujuy, que es el órgano de fiscalización de este tipo de proyectos, exige a los proyectos de litio que presenten informes mensuales y datos acerca del caudal de bombeo de salmuera. Además, la misma Secretaría organiza un monitoreo participativo con miembros de las comunidades locales para fiscalizar el cumplimiento de todos los protocolos de cuidado ambiental y gestión que la empresa declara en sus Estudios de Impacto Ambiental y Social. Por ello, el contacto entre la Secretaría y el proyecto es muy frecuente.

Pero el vínculo del proyecto Olaroz con la provincia de Jujuy excede al pago de regalías ya que JEMSE, empresa estatal de la provincia, tiene una participación en el proyecto. El 8,5% que le pertenece a JEMSE fue financiado completamente por Orocobre quien a través de un acuerdo con la provincia accedió a una financiación libre de riesgo, es decir, sin el cobro de intereses. Orocobre será reembolsada con la parte de los dividendos de JEMSE: los reembolsos se limitan a un tercio de los dividendos que recibe JEMSE de SDJ, por lo que JEMSE se beneficiará del flujo de dividendos restante, además del aumento del valor del proyecto Olaroz.

SDJ también ha realizado acuerdos con algunas instituciones provinciales. Un ejemplo de ello es el acuerdo con el Ministerio de Educación de la Provincia de Jujuy, a través del cual SDJ ofrece un programa de educación primaria y secundaria para que sus empleados y los empleados de sus empresas contratistas puedan completar sus estudios. También ha trabajado con la Universidad Nacional de Jujuy, dictando cursos de química y matemática que sirvieron como capacitación para el trabajo en la planta. En el reporte de sustentabilidad de la empresa presentado en 2017, se declaró que 22 empleados habían completados estudios primarios o secundarios y que alrededor de 75 empleados recibieron los cursos dictados por la universidad. Estos acuerdos son relevantes en tanto que uno de los principales pedidos de las comunidades locales tanto a los proyectos mineros como a la provincia, es aumentar las posibilidades de estudio y capacitación para los jóvenes y trabajadores de la zona.

En el contexto de la pandemia del COVID-19, el proyecto Olaroz realizó un aporte al sistema sanitario provincial permitiendo la compra de 12500 kits de diagnóstico rápido de la enfermedad. Durante el 2020 también se han sostenido reuniones entre el director ejecutivo de Orocobre y el gobernador de la provincia de Jujuy para discutir la producción de litio en la provincia teniendo en cuenta el posible escenario post-pandemia.

Dado que JEMSE recibe una parte de la producción de Olaroz, el gobierno de Jujuy ha iniciado una serie de negociaciones para construir en la provincia una planta que permitirá desarrollar todos los pasos de la cadena para la fabricación de baterías. De hecho, en 2017 se fundó Jujuy Litio S.A., un consorcio empresarial entre JEMSE (60%) y la empresa italiana Seri Group (40%) que realizó una inversión de 60 millones de dólares. Posteriormente, en 2019 Jujuy Litio comenzó la construcción de una línea piloto; la propuesta inicial es importar componentes de baterías y ensamblarlos en Jujuy, aunque se espera que estos componentes puedan fabricarse localmente a partir de la materia prima obtenida de Olaroz.

Conexiones Salar de Olaroz – comunidades y municipalidades locales

Según un informe presentado por Orocobre en 2017, alrededor del 50% del personal empleado por la planta y del 18% de los proveedores eran miembros de las comunidades cercanas. Muchos de ellos montaron sus emprendimientos a partir de los programas, talleres de formación y financiamiento brindados por la empresa. Además, SDJ tiene un acuerdo con Olaroz Chico, la comunidad más próxima (y propietaria de una parte del terreno concedido a la empresa), a través del cual la empresa realiza un pago directo a la comunidad y le garantizan el acceso a energía, agua, conexión a internet y mejoras de infraestructura (camino, escuelas y edificios comunitarios). En 2017 este acuerdo se tradujo en 4000l de combustible por mes asegurando el acceso a energía durante las 24 hs, 32000l de agua, mejoras en la ruta provincial 70

que permite el acceso a Olaroz Chico, conexión a internet para la escuela y el centro comunitario, y maestros adicionales para la escuela. Acuerdos como el de SDJ-Olaroz Chico no son comunes, en parte porque muchas de las comunidades no poseen los títulos de la tierra.

