

Pronóstico de corto plazo del índice de precios al consumidor: Análisis del costo de electricidad en la Costa Caribe de Colombia

Lara-Montañez, A. F; Cisneros-Sosa, V. A.; Herrera, M. M

A. F Lara-Montañez

est.andres.lara@unimilitar.edu.co.

Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

V. A. Cisneros-Sosa

est.vanessa.cisneros@unimilitar.edu.co

Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

M. M Herrera milton.herrera@unimilitar.edu.co

Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

INVENTUM

Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia

ISSN: 1909-2520

ISSN-e: 2590-8219

Periodicidad: Semestral

vol. 17, núm. 32, 2022

inventum@uniminuto.edu

Recepción: 01 Febrero 2022

Aprobación: 15 Marzo 2022

Publicación: 15 Marzo 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/671/6713619007/>

Corporacion Universitaria Minuto De Dios - UNIMINUTO



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Resumen: La costa Caribe colombiana se caracteriza por sus condiciones favorables para la generación de energía solar. Sin embargo, aún no han sido explotadas de tal manera que permitan una adecuada transición energética en el país. En este artículo se presenta una evaluación del consumo de energía eléctrica y se hace un acercamiento a la tendencia de los índices de precios al consumidor, interpretando su ciclo y tendencia en el tiempo. Para ello, se emplea un modelo autorregresivo integrado de promedio móvil (ARIMA, por sus siglas en inglés) para el pronóstico de valores en el tiempo. Los resultados muestran desafíos para la gestión pública en lo que se refiere a la población y sus necesidades socioeconómicas, que en el largo plazo provocarán efectos en el desarrollo de la región.

Palabras clave: energía renovable, modelación, costa Caribe colombiana, energía solar, consumo de electricidad.

Abstract: The Colombian Caribbean Coast is characterized by its favorable conditions for the generation of solar energy. However, they have not yet been exploited in such a way as to allow an adequate energy transition in the country. In this context, the article presents an evaluation of the consumption of electrical energy and makes an approach to the trend of consumer price indexes, interpreting its cycle and trend over time. To do this, an autoregressive integrated moving average (ARIMA) model is used to forecast values over time. The results show challenges for public management in terms of the population and its socio-economic needs, which in the long term will cause effects on the development of the region.

Keywords: Renewable energy, modelling, Colombian Caribbean Coast, solar energy, electricity consumption.

Resumo: A costa caribenha colombiana se caracteriza por suas condições favoráveis à geração de energia solar. No entanto, ainda não foram explorados de forma a permitir uma transição energética adequada no país. Nesse contexto, o artigo apresenta uma avaliação do consumo de energia elétrica e faz uma abordagem da tendência dos índices de preços ao consumidor, interpretando seu ciclo e tendência ao longo do tempo. Para isso, é utilizado um modelo ARIMA para prever valores ao longo do tempo. Os resultados mostram desafios para a gestão pública em termos da população e suas necessidades socioeconômicas, que no longo prazo causarão efeitos no desenvolvimento da região.

Palavras-chave: energia renovável, modelagem, Costa Caribe colombiana, energia solar, consumo de eletricidade.

Pronóstico de corto plazo del índice de precios al consumidor: Análisis del costo de electricidad en la Costa Caribe de Colombia

Resumen

La costa Caribe colombiana se caracteriza por sus condiciones favorables para la generación de energía solar. Sin embargo, aún no han sido explotadas de tal manera que permitan una adecuada transición energética en el país. En este artículo se presenta una evaluación del consumo de energía eléctrica y se hace un acercamiento a la tendencia de los índices de precios al consumidor, interpretando su ciclo y tendencia en el tiempo. Para ello, se emplea un modelo autorregresivo integrado de promedio móvil (ARIMA, por sus siglas en inglés) para el pronóstico de valores en el tiempo. Los resultados muestran desafíos para la gestión pública en lo que se refiere a la población y sus necesidades socioeconómicas, que en el largo plazo provocarán efectos en el desarrollo de la región.

Palabras clave: energía renovable, modelación, costa Caribe colombiana, energía solar, consumo de electricidad.

I. INTRODUCCIÓN

Debido a que el desarrollo de las energías renovables es un camino para suplir la demanda energética, se hace necesario entender las dinámicas de los precios de la electricidad y el consumo de energía eléctrica. Esta situación lleva a la industria eléctrica a enfrentar nuevos retos asociados a la seguridad energética y a la reducción de la cantidad de emisiones. En otras palabras, las compañías del sector de la industria de la electricidad enfrentan nuevos desafíos para poder recorrer un camino de competencia en el mercado. En tal sentido, este artículo presenta un análisis basado en los valores agregados de la demanda energética y el índice de precios del consumidor de la región Caribe de Colombia.

