



Brújula. Semilleros de Investigación

Volumen 9, Número 17, enero-junio, 2021. pp. 48-66

Bogotá D. C., Colombia

ISSN 2346-0628 (en línea)

<https://doi.org/10.21830/23460628.93>

INDUSTRIA Y TECNOLOGÍA

Energía eólica, una alternativa ambientalmente sostenible desde el Ejército Nacional de Colombia

Luis Gabriel Amézquita Pardo

Oficial de prospectiva e innovación CEDE6

Jorge Eduardo Cepeda Jiménez

Centro de Doctrina del Ejército

RESUMEN

La matriz energética en Colombia está cubierta en más de un 70% por el uso de hidroeléctricas; sin embargo, estos sistemas, así como la energía térmica, presentan desventajas económicas, sociales y ambientales que hacen necesaria la búsqueda de nuevas alternativas a partir de fuentes no convencionales mediante el uso de recursos renovables como el viento. A partir de este hecho, investigaciones acerca de las bases técnicas, científicas, tecnológicas y geográficas han evidenciado que la energía eólica se constituye en una alternativa promisoriosa y sostenible para cubrir gran parte de los requerimientos energéticos de todo el país. En ese orden de ideas, el Ejército Nacional de Colombia se convierte en un actor territorial imprescindible para la implementación de pilotos en puntos estratégicos de la geografía colombiana.

PALABRAS CLAVE

Aerogenerador; eficiencia; energías alternativas; energía eólica; recursos naturales; viento.

CITACIÓN

Amézquita Pardo, L. G. & Cepeda Jiménez, J. E. (2021). Energía eólica, una alternativa ambientalmente sostenible desde el Ejército Nacional de Colombia. *Revista Brújula de Investigación*, 9(17), 48-66. <https://doi.org/10.21830/23460628.93>

Recibido: 2 de febrero de 2021

Aceptado: 16 de mayo de 2021

Contacto: Luis Gabriel Amezquita Pardo ✉ luisamezquitapardo@cedoc.edu.co



Introducción

La obtención de energía alrededor del mundo, a través de métodos no convencionales como el uso de recursos como el Sol, el viento, la biomasa y el agua, se ha convertido en una alternativa cada vez más estudiada y desarrollada en muchos países donde los requerimientos energéticos necesarios para suplir la demanda asociada al desarrollo económico, social e industrial crecen exponencialmente, como es el caso de Colombia (Ortiz Motta, Sabogal Aguilar, & Hurtado, 2012).

Aunque durante el último siglo ha sido posible suplir dicha necesidad, las principales alternativas energéticas que hoy en día existen, y que son ampliamente utilizadas en los diferentes campos de acción, se han convertido en un eje problemático que impacta de forma negativa al medioambiente (Berrio & Zuluaga, 2014). En este sentido, algunas de dichas alternativas han potenciado la generación de gases efecto invernadero que afectan considerablemente la capa de ozono, generando un aumento significativo en la temperatura del planeta que incide en el cambio climático, e incluso agudiza fenómenos como la lluvia ácida, fenómeno que día a día acaba con nuestros ecosistemas y pone en peligro la sostenibilidad de algunas especies de interés biológico necesarias para el equilibrio de nuestro planeta.

A lo anterior se suman los problemas ambientales generados debido a la extracción, refinación y uso de los combustibles fósiles, que son cada vez más graves y ponen en peligro la sostenibilidad de recursos como el agua, el suelo y el aire, impidiendo garantizar a las generaciones futuras un entorno ambientalmente saludable. Por todo ello, desde el ámbito científico, y utilizando como base resultados propios de actividades de investigación, se ha propuesto

a nivel mundial, año tras año y cada vez con mayor urgencia, el uso de energías limpias tales como la energía solar, la energía hidroeléctrica o la energía eólica, entre otras, las cuales han demostrado la exclusión de contaminantes como subproductos de su aplicación, de tal forma que estas alternativas comiencen a realizar aportes significativos en la recuperación del entorno en el que habitamos (Orjuela, et al., 2021).

En este sentido, encontrar alternativas que minimicen los escenarios de contaminación ambiental y promuevan la eficiencia y la sostenibilidad se ha convertido en un objetivo sobre el cual el desarrollo y la innovación han centrado su mirada. Sin embargo, esta acción por sí sola no funciona dentro del método científico si no se consideran desde un inicio algunos criterios importantes asociados al territorio, de tal forma que las tecnologías puedan ser adaptadas a las necesidades propias de este y no al contrario (Robles-Algarín, Taborda-Giraldo, & Ospino-Castro, 2018). Esta es, sin duda alguna, la razón de peso por la cual la adopción de tecnologías exitosas en diferentes partes del mundo no funciona cuando se implementa en un territorio distinto, puesto que las dinámicas particulares de este son independientes y se consideran propias e individuales, haciendo alusión a lo que se conoce como *identidad*.

Dentro de este campo es donde actualmente se encuentran centrados la mayoría de estudios científicos, ya que el proceso de reconocimiento de los recursos naturales de una región se convierte en el punto de partida para la identificación de la mejor alternativa en términos de eficiencia y sostenibilidad energética. En cuanto a tecnologías limpias, cuando se aborda el sector energético, países desarrollados como Dinamarca, en Europa; China, en Asia; y Estados Unidos, en América, han liderado el desarrollo y el uso de nuevas alternativas. Sin embargo,



es muy común observar cómo todavía en estos mismos países un alto porcentaje de la producción proviene del uso de combustibles fósiles. Por otra parte, en los países subdesarrollados, probablemente debido al desconocimiento de dichas alternativas, el bajo crecimiento económico e incluso el apego por metodologías ancestrales o autóctonas propias de las regiones, se ha impedido la migración hacia nuevos campos de intervención como los arriba mencionados, que representan alternativas no convencionales que usan recursos renovables.

Cabe anotar que la globalización es un factor muy importante que debe ser tomado en cuenta, pues las acciones desarrolladas por países líderes afectan considerablemente a los países en vía de desarrollo, razón por la cual es importante intentar estar a la vanguardia de las dinámicas propias de este sistema, con el fin de evitar quedar relegados. Si se aborda ahora la situación de la región donde nos encontramos—como metodología para comenzar a determinar la situación energética en Colombia—, algunos países vecinos, como Argentina, Brasil, Chile y México, han intentado establecer programas energéticos que les permitan incrementar el porcentaje de energía obtenida a partir de metodologías no convencionales, mientras que otros, como, por ejemplo, Uruguay y Costa Rica, han llegado incluso a establecer fuertes políticas públicas dentro de un marco legal que establece el uso de energías limpias como base de muchas de sus políticas minero-energéticas (Gualteros & Hurtado, 2013; Qin & Li, 2011). Todo ello evidencia los pasos agigantados que ha dado esta nueva alternativa energética, en su camino por fortalecer su implementación alrededor del mundo.

