

Metodología multicriterio para la localización de un parque eólico  
en una ciudad del centro del Valle del Cauca.

**AUTORES:**

Juan Sebastián Sánchez Alzate

Álvaro José Oliveros Saavedra

**DIRECTOR DE TESIS**

Andrés Mauricio Paredes, M.S.c

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**GUADALAJARA DE BUGA – COLOMBIA**

**2024**

Metodología multicriterio para la localización de un parque eólico  
en una ciudad del centro del Valle del Cauca.

**AUTORES:**

Juan Sebastián Sánchez Alzate

Álvaro José Oliveros Saavedra

**DIRECTOR DE TESIS**

Andrés Mauricio Paredes, MSc

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**GUADALAJARA DE BUGA – COLOMBIA**

**2024**

## Agradecimientos

¡A lo largo de este proceso, hemos compartido momentos de aprendizaje, desafíos y logros, y cada paso lo hemos dado juntos, apoyándonos mutuamente en cada etapa del camino!

Agradecemos a las ponencias a las que asistimos, que nos brindaron valiosos conocimientos y perspectivas que enriquecieron nuestro trabajo y ampliaron nuestro horizonte académico.

A los expertos en el campo que nos ofrecieron su orientación y consejos, gracias por su generosidad y por compartir su experiencia, lo cual fue fundamental para el éxito de nuestra investigación.

A los evaluadores de este trabajo, agradecemos por su dedicación y sus valiosos comentarios, que nos ayudaron a mejorar y perfeccionar nuestra tesis.

Un agradecimiento especial a nuestro tutor, Andrés Mauricio Paredes, por su orientación experta y su apoyo constante. Su guía fue fundamental para enfrentar los desafíos y alcanzar nuestros objetivos.

A nuestras familias, por su comprensión, apoyo incondicional y por ser nuestro soporte emocional durante este proceso.

A nuestros amigos, por su ánimo, palabras de aliento y por estar siempre presentes para celebrar cada avance y superar juntos los obstáculos.

Y finalmente, a esos momentos de confusión y estrés, gracias por enseñarnos a ser resilientes y a trabajar en equipo para superar cualquier adversidad.

Este logro no habría sido posible sin la colaboración, el compromiso y la dedicación de ambos. Ha sido un honor y un privilegio trabajar juntos en este proyecto. ¡Gracias por ser parte de este viaje!

Además, quiero expresar mi más profundo agradecimiento por el aguante de los 2 portátiles que nos acompañaron fielmente a lo largo de estos meses de arduo

trabajo. Su desempeño confiable y eficiente fue fundamental para mantenernos en marcha y avanzar en nuestra investigación sin contratiempos.

Agradezco también a las latas de Speed que nos proporcionaron ese impulso adicional en los momentos de mayor concentración y exigencia, manteniéndonos alerta y enfocados en cada tarea por delante.

Un reconocimiento especial por la precaución de realizar copias de seguridad en Word y Excel, lo cual nos brindó tranquilidad y seguridad en la integridad de nuestros archivos, asegurando que ningún contratiempo tecnológico interrumpiera nuestro progreso.

## Tabla de contenido

Resumen .....	8
Abstract.....	9
1. Introducción .....	10
2. Planteamiento Del Problema .....	12
3. Objetivos .....	15
3.1. Objetivo general.....	15
3.2. Objetivos específicos .....	15
4. Justificación .....	15
5. Revisión de literatura.....	17
6. Definición de un conjunto de alternativas de localización que cumplan con los requerimientos mínimos para ser considerados como potenciales sitios de localización de un parque eólico. ....	22
7. Establecimiento los criterios a considerar dentro del modelo de decisión a través de una revisión de literatura.....	25
8. Descripción de criterios y sub criterios según la revisión de literatura	26
9. Priorización las alternativas previamente definidas mediante el uso de una herramienta de decisión multicriterio. ....	35
9.1. Selección de expertos .....	36
9.2. Resultados de la matriz consolidada.....	39
9.3. Alternativa seleccionada .....	40
9. Trabajos Futuros .....	42
10. Limitaciones del trabajo .....	46
12. Referencias.....	48

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Viento en Colombia.....	14
Figura 2 Metodología utilizada para la revisión de literatura.....	18
Figura 3 Documentos por año.....	19
Figura 4 Documentos por Autor.....	20
Figura 5 Países y sus aportes a la investigación.....	21
Figura 6 Estructura jerárquica AHP.....	35
Figura 7 Escala de Saaty.....	36

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Sitios Candidatos.....	23
Tabla 2 Criterios de evaluación .....	24
Tabla 3 Revisión de literatura de criterios.....	33
Tabla 4 Consolidación de pesos obtenidos para cada valoración.....	39
Tabla 5 Alternativas Seleccionadas.....	40

## Resumen

Este estudio aborda el desafío de seleccionar la ubicación óptima para un parque eólico en el Valle del Cauca, en un contexto de crecimiento económico y demográfico. La investigación propone un enfoque metódico y multidisciplinario que considera factores ambientales, técnicos, sociales y económicos. Se inicia con una exhaustiva recopilación de datos que incluye información meteorológica, estudios de potencial eólico. Luego, se establecen criterios de evaluación en cuatro categorías principales: ambiental, técnica, social y económica. Se delimitan zonas con potencial eólico y se identifican polígonos de búsqueda para cada posible ubicación de parque eólico.

Se aplican técnicas de normalización para garantizar la comparabilidad de los datos y se selecciona una metodología de decisión multicriterio adecuada. Se asignan pesos a cada criterio en función de su importancia relativa y se evalúan las alternativas de localización en base a estos criterios y pesos establecidos. Para validar los resultados, se realizan análisis de sensibilidad y pruebas de consistencia. Finalmente, se elabora un informe detallado que describe la metodología, los resultados y las conclusiones, y se presentan estos hallazgos en eventos académicos y a las partes interesadas.

**Palabras claves:** Viento, localización, parque eólico, energías renovables

## **Abstract**

This study addresses the selecting challenge selection optimal location for a wind farm in the Valle del Cauca department, in an economic and demographic growth context.

The research proposes a multicriteria approach considering environmental, technical, social, and economic factors. It begins with a comprehensive data collection including meteorological information, wind potential studies, and land use maps. Then, evaluation criteria are established in four main categories: environmental, technical, social, and economic. Areas with wind potential are delimited and search polygons are identified for each possible wind farm location.

Normalization techniques are applied to ensure data comparability and an appropriate multicriteria decision methodology is selected. Weights are assigned to each criterion according to its relative importance and location alternatives are evaluated based on these established criteria and weights. To validate the results, sensitivity analysis and consistency tests are performed. Finally, a detailed report is prepared describing the methodology, results, and conclusions.

**Keywords:** Wind, location, wind farm, renewable energies

## 1. Introducción

El crecimiento económico y demográfico de Latinoamérica y el Caribe ha repercutido en un incremento en el consumo de la energía eléctrica, cuya generación está basada en el aprovechamiento de energía fósil y carbón, con una participación importante de la energía hídrica y el gas (TELLEZ, 2020), acción que además de contaminar el medio ambiente, contribuye en gran medida a incrementar el efecto invernadero y por consiguiente el calentamiento global (GUTIÉRREZ, 2016). En donde se están abriendo paso la implementación de las energías renovables no convencionales.

A raíz del cambio climático y el uso desmedido de fuentes de energías contaminantes, las energías renovables se han convertido en un tema fundamental para la diversificación de las matrices energéticas de los diferentes países, donde su principal virtud se encuentra en el hecho de que son energías limpias que no contaminan y pueden desarrollarse bajo el concepto de los objetivos de desarrollo sostenible. Estos objetivos están planeados hasta el año 2030 entre los que se destaca el objetivo No. 7 relacionado con las energías, el cual, según la (Organización de las Naciones Unidas, 2018), se busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos (GUTIÉRREZ, 2016).

