

Escenarios para el despliegue de capacidad eólica en Colombia a 2050: Una perspectiva desde el modelado con dinámica de sistemas.

[Sebastián Osorio Páez, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, sebastian.osoriop@utadeo.edu.co
[Isaac Dyner, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, isaac.dyner@utadeo.edu.co
[Andrés J. Aristizábal, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, andresj.aristizabal@utadeo.edu.co
[Enrique Ángel-Sanint, EIA, enrique.angel@eia.edu.co

Overview

Reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) marca la agenda actual a nivel global en busca de mitigar los impactos producto del incremento en la temperatura del planeta a causa de actividades humanas, las cuales han aportado al calentamiento global 1°C , y es probable que alcance los 1.5°C entre 2030 y 2052[1]. Es precisamente este indicador de 1.5°C , respecto a la era preindustrial, el umbral estipulado luego de analizar efectos en capacidades de biodiversidad y sistemas naturales (gestionados y humanos), considerando ubicación geográfica, nivel de desarrollo y vulnerabilidad. Al superar el umbral se ejerce presión sobre la estabilidad del sistema natural propiciado que sea imposible la adaptación a condiciones climáticas extremas y desastres asociados, generando pérdida y extinción masiva de especies, incluida la humana. Mediante el análisis de indicadores relacionados con límites planetarios, se ha detectado que las capacidades del planeta para asegurar la vida humana han sido rebasadas, a tal punto que, en el 52% del territorio se han superado dos o más límites, resultando afectada el 86% de la población del planeta al exceder en siete de los ocho aspectos los límites de justicia y seguridad[2].

En los escenarios a 2030, donde se reducen las emisiones globales netas de CO_2 un 45% con respecto a niveles de 2010, la temperatura de planeta se establece alrededor de 1.5°C por encima de la era preindustrial[1]. Sin embargo, si se pretende garantizar justicia reduciendo la cantidad de población expuesta a los daños producto del cambio climático, el límite debería establecerse en 1°C [2].

La evolución de los sistemas sociales y económicos, esencialmente apalancados en el consumo energético como habilitador de condiciones para el desarrollo humano han determinado la administración de recursos naturales. En este sentido, el uso de combustibles fósiles para la generación ha llevado al sector energético a contribuir con el 75% del total de emisiones de gases efecto invernadero[3] que rondaron las 50 megatoneladas de CO_2 equivalente en 2019. Al corresponder a más de tres cuartas partes de las emisiones generadas, se hace menester adelantar acciones que permitan avanzar en desarrollo económico y social sin que esto signifique mayor nivel de emisiones.

En Colombia, la transformación de la matriz energética hacia una descarbonizada y con menos dependencia de una fuente para la generación eléctrica (como sucede actualmente con la hidroelectricidad que representa el 67.1% de la capacidad instalada y hasta 84% de generación[4]) permite avanzar en el aprovechamiento del potencial existente en diversas fuentes renovables no convencionales. Así, el recurso eólico se posiciona como una posibilidad relevante en el proceso de transición energética segura, acreditándose como una industria prometedora al ser limpia, socialmente justificable y económicamente competitiva a tal punto de tener la posibilidad de generar más de un tercio (35%) de la energía requerida en 2050 con sus tipos onshore y offshore debido al potencial técnico con el que cuenta el país (82 GW). Además, contribuye a garantizar disponibilidad, rentabilidad y solidez del suministro, aportando robustez y eficiencia a la matriz energética, representando un factor fundamental para propagar de manera efectiva el acceso a energía asequible y no contaminante.

Empleando dinámica de sistemas, el presente plantea cuatro escenarios para el despliegue eólico tanto en costa como costa afuera en sus dos tipos; fondo flotante (FOW) y fondo anclado (BFW). Los escenarios denominados Democracia verde, Extractivismo renovable, Greta y La casa en llamas, varían la alineación de incertidumbres relacionadas con políticas y evolución en precios del petróleo, quienes dictan incentivos económicos de mercado para el despliegue eólico a partir del diferencial entre precio de petróleo y costos nivelados de eólica.

El modelo desarrollado considera pronósticos concernientes a la evolución de la tecnología a nivel global y la disponibilidad de área para la instalación de proyectos eólicos. Asimismo, al no tratarse de un modelo de optimización, el desarrollado permite integrar elementos particulares del contexto nacional que han sido determinantes en el proceso de despliegue eólico. Estos elementos incluyen la definición de objetivos que incentiven inversión ante un marco legal definido, aceptación social y relacionamiento con comunidades en procesos de consulta previa, capacitación de recurso humano para transición laboral, expansión de redes de transmisión adecuadas a la ubicación de centros de generación y consumo, además de evolución en infraestructura portuaria y cadenas de suministro de materiales y componentes.

Methods

Como metodología se implementa el modelado con dinámica de sistemas, teniendo como eje las incertidumbres establecidas[5]. Mediante un ejercicio prospectivo se plantean cuatro futuros distintos, en los que se muestran posibles rutas de transformación ligadas a señales económicas, sociales y políticas que permiten formular mediante una hipótesis dinámica el comportamiento de variables de interés y sus relaciones[6], confluyendo en un modelo de dinámica de sistemas en el que se valora de manera cuantitativa la capacidad eólica instalada en el país para cada uno de los escenarios, logrando ser herramienta para el diseño de estrategias y toma de decisiones en política energética.

Teniendo en cuenta el límite del sistema, se desarrolla el diagrama causa-efecto que permita identificar los bucles que constituyen el sistema, para representar estas relaciones en la construcción del diagrama de flujos y niveles. El diagrama de Forrester se fundamenta en la función logit comúnmente usada en modelos de difusión tecnológica, como el modelo Bass[7], debido a la prevalencia de curvas en forma de S características del proceso de penetración en el mercado[8].