Para el caso puntual de Colombia, por su ubicación geográfica y sus características socioambientales, el país cuenta con los recur-

sos naturales necesarios para la generación de energía a través de métodos no convencionales (Castillo et al., 2015). No es un secreto que son muchas las entidades del orden nacional, regional y municipal que día a día están aunando esfuerzos que permitan desarrollar nuevas metodologías a este respecto, de tal forma que sea posible garantizar el acceso a la energía de una forma segura, responsable y sostenible para todos (Vargas et al., 2016). Actualmente, la demanda energética en nuestro país se encuentra cubierta en su totalidad, sin embargo, el uso de sistemas no convencionales no llega a aportar el 1% de la energía que consumimos, mientras que el 70% lo aporta el sector hidroeléctrico y el 29% restante proviene de energía térmica, esto, según datos que reporta la Unidad de Planeación Minero Energética (en adelante UPME) (Gaona et al., 2015; UPME, 2015). Estas estadísticas se convierten así en un espejo donde es posible observar cómo la realidad de Colombia, aun siendo un país biodiverso, es crítica y compleja.

Dentro de este contexto, la Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (Acolgen, 2016) evidencia que la seguridad energética en el país depende, en gran medida, del recurso agua, situación que desde el punto de vista preventivo ha ocasionado grandes problemas a través de los años. Por ejemplo, cuando en Colombia se experimentan periodos de sequía asociados a fenómenos como el llamado “Fenómeno del niño”, es necesario entrar a suplir la demanda a través de la producción térmica, es decir, mediante carbón o gas, en su mayoría, lo que representa incrementos asociados a costos variables, llegando a elevar el costo del MWh a más del doble de su valor inicial.

Otra situación que ha sido motivo de discusión a través de los años, y que se ha convertido en un punto de discordia entre las entidades líderes de este tipo de proyectos y las comunida-



des, está relacionado con los impactos socioambientales que genera el hecho de crear represas a lo largo y ancho de nuestro país, no solamente por el riesgo ambiental y estructural al que están sometidos los habitantes que conviven en la rivera de las fuentes hídricas ya que son las encargadas de suplir la necesidad de agua a las poblaciones, sino también, por el daño ambiental que ocasionan sobre los ecosistemas, que en muchos casos deben ser intervenidos para su construcción, afectando también algunas actividades económicas autóctonas de zonas donde predomina la pesca, por ejemplo.

Cabe recordar que cerca del 50% del territorio nacional corresponde a zonas no interconectadas (ZNI), como el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Capurganá en el Chocó, o Mitú en el Vaupés. Estas zonas suelen estar ubicadas en puntos extremos, geográficamente hablando, por tal razón no se benefician de la misma matriz energética con la que cuenta el interior del país. Si bien algunos estudios han demostrado que en varias zonas no interconectadas se utilizan alternativas relacionadas con el uso de metodologías no convencionales para obtener energía, como es el caso de los paneles solares y, en algunos casos, pequeñas hidroeléctricas, los mismos estudios realizados sobre la situación asociada al acceso a servicios básicos en estas zonas han demostrado que su principal fuente de energía se da a través del uso de plantas de generación que funcionan con diésel, lo que representa también un problema ambiental, más aún cuando dicho combustible es el generador por excelencia del material particulado en el mundo (Moreno et al., 2006), y este a su vez es el contaminante atmosférico que mayor riesgo genera a poblaciones expuestas, las cuales terminan manifestando problemas asociados con enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

Ahora bien, aunque las zonas mencionadas son las que mayor viabilidad de generación de energía eléctrica mediante recursos renovables, no existen planes o proyectos robustos enfocados en optimizar procesos tendientes a fortalecer los sistemas que poseen actualmente (UPME, 2016). Retomando la idea expuesta anteriormente, varias autoridades a nivel nacional, regional y municipal, a lo largo y ancho del país, han optado por comenzar a estructurar planes de desarrollo dentro de acciones propias encaminadas a fortalecer el uso de energías limpias. Sin embargo, cuando se revisa de forma minuciosa, en muchos de ellos es posible encontrar que el direccionamiento está encaminado, en su mayoría, hacia la búsqueda de metodologías que permitan el uso de paneles solares y, en muy pocos casos, biomasa, haciendo alusión a la construcción de biodigestores, específicamente en el caso de áreas rurales, dejando de lado el uso de una alternativa que ha sido ampliamente utilizada en algunos países del mundo, pero que en nuestro caso es limitada, como lo es la energía eólica (Cartagena et al., 2013).

Esta realidad, propia de muchos países subdesarrollados, se ha convertido en una oportunidad que permite abordar una nueva alternativa desde el uso del viento, que seguramente podría generar muchos beneficios para nuestro país, tal como se ha visto en casos exitosos alrededor del planeta (García et al., 2013). El uso de esta energía verde comenzó a inicios de la década de los años setenta, y cada día despierta mayor interés entre los diferentes actores territoriales, puesto que es una alternativa que, según referentes bibliográficos, no genera contaminantes de ninguna naturaleza, como podría ser el caso de los gases efecto invernadero. Es más, incluso dentro de un proceso de transición podría llegar a disminuir la generación de dichos contaminantes en hasta un 30%, tal como lo expresó en su



momento el Consejo Global de Energía Eólica (GWEC, 2010) y otros investigadores del tema (García, 2012).

En Colombia, son muchas las instituciones que siguen generando productos de nuevo conocimiento donde se incluye la energía eólica, este es el caso del Ejército Nacional de Colombia, que no solo ha hecho énfasis en sus beneficios, sino que incluso ha llegado a realizar, de la mano de la academia y utilizando herramientas de cooperación interinstitucional, estudios de interés para implementar esta alternativa en zonas donde la matriz energética del país no tiene cobertura y la necesidad por proteger y preservar los recursos naturales es alta (Castro et al., 2020). De este modo, el Ejército Nacional de Colombia ha acogido los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030, formulados por la ONU en el año 2015 durante la COP21, los cuales, entre otros muchos propósitos, tienen dentro de sus finalidades garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna; adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos; y garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles (Salguero, 2021). Por esta razón, es importante que la implementación de tales iniciativas se realice de la mano de instituciones que tienen presencia activa en el territorio.

Teniendo como base este contexto, se convierte en un verdadero reto poder revisar y entender por qué nuestro país, teniendo al alcance una alternativa promisoriosa, exitosa y ampliamente utilizada en otros lugares, como lo es la energía eólica, se ha visto tan limitado en su adopción. Si bien para todos es conocido que previamente se han realizado algunos esfuerzos, e incluso hoy en día existen avances en torno al uso de este tipo de energía, aún no resulta claro por qué esta alternativa no ha tenido la misma evolución que otras no convencionales.

¿Se tratará, acaso, de un tema netamente de intereses políticos?, ¿desinformación globalizada? Desde un análisis costo beneficio ¿existe evidencia de que no es rentable para nosotros? Con base en estas cuestiones, el objeto de la presente investigación se centra en encontrar un horizonte más claro sobre el uso y la adopción de todas estas alternativas, herramientas y metodologías propias, que permiten suplir las necesidades básicas relacionadas con el acceso a energía eléctrica en Colombia, teniendo como eje central la energía eólica y el papel que el Ejército Nacional de Colombia puede desempeñar en el desarrollo de esta.