Es por eso por lo que en la actualidad la tendencia apunta hacia la generación de energía eléctrica renovable, buscando fuentes alternas de las que se puede obtener un gran valor energético sin impactar el medio ambiente considerablemente. El Valle del Cauca cuenta con regiones que poseen corrientes de aire de gran magnitud, las cuales se pueden aprovechar para aumentar la

capacidad del sistema de generación de energía eléctrica en el departamento (Escobar, 2016).

A partir de estas condiciones, el presente proyecto de investigación busca establecer la mejor localización de un parque eólico en una ciudad del Valle del Cauca a través del uso de una herramienta multicriterio que permita considerar diversos atributos necesarios en este proyecto de generación de energía renovable.

## **2. Planteamiento Del Problema**

La transición hacia fuentes de energía renovable, como la energía eólica, presenta desafíos significativos que incluyen aspectos financieros, técnicos y ambientales. En primer lugar, los costos asociados con la implementación de parques eólicos pueden ser sustanciales, desde la inversión inicial en infraestructura hasta los costos de operación y mantenimiento a largo plazo (Gielen et al., 2019). Además, la selección adecuada de la ubicación de los parques eólicos es crucial para maximizar la eficiencia y minimizar los impactos ambientales, lo que requiere estudios de suelos detallados y planificación precisa (Ongpeng et al., 2019).

Por otro lado, es fundamental destacar que la adopción de energías renovables, como la eólica, es crucial para reducir los niveles de emisiones contaminantes a nivel global y combatir el cambio climático, como se señaló en informes previos (UPME, 2014). La generación de electricidad a partir del viento es inherentemente más limpia en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos en comparación con los combustibles fósiles (Gielen et al., 2019). Sin embargo, es importante considerar que la construcción y operación de parques eólicos también con llevan emisiones de carbono asociadas a la fabricación de equipos y la construcción de infraestructura.

Los combustibles fósiles, según datos previos (UPME, 2014), son la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero, que contribuyen al calentamiento global y sus efectos adversos. La transición a fuentes de energía limpias no sólo ayuda a reducir las emisiones, sino que también diversifica la matriz

energética y disminuye la dependencia de recursos finitos y costos (Gielen et al., 2019).

En el presente, Colombia registra niveles bajos de emisiones de carbono en contraste con otras naciones. A pesar de esto, el país se apoya principalmente en fuentes hidroeléctricas, las cuales han sido afectadas por sequías a lo largo del tiempo. Esta situación ha provocado un alza en los costos de energía para los consumidores, como se evidenció durante la crisis energética causada por el fenómeno de El Niño en los años 1992 y 1993, así como en los períodos de sequía en 2009, 2010, 2013 y 2014 (UPME, 2014).

Las energías renovables, como la hidráulica, eólica, solar, geotérmica y de biomasa, presentan costos de instalación más elevados en comparación con las energías convencionales. Esto se debe a su menor presencia en el mercado y a las dificultades técnicas que aún persisten en su implementación. No obstante, se anticipa una reducción en los costos asociados con estas tecnologías en un futuro cercano, destacándose la energía eólica como la más prometedora y competitiva en este aspecto (ROA, 2011).

Una de las regiones de Colombia que ha tenido un gran potencial para el desarrollo de estas fuentes de energías renovables es el Valle del Cauca (Ruiz et al., 2019), ésta alberga ciudades y zonas con un potencial considerable para la generación de energía a partir de fuentes eólicas. Aunque no todas las áreas dentro de esta región son idóneas para la instalación de parques eólicos, algunas ciudades como Cali, Zarzal, Darién, Buenaventura, La Cumbre y Buga han mostrado posibilidades significativas en este sentido (Escobar, 2016; López, 2011; Rodriguez

& García, 2019; Ruiz et al., 2019). La figura 1 muestra la ubicación de las ciudades con mayor potencial eólico, representadas por puntos destacados. Además, se ilustra el flujo del viento mediante colores los cuales muestran su dirección y velocidad.

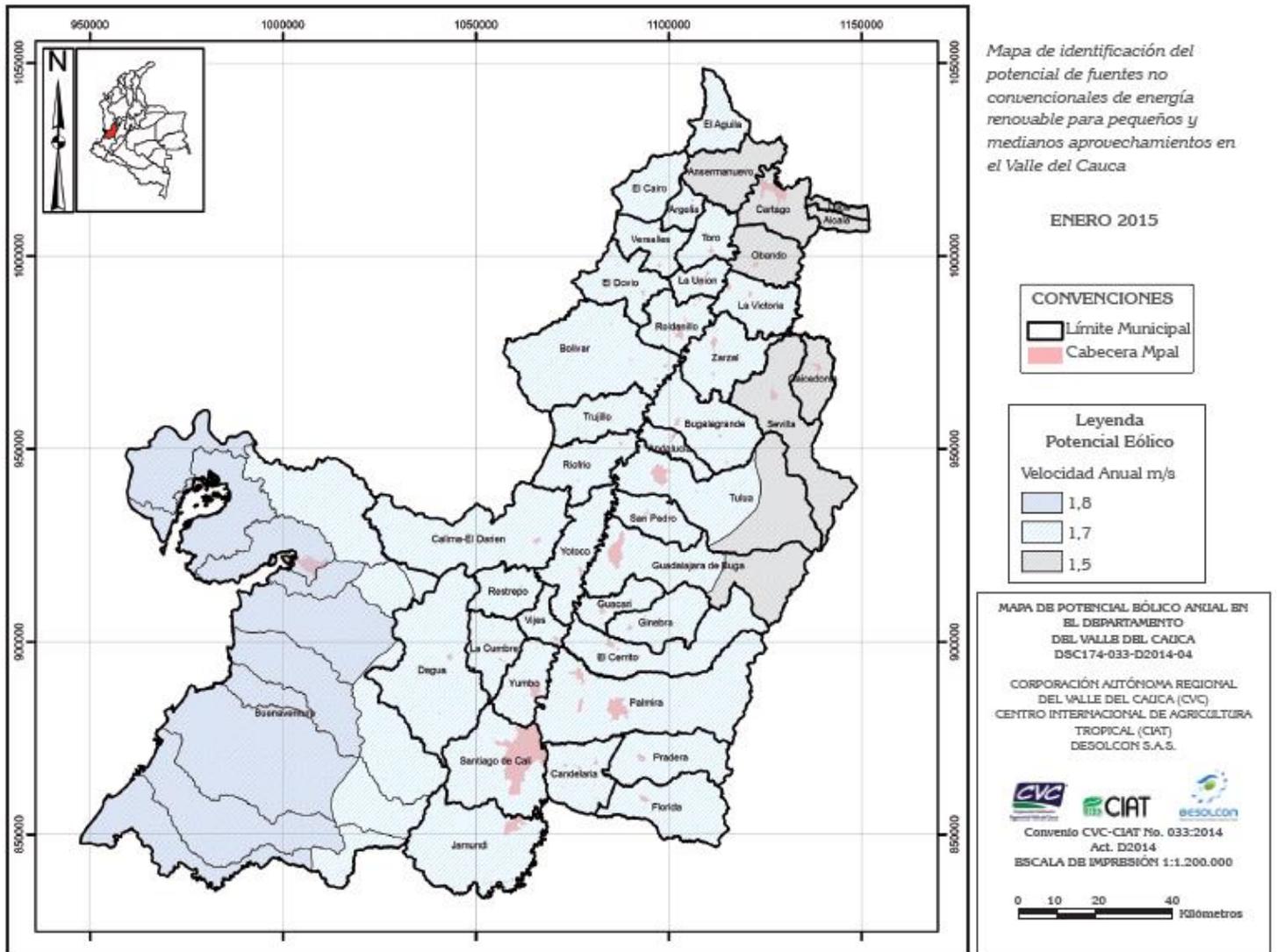


Figura 1 Mapa de Viento en Colombia

Fuente: [http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/biblioteca/Potencial\\_FNCE.pdf](http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/Potencial_FNCE.pdf)

Partiendo de esta proposición, se formula el siguiente interrogante de investigación:

Pregunta de investigación: ¿Cuál es la mejor ubicación de un parque eólico en una ciudad del centro del Valle del Cauca?