La costa Caribe colombiana posee un alto potencial para la generación de energía solar y eólica, debido a sus características de disponibilidad del recurso a lo largo del año [1]. Estudios previos han evaluado las posibles variabilidades de los recursos energéticos renovables y han calculado los índices de variabilidad con el fin de entender los patrones de generación de energía solar [2]–[4]. Además, otros estudios han profundizado en la evaluación de las complementariedades entre los puntos calientes de la región [5], [6].

Por otro lado, la infraestructura juega un papel importante en la difusión de las energías renovables, debido a que dependen en gran medida de la capacidad de transporte de electricidad del sistema [7]–[9]. Estudios previos han demostrado que la restricción de transporte de electricidad puede obstaculizar el crecimiento y la expansión de las energías no convencionales [10]–[12]. Por lo tanto, una evaluación del sistema energético que incluya la infraestructura de electricidad y el comportamiento del consumo contribuye con una mejor comprensión del sistema, lo cual repercute en el desempeño del sistema de energía del país. En particular, este artículo se enfoca en el análisis del comportamiento del índice de los precios del consumo de energía eléctrica en la costa Caribe colombiana,

para posteriormente discutir las necesidades sociales que conlleva la transición energética del país.

En este contexto, se abordan las siguientes preguntas problema: ¿Cuál es la incidencia del índice de precios con relación al consumo de electricidad en la costa Caribe colombiana? ¿Cuáles pueden ser los desafíos y oportunidades de expansión energética en la costa de Colombia? Para ello, el artículo desarrolla un modelo que explica el incremento de los índices de precios al consumidor (IPC) asociados a los servicios públicos, publicados en los boletines económicos regionales del Banco de la República.

El artículo se ha dividido en los siguientes apartados así: en el numeral II, se presenta un breve contexto de la necesidad de la transición energética en Latinoamérica. El numeral III contiene una breve caracterización de los datos del contexto energético de la costa Caribe colombiana. En el apartado IV se muestran los resultados obtenidos a partir del modelo econométrico. Luego, en el numeral V se presenta una breve discusión sobre los desafíos y oportunidades. Finalmente, en el numeral VI, se exponen las conclusiones obtenidas.

II. CONTEXTO: TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN LATINOAMÉRICA

En Latinoamérica, uno de los principales factores para lograr la transición a energías renovables está en el diseño e implementación de políticas energéticas que permitan el progreso tecnológico y el cambio en cuanto a eficiencia tecnológica [13]–[15]. Sin embargo, la falta de condiciones adecuadas limita el crecimiento de la capacidad instalada de energía renovable en toda la región latinoamericana. En ese sentido, la innovación tecnológica es la clave para que los países latinoamericanos mejoren la eficiencia total de la capacidad instalada de energías renovables [16], [17].

Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), la energía renovable se refiere a la energía extraída de procesos naturales y que se repone más rápido de lo que se consume, incluyendo la energía solar, eólica, geotérmica, del agua y de la biomasa [18]. Algunos estudios han demostrado que el uso de la energía renovable no solo puede promover el crecimiento económico, sino también concretar los beneficios ecológicos de la conservación de la energía y la reducción de las emisiones [19], [20].

La utilización de recursos renovables se ha convertido en una medida vital en los ámbitos de la política energética y la mitigación del cambio climático [21], [22]. También se utiliza para oponerse, o al menos proporcionar, una alternativa a la dependencia de la sociedad de los combustibles fósiles [23]. Por lo tanto, los países en vía de desarrollo han acelerado el desarrollo energético como estrategia a largo plazo para abordar la desigualdad social, el acceso a la energía y la seguridad del suministro. En este contexto, la evaluación del comportamiento del consumo de electricidad se ha vuelto de suma importancia para determinar la capacidad de infraestructura necesaria para la transición energética [17].

III. COSTA CARIBE COLOMBIANA

La región Caribe de Colombia está ubicada en la zona norte del país, y se caracteriza por su variedad ecológica, con condiciones que van desde el bosque seco hasta la selva húmeda. Esta variedad climática favorece la generación de energía eólica y solar [24], [25]. Sin embargo, el desarrollo de capacidad instalada

en la región ha sido limitado debido a retrasos en la implementación de políticas energéticas en el país [4].