Finalmente, vale la pena destacar que sea cual sea la razón por la cual el nivel de desarrollo no ha tenido el impacto y el uso que muchos esperarían, lo que sí es real es que estamos invitados a buscar día a día más y mejores alternativas de producción energética, que nos permitan vivir dentro de un ambiente sano y sostenible para todos, partiendo de la base de que es imposible en nuestros tiempos vivir sin electricidad.

Método

La metodología implementada para el desarrollo de la presente investigación se ha estructurado con base en los lineamientos teóricos específicos dados para una investigación de tipo descriptiva de carácter documental, la cual tiene como característica fundamental ser una técnica de estructura cualitativa que tiene por finalidad recopilar y seleccionar información de fuentes primarias y secundarias, mediante la lectura analítica de documentos, libros, revistas, artículos, periódicos y bibliografías, entre otras (Pérez & Rodríguez, 2010).

En este sentido, cada una de sus fases se enmarca en la búsqueda, identificación, análisis y escrutinio de documentos que permitan estructurar un estado del arte bastante robusto,



en torno a lo que ha sido durante las últimas décadas el uso de alternativas no convencionales que permitan el uso de fuentes renovables en la obtención y generación de energía a nivel internacional, nacional y regional.

De esta forma, a partir de la riqueza de información que se puede obtener a través de distintas plataformas para la gestión y transferencia del conocimiento técnico-científico, esta búsqueda se ha decantado por abordar fuentes reconocidas dentro del medio, tales como páginas web de diferentes instituciones de orden público y privado que han sido actualizadas periódicamente y que se encuentran avaladas por instancias mayores, como los gobiernos territoriales, artículos publicados en revistas reconocidas —preferiblemente indexadas— o que se encuentren clasificadas dentro de la última convocatoria realizada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, Minciencias, compendios de información publicados por actores especializados en el tema objetivo de la revisión y algunos libros, cartillas, informes o escritos que actualmente se encuentran en repositorios de libre acceso.

Con respecto al proceso de búsqueda de información, esta se realizó después de abordados los dos primeros pasos del método científico, es decir, una vez se concluyó la fase de observación del entorno y se planteó la hipótesis o pregunta problema como punto de inicio (Niño, 2019). La exploración de las bases de datos sobre la cual se construye el estado del arte o la línea base, se estructura desde la necesidad de dar respuesta al siguiente interrogante: ¿Es posible utilizar la energía eólica para fortalecer la matriz energética del país, teniendo en cuenta algunas variables demográficas, sociales y meteorológicas del territorio, de forma que sea posible aunar esfuerzos desde diferentes instituciones a nivel nacional que propendan hacia la sostenibilidad?

Una vez realizada la pregunta de partida fue necesario analizar el campo de acción desde dos enfoques para su abordaje y resolución. El primero comprende el contexto mundial sobre el cual se fundamentan políticas, objetivos, normas y legislación relacionada con el uso de energías limpias; esta revisión permite analizar el país desde un contexto global, de manera que al final sea posible referenciar las acciones propias dentro de un marco mucho más amplio. En segundo lugar, se inició la búsqueda de información abordando todas las metodologías no convencionales para la generación de energía desde el uso de recursos renovables (agua, aire, Sol, biomasa), de manera que fuera posible medir la relación efecto-beneficio en los ámbitos social, ambiental y económico de cada una de ellas, estableciendo comparaciones. Así, y mediante la afinación de la búsqueda, fue posible llegar a conocer el estado real en cuanto al uso de energía eólica, junto con las alternativas tecnológicas que existen en nuestro país y algunas más que podrían evaluarse como proyectos de implementación a futuro.

Finalmente, se definieron las palabras clave y la temporalidad como criterios de búsqueda, con el fin de que fuese más exacto el filtro de información, para así poder llegar a delimitar los parámetros de análisis dentro de un contexto propio asociado a las necesidades de nuestro país. De forma general, la presente investigación se desarrolla sobre tres fases continuas:

1. Planeación de la investigación: etapa en la cual se definió y delimitó el tema especificando alcances y plan de trabajo.
2. Recolección de la información: una vez identificada la pregunta problema se comenzó a revisar el conjunto de fuentes de información, acorde con los enfoques y líneas estratégicas de la investigación y según la temporalidad.



3. Análisis e interpretación de la investigación: la etapa más relevante, puesto que la idea no es transcribir o realizar un compendio de ideas, sino analizar y detectar tanto los puntos fuertes como los débiles de la información, de tal forma que sea posible proponer y formular alternativas diferenciadoras, para que la investigación sea innovadora y genere interés en la comunidad científica.

Es importante tener en cuenta que aunque algunas etapas requieren mayor cuidado que otras, todas son importantes para el proceso y son interdependientes, por ello la responsabilidad con la que se aborda esta investigación permitirá mantener la calidad y el nivel del tratamiento de la información y de los datos.

Resultados y discusión

Año tras año son más los proyectos, alternativas y metodologías que se relacionan con el interés del Estado colombiano por ampliar la matriz energética del país, de forma que sea posible garantizar el acceso a la misma en todos los rincones de la geografía colombiana (UPME, 2019). Tal como se mencionó previamente, la energía eólica en nuestro país es una alternativa poco utilizada y, aunque su desa-

rollo ha ido creciendo, sus pasos aún son muy lentos, puesto que al analizar países con características similares, es posible evidenciar cómo estos han desarrollado diversas alternativas para su uso, encontrando en esta fuente de energía renovable una excelente opción que permite generar gran parte de la energía necesaria para suplir las necesidades específicas de la sociedad y la industria (Bonilla et al., 2021; GWEC, 2016).

Colombia, a través de la UPME, permite la consulta del balance energético colombiano (en adelante BECO), dicho balance trae implícito el análisis de ítems de relevancia tales como producción, transformación y consumo energético. Para este caso es importante hacer énfasis en los procesos de transformación, ya que permiten observar los centros actuales con los que cuenta el país en la línea de obtención de energía a través de diferentes fuentes. En este sentido, y haciendo alusión a la información encontrada en el BECO, tal como aparece en la tabla 1, resulta evidente que a través de los últimos 7 años, aproximadamente, el 0,1% de los productos de transformación provienen del uso del viento como fuente de energía renovable, si bien este valor no es nulo, si es muy bajo con respecto a las demás fuentes de energía, ubicándose en la última posición. Esta información

Tabla 1. Balance Energético Colombiano 2009-2019

	Unidad	2013	2014	2016	2015	2017	2018	2019
Productos de transformación (*)	GWh	62,197	64,328	65,933	66,548	66,552	68,943	70,115
- CT Centrales hidroeléctricas	GWh	44,363	44,742	46,788	44,682	57,328	226,589	54,437
- CT Centrales térmicas	GWh	17,424	19,044	18,486	21,272	8,588	46,035	14,750
- CT Central eólica	GWh	58	70	51	68	3	174	63
- CT Central solar	GWh	0	0	0	0	0	11	132
- CT Auto y cogeneración	GWh	352	472	608	526	633	2,937	732

Fuente: elaboración propia con base en los datos recolectados de la página de la UPME (2015).