SDJ también implementó un programa de vacunación y suplemento de calcio para el ganado de la región y proveyeron a los productores de Olaroz con alfalfa, maíz y bloques de sal con el objetivo de complementar la nutrición de los animales para afrontar el período de sequía que atravesó la región en 2017. SDJ también encabezó un proyecto de reciclado a través del cual se construyeron invernaderos en Pastos Chicos y Huancar usando botellas de plástico descartadas de la planta. El proyecto estaba orientado a contribuir a superar los problemas de desnutrición que se identificaron en las comunidades y permitiría generar instalaciones para el desarrollo agrícola futuro de las comunidades.

A pesar de que muchos miembros de las comunidades de alrededor del proyecto se manifestaron a favor de la instalación de SDJ, la consulta no fue llevada adelante siguiendo el procedimiento establecido por ley. Por el contrario, la consulta la realizó la misma empresa ya que el gobierno de Jujuy permitió a las empresas mineras que sean ellas mismas las que “consulten” a través de reuniones informativas y consultivas a las comunidades. En respuesta a esto, miembros de las 10 comunidades se organizaron en 2012 en un colectivo al que denominaron “La Apacheta”. Desde allí reclaman que las consultas se realicen siguiendo los procedimientos legales y denuncian que ni el gobierno ni las empresas les dieron la información necesaria y comprensible para poder tener una opinión informada respecto a la instalación. Hasta el momento los miembros de “La Apacheta” piden profesionales independientes, pagados por el Estado, para que elaboren informes ambientales y rastreen los impactos de la producción de litio en la zona. Además, algunos residentes que aceptaron el proyecto señalan su malestar con la empresa argumentando que al momento de consultar se mostraron amables y transparentes pero que, una vez otorgado el consentimiento, el diálogo se detuvo. En este mismo sentido, en algunos casos los miembros de las comunidades mencionan que a pesar de participar en los monitoreos que organiza la Secretaría de Minería e Hidrocarburos junto con la empresa, es muy difícil poder saber si las áreas en las que realizan el monitoreo son representativas de todo el proyecto.

Discusiones y reflexiones finales

Los resultados del análisis de los dos proyectos en producción muestran que las conexiones globales (entre actores gubernamentales, empresas, organismos de financiación, etc.) tienen implicancias a nivel nacional, provincial y local. La producción de litio conecta puntos geográficamente muy distantes. Estas conexiones dejan huellas materiales muy concretas como nuevos caminos y rutas, por los que circulan

trabajadores, productos, capitales (CARRIZO *et al.*, 2020); mejoras en la infraestructura local (cloacas, acceso a internet); grandes plantas de procesamiento que afectan el paisaje; vallados que inhabilitan el acceso a personas ajenas al proyecto, restringiendo la circulación de los residentes locales (GÖBEL, 2013; DORN; PEYRÉ, 2020); e impactos ambientales (LIU *et al.*, 2019; MARAZUELA *et al.*, 2019; KAUNDA *et al.*, 2020). De los resultados obtenidos en este trabajo se desprende que, conjuntamente, estas conexiones, además de materializarse en el espacio, tienen consecuencias sociales y territoriales muy fuertes. Entre ellas se pueden mencionar los conflictos sociales en torno al litio entre las empresas, el Estado y las comunidades; una reorganización de las relaciones sociales dentro de las comunidades, vinculadas a nuevos regímenes de trabajo y cambios en las actividades tradicionales; discusiones y tensiones en torno al rol del litio para el desarrollo local. Las consecuencias locales de las conexiones multiescalares pueden informar acerca de la justicia del proceso de producción de litio en el marco de la descarbonización. Para ello deben ser analizadas utilizando las cuatro dimensiones de la justicia mencionadas anteriormente.