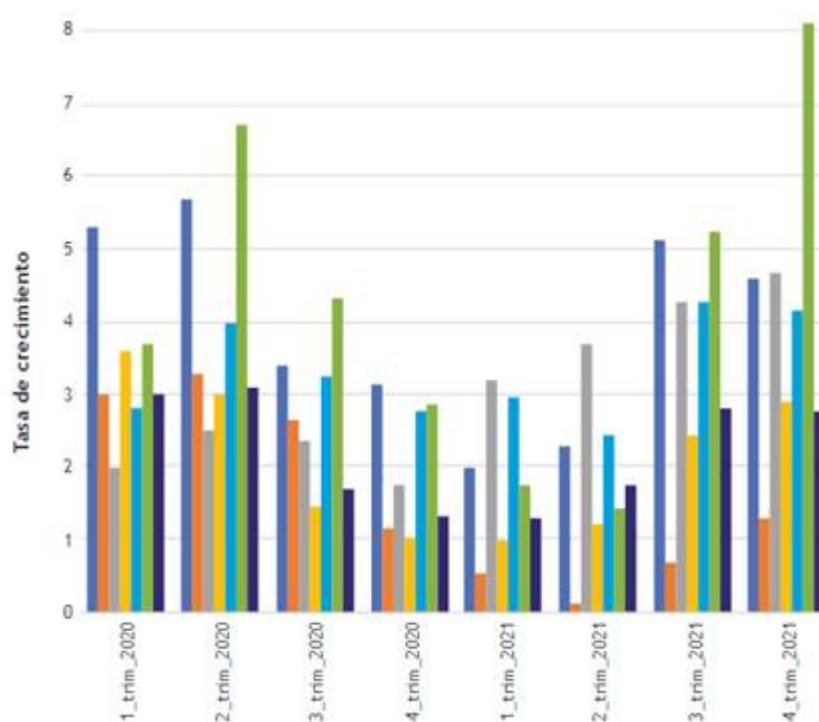
La figura 1 muestra la división política y geográfica de los departamentos de la Costa Caribe colombiana. Su extensión equivale al 11,6% del territorio nacional y está conformada por 197 municipios. Además, este territorio comprende una extensión de 132.288 km² de superficie y una población cercana a los 10.301.982 habitantes. El clima tiene condiciones favorables para la generación de energía renovable, tanto solar como eólica. El clima es tropical seco y templado oceánico.



Figura 1
Departamentos de la costa Caribe colombiana
elaboración propia.

Si bien la región cuenta con condiciones favorables para la generación de electricidad proveniente de fuentes renovables, existe un déficit del cubrimiento eléctrico en varios estratos socioeconómicos. Esto lo podemos deducir, de las tasas de pobreza o necesidades básicas insatisfechas (NBI), cuyo índice cuenta con dimensiones que miden el hacinamiento, los materiales de construcción de vivienda, la ausencia de servicios sanitarios adecuados, la no asistencia a la escuela de niños en edades de 6 a 12 años y la alta dependencia de las cabezas del hogar. En tal sentido, el Banco Mundial establece que la pobreza es, a su vez, la privación de bienes como la vivienda, los alimentos, educación y las oportunidades de empleo.

El impacto de la falta de recursos económicos influye en el acceso al suministro de electricidad para los hogares, lo cual lleva a la reducción del bienestar. Por ejemplo, a la imposibilidad de comprar los electrodomésticos necesarios en regiones con altas temperaturas (ventiladores y neveras, entre otros). Además, aun si existiera una alta capacidad de adquisición de electrodomésticos, el costo energético del sector reduciría la posibilidad de obtenerlos, ya que el precio de la electricidad consumida se encuentra en aumento.



La figura 2

Promedio trimestral del IPC de la región Caribe para el período 2020 y 2021 [26].

La figura 2 muestra la tasa de crecimiento del IPC, de acuerdo con el DANE [26], lo cual evidencia un crecimiento en los últimos dos trimestres del 2020 en comparación con el mismo período del 2021.

elaboración propia

Un estudio a nivel nacional sobre los costos del racionamiento, adelantado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) [27], encontró que las personas con menor capacidad de pago en la región Caribe, para evitar una interrupción en su servicio pueden llegar a pagar en promedio 700 COP por cada kWh. Esta situación muestra que las personas que tienen mayores fallas en el sistema eléctrico, o bien se han acostumbrado a la ineficiencia del servicio, o bien, aunque deseen una mejora, no tienen la capacidad de pago para garantizar la continuidad del servicio. Además, dicho estudio muestra que los estratos del 1 al 3 se sienten más motivados a hacer un pago adicional por la prestación de un servicio de electricidad, mientras que los estratos más altos no estarían motivados a hacer un pago adicional por la prestación de dicho servicio, a partir de lo cual se entiende que la necesidad de recursos eléctricos es mayor en algunos estratos o tiene una elasticidad en la demanda menor, para las personas con menor capacidad de pago.

En ese sentido, la reducción de los ingresos y la falta de acceso al recurso eléctrico conlleva un desafío y una oportunidad para el sistema energético basado en renovables. La figura 3 muestra las condiciones favorables de la región Caribe colombiana para la generación de energía solar. El mapa de radiación expone las ventajas en términos de generación solar en esta región, la cual puede alcanzar en promedio de 4 a 5 kW/m². Si bien los departamentos de La Guajira, Cesar y Magdalena tienen una condición favorable para la generación de energía solar, la falta de infraestructura de transporte de electricidad constituye una limitante para esta región. En la actualidad, se cuenta con 28 proyectos a lo largo del

territorio colombiano, con los cuales se busca generar una capacidad instalada de renovables de 4.293 MW.