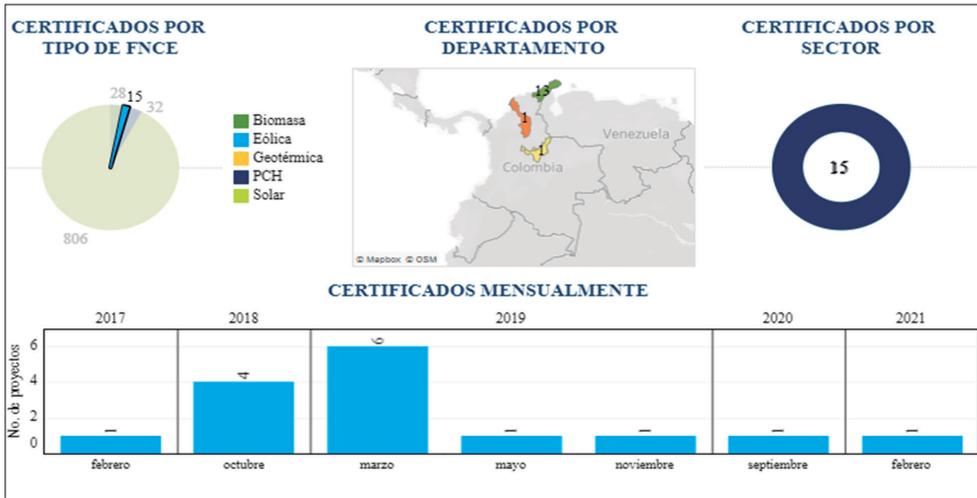


Figura 2. Proyectos relacionados con energía eólica presentados a nivel nacional de 2016-2021
Fuente: información tomada de la página oficial de la UPME (2015).

2020 volvió a decaer el número de proyectos relacionados con energía eólica, fenómeno que puede explicarse por asuntos relacionados con la pandemia de la COVID-19, que impidió, en muchos de los casos, el avance y desarrollo tecnológico en el mundo entero; aun así, no es posible llegar a más de 15 proyectos en casi 5 años (figura 2).

Con base en la información reportada por diferentes instituciones y recabada en fuentes secundarias, surge el interrogante sobre qué sucede con la energía eólica en nuestro país, por qué sigue siendo una alternativa tan poco explorada, ¿será un problema asociado con la velocidad de los vientos, que no alcanza a ser la suficiente para generar energía?, ¿quizá es un problema más del desconocimiento social que no ha permitido que pueda ser abordada con la profundidad que esto requiere? o, por el contrario, ¿es un tema que se encuentra más asociado a los costos representativos que no permiten generar una relación costo-beneficio óptima para nuestro país? Todos estos cuestionamientos

hacen necesario ahondar un poco más en algunas experiencias desarrolladas, tanto en Colombia como en el exterior, para poder realizar un análisis de forma integral.

Teniendo en cuenta que el viento se ha convertido en el recurso base para el desarrollo de tecnologías asociadas con la obtención de energía eólica, y que este posee características propias relacionadas con la posición geográfica, es necesario revisar el mapa promedio de vientos de Colombia durante la última década, donde se reportan los resultados obtenidos producto de medición a 10 metros de altura. Los criterios para la cuantificación siguen la norma internacional establecida por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como estándar para la medición y seguimiento del viento, estos criterios son publicados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) (ver figura 3). Así mismo, y como dato crucial para este análisis, es importante establecer qué vientos con intensidades iguales o superiores a 5 m/s proporcionan una buena

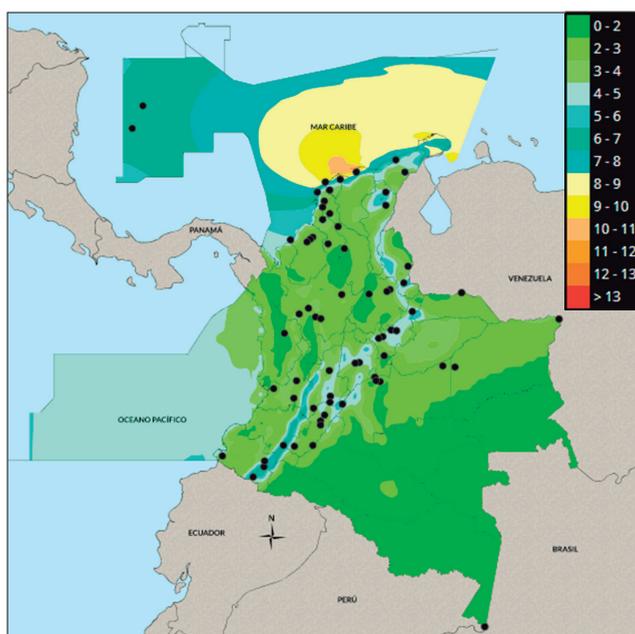


Figura 3. Velocidad promedio de vientos en Colombia a 10 metros de altura

Fuente: información tomada de la página de monitoreo del Sistema de Información ambiental de Colombia (SIAC, s. f.).

alternativa para el uso de este recurso natural como materia prima en la generación de energía eólica (UPME, 2006).

En concordancia con el análisis de los mapas que contienen la información relacionada, y contrario a lo que se menciona en muchos documentos existentes en la bibliografía respecto a las condiciones óptimas para obtener energía a partir del viento, en Colombia sí existen diferentes zonas geográficas óptimas para la implementación de este tipo de tecnologías. De manera muy general, sería viable en algunos puntos estratégicos en varios departamentos de la región andina (Nariño, Cauca, Boyacá, Cundinamarca, Antioquia), algunos otros en la costa atlántica (La guajira, Bolívar, Magdalena, Atlántico), Norte de Santander, El Catatumbo, así mismo algunas zonas insulares como San Andrés y la isla de Providencia podrían ser puntos críticos de interés para la for-

mulación y desarrollo de proyectos relacionados con la línea de estudio (Ideam, 2006).

Al realizar un análisis sobre la procedencia de los datos, se observa una falencia relacionada con la ubicación de los puntos de monitoreo, puesto que no se aprecian puntos que permitan elaborar mapas de potencial de energía eólica dentro del mar Caribe, es decir, sobre el agua donde coexistan fuertes vientos y aguas poco profundas, como ya se ha hecho en muchos países del norte de Europa. Si bien el Ideam realiza una proyección a partir de un modelo de alcance, donde se pronostican vientos con velocidades cercanas a los 10 o 12 m/s, no es posible encontrar estaciones puntuales en estas zonas, lo que podría ser una excelente alternativa para definir nuevos puntos en el desarrollo de proyectos de esta naturaleza. Por otro lado, tampoco es posible encontrar datos tomados a alturas superiores a los 10 metros, lo que resulta



indispensable si se toma en cuenta que los aerogeneradores tienen una altura promedio que está entre los 50 y 80 metros, lo que podría significar una diferencia considerable en términos de los valores de referencia encontrados en la mayoría de estas plataformas.