En cuanto a justicia distributiva, los resultados arrojan que mientras los países importadores de carbonato de litio que cuentan con el paquete tecnológico y los recursos financieros necesarios para industrializarlo están avanzando hacia una matriz energética más sustentable, en Argentina aún no se han desarrollado políticas en este sentido. Los acuerdos establecidos entre empresas públicas y empresas extranjeras (un claro ejemplo es el de Jujuy Litio S.A.) para la fabricación de cátodos y baterías no han prosperado. Esto genera una gran diferencia entre quiénes se benefician del litio como elemento para un futuro post-carbono (Norte Global) y quienes deben internalizar costos ambientales vinculados con los procesos de extracción. Estos costos, que afectan directamente a las comunidades locales, no se compensan con los pocos beneficios que reciben. El dinero que queda en los territorios donde se produce la extracción y que llega en carácter de regalías es muy escaso, ya que es distribuido entre todos los municipios de las provincias. A pesar de ello, en el caso de Fénix ha generado tensiones entre Salta y Catamarca por la distribución del pago. Además, los acuerdos entre las comunidades y las empresas son muy poco frecuentes, por lo que el acuerdo entre Olaroz Chico y SDJ es percibido incluso como una injusticia por las otras comunidades cercanas. Por otro lado, el acuerdo entre Catamarca y MDA por el fideicomiso minero no se tradujo en demasiadas mejoras locales a pesar de que permitió aumentar las concesiones de la empresa y la ampliación del proyecto.

En este contexto y en línea con los resultados de otras investigaciones, la producción de litio ha derivado en que las grandes empresas productoras aumenten sus ganancias y se distribuyan entre ellas los beneficios sin que esto signifique un cambio en la calidad de vida de las comunidades locales (PERROTI; COVIELLO, 2015; DORN; HUBER, 2020; DORN; PEYRÉ, 2020; MARCHEGANI *et al.*, 2020; NACIF, 2020). Este patrón se repite en otras actividades extractivas, donde

quienes se benefician de las ganancias de la producción de litio y de sus beneficios se encuentran espacialmente distantes de quienes sufren los impactos socio-ambientales (VELTMEYER, [2020](#)).

La falta de transparencia de los procesos de consulta a las comunidades locales y, en algunos casos, la total ausencia de consulta, comprometen la justicia procesal de la producción de litio. En ningún caso se aplicó el protocolo de consulta previa, libre e informada, violando así derechos ya conquistados por las poblaciones indígenas, establecidos tanto en la Constitución Nacional como en el Convenio 169 de la OIT. Al limitar la consulta, las comunidades no solo fueron excluidas de la toma de decisiones acerca de cómo gestionar la minería del litio, sino también de las decisiones acerca del control y gestión de sus territorios y de la gobernanza de sus recursos naturales.

Por otro lado, si bien tanto SDJ como MDA aplicaron políticas de responsabilidad social empresaria y transparencia institucional existen fuertes críticas por parte de los actores locales. Estas políticas deberían democratizar el acceso a la información ambiental en torno a la producción de litio y generar entornos plurales y participativos de toma de decisión y gestión del territorio, sin embargo, las organizaciones locales manifestaron que la información difundida por las empresas es incomprensible debido a su alto tecnicismo y que además son realizadas en inglés. Ante esta situación, algunos autores consideran que el accionar de las empresas mineras demuestra que lejos de informar respecto a la situación ambiental de manera genuina, estas políticas sólo han servido para demostrar el cumplimiento de las exigencias de los organismos internacionales como Naciones Unidas, la Unión Europea, el Banco Mundial (BABIDGE, [2015](#)).

En la mayoría de los casos, las decisiones más relevantes acerca de la producción de litio se toman entre las empresas y los funcionarios de gobierno. Esto se refleja en la Mesa del Litio, en los acuerdos entre las empresas y los gobiernos provinciales, y en los convenios entre las empresas y el gobierno nacional que continuamente intenta flexibilizar las normas para la inversión en Argentina. Sin embargo, existe un rango de decisiones, como las que aparecen en el artículo periodístico de La Nación, en las que ni el Estado tiene injerencia. Algunas conexiones globales determinan la producción de litio en Argentina sin que medie la opinión o el posicionamiento local, provincial o nacional. Frente a este panorama, la forma de participación que han encontrado las comunidades locales ha sido la organización y la movilización contra la producción de litio o contra algunas de las injusticias que produce.