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo general**

- Seleccionar la mejor ubicación de un parque eólico en una ciudad del centro del Valle del Cauca.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Definir un conjunto de alternativas de localización que cumplan con los requerimientos mínimos para ser considerados como potenciales sitios de localización de un parque eólico.
- Establecer los criterios a considerar dentro del modelo de decisión a través de una revisión de literatura
- Priorizar las alternativas previamente definidas mediante el uso de una herramienta de decisión multicriterio.

### **4. Justificación**

La demanda de energía eléctrica en Colombia ha tenido un aumento en los últimos tiempos y es de esperar que dicha demanda energética aumente en los próximos años como consecuencia del crecimiento demográfico y el desarrollo económico del país (Chaparro, 2017). En un país rico en oferta hídrica como Colombia, la generación de electricidad se realiza mayoritariamente con plantas hidráulicas y en menor proporción con plantas térmicas, auto generadores y cogeneradores, cuyas centrales utilizan como fuente de energía gas natural,

carbón, fuel-oíl, ACPM y jet. Además, en muchos casos se disponen sistemas de generación con tres diferentes fuentes, con lo que se asegura aún más la confiabilidad del sistema (UPME, 2014).

La implementación de energías renovables son una gran alternativa frente al gran consumo de energía en el país, al implementar estas alternativas ayudaría a reducir la dependencia y ampliar la cobertura a zonas que actualmente no cuentan con suministro constante de energía. Según el Programa de Asistencia en Gestión del Sector Energético del Banco Mundial (ESMAP) la explotación del gran potencial eólico del país, podría cubrir gran parte de las necesidades actuales de energía (Chaparro, 2017).

La viabilidad de implementar las energías renovables en el Valle del Cauca, es un tema que ha estado ganando interés en los últimos años debido a la creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de diversificar la matriz energética del país (UPME, 2014). Su desarrollo requiere de una planificación y ejecución cuidadosa para garantizar su eficacia y sostenibilidad, los cuales son:

- **Evaluación de recursos renovables:** Antes de iniciar cualquier proyecto de energía renovable, es fundamental realizar un estudio detallado de los recursos renovables disponibles en el Valle del Cauca. Esto incluye la medición del potencial eólico de la zona. Estos datos son esenciales para determinar qué tecnologías renovables son viables y dónde implementarlas.
- **Marco normativo y regulaciones:** Es importante entender y cumplir con las regulaciones locales, regionales y nacionales relacionadas con la energía renovable. En Colombia, la Comisión de Regulación de Energía y Gas

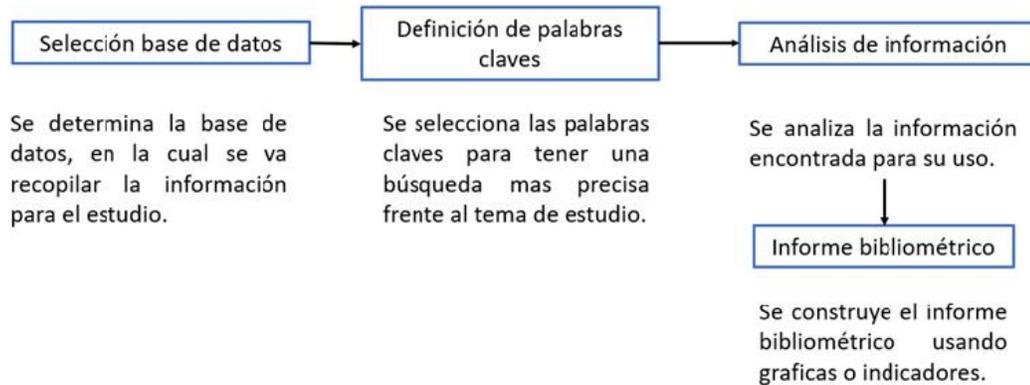
(CREG) establece las políticas y normativas relacionadas con el sector energético.

- **Planificación estratégica:** Desarrollar un plan estratégico que defina los objetivos a largo plazo para la incorporación de energía renovable en el Valle del Cauca.
- **Infraestructura de transmisión y distribución:** Asegurarse de que la infraestructura de transmisión y distribución de energía eléctrica esté adecuadamente desarrollada y modernizada para integrar la energía renovable de manera eficiente en la red eléctrica existente.
- **Evaluación ambiental y social:** Realizar evaluaciones ambientales y sociales para minimizar cualquier impacto negativo en el entorno natural y las comunidades locales.
- **Educación y concienciación pública:** Promover la educación y la concienciación pública sobre los beneficios de la energía renovable y fomentar la participación activa de la comunidad en proyectos renovables.

## 5. Revisión de literatura

La metodología utilizada en la revisión de literatura como se logra ver en la figura 2, fue la siguiente, a través de bases de datos como SCIENCE DIRECT, SCOPUS, SCIELO y Google académico, se busca información relacionada con el tema y para esto se seleccionan palabras claves (viento, localización, parque eólico, energías renovables) para una obtener resultados más precisos. Ya con la

información suministrada, se seleccionan artículos que no superen los 7 años de publicación más reciente.



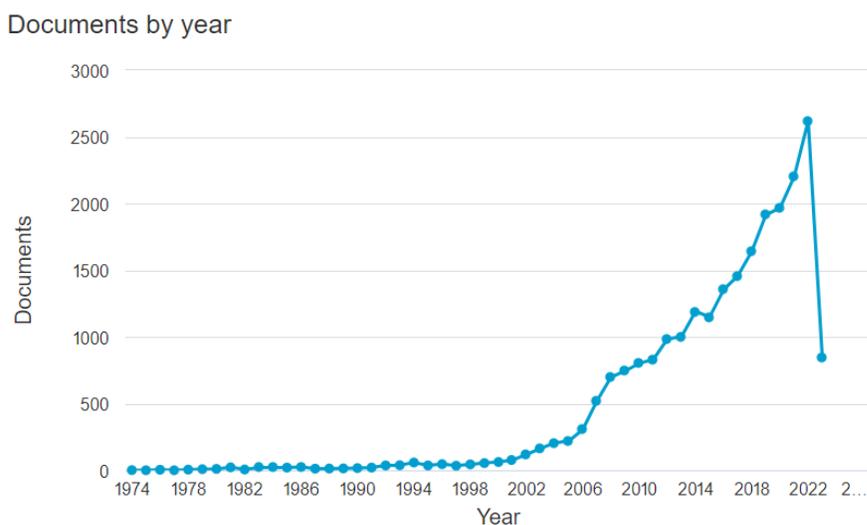
*Figura 2 Metodología utilizada para la revisión de literatura*

*Fuente: Propia*

A continuación, se describe brevemente las fases de la metodología.

- **Selección de base de datos:** La recopilación de información se hizo a través de las bases de datos de SCOPUS y SCIENCE DIRECT, SCIELO y Google académico, ya que son multidisciplinarias y cuentan con una gran variedad de revistas de una alta calidad.
- **Definición de palabras claves:** Se realizó la selección de palabras claves, la cuales fueron: " Wind" AND "location" AND "wind power" AND "renewable energies" para una búsqueda más precisa y detallada para el estudio.
- **Análisis de Información:** La información seleccionada se analizó gracias a las gráficas que arrojó la base de datos SCOPUS y SCIENCE DIRECT.

En el proceso de revisión bibliográfica, se encontraron representaciones gráficas relacionadas con el tema de investigación. Estas gráficas se presentaron como parte de la documentación analizada durante la revisión de literatura.