Una vez analizadas algunas de las variables de impacto, como la ubicación geográfica, la velocidad del viento y la altura de monitoreo, se hace necesario mostrar uno de los ejemplos de proyectos más representativos en La Guajira, se trata del proyecto Jepirachi, conocido como el primer parque para la generación de energía eólica construido en Colombia, el cual aprovecha los vientos del nordeste —que soplan la mayor parte del año—, el clima seco y las altas temperaturas de la zona. Esta es una experiencia piloto que hace parte del “Programa de investigaciones, proyectos y actividades coordinadas para el desarrollo eólico futuro a gran escala en Colombia”, un proyecto de largo plazo concebido y liderado por la Empresa de Servicios Públicos de Medellín (EPM). Este programa de investigación incluye el estudio de aspectos regulatorios y de mercado que permiten el futuro desarrollo de la energía eólica para Colombia. El parque eólico está ubicado en el municipio de Uribia, en la alta Guajira colombiana, cerca de puerto Bolívar y el cabo de la Vela, y se encuentra conformado por 15 aerogeneradores que cuentan con una capacidad de 1300 kW cada uno, para una capacidad instalada total de 19,5 MW de potencia nominal (Vergara, 2010; Pinilla, 2009).

Desafortunadamente, a raíz de la Resolución 060/2019, publicada en junio del año 2019, Jepirachi, el primer parque eólico en funcionamiento en Colombia, tuvo que dejar de operar. La nueva normativa exige que las centrales eólicas y solares fotovoltaicas que inyecten energía al Sistema Interconectado Nacional (SIN) deben cumplir con nuevos requisitos, como, por

ejemplo, tecnologías más modernas, para garantizar la estabilidad de la red eléctrica. Desde el punto de vista de la legislación, es importante mencionar que los interesados en proponer proyectos de esta naturaleza deben cumplir con la norma vigente que, dentro de sus generalidades, no es un obstáculo difícil de superar, aun cuando muchos de los proyectos están en su fase de formulación. Este ejemplo de experiencia exitosa en nuestro país permite corroborar la existencia de condiciones óptimas dentro de la geografía Colombiana, por lo menos en algunas zonas estratégicas, para la implementación y desarrollo de nuevas tecnologías que representen un gran aporte a la matriz energética del país.

Respecto a la factibilidad financiera de este tipo de proyectos, cuando se analiza la relación costo-beneficio existen en literatura diferentes estudios que demuestran su viabilidad, ya que desde la valoración económica representan una alternativa que permite retribuir las inversiones realizadas en un tiempo prudencial, particularmente cuando se analizan bajo el enfoque de opciones reales acordes a la situación económica y de inversión que tiene Colombia (Maya et al., 2012). En este sentido, además mostrar el elevado costo económico que representan las tecnologías eólicas, no existe un solo estudio que asegure que sus impactos para el medioambiente y la población que habite alrededor de las mismas sean mayores que los que genera hoy en día la construcción de, por ejemplo, una hidroeléctrica, teniendo en cuenta que en los últimos años esta ha sido la forma de garantizar el abastecimiento energético del país.

Colombia se comprometió, junto con otros países participantes de la Conferencia 21 de las partes de Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (en adelante COP21), a reducir cada 5 años las emisiones de gases de efecto invernadero. A raíz del COP21, y debido a la crisis mundial del petróleo, Colom-



bia ha dirigido su atención a las energías alternativas. En este sentido, nuestro país ha invertido en el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías que funcionan a partir del uso de recursos renovables. Esta transición energética, de los combustibles fósiles a las fuentes no convencionales de energía renovable, que se está viviendo actualmente alrededor del mundo, está siendo liderada por la adopción de tecnologías enfocadas a la generación de energía eólica, convirtiéndose esta en la tecnología más instalada en Estados Unidos y Europa.

Para promover el crecimiento de las energías alternativas en Colombia se han adjudicado diversos proyectos y otorgado licencias para la construcción de nuevos parques eólicos, hecho que han expresado en diferentes oportunidades el Ministerio de Minas y Energía y la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). De hecho, se espera que al menos 65 de estos parques estén funcionando en la región alta y media del departamento de La Guajira para 2031, y que 2600 aerogeneradores de energía sean instalados en la región. De este modo, La Guajira se podría transformar en una potencia de energía eólica en Colombia y en el continente, pues tendría la capacidad de produ-

cir 30GW (gigavatios), casi el doble de lo que ahora consume el país, según modelos aplicados y evaluados durante los últimos años. No obstante, este no ha sido el único departamento que ha sido considerado idóneo para la implementación de energías renovables. En Bolívar, específicamente el municipio Galerazamba, ubicado en el norte del departamento, está en la mira de los inversionistas que desean implementar proyectos en la región (Vergara et al., 2010).

A pesar del gran potencial que posee Colombia con sus buenos regímenes de vientos en ciertas regiones del país, tal como se mencionó anteriormente, y de las proyecciones que presenta el Ministerio de Minas y Energía y la ANLA, la ausencia de nuevos proyectos relacionados con la construcción de parques eólicos, en un país donde solo existe un parque eólico, podría estar relacionada con algunas situaciones particulares que impiden o dificultan su formulación y desarrollo. Algunos de dichos criterios asociados a las variables meteorológicas se muestran en la tabla 2, información que surge de un compendio de situaciones propias obtenidas dentro de la búsqueda bibliográfica realizada.

Cabe mencionar en este punto que la implementación de nuevas tecnologías asociadas con

Tabla 2. Factores que limitan el desarrollo de proyectos relacionados con el aprovechamiento de la energía eólica en Colombia

Criterio	Descripción
Licencias	En materia de licenciamiento, el mayor obstáculo está relacionado con los procesos de consulta previa con comunidades que habitan sobre el área de influencia del proyecto, puesto que muchas de ellas se oponen debido al desconocimiento de los avances tecnológicos relacionados con los proyectos.
Requerimientos técnicos	Aunque en Colombia existe el Código de redes, no existen requerimientos técnicos específicos definidos en este código para la conexión y operación de parques eólicos interconectados al Sistema Interconectado Nacional (en adelante SIN).
Política energética	Aunque existe la Ley 1715 de 2014, la falta de conocimiento sobre esta hace que se pierdan oportunidades para la promoción de este tipo de recursos.
Infraestructura adecuada	Las áreas con mayor potencial para el aprovechamiento de las FNCER se encuentran localizadas en sitios alejados de obras de infraestructura esenciales, como redes eléctricas para transmisión de energía, adecuadas vías de acceso y comunicación, y otros servicios básicos. Todo ello dificulta el desarrollo de estos proyectos y su integración al SIN.