Los enfrentamientos mencionados entre MDA y las familias locales pueden ser analizadas a partir de la dimensión cosmopolita de la justicia. Los despidos sin indemnizaciones y el ingreso por la fuerza a la tierra que desde hace décadas habitan las comunidades interfieren en el bienestar de los pobladores locales. Las asimetrías de poder se vuelven aquí muy evidentes: comunidades locales que han sido marginadas

durante años por los Estados nacional y provinciales, frente a empresas trasnacionales que lideran la producción de litio a nivel global. Sin embargo, para muchos habitantes de la Puna argentina, la producción de litio representa una esperanza para alejarse de aquella marginalización. Así pues, las mejoras en el acceso a algunos servicios, los planes de becas de formación, la capacitación para los miembros de las comunidades, la posibilidad de conseguir un empleo (aunque quizás todavía temporal o por contratos) en las empresas, es identificado como un avance en cuanto a calidad de vida.

Finalmente, una de las cuestiones más claras que emergen de los resultados es que las conexiones que se establecen desde Fénix y Salar de Olaroz, reorganizan las relaciones sociales y las formas de vincularse con el territorio de quienes lo habitan. Muchas familias que se dedicaban a distintas actividades tradicionales ahora se emplean en empresas mineras. Muchas familias que se dedican, aun sin tener el título de la tierra, a la cría de animales y al pastoreo trashumante, temen por los impactos de la extracción de litio en la disponibilidad de agua y vegetación. Desde la perspectiva de la justicia de reconocimiento, la falta de tenencia segura de la tierra y la falta de un conocimiento preciso acerca de los impactos de la producción de litio en la continuidad de los medios de vida locales, sumadas a las injusticias en términos distributivos, procesales y cosmopolitas, vuelven a las comunidades locales actores vulnerables o víctimas, de las transiciones energéticas. En un sentido similar, Aliano *et al.* (2019) han argumentado que la producción de litio está desplazando modos de vida ancestrales y comunidades que no tienen asegurada una alternativa de ingreso a través de los proyectos de litio.

La innovación tecnológica desarrollada en los últimos 10 años respecto a los minerales estratégicos ha permitido impulsar la transición energética en algunos países del Norte Global. Mientras que el litio es concebido por ambientalistas y académicos de estos países como una posibilidad para avanzar hacia un futuro post-carbono, para quienes habitan los territorios donde se realiza la extracción, el litio ha profundizado algunas desigualdades. En este sentido, en el marco de las transiciones energéticas orientadas a la descarbonización, el litio aparece como un producto ambivalente. En primer lugar, es un recurso local: su producción tiene impactos ambientales y sociales muy concretos en los territorios donde se extrae. Transforma el ambiente y las relaciones sociales en aquellos espacios, pone a las comunidades a discutir acerca de su explotación y, más en general, a cuestionar sus futuros posibles y cómo desean habitar sus territorios. Pero también es un recurso global: su producción responde a factores externos, a procesos que se dan a escala global.; mayormente son actores globales – como empresas trasnacionales, bancos extranjeros, políticas establecidas por países del Norte Global – los que deciden qué, cómo y en qué cantidad se produce litio en la Puna Argentina y cuál será su destino. Avanzar hacia procesos de descarbonización más justos implicará que todos los actores involucrados, en todas las escalas, puedan discutir colectivamente acerca de los costos y beneficios de la

producción de litio. Sin embargo, existen asimetrías de poder dentro de la red de producción e injusticias que afectan, sobre todo, a las comunidades y los territorios locales. Teniendo esto en cuenta, son fundamentales el desarrollo de políticas que brinden mejoras en las condiciones de vida de las poblaciones originarias y aumenten su participación en estas discusiones, y la realización de investigaciones que aporten a conocer mejor los impactos multiescalares de la producción de litio y cómo mitigarlos.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen el apoyo de las siguientes instituciones: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina, Universidad Nacional de Salta (UNSa), Departamento de Geografía de la Universidad de Texas A&M, Red Suiza de Estudios Internacionales (SNIS) (Proyecto “LITHIUM”), CAPES-PVE/BRASIL Proc. 88881.068108/2014-01 (Proyecto “Impactos da Energia Eólica no Litoral do Nordeste”), y PRONEM FUNCAP/CNPq Proc. PNE 0112-00068.01.00/16 (Proyecto “Análise socioambiental da implantação de parques eólicos no Nordeste: perspectivas para a sustentabilidade da geração de energia renovável no Brasil”).