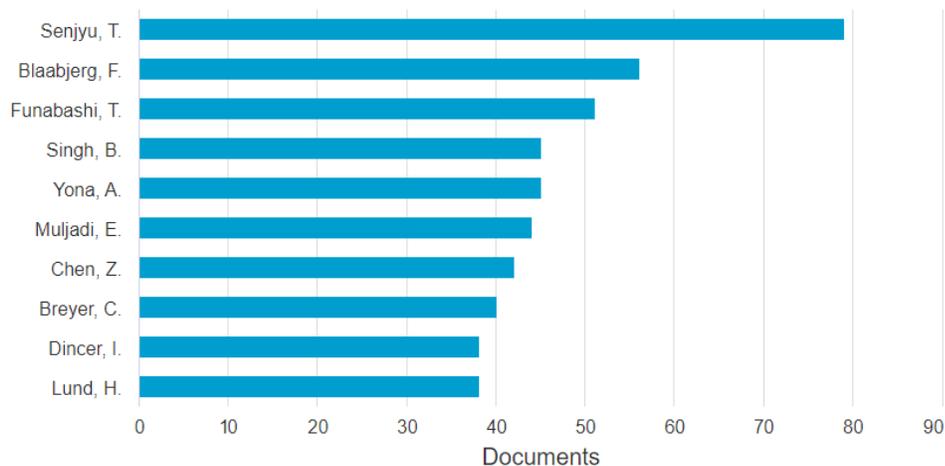
*Figura 3 Documentos por año*

*Fuente: SCOPUS*

Al analizar la figura 3, se evidencia un patrón interesante relacionado con la publicación de artículos sobre el tema de búsqueda. En concreto, se destaca que los años en los que se registró el mayor número de publicaciones en este ámbito coincidieron con períodos en los que se manifestó una preocupación global significativa: el calentamiento global.

### Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.



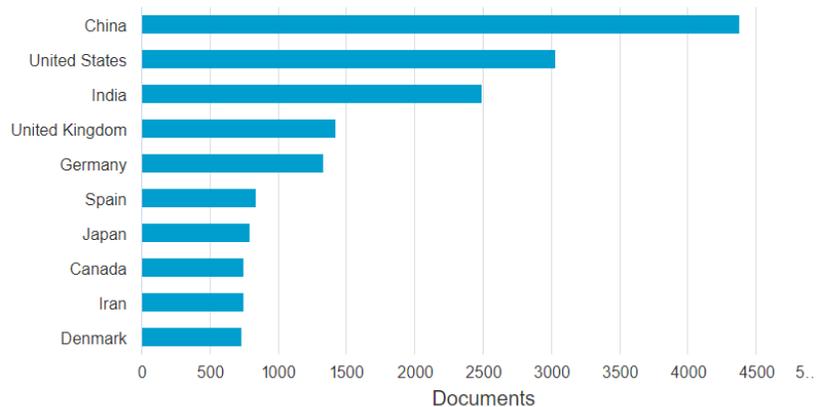
*Figura 4 Documentos por Autor*

*Fuente: SCOPUS*

En la figura 4 se logra ver que uno de los autores que han desempeñado un papel destacado en la promoción del tema de la búsqueda en relación con el calentamiento global es Tomonobu Shah Senjyu. Su impactante contribución se refleja en una prolífica producción académica, habiendo publicado un total de 77 artículos. Dentro de esta amplia gama de trabajos, una parte considerable se ha dedicado de manera directa o indirecta a abordar la problemática del calentamiento global y proponer soluciones.

### Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



*Figura 5 Países y sus aportes a la investigación*

*Fuente: SCOPUS*

Frente a la preocupante cuestión del calentamiento global que enfrenta en la actualidad, se señala que varios países han demostrado un interés claro en reducir el impacto negativo que el cambio climático puede tener en nuestro planeta. Esto se manifiesta a través de dos principales vías: la producción de artículos de investigación y sus acciones concretas. Además, en la figura 5, podemos observar que China es uno de los países que más contribuye en la investigación relacionada con este tema y se destaca como uno de los pioneros en el uso de energías renovables.

**6. Definición de un conjunto de alternativas de localización que cumplan con los requerimientos mínimos para ser considerados como potenciales sitios de localización de un parque eólico.**

Este estudio se llevará a cabo en la ciudad de Guadalajara de Buga, seleccionada, debido a que (Ruiz et al., 2019) indica que es uno de los municipios con mayor potencial para la construcción de un parque eólico. A partir de un análisis de fuentes secundarias, se identificaron los criterios mínimos a considerar para la ubicación de un parque eólico, detallados en la tabla 2. Con base a estos criterios, se han identificado sitios candidatos, como se observan en la tabla 1.

<b>Sitios Candidatos</b>	
<b>Parque el Vergel</b>	<p>El Parque El Vergel es un conocido parque público ubicado en Buga, Valle del Cauca, Colombia. Es un lugar de esparcimiento y recreación para residentes y visitantes de Buga. El parque ofrece diversas instalaciones y actividades para el disfrute de las personas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas verdes</li> <li>• Juegos infantiles</li> <li>• Pista de patinaje</li> <li>• Monumentos o esculturas</li> <li>• Áreas de ejercicio</li> <li>• Caminatas y senderos</li> </ul>
<b>Parque La Merced</b>	<p>El Parque Biosaludable de la Merced coloca a la ciudad como un referente en la construcción de instalaciones multipropósito, no sólo proporcionan espacios para la diversión, el deporte y la unión de las personas, sino que también preservan áreas verdes significativas que funcionan como auténticos pulmones de la ciudad. Esto, a su vez, ofrece la oportunidad de</p>

	<p>organizar una variedad de eventos sociales y culturales al aire libre, promoviendo una educación respetuosa con la naturaleza y el entorno que deja una huella en las generaciones actuales y futuras que visitan estos espacios.</p>
<p><b>Parque Polideportivo</b></p>	<p>El Parque Polideportivo, ubicado en la zona norte de la ciudad de Buga, es un oasis de bienestar que ofrece a sus visitantes un espacio para la recreación, el deporte y la actividad física al aire libre. Este parque, con una extensión se ha convertido en un lugar de encuentro para personas de todas las edades, desde niños hasta adultos mayores, que buscan disfrutar de un ambiente sano y agradable.</p>
<p><b>Afuera de Buga</b></p>	<p>Las afueras de Buga podrían ser una ubicación óptima para la instalación de un parque eólico por una serie de razones. En primer lugar, la zona puede tener recursos eólicos favorables, caracterizados por vientos constantes y fuertes, aspecto crucial para una generación eficiente de electricidad mediante turbinas eólicas. Además, si el área cuenta con suficiente espacio abierto y terreno adecuado, facilitaría la disposición de las turbinas y la infraestructura necesaria.</p> <p>Otro punto a favor es la baja densidad de población en las afueras de Buga, lo que minimizaría potenciales conflictos con residentes locales debido al impacto visual y el ruido generado por las turbinas. Asimismo, la proximidad a la red eléctrica sería beneficiosa para una conexión eficiente a la red y la distribución de la energía generada.</p>

Tabla 1 Sitios Candidatos

Fuente: Elaboración Propia

Para definir este conjunto de alternativas se consideraron criterios específicos, los cuales se definen en la Tabla 2. Estos criterios incluyen la velocidad del viento, Topografía y terreno, Impacto ambiental, Impacto social, etc.

<b>Criterios</b>	
<b>Topografía Y terreno</b> (Sánchez, 2012; UPME, 2015)	Las áreas deben tener terrenos adecuados para la instalación de aerogeneradores y su infraestructura asociada. La topografía también puede influir en la eficiencia de la generación de energía.
<b>Distancia a áreas pobladas</b> (Hoyos et al., 2020)	Se debe considerar una distancia adecuada entre el parque eólico y las áreas habitadas para minimizar posibles impactos en la salud y el bienestar de las comunidades locales.
<b>Impacto visual y paisajística</b> (Germán, 2012; TELLEZ, 2020)	Evaluar el impacto visual de los aerogeneradores en el paisaje circundante y considerar cómo afectaría a la estética local.
<b>Condiciones geológicas y de suelo</b> (Sánchez, 2012; UPME, 2015)	Evaluar la estabilidad del suelo y la geología local para asegurar que puedan soportar los cimientos de los aerogeneradores.
<b>Aspectos legales y permisos</b> (UPME, 2015)	Considerar las regulaciones locales, nacionales e internacionales que puedan influir en la viabilidad de la instalación y operación del parque eólico.
<b>Impacto económico</b> (UPME, 2014)	Evaluar los aspectos económicos, como costos de desarrollo, beneficios fiscales locales y potencial de empleo en la región.
<b>Interacción con comunidades locales</b> (Hoyos et al., 2020)	Evaluar el nivel de apoyo de las comunidades locales y la capacidad de colaborar en el desarrollo y operación del proyecto.
<b>Impacto ambiental</b> (Ruiz et al., 2019; TELLEZ, 2020)	No son contaminantes, reducen el uso de combustibles fósiles y reduce las emisiones de efecto invernadero que provocan el calentamiento global.