Continúa tabla



Criterio	Descripción
Naturaleza del recurso	La energía eólica, al igual que la energía solar y los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, por su naturaleza variable no se ajustan al modelo de regulación colombiano de fuentes “despachables”. Bajo dicho modelo, el mercado eléctrico mayorista exige que todos los proyectos con capacidades mayores a 20 MW estén sujetos al despacho central, con lo que pueden ser penalizados por desviaciones respecto a la energía ofertada el día anterior, careciendo de la opción de realizar las ofertas con tan solo unas horas de anticipación.
Conocimiento del recurso	Si bien existen iniciativas puntuales de entidades como la UPME y el Ideam, que brindan información acerca de la caracterización del recurso eólico como una primera aproximación para agentes interesados en su aprovechamiento, no existe un mecanismo para brindar información pública suficiente asociada a este recurso y a sus tecnologías. Dentro del sistema de ciencia abierta que promulga Minciencias, no existe tampoco un compromiso por parte de los grandes centros de investigación para divulgar y transferir dicho conocimiento.

Fuente: elaboración propia a partir del análisis de algunas fuentes secundarias (UPME, 2015).

la innovación energética, para este caso puntual, la energía eólica, requiere de un verdadero compromiso de las instituciones públicas, del sector privado y de la comunidad, que vaya mucho más allá de la gestión pública, para que en Colombia no se dé un retroceso en este aspecto, pues podría afectarse gravemente el desarrollo económico y social del país.

Uno de los obstáculos más fuertes en lo que atañe a procesos de tecnificación energética es, justamente, la desinformación, la cual se genera por la carencia de datos científicos en muchos de los aspectos más relevantes. De hecho, muchos de los estudios consultados durante la estructuración de esta investigación descriptiva demuestran que es factible romper con ciertos paradigmas o mitos que han surgido a través del tiempo, y que tienen relación directa con la energía eólica. Así, se evidencia que no en todos los casos las energías renovables son siempre más costosas que las alternativas convencionales, todo dependerá una suma de factores relevantes que se puedan optimizar, de tal forma que se beneficien cada uno de los actores que hacen parte del ecosistema llamado *territorio* (Sosapanta, 2020).

De la misma forma, no es cierto que sea imposible superar un cierto porcentaje de las energías obtenidas a partir de recursos renovables, es decir, dichas alternativas no tienen un

límite teórico, incluso hay países donde la cantidad de energía generada a partir de estas tecnologías es mayor que la producida por medio de tecnologías tradicionales, haciendo alusión a aquellas que utilizan combustibles fósiles. Finalmente, la suma de todo ello hace posible poder transformar la matriz energética de un país, puesto que existe la idea generalizada que las FNCE, al ser nuevas alternativas, nunca podrán competir con las estrategias ya posicionadas, que son las responsables de mantener el equilibrio energético de un territorio.

Es evidente que el sector de energías renovables tiene un gran potencial para explotar en el país; la inversión en proyectos verdes resulta muy beneficiosa tanto para Colombia como para los inversionistas, pues al hacerse más eficiente la producción de electricidad, gracias, por ejemplo, a la energía eólica, se genera riqueza y se contribuye al desarrollo sostenible del país (Soto & Cañón, 2016).

Para nadie es un secreto que las tecnologías que permiten la obtención de energía a partir del uso del viento han sido objeto de críticas y descalificaciones por múltiples gremios, instituciones y algunas comunidades, puesto que manifiestan que dichas alternativas representan un problema ambiental y social desde el momento de su implementación. Dentro de las problemáticas más representativas se



encuentran: impactos negativos sobre la fauna y la flora; contaminación y obstrucción visual; impacto por ruido producto del movimiento de las aspas de los aerogeneradores; deterioro de la calidad del aire por movimiento de material particulado; conflictos por el uso de tierras privadas, entre otros.

Es por ello que dentro de la segunda etapa de contextualización documental fue posible identificar nuevas alternativas, las cuales podrían servir como pequeños *pilotos* que, incluso, estarían en capacidad de reemplazar los aerogeneradores actuales que son ampliamente utilizados, de tal forma que sea posible el uso de nuevos materiales y la generación de mayores potencias, con el beneficio adicional de minimizar impactos derivados de la instalación en zonas con alto valor paisajístico (Cruz, 2012).

En este camino se encuentran nuevas alternativas que pueden clasificarse en dos grandes tipos: alternativas *offshore* (o fuera de la costa)

y alternativas urbanas. Ambas se han convertido en opciones muy atractivas, capaces de generar energía minimizando algunos de los problemas referenciados anteriormente. Según Ernest y Young (2015), para reducir los costos y poder implementar la energía eólica *offshore* es necesaria la introducción de turbinas de mayor capacidad, con mejor captación de energía y fiabilidad, así como con menores costos de operación, esto conlleva a una reducción de costo del 9%.

La tecnología ha influido tanto en la generación de energía eólica que la mayoría de los aerogeneradores en todo el mundo han pasado de tres aspas a dos, cuatro o más en una escala micro e inclusive evitando el desgaste debido a la fricción, como es el caso de los nuevos aerogeneradores que simulan las alas de un colibrí (figura 4a). Actualmente, según el Instituto de tecnología de Massachusetts (MIT), lo que se pretende es aumentar el tamaño de las aspas de los aerogeneradores y hacer las torres más ele-

A. B.



C. D.



Figura 4. Nuevas alternativas tecnológicas para la generación de energía eólica tanto *offshore* como urbanas
Fuente: elaboración propia tomada de fuentes secundarias referenciadas en el texto.



vadas para que se pueda capturar más viento especialmente a bajas velocidades (MIT, 2013).

Colombia, por la composición de su industria y su economía, no se caracteriza por ser un país con alto potencial para desarrollar tecnologías. Sin embargo, en los últimos 14 años ha logrado recopilar cierta experiencia en proyectos de energía eólica. En este sentido, vale la pena resaltar que hay avances representativos logrados en términos de eficiencia y sofisticación de nuevos equipos, lo que permite hoy en día obtener el mismo *output* de energía a menor costo que hace 5 o 10 años (Caballero et al., 2020).

Dentro de las alternativas *offshore* que podrían implementarse en Colombia, aquellas alejadas de la zona costera bien sea aguas adentro o tierra dentro, están los aerogeneradores Vortex Bladeless, sin aspas, cuya tecnología consiste en un cilindro fijo vertical sobre una varilla elástica. El cilindro oscila de acuerdo con el rango de velocidad del viento, y posteriormente el generador transforma la energía mecánica en electricidad mediante un alternador. En otras palabras, es una *turbina* eólica —aunque no es una turbina en realidad—. Su geometría está especialmente diseñada para lograr alto rendimiento de las velocidades promedio del viento, además es capaz de adaptarse muy rápidamente a los cambios de dirección del viento. La perturbación de la corriente de viento aguas abajo es la razón por la cual los molinos deben instalarse respetando una gran distancia entre sí. Esto no afecta del mismo modo a los aerogeneradores por oscilación, lo que implica menos limitaciones asociadas con el efecto estela (figura 4b).