Referencias

- ABELVIK-LAWSON, H. **Indigenous environmental rights, participation and lithium mining in Argentina and Bolivia**: a socio-legal analysis. 2019. Tese (Doutorado em Direitos Humanos) – University of Essex, Colchester, 2019.
- ALIANO, S.; BLANCO, G.; DÍAZ ALMASSIO, N; KEESLER, D.; SOSA, B. **Movilidad sustentable**: desafíos para la Argentina. Buenos Aires: Fundación Ambiente y Recursos Naturales, 2019. Disponible em: https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2020/03/Movilidad_Sustentable_Cambios_2602.pdf. Acceso em: 26 abr. 2021.
- ALONSO, R.N. **La Puna argentina**. Ensayos geológicos, históricos y geográficos de una región singular. Salta: Mundo Editorial, 2013.
- ARGENTO, M. Y.; PUENTE, F. Entre el boom del litio y la defensa de la vida. Salares, agua, territorios y comunidades en la región atacameña. In: FORNILLO, B. (ed.). **Litio en Sudamérica**. Buenos Aires: CLACSO, 2019. p. 173-220.
- BABIDGE, S. Contested value and an ethics of resources: Water, mining and indigenous people in the Atacama Desert, Chile. **The Australian Journal of Anthropology**, v. 27, n. 1, p. 84-103, 2015.
- CARRIZO, S. C.; FORGET, M.; BOS, V. Frentes mineros para la transición energética. Regionalizaciones invisibles en torno a los salares altoandinos. In: COLLOQUE INTERNATIONAL DU CIST, 5., 2020, Paris-Aubervilliers. **Anais** [...]. Paris-Aubervilliers: Université Paris, 2020. p. 319-324.
- DIÁZ PAZ, W. F.; ESCOSTEGUY, M.; CLAVIJO, A.; SEGHEZZO, L.; IRIBARNEGARAY, M.A. Transición energética y producción de litio en Argentina: principales debates y desafíos para la gestión del agua. In: BRANNSTROM, C.; SEGHEZZO, L.; GORAYEB, A. (ed.). **Metodologias e abordagens para a descarbonização justa na América do Sul**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2021.