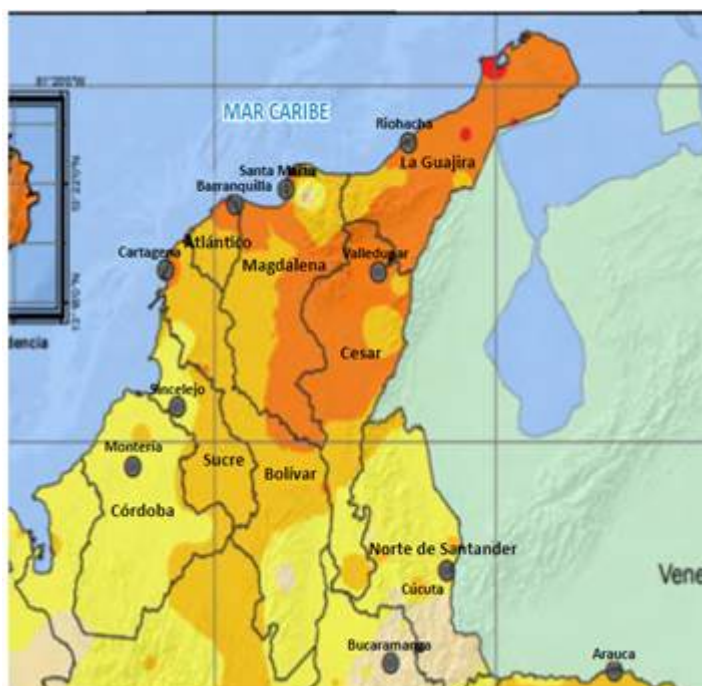


Figura 3.

Mapa de radiación solar de la costa Caribe colombiana [28].
elaboración propia

En la última década, el Gobierno colombiano ha hecho grandes esfuerzos para promover la generación de electricidad a partir de fuentes renovables. Sin embargo, desde el 2014 se anunció la Ley 1715, pero solo hasta el año 2020 se comenzó una leve implementación y promoción de las energías renovables no convencionales, como la solar y la eólica. Este retraso en la implementación y promoción de políticas ha generado grandes desafíos para la economía colombiana, especialmente durante la pandemia de covid-19.

IV. METODOLOGÍA

A partir de los boletines económicos regionales para la costa Caribe del Banco de la República de Colombia, se tomaron los datos de IPC trimestrales, obteniendo así una base de datos histórica que parte desde el primer periodo del año 2019. Con los datos obtenidos, se calculó un promedio entre Barranquilla, Cartagena, Valledupar, Montería, Riohacha, Santamarta y Sincelajo.

Inicialmente, se realizó una inspección de autocorrelación y correlación parcial, la cual indicó una presencia de estacionalidad sobre los datos del IPC trimestral, como se muestra en la figura 4. Además, mediante los rezagos significativos, se identificaron características de su comportamiento, con el fin de determinar si su varianza se asemeja a un modelo autorregresivo (AR) o, por el contrario, al de medias móviles (MA, por sus siglas en inglés), esto permitió hacer un pronóstico de los valores que se obtendrían en períodos posteriores.

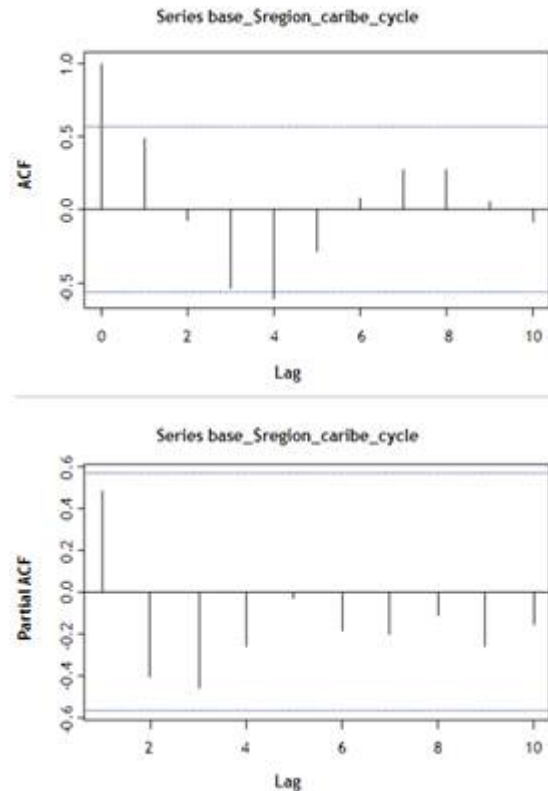


Figura 4

Resultados de autocorrelación y correlación parcial para el modelo de pronósticos aplicado
elaboración propia

Los resultados que se muestran en la figura 4 indican que los rezagos más significativos son el primero y el cuarto. Sin embargo, el primero tiene el valor más alto, y positivo, para posteriormente descender y llegar a un mínimo negativo, desde donde vuelve a crecer, para tornarse de nuevo positivo. Este comportamiento volátil, con períodos crecientes y decrecientes, permite la interpretación mediante un modelo autorregresivo integrado de promedio móvil (ARIMA, por sus siglas en inglés) para generar una mejor predicción en el tiempo.