Tabla 2 Criterios de evaluación

*Fuente: Elaboración Propia*

## **7. Establecimiento de los criterios a considerar dentro del modelo de decisión a través de una revisión de literatura**

Se realizó una revisión de literatura en las bases de datos SCIENCE DIRECT, SCOPUS, SCIELO y Google académico. Se utilizaron las palabras clave "Wind", "location", "wind power" y "renewable energies" en inglés para ampliar la búsqueda a artículos tanto en inglés como en español. Para la selección de artículos se consideraron los siguientes criterios; publicación en los últimos 7 años, relevancia con los temas de energía eólica, fuentes renovables o energía no convencional. Se encontraron alrededor de 380 artículos, de los cuales se seleccionaron 20 artículos, que cumplían con los criterios anteriormente nombrados.

Es importante subrayar que los aspectos considerados para este proceso de identificación y selección de criterios operan a un nivel macro. Esto se debe a que la elección de ubicaciones para la instalación de parques eólicos no se limita exclusivamente al factor del viento como prioridad principal, sino que también se valoran otros criterios en la toma de decisiones para su selección.

## 8. Descripción de criterios y sub criterios según la revisión de literatura

A continuación, se muestra la tabla 4 en la cual se realiza una revisión de literatura de criterios y cuáles son los más usados sobre el tema de búsqueda.

<b>CRITERIOS</b>	<b>Sub Criterios</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Criterio Ambiental</b>	<b>Impacto en la fauna</b>	El impacto en la flora y la fauna se manifiesta principalmente durante las etapas de construcción y operación del parque. Durante la fase de construcción, diversas actividades pueden afectar a la fauna, ya sea mediante la ocupación de su hábitat o la alteración de su entorno natural. Esto se debe a la necesidad de desarrollar infraestructuras como vías de acceso, excavaciones, estructuras para el almacenamiento de equipos, salas de control y monitoreo, cimientos para turbinas eólicas, así como la instalación de líneas eléctricas y estaciones transformadoras (Hernández Galvez, G.; Pampillón González, L. & Hernández Almenares, 2018).
	<b>Gas efecto invernadero</b>	Además de los posibles impactos negativos que los parques eólicos pueden tener en el medio ambiente, también tienen efectos positivos, siendo éstos los responsables de que la generación de electricidad a través de la energía eólica esté ganando terreno en los mercados eléctricos de numerosos países. En comparación con las

		centrales eléctricas convencionales, los parques eólicos generan significativamente menos emisiones de gases de efecto invernadero. Durante su operación, estas emisiones son mínimas; no obstante, un análisis del ciclo de vida revelaría emisiones asociadas con la fabricación de las turbinas eólicas (Hernández Galvez, G.; Pampillón González, L. & Hernández Almenares, 2018).
<b>Criterio Económico</b>	<b>Costo de Inversión</b>	El costo de una inversión en energía eólica varía dependiendo de factores como el tamaño del proyecto, la tecnología utilizada, la ubicación y las condiciones del viento. Los proyectos más grandes suelen tener costos más bajos por megavatio debido a las economías de escala. Las tecnologías más nuevas pueden tener un costo inicial más alto, pero son más efectivas a largo plazo. Las condiciones del sitio y del viento también afectan los costos de construcción. En general, los costos de inversión de la energía eólica disminuirán con el tiempo debido al desarrollo de la tecnología y la escala de los proyectos. Portafolio. (2022). Energía eólica, la que requiere mayor inversión. Wind Europe. (2022). The Economics of Wind Energy in 2022. U.S. Department of Energy.

		(2021). 2020 Annual Energy Outlook
	<b>Costo de operación</b>	<p>Los costos de generación de energía renovable son de varios tipos: a. costos fijos, que incluyen los costos de inversión (tecnología, instalaciones, administración) y los costos de capital; b. costos variables, especialmente los relativos a operación y mantenimiento. Por otra parte, para una tecnología específica, estos costos están fuertemente influenciados por la economía de escala, la densidad de energía aprovechable para un sitio específico y el tiempo de vida de la tecnología utilizada. Existen además otros costos relativos a los costos de transmisión, de cobertura y de fiabilidad que serán determinantes para una penetración masiva de las energías renovables (ER).</p> <p>En comparación con los combustibles convencionales. Los costos de las ER son mayores, en gran medida debido a su alta inversión inicial, aunque debe mencionarse que tal comparación es incompleta al no considerarse las externalidades asociadas con los costos ambientales del uso de fuentes fósiles (Posso et al., 2014).</p>
	<b>Ingresos</b>	Los ingresos de la energía eólica provienen de varias

		<p>fuentes, la más importante de las cuales es la venta de electricidad. El precio de la energía eólica varía según la región y las condiciones del mercado y promedia entre 50 y 60 dólares por megavatio hora. Una turbina eólica de 100 MW puede generar entre 5 y 6 millones de dólares en ventas anuales de electricidad. Además, los parques eólicos pueden generar ingresos adicionales a través de certificados de energía renovable (REC), servicios auxiliares, arrendamiento de terrenos y turismo. Los ingresos totales también pueden verse afectados por impuestos y tasas, así como por la creación de empleo y los efectos económicos locales. Es importante recordar que estas ganancias son aproximadas y pueden variar dependiendo de varios factores. (Bard, 2023).</p>
<p><b>Criterio Social</b></p>	<p><b>Impacto Visual</b></p>	<p>Del impacto visual se puede decir que tiene un carácter subjetivo bien marcado. Depende de cada individuo, pues lo que para unos puede resultar atractivo, para otros, puede ser molesto desde el punto de vista estético (Mur, 2008). También depende de qué tanto el paisaje ha sido intervenido con anterioridad, y de cómo el diseño de las turbinas eólicas se acopla con las características del paisaje. Este aspecto puede resultar contraproducente si</p>

		<p>sólo se basa en la adecuación del color de las turbinas eólicas al paisaje, ya que ello podría aumentar la probabilidad de colisión de las aves, al resultarles más difícil distinguir las turbinas eólicas del resto del paisaje (Hernández Galvez, G.; Pampillón González, L. &amp; Hernández Almenares, 2018).</p>
	<p><b>Empleabilidad</b></p>	<p>La diferencia en el empleo no es distinta a los beneficios económicos obtenidos. En 2013, el sector eólico cobijó a más de veinte mil personas en España (aee, 2014), y se espera que para 2020 la cifra sea de 42 637, de las cuales 40 079 laborarán en la fabricación e instalación, y 2558 en operación y mantenimiento (Martínez Mendoza et al., 2019).</p> <p>La energía eólica crea cinco veces más empleo que las tecnologías convencionales de generación; el 70% de los empleados del sector cuenta con algún tipo de titulación” (aee, 2015: p. 67). Asimismo, del total de empleos creados por MW eólico, el 50% correspondió a la manufactura de las turbinas, el 33.3% a la manufactura de los componentes de turbina, el 8% a la instalación y el 8.7% a otro tipo de empleo (Martínez Mendoza et al., 2019)</p> <p>El aprovechamiento de las energías renovables (ER) es</p>