- DORN, F. M.; HUBER, C. Global production networks and natural resource extraction: adding a political ecology perspective. **Geographica Helvetica**, v. 75, n. 2, p. 183-193, 2020.
- DORN, F. M.; RUIZ PEYRÉ, F. Lithium as a strategic resource: geopolitics, industrialization, and mining in Argentina. **Journal of Latin American Geography**, v. 19, n. 4, p. 68–90, 2020.
- ESCOSTEGUY, M.; DIAZ PAZ, W. F.; IRIBARNEGARAY, M. A.; CLAVIJO, A.; ORTEGA INSAURRALDE, C.; STERN, H.; VENENCIA, C. D.; BRANNSTROM, C.; HUFTY, M.; SEGHEZZO, L. Will electro-mobility encourage injustices? The case of lithium production in the Argentine Puna. In: NADESAN, M. H.; PASQUALETTI, M. J.; KEAHEY, J. (ed.). **Energy democracies for sustainable futures**. [s. l.]: Elsevier Science, 2022.
- GARCÍA MORITÁN, M.; CRUZ, B. Comunidades originarias y grupos étnicos de la provincia de Jujuy. **Población y Sociedad**, v. 19, n. 2, p. 155-173, 2012.
- GEELS, F. W.; SOVACOOOL, B. K.; SCHWANEN, T.; SORRELL, S. The socio-technical dynamics of low-carbon transitions. **Joule**, v. 1, n. 3, p. 463–479, 2017.
- GÖBEL, B. La minería del litio en la Puna de Atacama: interdependencias transregionales y disputas locales. **Iberoamericana**, v. 13, n. 49, p. 135-149, 2013.
- GONZÁLEZ, J. A. Aprovechando la energía solar en la Puna. In: GRAU, H. R.; BABOT, M. J.; IZQUIERDO, A. E.; GRAU, A. (ed.). **La Puna argentina: naturaleza y cultura**. Tucumán: Fundación Miguel Lillo, 2018. p. 93-95.
- HACHE, E.; SECK, G. S.; SIMOEN, M.; BONNET, C.; CARCANAGUE, S. Critical raw materials and transportation sector electrification: a detailed bottom-up analysis in world transport. **Applied Energy**, v. 240, p. 6-25, 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS. Complejos exportadores. Primer semestre de 2020. **Comercio Exterior**, Buenos Aires, v. 4, n. 14, p.1-30, 2020.
- IRIBARNEGARAY, M. A.; ELIZABETH JIMÉNEZ, GARCÉS I.; LORCA, M.; ESCOSTEGUY, M.; DIAZ PAZ, W. F.; CLAVIJO, A. Análisis de los marcos institucionales para la explotación de litio en Sudamérica. In: BRANNSTROM, C.; SEGHEZZO, L.; GORAYEB, A. (ed.). **Metodologias e abordagens para a descarbonização justa na América do Sul**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2021.
- KAUNDA, R. B. Potential environmental impacts of lithium mining. **Journal of Energy & Natural Resources Law**, v. 38, n. 3, p. 237-244, 2020.
- LIU, W.; AGUSDINATA, D. B.; MYINT, S. W. Spatiotemporal patterns of lithium mining and environmental degradation in the Atacama Salt Flat, Chile. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 80, p. 145-156, 2019.
- MARAZUELA, M. A.; VÁZQUEZ-SUÑÉ, E.; AYORA, GARCÍA-GIL, A.; PALMA, T. The effect of brine pumping on the natural hydrodynamics of the Salar de Atacama: the damping capacity of salt flats. **Science of The Total Environment**, v. 654, p. 1118-1131, 2019.
- MARCHEGANI, P.; MORGERA, M.; PARKS, L. Indigenous peoples' rights to natural resources in Argentina: the challenges of impact assessment, consent and fair and equitable benefit-sharing in cases of lithium mining. **The International Journal of Human Rights**, v. 24, n. 2-3, p. 224-240, 2020.
- MCCAULEY, D.; RAMASAR, V.; HEFFRON, R. J.; SOVACOOOL, B. K.; MEBRATU, D.; MUNDACA, L. Energy justice in the transition to low carbon energy systems: exploring key themes in interdisciplinary research. **Applied Energy**, v. 233, p. 916-921, 2019.