Con respecto a las alternativas urbanas, hoy en día no solo se usan aerogeneradores para producir energía; Jérôme Michaud-Larivière desarrolló una manera de generar electricidad a partir

de energía eólica pero usando una estructura en forma de árbol, en donde las hojas operan como miniturbinas eólicas. Cada árbol puede producir hasta 3,5 kWh, lo que resulta suficiente para satisfacer las necesidades de una vivienda de cuatro personas que no consuman mucho. Esta alternativa puede garantizar la energía requerida por pequeños centros urbanos, incluso se presenta como una excelente alternativa para reemplazar el uso de paneles solares en zonas de poca radiación (figura 4c).

Finalmente, las empresas, en su búsqueda por lograr variaciones de la forma tradicional de los aerogeneradores, diseñaron una tecnología en forma de cometa. Esta nueva forma de generar energía eólica representa una oportunidad de ahorrar dinero y reducir los costos de energía, esto, mediante la reconsideración de la cadena de suministro de la energía eólica, gracias a que las turbinas de viento tradicionales tienen que ser instaladas en alta mar, utilizando procedimientos costosos que requieren de grandes cantidades de acero y hormigón para asegurar la torre, por ello la energía eólica de la cometa puede resultar menos costosa y más fácil de instalar (Price, 2016) (figura 4d).

Así las cosas, resulta evidente la gran cantidad de oportunidades que trae consigo tanto el uso de alternativas tecnológicas para la obtención de energía eólica, como el uso de sistemas híbridos, lo que hace posible que la energía eólica y la energía solar se complementen, de tal forma que hagan factible crear y desarrollar tecnologías mucho más potentes que aquellas que aprovechan los recursos renovables de manera aislada (Campos Mejías, 2019). Sin embargo, también es posible considerar que se requiere de un actor territorial capaz de identificar zonas, diseñar estrategias y formular e implementar pilotos que permitan el desarrollo del territorio y la sostenibilidad de sus recursos (Gutiérrez,



2020). En este sentido, resulta fundamental contar con un aliado como las Fuerzas Militares, que desde sus escuelas de formación día a día se fortalecen a través de proyectos basados en la ciencia, la investigación, el desarrollo y la innovación. En este sentido, el Ejército Nacional de Colombia es reconocido como la institución que cuenta con todas las capacidades técnicas y administrativas para realizar este gran aporte, el cual, sin duda alguna, se vislumbra como una oportunidad promisoría para nuestro país.

Conclusiones

La investigación realizada permite concluir que Colombia es un país que cuenta con potencial para la generación de energía eólica en diferentes zonas y puntos estratégicos a lo largo y ancho del territorio nacional. Gracias a ello, resulta factible aportar a la matriz energética desde el uso de fuentes no convencionales de energía, como es el caso del viento. Ante la transición energética que se vive globalmente, los países emergentes, como Colombia, están en la obligación de recurrir a alternativas sostenibles en cuanto a generación de energía y aprender al máximo en todo lo referente a mercados, tecnología y tendencias, ya que a partir de esos tres enfoques puede darse el crecimiento económico y el desarrollo tecnológico del país.

Uno de los grandes problemas que enfrenta hoy en día el país con respecto a las fuentes no convencionales de energía renovables es la baja prestación de servicios energéticos, hecho causado por tener zonas no vinculadas (ZNI) al sistema interconectado nacional (SIN), lo que se considera el punto más débil para la implementación de fuentes no convencionales de energía renovable. Si bien en los últimos años el desarrollo de la energía eólica ha crecido en el país de la mano con el interés de realizar varios parques eólicos, Colombia debe enfocar sus esfuerzos y

recursos hacia una mayor investigación, desarrollo e innovación, de tal forma que se involucren las entidades públicas, el sector privado y la comunidad en pro de un mismo objetivo.

Por otro lado, los países interesados en invertir en energía eólica deben comprender el funcionamiento del mercado acompañado de una tecnología limpia, esto les dará una visión más amplia sobre la ruta a seguir. Es importante prestarle atención a la energía eólica *offshore*, ya que, aunque solo representa el 3% de la capacidad instalada global, Colombia tiene un gran potencial para la instalación de este tipo de tecnología en un futuro cercano. Las ventajas que da el aspecto tecnológico en los ámbitos social, económico y ambiental, ayudan a comprender de una manera más clara la potencialidad de la energía eólica en Colombia, debido a que ofrece muchas posibilidades de mejorar y ofrecer un buen desempeño, con precios competitivos en comparación a otros tipos de energía

En cuanto a las tecnologías, siempre es necesario que el territorio sea el que defina las mejores opciones, pues se ha demostrado que implementar tecnologías en un escenario donde las variables ambientales, económicas y sociales tienen diferencias marcadas respecto al lugar de pilotaje, es un indicio del fracaso del proceso. De igual manera, se debería trabajar en pro de facilitar los caminos que generan tecnificación, puesto que muchas veces los entes gubernamentales, la comunidad y los actores privados, por llevar a cabo un trabajo desarticulado, generan grandes obstáculos que impiden el desarrollo del territorio.

Finalmente, es necesario identificar aquellos actores territoriales que sean capaces de fortalecer las iniciativas de transformación desde la investigación, el desarrollo y la innovación, de tal forma que por medio de ellos se minimice el riesgo que trae implícito la adopción de alter-



nativas, quizá desconocidas por algunos sectores estratégicos, pero que han demostrado ser la única salida para generar seguridad eléctrica, mitigar el efecto invernadero y generar un territorio realmente sostenible, desde el correcto aprovechamiento de sus recursos naturales.

Declaración de divulgación

Los autores declaran que no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con el artículo. Los puntos de vista y los resultados de este artículo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

Financiamiento

Los autores no declaran fuente de financiamiento para la realización de este artículo.

Sobre los autores

Luis Gabriel Amézquita Pardo es Mayor del Ejército Nacional de Colombia. Profesional en Ciencias Militares (Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”. Ingeniero de Telecomunicaciones (Universidad Piloto). Especialista en Gerencia Integral de las Telecomunicaciones (Escuela de Comunicaciones militares). Especialista en Administración y Conducción de Unidades Militares (Centro de Educación Militar). Especialista en Comunicaciones (Escuela de Comunicaciones Militares). Magíster en Gerencia Estratégica de Tecnologías de la Información (Universidad Externado de Colombia). Vinculado al semillero de investigación Fotón. Grupo de investigación Innovatic. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0888-0818> - Contacto: luisamezquitapardo@cedoc.edu.co

Jorge Eduardo Cepeda Jiménez es Coronel del Ejército Nacional de Colombia concursando para Escalafón Complementario. Profesio-

nal en ciencias militares (Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova, Bogotá, D. C., Colombia). Especialista en docencia universitaria (Centro de Educación Militar). Especialista en Estado Mayor y operaciones (Escuela Superior de Guerra, Bogotá, D. C., Colombia). Magíster en análisis y prevención del terrorismo (Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España). Actualmente, se desempeña como director del Centro de Doctrina del Ejército Nacional (CEDOE). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5211-8604> - Contacto: jorgecepedajimenez@cedoc.edu.co