		<p>intensivo en la utilización de mano de obra comparada con las fuentes fósiles. Esta condición Tiene implicaciones favorables, especialmente en regiones rurales deprimidas económicamente, ya que debe esperarse que la operación y mantenimiento de los emplazamientos de ER utilicen trabajadores locales, contribuyendo de esta manera a elevar su poder adquisitivo y calidad de vida. Pero, además, existen beneficios intangibles relativos al bienestar social y humano y que permiten disminuir la migración rural, tan acentuada en el medio latinoamericano (Posso et al., 2014).</p>
<p><b>Criterio Técnico</b></p>	<p><b>Velocidad del viento</b></p>	<p>Las fuentes eólicas más interesantes para aprovechamiento de su energía son las zonas costeras y marinas, y determinados pasos entre las montañas en las que se puede disponer de más de 3.000 kWh/m<sup>2</sup>- año. Este último aspecto es de interés para el presente estudio. Existen tres componentes del viento que determinan su energía disponible, estos son: la velocidad del viento, su variación en el tiempo y, en menor grado, la densidad del aire (Rodríguez &amp; García, 2019).</p> <p>La velocidad media del viento varía entre 3 y 7 m/s, según diversas situaciones</p>

		<p>meteorológicas; es elevada en las costas, más de 6 m/s, así como en algunos valles más o menos estrechos. En otras regiones es, en general, de 3 a 4 m/s, siendo bastante más elevada en las montañas, dependiendo de la altitud y de la topografía. La velocidad media del viento es más débil durante la noche, variando muy poco, aumenta a partir de la salida del Sol y alcanza un máximo entre las 12 y 16 horas solares (Rodríguez &amp; García, 2019).</p>
	<p><b>Distancia a red eléctrica</b></p>	<p>El diseño y planificación de parques eólicos tiene en cuenta la proximidad de las turbinas al punto de la red eléctrica y la ubicación de las centrales eléctricas. Al dividir las turbinas eólicas se deben tener en cuenta la eficiencia energética y el impacto medioambiental. Para conseguir un rendimiento óptimo y minimizar el efecto sombra (Cátedra Endesa Red), se recomienda mantener separados los diámetros de rotor de 2 aerogeneradores en la misma fila y 8 diámetros entre filas. Por otro lado, la distancia al punto de la red eléctrica debe ajustarse por eficiencia y costo energético (ABB) de acuerdo tanto con la capacidad de la red como con los costos de instalación. Además, deberá colaborar con las empresas eléctricas para determinar la ubicación más adecuada para el punto de red y cumplir con la</p>

		normativa local (Declaraciones de Impacto Ambiental)
	<b>Topografía y terreno</b>	La implementación exitosa de energías renovables se ve profundamente influenciada por la comprensión detallada de la topografía y las particularidades del terreno. Estos aspectos desempeñan un papel crucial en la identificación de ubicaciones óptimas y en el diseño eficiente de infraestructuras (Sánchez, 2012). En el caso de la energía eólica, el conocimiento de la topografía ayuda a ubicar áreas con vientos consistentes, ideales para la instalación de turbinas. Asimismo, en la energía solar, permite identificar zonas con alta radiación solar para la instalación de paneles fotovoltaicos (Sánchez, 2012; UPME, 2015)

Tabla 3 Revisión de literatura de criterios

Fuente: Elaboración Propia

**Criterio Ambiental:** No son contaminantes, reducen el uso de combustibles fósiles y de emisiones de efecto invernadero que provocan el calentamiento global (Ruiz et al., 2019; TELLEZ, 2020).

Se sugiere varias medidas de contingencia para reducir el impacto ambiental, seleccionando las alternativas más amigables con el medio ambiente. Con el objetivo de garantizar el cumplimiento de estrictos estándares de calidad y contribuir al cuidado del medio ambiente, se establecen los siguientes subcriterios:

- Impacto en la fauna
- Gas de efecto invernadero

**Criterio Social:** Se debe considerar una distancia adecuada entre el parque eólico y las áreas habitadas para minimizar posibles impactos en la salud y el bienestar de las comunidades locales. (Hoyos et al., 2020), las alternativas seleccionadas son:

- Impacto visual
- Empleabilidad

**Criterio Económico:** Su principal objetivo es estudiar la rentabilidad de implementar cada una de las alternativas, las cuales son:

- Costo de inversión
- Costo de operación
- Ingresos

**Criterio Técnico:** Los criterios técnicos ayudan a analizar e identificar diferentes alternativas para llevar a cabo las implementaciones verificando la fiabilidad técnica de cada una.

Esto hace referencia a los aspectos generales, características y descripciones que permiten analizar los beneficios y las limitaciones que se puedan presentar, los cuales son:

- Velocidad del viento
- Distancia de red eléctrica
- Topografía y terreno

A partir de la selección de las alternativas propuestas y los criterios y subcriterios a evaluar se construye la jerarquía presente en la figura 6.

## 9. Priorización las alternativas previamente definidas mediante el uso de una herramienta de decisión multicriterio.

La metodología aplicada en este proyecto es el proceso analítico jerárquico o más conocida como metodología AHP (Analytic Hierarchy Process). Esta técnica fue desarrollada por Thomas Saaty para la toma de decisiones multicriterio. Se utiliza para resolver problemas complejos al descomponerlos en una jerarquía de criterios y alternativas, permitiendo la toma de decisiones y evaluar la importancia relativa de estos factores de manera sistemática. A continuación, en la figura 6 se presenta la estructura jerárquica que evidencia la evaluación de 4 alternativas para la selección de la ubicación óptima de un parque eólico en una ciudad del centro del Valle del Cauca: Parque el Vergel, Parque la Merced, Parque Polideportivo y las afueras del Municipio de Buga. Algunos criterios cuentan con 2 o 3 subcriterios, sumando un total de 10 subcriterios distribuidos en 4 criterios.

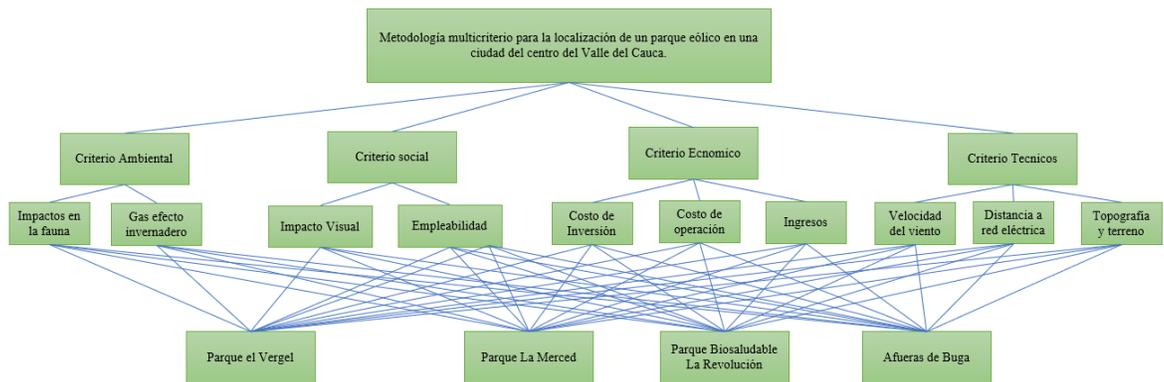


Figura 6 Estructura jerárquica AHP

Fuente: Elaboración Propia

Al aplicar la metodología AHP para determinar la ubicación ideal de un parque eólico, se analizan diversos factores clave, tales como la velocidad del

viento, el impacto ambiental, los costos de implementación, así como la disponibilidad de infraestructura, entre otros aspectos relevantes. La velocidad del viento es esencial para la eficiencia de generación de energía, mientras que el análisis del impacto ambiental garantiza la sostenibilidad del proyecto. Los costos de implementación y la existencia de infraestructura influyen en la viabilidad y la rentabilidad a largo plazo del parque eólico. La metodología AHP ofrece una estructura analítica sólida para valorar estos factores de manera ponderada, facilitando la selección de la ubicación más idónea para maximizar la eficacia y la sostenibilidad del proyecto eólico a través de la escala de Saaty (figura 7) que basado en la cuantificación de criterios y la comparación por pares, permite a expertos generar escalas de prioridades para la toma de decisiones complejas que involucran múltiples factores.