I. RESULTADOS

Los resultados muestran que existe una estacionalidad débil en el ciclo y nula en la tendencia, como se puede apreciar en la figura 5. Esto implica que, en el tiempo, los IPC, a pesar de tener picos de caída y valles, tienen una tendencia a crecer a partir del primer trimestre de 2023, haciendo que los costos de acceso a electricidad sean cada vez más elevados para las personas en condición de vulnerabilidad.

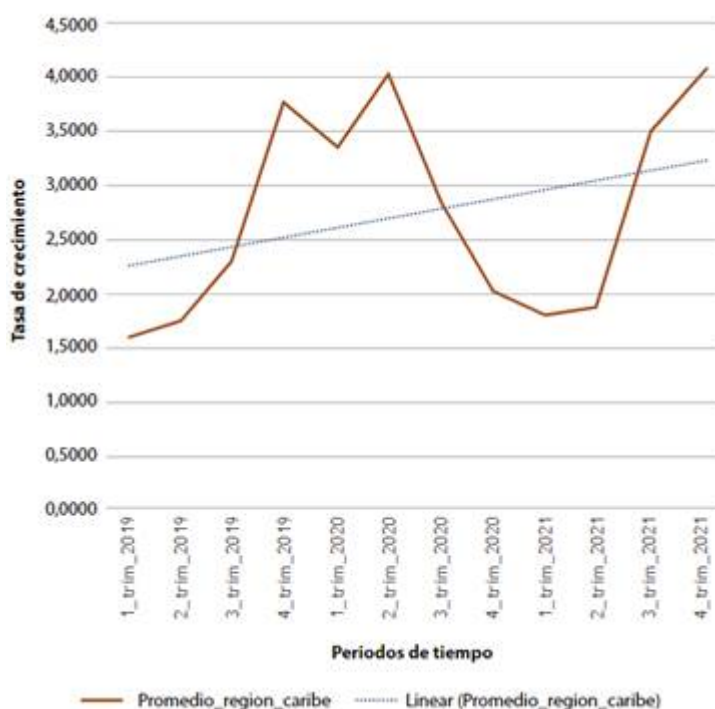


Figura 5
Ciclo promedio y tendencia del IPC de la región Caribe colombiana [26]
elaboración propia.

Una vez hecho el pronóstico de la tasa de variación en el tiempo, a partir del modelo ARIMA, los resultados que se presentan en la figura 6 muestran que, sin importar que existan períodos de estabilidad o reducción en el IPC, con el tiempo estos incrementarán, haciendo que conforme pase el tiempo y teniendo todo lo demás constante (*ceteris paribus*), la inequidad energética se mantenga y cada vez sea más difícil acceder al suministro de electricidad debido al incremento en los precios.

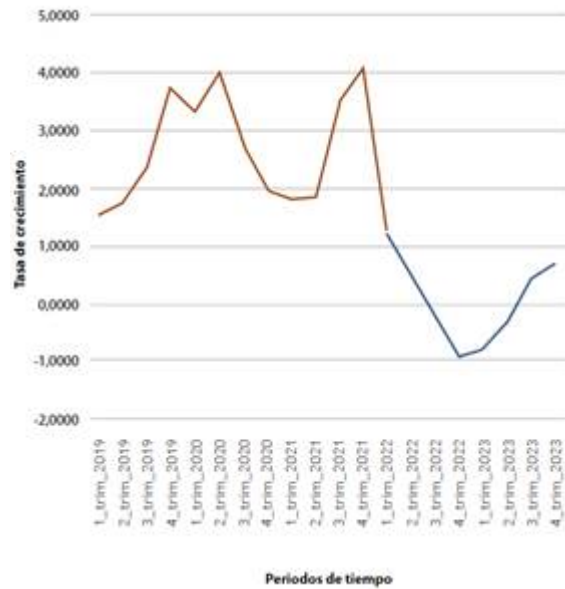


Figura 6

Pronósticos del ciclo de los valores en el tiempo del IPC para la región Caribe colombiana.
elaboración propia.

Si bien se presenta una disminución en comparación con los trimestres de los períodos anteriores a 2021 (figura 6), esto puede deberse al incremento de la capacidad instalada proyectada de energías renovables en la región Caribe que podría alcanzar los 2.865 MW entre el período 2019 y el 2023, como se muestra en la figura 7.



Figura 7

Capacidad de energía renovable no convencional (MW) aprobada por departamento [29].
elaboración propia.