En el diagrama se incluyen las ecuaciones que permiten simular escenarios y relaciones planteadas en la hipótesis dinámica mediante el software de modelización Vensim, que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de dinámica de sistemas. El horizonte de simulación del modelo se plantea para el periodo comprendido entre los años 2020 y 2050 con un paso de simulación de anual, integrado mediante el método Euler.

Results and Conclusions

Al confluír la favorabilidad política y económica, democracia verde concibe una matriz eléctrica donde el país mantiene esfuerzos constantes por desarrollar el mercado eólico como política de estado, garantizando certidumbre a los inversores para el desarrollo de los proyectos. Esto gracias a elementos cruciales como reducción del tiempo de trámite de licencias y permisos, además, se ejercen acciones oportunas para garantizar la expansión del sistema interconectado nacional para exportación de energía entre la costa y el centro del país. El desarrollo de infraestructura portuaria propicia procesos de fabricación y ensamblaje nacional de componentes claves en los proyectos, logrando también prioridad en la disponibilidad de buques de carga ante la demanda de proyectos en el país.

La aceptación social logra reducir los tiempos de gestión en consultas previas, asimismo, el relacionamiento social permite sintonía entre diversas entidades estatales para formación y transición laboral desde otros sectores de la economía minero-energética, que centran los resultados de procesos de exploración y explotación principalmente para la exportación.

A nivel estatal, los apoyos en forma de subsidios permiten ingresar capacidad al sistema de forma más rápida, cerrando la brecha de costos nivelados a nivel nacional con respecto al promedio mundial y garantizando ingresos prolongados en el tiempo que cubran la inversión realizada por parte de los desarrolladores de tal manera que se reduzca la incertidumbre en fases iniciales donde existen mayores riesgos, siendo vital la retribución justa que posibilite avanzar en eficiencia tecnológica, reducción de exposición a la volatilidad de los precios en bolsa y cambios en la política energética, sin desincentivar inversión.

El efecto de las acciones descritas en el escenario genera un crecimiento constante en los proyectos que se encuentran bajo construcción, debido a la adaptación y desarrollo constante del mercado hasta el punto en que para la última década la nueva capacidad offshore bajo construcción llega a un nivel donde se garantiza que la infraestructura desarrollada suple las necesidades del despliegue eólico.

Con esto, la energía eólica constituye casi el 40% de la capacidad total expuesta en el escenario “innovación” del plan energético nacional publicado por la unidad de planeación minero-energética (UPME) posicionándose en 28.849 MW, de los cuales 19.894 MW eólicos corresponden a instalaciones en costa, ocupando el 60% del área con potencial técnico. La capacidad instalada costa afuera está compuesta por 5.705 MW de fondo anclado y 3.250 MW de fondo flotante, el área empleada en cada una de las tecnologías no alcanza el 20% del total disponible con potencial técnico.

En este escenario, la energía producida por medio de parques eólicos en el año 2050 ascendería a 151.493GWh/Año, cantidad que en relación con la generación hidroeléctrica y carbón abate 1,2 y 149.7 millones de toneladas de CO₂ equivalente respectivamente.

Considerando los resultados obtenidos, la capacidad de generación eólica en costa y costa afuera que Colombia logre incluir en su matriz de generación eléctrica a 2050 se encuentra estrechamente relacionada con el nivel pertinencia y sostenibilidad de las diversas acciones de política energética, que inicialmente constituyan reglas de juego claras para los interesados en desarrollar el mercado eólico del país. Además, la confluencia de organismos estatales para propender la transición energética como objetivo común independientemente de la ideología política, contribuye con el alineamiento de la sociedad sobre los proyectos eólicos, hechos que son objeto de aprendizaje a medida que se avanza en la instalación capacidad, reduciendo así fricciones en los procesos de licenciamiento ambiental y consulta previa, propiciando un ambiente de concertación que permite al mercado laboral migrar desde otros sectores económicos hacia actividades productivas relacionadas con el desarrollo logístico, actividades de operación y mantenimiento requeridas a lo largo del ciclo de vida de los proyectos de manera que se dan luces de una transición hacia la electrificación de la economía con fuentes limpias gracias al atractivo económico y social de estos, más allá de producirse por la escasez de combustibles de tipo fósil.

References

- [1] V. Masson-Delmotte *et al.*, *Calentamiento global de 1.5°C, Resumen para responsables de políticas*. 2019. [Online]. Available: www.ipcc.ch
- [2] J. Rockström *et al.*, "Safe and just Earth system boundaries," *Nature*, 2023, doi: 10.1038/s41586-023-06083-8.
- [3] Hannah Ritchie, Max Rose, and Pablo Rosado, "Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?," [OurWorldInData.org](https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions). Accessed: Jun. 18, 2023. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>.
- [4] XM S.A. E.S.P., "Generación Real del SIN ." Accessed: Feb. 10, 2024. [Online]. Available: <https://sinergox.xm.com.co/oferta/Paginas/Informes/GeneracionSIN.aspx>
- [5] P. Schwartz, *The Art of the Long View*. in *A Currency book*. Doubleday/Currency, 1991. [Online]. Available: <https://books.google.com.co/books?id=4vcOAQAAMAAJ>
- [6] J. D. Sterman, *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Jeffrey J. Shelstad, 2000.
- [7] F. M. Bass, "A New Product Growth for Model Consumer Durables," 1969.
- [8] S. T. Gilshannon and D. R. Brown, "Review of Methods for forecasting the Market Penetration of new Technologies," U.S. Department of Energy, 1996.