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Figura 7 Escala de Saaty

Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/saaty/>

### 9.1. Selección de expertos

Con el objetivo de identificar la mejor ubicación para la instalación de un parque eólico en una ciudad centro del Valle del Cauca, se conformó una selección de 4

expertos en el campo de investigación. Esta selección, se conforma con el fin de evaluar criterios como, la disponibilidad de recurso eólico, la viabilidad técnica, el impacto ambiental, social y los costos de implementación; utilizando la metodología multicriterio AHP (Analytic Hierarchy Process). La información recabada en la encuesta será fundamental para tomar una decisión sobre la ubicación del parque eólico, asegurando su sostenibilidad y beneficios para la región. A continuación, se presenta el perfil de los expertos consultados.

- **María Fernanda Hurtado Camacho:** Profesional en Ingeniería Ambiental y Sanitario- Ms Sostenibilidad -Auditor integral en sistemas de gestión (Calidad, medio ambiente y seguridad y salud en el trabajo) bajo las normas ISO 9001:2015, 14001:2015,45000:2018. CEO y Cofunder de E-Colombia Soluciones Integrales S.A.S. empresa de soluciones de sostenibilidad corporativas en el sector privado y público. Profesional con más de 10 años de experiencia en liderazgo en términos de sostenibilidad en varios sectores productivos, impulsando las estrategias de sostenibilidad con resultados tangibles y sobresalientes para las compañías.
- **Gloria Mabel Martínez Álvarez:** Ingeniera y Magíster en Ingeniería Agroindustrial con experiencia de 12 años en el sector agroindustrial de las semillas, auditor Interno BPM-HACCP e ISO 22000:2018 Sistemas de Gestión de Seguridad Alimentaria. Actualmente se desempeña en educación con diez años de experiencia laboral como docente universitaria a nivel de pregrado y posgrado. Asesora en proyectos de investigación, realización de

eventos académicos y de investigación, con competencias para la capacitación a nivel empresarial e investigación en las áreas propias de la ingeniería, y la construcción de registros calificados en programas de ingeniería a nivel de pregrado.

- **Lilian Yanet Franco García:** Ingeniera ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, máster internacional en energías renovables, instituto internacional de formación ambiental, España, Magíster en educación, Universidad del Cauca, Popayán, Docente UNIMINUTO desde 2017-1
- **José Daniel Ballén Briceño:** Ingeniero mecánico y Magíster en administración de empresas – MBA, con experiencia de 15 años en el sector industrial como ingeniero de proyectos de maquinaria y desarrollador de negocios de ahorro energético, Docente de Ingeniería desde el 2016, Docente de Ciencias Térmicas. Autor con registro de tres softwares de uso industrial. Fundador de Ancla Support SAS empresa de mejoramiento industrial con base en el software KM2S, líder del grupo de investigación GICIDET categoría C Min ciencias.

## 9.2. Resultados de la matriz consolidada

Una vez se obtiene las evaluaciones por parte de los expertos se procede a consolidar todas las valoraciones en un solo conjunto de matrices, empleando la media geométrica ya que con esta medida se garantiza la propiedad recíproca que debe estar presentes en las matrices utilizadas para la valoración de los juicios. En la tabla tal se presenta cada uno de los pesos obtenidos para cada criterio y subcriterios, junto con la afinidad de cada alternativa respecto a cada subcriterio.

CRITERIO	PESO POR CRITERIO	SUB- CRITERIO	PESO SUB - CRITERIO	ALTERNATIVAS			
				PARQUE VERGEL	PARQUE LA MERCED	PARQUE POLIDEPORTIVO	AFUERAS DE BUGA
AMBIENTAL	54%	Impacto en la fauna	43%	20%	23%	25%	32%
	54%	Gas efecto invernadero	57%	20%	24%	23%	34%
SOCIAL	23%	Impacto visual	41%	19%	23%	24%	34%
	23%	Empleabilidad	59%	19%	22%	24%	35%
ECONOMICO	13%	Costo de inversión	26%	21%	26%	25%	28%
	13%	Costo de operación	36%	20%	25%	25%	30%
	13%	Ingresos	37%	21%	26%	25%	28%
TECNICO	10%	Velocidad del viento	28%	17%	23%	24%	35%
	10%	Distancia de red eléctrica	33%	19%	24%	26%	31%
	10%	Topografía y Terreno	39%	17%	23%	25%	35%
<b>TOTAL</b>				<b>19,5%</b>	<b>23,6%</b>	<b>24,1%</b>	<b>32,9%</b>

Tabla 4 Consolidación de pesos obtenidos para cada valoración

Fuente: Elaboración Propia

Con base en los datos consolidados de valoración presentados en la tabla 4, se puede inferir que la alternativa más viable son las afueras de Buga, seguida por el Parque Polideportivo, el Parque la Merced y, en último lugar, el Parque Vergel.

### 9.3. Alternativa seleccionada

Luego de una minuciosa evaluación de las alternativas de localización, los expertos identificaron las siguientes opciones como las ubicaciones más viables.

ALTERNATIVAS	PORCENTAJES
AFUERAS DE BUGA	32,9%
PARQUE POLIDEPORTIVO	24,1%
PARQUE LA MERCED	23,6%
PARQUE VERGEL	19,5%

Tabla 5 Alternativas Seleccionadas

Fuente: Elaboración Propia

En conclusión, tras un análisis exhaustivo de las alternativas de ubicación para el parque eólico en la ciudad de Guadalajara de Buga, los expertos han concluido que las afueras de Buga se presentan como la opción más viable, considerando una evaluación integral de los criterios ambientales, sociales, económicos y técnicos.

Esta localización ofrece condiciones excepcionales de flujo de viento, garantizando una alta generación de energía renovable y contribuyendo a la reducción de los gases de efecto invernadero de la ciudad, además, está situado en un área de gran afluencia de público, el parque eólico se convertirá en un símbolo visible de la transición hacia energías sostenibles, fomentando la conciencia social sobre los beneficios de las energías renovables.

Si bien, las afueras de Buga se posicionan como la principal opción de las alternativas presentadas, también hay otras alternativas como los son el Parque Polideportivo, destaca por sus condiciones ambientales adecuadas y la posibilidad de integrarse armoniosamente con el entorno natural. Parque La Merced brinda la oportunidad de integrar la educación ambiental en las actividades del parque, fomentando el aprendizaje y la conciencia sobre las energías renovables.

## **9. Trabajos Futuros**

El Valle del Cauca, con su topografía variada y condiciones climáticas favorables, presenta un potencial excepcional para la generación de energía renovable a partir de fuentes eólicas y solares. La combinación estratégica de estas dos fuentes en parques híbridos eólico-solares no solo maximiza la producción de energía, sino que también ofrece una serie de ventajas tanto técnicas como ambientales y sociales.

En primer lugar, la complementariedad entre la energía eólica y solar es clave. Mientras que la energía eólica tiende a ser más robusta durante la noche y los meses de invierno, la energía solar alcanza su punto máximo durante el día y los meses de verano. Esta sincronización natural permite una producción constante de energía a lo largo del año, minimizando los momentos de baja producción y garantizando un suministro eléctrico más estable (FIIAP, 2019).

Las áreas con mayor potencial eólico incluyen municipios como Candelaria, Pradera, Florida, El Dovio, Buga, Palmira y Cali, donde las velocidades del viento son adecuadas para la instalación de turbinas eólicas. Por otro lado, municipios como Cali, Palmira, Candelaria, Jamundí, Yumbo, Cartago y Buga se destacan por recibir una alta radiación solar, lo que los convierte en lugares ideales para la generación de energía fotovoltaica. Esta diversidad geográfica dentro del Valle del Cauca ofrece oportunidades para la implementación de parques híbridos en diversas ubicaciones, aprovechando al máximo los recursos naturales disponibles.