Por una parte, si existe una brecha entre la demanda energética y la capacidad de pago de los hogares, el IPC en el tiempo será creciente. Por otra parte, si las condiciones socioeconómicas de vulnerabilidad en la región se mantienen, existirá una mayor tasa de pobreza multidimensional. Por lo tanto, es necesario pensar en nuevos modelos de negocios para el sector energético de Colombia, con el fin de que los costos de generación se reduzcan y permitan mejores condiciones para las familias de la región Caribe. En tal sentido, el acceso a tecnologías de refrigeración de alimentos y acondicionamiento climático necesarias en regiones con altas temperaturas permitirá mejorar el bienestar y la calidad de vida. Por consiguiente, el formular políticas inclusivas y territoriales que consideren las poblaciones marginales constituye un desafío para el Estado colombiano.

I. DISCUSIÓN: DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES

Hasta el momento, diversos estudios han abordado los problemas que se enmarcan en la inequidad energética [2], [30], [31]. En ellos se destaca la importancia de entender cómo la expansión de las energías renovables merece ser planificada desde una visión integral de la política energética, que contemple aspectos sociales, económicos y ambientales de las regiones [32]. En ese orden de ideas, el incremento de nuevas fuentes de energía solar y eólica a lo largo de la región Caribe colombiana, aunque contribuye al fortalecimiento de la matriz energética, requiere un análisis estructural que permita entender que dicha expansión debe contemplar un aspecto social que tome en cuenta a las comunidades asentadas en esta región.

Asimismo, deben considerarse que las nuevas oportunidades alrededor de la creación de nuevos empleos que aporten en la expansión y construcción de nuevas infraestructuras para la energía renovable conlleva una responsabilidad social corporativa de aquellas empresas inversionistas en la región Caribe. De esta manera, la difusión de energías no convencionales contribuiría a la disminución de brechas sociales y económicas de la región y a la creación de nuevos empleos, como ha sucedido en otros países de Latinoamérica [33], [34].

El crecimiento de la infraestructura energética de la región Caribe colombiana trae consigo nuevos retos para las líneas de transmisión de electricidad. En otras palabras, la conexión de los generadores de energía requiere una planeación conjunta de la transmisión de electricidad y la construcción de las plantas de generación (solar y eólica). La planeación energética, por tanto, juega un papel fundamental para el desarrollo de la región, lo cual requiere prestar atención a varias aristas, que contemplan, incluso, el conflicto armado actual.

Los nuevos desafíos y oportunidades que plantea el crecimiento de la energía renovable en el país contribuyen a enfrentar los altos costos del precio de la electricidad en las regiones que enfrentan condiciones climáticas adversas. Sin embargo, el crecimiento de las tecnologías de energía limpia conlleva una responsabilidad de índole social, económica y ambiental, puesto que debe darse una transición sustentable [35].

A partir de los resultados de las proyecciones del índice de precios al consumidor, se puede evidenciar una tendencia al aumento del precio de la electricidad para la región Caribe, situación que repercute en las condiciones sociales y económicas de la región. Si bien nuevos proyectos de infraestructura de electricidad se tienen proyectados, la deficiencia de infraestructura de transporte de electricidad y los conflictos en la regulación medio ambiental que puedan afectar las comunidades son limitaciones que apalancan el incremento del costo de electricidad.

II. CONCLUSIONES

Este artículo muestra un análisis sobre el índice de precios al consumidor en, asociado al consumo de electricidad en la región Caribe colombiana. Los resultados contribuyen a resolver las siguientes preguntas: ¿Cuál es la incidencia del índice de precios con relación al consumo de electricidad en la Costa Caribe colombiana? ¿Cuáles pueden ser los desafíos y oportunidades de expansión energética en la Costa de Colombia? Por una parte, se identifica que en los estratos más bajos de la región Caribe se da un mayor consumo se, de lo cual se infiere la necesidad de reducción de costos, para alcanzar una equidad entre estratos, o de invertir en políticas públicas que subsidien electrodomésticos de menor consumo energético. Esta situación genera un gran desafío para las compañías de suministro y para la difusión de las energías basadas en fuentes renovables, como la solar y la eólica. Varios estudios han demostrado las ventajas de la difusión de tecnologías limpias y la necesidad de políticas que fomenten la disminución de costos para la población más vulnerable del país [36]–[38]. En tal sentido, avanzar en políticas que permitan el crecimiento energético hacia las fuentes renovables es una tarea que genera nuevas oportunidades, especialmente en esta región.

Por otra parte, la expansión de la producción energética a partir de fuentes renovables en la costa Caribe trae consigo desafíos importantes relacionados

con la infraestructura de la red eléctrica y la instalación de granjas solares y eólicas que permitan el aprovechamiento sostenible del recurso renovable. Al respecto, estudios han demostrado la necesidad de una política que permita la expansión y la complementariedad con los recursos energéticos renovables no convencionales, lo cual permitiría reducir la dependencia de la hidroelectricidad y, a su vez, mitigar los efectos del cambio climático [2], [5].