Referencias

- Acolgen. (julio de 2016). *Generación eléctrica en Colombia 2021*. <http://www.acolgen.org.co>
- Ambientales, I., & UPME. (2006). *Atlas de viento y energía eólica de Colombia*. UPME.
- Berrio, L. & Zuluaga, C. (2014). Smart Grid y la energía solar fotovoltaica para la generación distribuida: una revisión en el contexto energético mundial. *Ingeniería y Desarrollo*, 32(2), 369-396.
- Bonilla, G., Ruiz, B., & Salazar, J. (2021). *Energy correlation between global solar radiation and wind speed in the Colombian Caribbean*. INGE CUC.
- Caballero, J., Sagastume, A., & Ospino, A. (2020). *Estado del arte del proyecto: “Desarrollo de la primera turbina eólica offshore en Colombia: Prefactibilidad y Diseño”*. Repositorio Universidad de la Costa.
- Campos, C. (2019). *Diseño de un sistema híbrido de energía eólico-diésel para alcanzar un 30% de producción eléctrica renovable en la base antártica Dumont D’Urville*. <http://hdl.handle.net/10251/140115>
- Cartagena, R., Olmedo, C., & Gómez, A. (2013). El biogás y sus diferentes tecnologías. *Agricultura: Revista agropecuaria*, (961), 286-290.
- Castillo, Y., Castrillón, M., Vanegas-Chamorro, M., Valencia, G., & Villicaña, E. (2015). Rol de las fuentes no convencionales de energía en el sector eléctrico colombiano. *Prospect*, 13(1), 39-51.
- Castro, A., Muñoz, A., & Parra, M. (2020). *Protejo el ambiente, protejo la vida*. Escuela de Armas Combinadas del Ejército.



- CREG. (2016). *Energía eléctrica*. Comisión de Regulación de Energía y Gas. <https://www.creg.gov.co/sectores/energia-electrica>
- Cruz, I. (2012). *Avances tecnológicos y perspectivas de la energía eólica*. Centro de Investigación Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. <https://geeds.es/wp-content/uploads/2012/09/Avances-tecnol%C3%B3gico-y-perspectivas-de-la-energ%C3%A1tica-2012.pdf>
- Ernst & Young et Associés. (2015). *Offshore wind in Europe: Walking the tightrope to success*. <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/EY-Offshore-Wind-in-Europe.pdf>
- Gaona, E., Trujillo, C., & Guacaneme, J. (2015). Rural microgrids and its potential application in Colombia. *Renew Sustain*, 51, 125-137.
- García, H., Corredor, A., Calderón, L., & Gómez, M. (2013). *Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia*. Fedesarrollo, Centro de Investigación Económica y Social.
- García, M. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 36, 60-64.
- Gualteros, M., & Hurtado, E. (2013). Revisión de las regulaciones e incentivos para el uso de energías renovables. *Jurídicas*, 10, 209-224.
- Gutiérrez, A. (2020). *Sistemas de energía eólica y solar para la alimentación de luminarias*. Universidad Católica de Colombia, Programa de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.
- GWEC, G. W. (2010). *Global wind report annual market update*. GWEC, G. W. https://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/GWEC_annual_market_update_2010_-_2nd_edition_April_2011.pdf
- GWEC, G. W. (2016). *Wind power capacity in the world*. GWEC, G. W. https://gwec.net/wp-content/uploads/2020/11/GWEC_Global_Wind_2016_Report.pdf
- Ideam. (2006). *Atlas climatológico de Colombia*. Ideam. <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>
- Maya, C., Hernández, C., & Gallego, O. (2012). La valoración de proyectos de energía eólica en Colombia bajo el enfoque de opciones reales. *Cuad. admon.ser.organ.*, 25(44), 193-231.
- MIT. (7 de febrero de 2013). *Diseños novedosos para hacer avanzar la energía eólica*. <https://www.technologyreview.es/energia/42359/disenos-novedosos-para-hacer-avanzar-la-energia/>
- Moreno, J., Rodríguez, C., & Suesca, R. (2006). Generación híbrida de energía eléctrica como alternativa para zonas no interconectadas. *Ingeniería*, 12(1), 57-63.
- Niño, V. (2019). *Metodología de la Investigación*. Ediciones de la U.
- Orjuela, S., Pavón, J., & García, J. (2021). Study of the Benefit of Solar Energy through the Management of Photovoltaic Systems in Colombia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(2), 96-103.
- Ortiz, D., Sabogal, J., & Hurtado, E. (2012). Una revisión a la reglamentación e incentivos de las energías renovables en Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 20(2), 55-67.
- Pinilla, A. (3 de abril de 2016). Buenos vientos para energía eólica en Colombia. *La Opinión*. <https://www.pressreader.com/colombia/la-opinion-imagenes/20160403/281595239676134>
- Price, O. (1 de octubre de 2016). *The next big trend in wind energy?* <http://oilprice.com/Alternative-Energy/Wind-Power/The-Next-Big-Trend-In-Wind-Energy.html>
- Qin, Z., & W. Li. (2011). Estimating wind speed probability distribution using kernel density method. *Electric Power Systems Research*, 81(12), 2139-2146.
- Robles-Algarín, C., Taborda-Giraldo, J., & Ospino-Castro, A. (2018). Procedimiento para la selección de criterios en la planificación energética de zonas rurales colombianas. *Información tecnológica*, 29(3), 71-80.
- Salguero, L. (2021). *Actividades de la gestión energética en el marco de la RSE en el sector energético en Colombia periodo 2011 a 2020 conforme al estándar GRI, indicadores Ethos y ODS*. Universidad EAN. <https://repository.ean.edu.co/handle/10882/10397>
- SIAC. (Sistema de Información ambiental de Colombia). (s. f.). Monitoreo. <http://www.siac.gov.co/monitoreo>
- Sosapanta, J. (2020). *Energía eólica en Colombia: panorama y perspectivas bajo la triple cuenta de resultados*. Universidad Abierta y a Distancia (UNAD). <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38193>
- Soto, J., & Cañón, D. (2016). Desarrollo de la energía eólica en Colombia. Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/624>



- UPME. (2015). *Boletín Estadístico de Minas y Energía 2010-2015*. UPME. <https://www1.upme.gov.co/Paginas/default.aspx>
- UPME. (marzo de 2016). *Plan de Expansión de Referencia Generación Transmisión 2015-2029*. UPME. http://www.upme.gov.co/Fotonoticias/Plan_GT_2016-2030_Preliminar_21-11-2016.pdf
- UPME. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. UPME. http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables
- UPME. (5 de octubre de 2019). Día histórico para las energías renovables en Colombia: por primera vez, la energía del Sol y del viento llegará, a precios más bajos, a los hogares colombianos. UPME. https://www1.upme.gov.co/SalaPrensa/ComunicadosPrensa/Comunicado_05_2019.pdf
- Vargas, A., Saavedra, O., Samper, M., Rivera, S., & Rodríguez, R. (2016). Latin American Energy Markets: Investment Opportunities in Nonconventional Renewables. *IEEE Power and Energy Magazine*, 14(5)38-47.
- Vergara, W., Deeb, A., Toba, N., Cramton, P., Leino, I., & Benoit, P. (2010). *Wind energy in Colombia: a framework for market entry*. World Bank Publications.