- MINING WATCH CANADA. Conference Report: Turning down the heat: can we mine our way out of the climate crisis? Ottawa: Mining Watch Canada, 2020. Disponível em: <https://miningwatch.ca/publications/2020/11/16/conference-report-turning-down-heat-can-we-mine-our-way-out-climate-crisis>. Acesso em: 26 de abr. 2021.
- MINISTERIO DE TRABAJO, EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL DE LA REPÚBLICA ARGENTINA. **Informe de diagnóstico laboral de la provincia de Catamarca**. Buenos Aires, 2020. Disponível em: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/20.08.04_informe_cat.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.
- NACIF, F. Litio en Argentina: dos décadas de explotación. *In: FUNDACIÓN AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (org.). Informe ambiental 2020*. Buenos Aires: FARN, 2020.
- OROCOBRE. **Sustainability full report**. [s. l], 2019. Disponível em: <https://www.orocobre.com/wp-content/uploads/2020/04/2019-Sustainability-Full-Report.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2021.
- PEROTTI, R.; COVIELLO, M. F. **Governance of strategic minerals in Latin America: the case of Lithium**. Santiago: ECLAC, 2015.
- PERREAUL, T. T. Bolivia's high stakes lithium gamble. **NACLA Report on the Americas**, v. 52, n. 2, p. 165-172, 2020.
- PERROTTO, S. **La minería del litio en Salinas Grandes: Un análisis de diferentes narrativas en torno a la extracción de litio desde 2010 hasta el presente**. Albany: SIT Digital Collections, 2020.
- POVEDA BONILLA, R. **Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile**. Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020. Disponível em: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45683-estudio-caso-la-gobernanza-litio-chile>. Acesso em: 26 abr. 2021.
- QUINTEROS-CONDORETTY, A. R.; ALBAREDAC, L.; BARBIELLINIA, B.; SOYER, A. A socio-technical transition of sustainable lithium industry in Latin America. **Procedia Manufacturing**, v. 51, p. 1737-1747, 2020.
- SOLA, R. Kachi Yupi: un ejercicio de autodeterminación indígena en Salinas Grandes. 2016. *In: FUNDACIÓN AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (org.). Informe ambiental 2016*. Buenos Aires: FARN, 2016. Disponível em: <https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/06/15Sola%CC%81.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2021
- SOVACOOOL, B. K.; ALI, S. H.; BAZILIAN, M.; RADLEY, B.; NEMERY, B.; OKATZ, J.; MULVANEY, D. Sustainable minerals and metals for a low carbon future. **Science**, v. 367, p. 30-33, 2020.
- SOVACOOOL, B. K.; HOOKA, A.; MARTISKAINENA, M.; BAKER, L. The whole systems energy injustice of four European low-carbon transitions. **Global Environmental Change**, v. 58, p. 101958, 2019a.
- SOVACOOOL, B. K. The political ecology and justice of energy. *In: VAN DE GRAAF, T.; SOVACOOOL, B. K.; GOSH, A.; KERN, F.; KLARE, M. T. (ed.). The Palgrave Handbook of the International Political Economy of Energy*. London: Palgrave Macmillan, 2016.
- SOVACOOOL, B. K. Who are the victims of low-carbon transitions? Towards a political ecology of climate change mitigation. **Energy Research & Social Science**, v. 73, p. 101916, 2021.
- SOVACOOOL, B. K.; MARTISKAINEN, M.; HOOK, A.; BAKER, L. Decarbonisation and its discontents: a critical energy justice perspective on four low-carbon transitions. **Climate Change**, v. 155, p. 591-619, 2019b.
- STERBA, J.; KRZEMIEN, A.; RIESGO FERNÁNDEZ, P. Lithium mining: Accelerating the transition to sustainable energy. **Resources Policy**, v. 62, p. 416-426, 2019.

- TAPIA, M. D. V.; QUIROGA, D. E.; SÁNCHEZ, D. La gran minería ¿sinónimo de desarrollo?: la aplicación del Índice de Calidad de Vida (ICV) en el caso de Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca. **Revista Iberoamericana de Estudios Municipales**, v. 12, p. 41-66, 2015.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Argentina lithium map-data sources and explanatory notes**. Washington, D.C.: USGS, 2018.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2020**. Washington, D.C.: USGS, 2020.
- VÁSQUEZ, P.I. **The Lithium Triangle**: the case for post-pandemic optimism. Washington: Wilson International Center Working Paper, 2020.
- VELTMEYER, H. Latin America in the vortex of social change: development and social movement dynamics. **World Development**, v. 130, p. 104916, 2020.

La descarbonización, necesaria para evitar el calentamiento global catastrófico, demanda inversiones significativas en tecnología, ingeniería, recursos humanos y ciencias sociales. Este libro aborda un consenso emergente sobre descarbonización: la energía solar y eólica pueden atender las necesidades de electricidad del mundo si son implementadas a gran escala. El almacenamiento comercial de electricidad eólica y solar es viable tecnológicamente utilizando baterías, permitiendo el uso intensivo de la energía renovable de modo permanente, seguro y estable. Sin embargo, ambos emprendimientos implican riesgos para las personas y el medio ambiente, debido a la nueva demanda por tierra para la implantación de parques de energía renovable y la extracción de metales utilizados en la producción de baterías, en especial el litio. Fruto del vínculo entre la Universidad Federal de Ceará y la Universidad Nacional de Salta, este libro ofrece recursos para informar y capacitar personas con un abordaje holístico capaz de encontrar soluciones para las posibles consecuencias negativas de la descarbonización.



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ



observatório
da energia
eólica



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE SALTA

CONICET



I N E N C O



CAPES

ISBN: 978-85-7621-326-0



9 788576 213260