A partir de los resultados presentados en este artículo, futuros trabajos podrán medir los efectos de la infraestructura de transporte de electricidad y sus efectos en el desarrollo de renovables no convencionales en regiones con condiciones favorables. Así, se espera que este trabajo contribuya a la generación de nuevos conocimientos relativos al transporte de electricidad y a la expansión energética.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo financiero de la Universidad Militar Nueva Granada, en el marco del proyecto de iniciación científica denominado “Modelo para la evaluación de alternativas de energía solar para la Costa Caribe de Colombia” (PIC-ECO-3369). Asimismo, agradecen los comentarios y sugerencias de los pares, que fueron muy útiles para mejorar el documento.

REFERENCIAS

- [1] O. C. Silvera, M. V. Chamorro, y G. V. Ochoa, “Wind and solar resource assessment and prediction using artificial neural network and semi-empirical model: case study of the Colombian Caribbean Region”, *Helijon*, vol. 7, n.º 9, p. e07959, sep. 2021, doi: 10.1016/j.helijon.2021.e07959.
- [2] A. R. López et al., “Solar PV generation in Colombia — A qualitative and quantitative approach to analyze the potential of solar energy market”, *Renew. Energy*, vol. 148, pp. 1266–1279, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.10.066.
- [3] F. Henao, Y. Rodriguez, J. P. Viteri, and I. Dyrer, “Optimising the insertion of renewables in the Colombian power sector”, *Renew. Energy*, vol. 132, pp. 81–92, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.07.099.
- [4] H. Porras, A. Martínez, M. M. Herrera, U. Jorge, and T. Lozano, “Un análisis de las implicaciones de la falta cobertura de energías renovables en Colombia”, vol. 13, n.º 25, pp. 41–52, 2018, doi: 10.26620/uniminuto.inventum.13.25.2018.
- [5] C. Viviescas et al., “Contribution of Variable Renewable Energy to increase energy security in Latin America: Complementarity and climate change impacts on wind and solar resources”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 113, p. 109232, oct. 2019, doi: 10.1016/J.RSER.2019.06.039.
- [6] S. Zapata, M. Castaneda, E. Garces, C. J. Franco, and I. Dyrer, “Assessing security of supply in a largely hydroelectricity-based system: The Colombian case”, *Energy*, vol. 156, pp. 444–457, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.05.118.
- [7] M. M. Herrera, I. Dyrer, and F. Cosenz, “Assessing the effect of transmission constraints on wind power expansion in northeast Brazil”, *Util. Policy*, vol. 59, p. 100924, ago. 2019, doi: 10.1016/j.jup.2019.05.010.
- [8] M. M. Herrera, I. Dyrer, y F. Cosenz, “Benefits from energy policy synchronisation of Brazil’s North-Northeast interconnection”, *Renew. Energy*, vol. 162, pp. 427–437, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.08.056.
- [9] M. M. Herrera, F. Cosenz, y I. Dyrer, “How to support energy policy coordination? Findings from the Brazilian wind industry”, *Electr. J.*, vol. 32, n.º 8, 2019, doi: 10.1016/j.tej.2019.106636.

- [10] R. A. F. Cardoso Júnior, A. Magrini, y A. F. da Hora, “Environmental licensing process of power transmission in Brazil update analysis: Case study of the Madeira transmission system”, *Energy Policy*, vol. 67, pp. 281–289, 2014, doi: 10.1016/j.enpol.2013.12.040.
- [11] R. Mirya, R. Soria, R. Schaeffer, A. Szklo, y L. Saporta, “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*, vol. 118, pp. 1198–1209, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2016.10.138.
- [12] P. De Jong, A. Kiperstok, y E. A. Torres, “Economic and environmental analysis of electricity generation technologies in Brazil”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 725–739, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.06.064.
- [13] I. Dyner, “Energy modelling platforms for policy and strategy support”, *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 51, n.º 2, pp. 136–144, 2000.
- [14] C. Ochoa, I. Dyner, y C. J. Franco, “Simulating power integration in Latin America to assess challenges, opportunities, and threats”, *Energy Policy*, vol. 61, pp. 267–273, 2013, doi: 10.1016/j.enpol.2013.07.029.
- [15] M. Jimenez, C. J. Franco, y I. Dyner, “Diffusion of renewable energy technologies: The need for policy in Colombia”, *Energy*, vol. 111, pp. 818–829, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.06.051.
- [16] A. Bradshaw, “Regulatory change and innovation in Latin America: The case of renewable energy in Brazil”, *Util. Policy*, vol. 49, pp. 156–164, 2017, doi: 10.1016/j.jup.2017.01.006.
- [17] Y. Zhang, W. Jin, y M. Xu, “Total factor efficiency and convergence analysis of renewable energy in Latin American countries”, *Renew. Energy*, vol. 170, pp. 785–795, jun. 2021, doi: 10.1016/J.RENENE.2021.02.016.
- [18] IRENA, “Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050”, *International Renewable Energy Agency*, 2020 [en línea]. Disponible: <https://irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>.
- [19] U. Nyambuu y W. Semmler, “Climate Change and the Transition to a Low Carbon Economy – Carbon Targets and the Carbon Budget”, *Econ. Model.*, abr. 2019, doi: 10.1016/J.ECONMOD.2019.04.026.
- [20] J. Blazquez, R. Fuentes, y B. Manzano, “On some economic principles of the energy transition”, *Energy Policy*, vol. 147, n.º sept, p. 111807, 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2020.111807.
- [21] M. Espinosa, Á. I. Cadena, y E. Behrentz, “Challenges in greenhouse gas mitigation in developing countries: A case study of the Colombian transport sector”, *Energy Policy*, vol. 124, n.º August 2018, pp. 111–122, 2019, doi: 10.1016/j.enpol.2018.09.039.
- [22] J. Calderon-Tellez y M. M. Herrera, “Appraising the impact of air transport on the environment: Lessons from the COVID-19 pandemic”, *Perspect.*, vol. 10, p. 100351, mar. 2021, doi: 10.1016/j.trip.2021.100351.
- [23] S. Zapata, M. Castaneda, M. Jimenez, A. J. Aristizabal, C. J. Franco, y I. Dyner, “Long-term effects of 100% renewable generation on the Colombian power market”, *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 30, pp. 183–191, feb. 2018, doi: 10.1016/j.seta.2018.10.008.
- [24] G. Carvajal-Romo, M. Valderrama-Mendoza, D. Rodríguez-Urrego, y L. Rodríguez-Urrego, “Assessment of solar and wind energy potential in La Guajira, Colombia: Current status, and future prospects”, *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 36, p. 100531, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100531>.

- [25] J. M. Mejía, F. Chejne, R. Smith, L. F. Rodríguez, O. Fernández, y I. Dyner, “Simulation of wind energy output at Guajira, Colombia”, *Renew. Energy*, vol. 31, n.º 3, pp. 383–399, 2006, doi: 10.1016/j.renene.2005.03.014.
- [26] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, “Índice de precios al consumidor”, 2022 [en línea]. Disponible: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/ipc-informacion-tecnica>.
- [27] Unidad de Planeación Minero-Energética, “Determinación de los costos de racionamiento de electricidad y gas natural”, 2016.
- [28] Unidad de Planeación Minero-Energética, “Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energético 2050”, 2015.
- [29] Unidad de Planeación Minero-Energética, “Generación aprobada”, 2021 [en línea]. Disponible: <https://public.tableau.com/profile/umpme#!/vizome/GeneracionAprobada/GeneracionAprobada> (accedido 3 de marzo, 2021).
- [30] H. Ahlberg, “Towards a conceptualization of power in energy transitions”, *Environ. Innov. Soc. Transitions*, vol. 25, pp. 122–141, 2017, doi: 10.1016/j.eist.2017.01.004.
- [31] J. Köhler et al., “An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions”, *Environ. Innov. Soc. Transitions*, vol. 31, n.º December 2018, pp. 1–32, 2019, doi: 10.1016/j.eist.2019.01.004.
- [32] A. Cherp, V. Vinichenko, J. Jewell, E. Brutschin, y B. Sovacool, “Integrating techno-economic, socio-technical and political perspectives on national energy transitions: A meta-theoretical framework”, *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 37, n.º November 2017, pp. 175–190, 2018, doi: 10.1016/j.erss.2017.09.015.
- [33] A. A. Juárez, A. M. Araújo, J. S. Rohatgi, y O. D. Q. De Oliveira Filho, “Development of the wind power in Brazil: Political, social and technical issues”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 39, pp. 828–834, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.07.086.
- [34] C. R. Gómez, S. Arango-Aramburo, y E. R. Larsen, “Construction of a Chilean energy matrix portraying energy source substitution: A system dynamics approach”, *J. Clean. Prod.*, vol. 162, pp. 903–913, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.06.111.
- [35] E. A. Moallemi, F. de Haan, J. Kwakkel, y L. Aye, “Narrative-informed exploratory analysis of energy transition pathways: A case study of India’s electricity sector”, *Energy Policy*, vol. 110, pp. 271–287, ago. 2017, doi: 10.1016/j.enpol.2017.08.019.
- [36] L. Cardenas, M. Zapata, C. J. Franco, y I. Dyner, “Assessing the combined effect of the diffusion of solar rooftop generation, energy conservation and efficient appliances in households”, *J. Clean. Prod.*, vol. 162, pp. 491–503, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.06.068.
- [37] D. Rúa, M. Castaneda, S. Zapata, y I. Dyner, “Simulating the efficient diffusion of photovoltaics in Bogotá: An urban metabolism approach”, *Energy*, vol. 195, p. 117048, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117048.
- [38] A. A. Radomes y S. Arango, “Renewable energy technology diffusion: An analysis of photovoltaic-system support schemes in Medellín, Colombia”, *J. Clean. Prod.*, vol. 92, pp. 152–161, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.12.