Además de su contribución a la producción sostenible de energía, los parques eólico-solares también ofrecen beneficios ambientales significativos al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de combustibles fósiles. La diversificación de la matriz energética resultante no solo mejora la resiliencia del sistema eléctrico regional, sino que también impulsa la economía local al fomentar la innovación y crear empleos en el sector de energías renovables. Sin embargo, la implementación exitosa de estos proyectos requiere un enfoque integral que considere varios aspectos. Es fundamental llevar a cabo estudios detallados del recurso eólico y solar en cada sitio potencial, así como realizar análisis técnicos y económicos exhaustivos para evaluar la viabilidad de los proyectos a largo plazo. Además, se deben abordar cuidadosamente los impactos ambientales y sociales, incluida la protección de la biodiversidad local y el involucramiento de las comunidades en el proceso de planificación y desarrollo (Jiménez Realpe et al., 2011).

En términos de regulación, es crucial cumplir con el marco legal y normativo establecido por las autoridades colombianas para el desarrollo de proyectos de energía renovable. Esto garantiza la seguridad jurídica de las inversiones y promueve un crecimiento ordenado y sostenible del sector energético en la región. Además de algunas regulaciones legales y normativas, encontramos algunos impactos que traen estas nuevas tecnologías. Uno de los impactos más importantes que trae la incursión de estas es el efecto que podrían tener en la sociedad. En el

aspecto social, se pueden mencionar beneficios como: creación de empleos regionales; acceso a un mejor nivel de vida en áreas remotas, a través de electricidad o de contar con estufas y calentadores solares o a partir de biogás; una mejor salud debido a una menor contaminación (ITPE, 2020).

Si bien la implementación de energías renovables presenta un panorama alentador, también existen desafíos que deben abordarse para garantizar su desarrollo sostenible como lo son la falta de cultura de transición y aprovechamiento, la creación de modelos para promover la inversión, y la falta de estructuras de financiamiento, legales e institucionales que promuevan proyectos de energía renovable. La percepción de la sociedad sobre los proyectos de energía renovable no siempre es positiva; principalmente las comunidades se rehúsan a prestar sus tierras ya sea por falta de información o por contaminación de ruido que esta produzca, por el impacto visual que esta generaría a la comunidad, al medio ambiente e impacto sobre la fauna (Hernández & León, 2014).

Para manejar estas complejidades y mejorar la toma de decisiones en proyectos de energías renovables, es esencial utilizar sistemas avanzados de ayuda a la decisión (SAD) que integren la lógica difusa, introducida por Lofti Zadeh en 1965. La lógica difusa permite manejar criterios cualitativos y gestionar la incertidumbre, ofreciendo un enfoque gradual en lugar de absoluto en la toma de decisiones. Futuras investigaciones deberían centrarse en el desarrollo de sistemas híbridos de ayuda

a la decisión, combinando las fortalezas de métodos clásicos y la lógica difusa para crear herramientas de evaluación robustas. Estos SAD serían particularmente útiles en el Valle del Cauca, donde el potencial eólico y solar varía en los diferentes municipios mencionados.

Un ejemplo de aplicación de estos SAD podría ser el desarrollo de un sistema para el ranking de proyectos de energía renovable en el Valle del Cauca, evaluando y priorizando proyectos con criterios cualitativos y cuantitativos de manera eficiente. Las futuras investigaciones podrían centrarse en el desarrollo de algoritmos híbridos que combinen la lógica difusa con otros métodos de inteligencia artificial, la aplicación de SAD en estudios de caso específicos, la evaluación del impacto social y económico de los parques híbridos eólico-solares, y el desarrollo de sistemas de optimización en tiempo real (García Cascales, 2009).

## **10. Limitaciones del trabajo**

Ante un clima que cambia rápidamente y una demanda de energía en constante aumento, el mundo está dirigiendo su atención a las fuentes de energía renovables como una solución sostenible. Entre estas fuentes, la energía eólica destaca como una alternativa prometedora y viable a los combustibles fósiles convencionales (Wright, 2023). Este documento profundiza en las complejidades de la energía eólica, explorando su potencial, sus limitaciones y los desafíos que se avecinan en su adopción generalizada.

La energía eólica, es el aprovechamiento de la energía cinética del viento para generar electricidad (EKIDOM, 2023). Esta fuente de energía renovable ha ganado un importante impulso en los últimos años debido a su abundancia, su respeto al medio ambiente y su capacidad para reducir la dependencia de combustibles fósiles finitos (Staffell et al., 2019). La energía eólica ofrece multitud de beneficios que la convierten en una opción atractiva para un futuro sostenible, algunos de esos beneficios son, Sostenibilidad ambiental, Abundancia y accesibilidad, Reducción de la dependencia de los combustibles, Beneficios económicos, Avances tecnológicos.

El potencial mundial de la energía eólica es inmenso y las estimaciones sugieren que puede satisfacer varias veces la demanda energética actual del mundo (Wright, 2023). Los factores que influyen en el potencial de la energía eólica incluyen: la velocidad del viento, Disponibilidad de terreno, Infraestructura de red, etc.

A pesar de sus numerosas ventajas, la energía eólica también enfrenta algunas limitaciones que es necesario abordar como los son, la variabilidad del recurso

eólico, requisitos para el uso de la tierra, Impactos ambientales, Impactos sociales y el Costo inicial del proyecto.

En conclusión, la energía eólica es inmensamente prometedora como componente clave de un futuro energético sostenible. Con avances tecnológicos continuos, marcos de políticas eficaces y una mayor participación pública, la energía eólica tiene el potencial de desempeñar un papel fundamental en la satisfacción de nuestras necesidades energéticas y al mismo tiempo salvaguardar el medio ambiente para las generaciones venideras (Wright, 2023).

## 12. Referencias

- Bernal, Q., & Melissa, L. (2017). Beneficios obtenidos y potenciales por el desarrollo del proyecto del parque eólico Jepirachi ubicado en el departamento de la Guajira, Colombia. Universidad Militar Nueva Granada.
- Cárcamo, H. F., & Giannakopoulos, A. (2011). The impact of wind turbines on bird flight behaviour: A review. *Ibis*, 153(4), 633-644.
- Chaparro, M. F. O. (2017). IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR ÓPTIMO DE INSTALACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLANTICO.  
[https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3224/Obando\\_Maria\\_2017.pdf?sequence=1](https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3224/Obando_Maria_2017.pdf?sequence=1)
- Comunicaciones. (2023, 2 de noviembre). ¿Qué es y cómo funciona la calefacción solar? Del espacio a tus radiadores . BBVA. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-y-como-funciona-la-calefaccion-solar-del-espacio-a-tus-radiadores/>
- De Lucas, M., Janss, G. F. E., Whitfield, D. P., & Ferrer, M. (2012). Collision fatality of raptors with wind turbines: A review of and statistical analysis of the literature. *Bird Conservation International*, 22(1), 59-72.
- Escobar, J. A. (2016). Estimacion Georeferenciada Del Potencial Eólico En Sector De Pavitas (La Cumbre- Valle Del Cauca). 96.
- García Cascales , M. (2009). Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y “Soft Computing”. Cartagena: Departamento

de Electrónica, Tecnología de computadoras y proyecto, Universidad Politécnica de Cartagena

Germán, V. H. (2012). Optimización del Diseño de la Cimentación para un Aerogenerador de Gran Altura. 113. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17202/OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN PARA UN AEROGENERADOR.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17202/OPTIMIZACIÓN_DEL_DISEÑO_DE_LA_CIMENTACIÓN_PARA_UN_AEROGENERADOR.pdf)

Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>

GUTIÉRREZ, J. J. S. (2016). DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN COLOMBIA.

Hernández Galvez, G.; Pampillón González, L. & Hernández Almenares, L. (2018). Impactos ambientales de la energía eólica. Kuxulkab, 24(50). <http://www.revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/2851>

Hernandez, S. J., & Leon, G. (2014). Energía eólica en el istmo de Tehuantepec desarrollo, actores y oposición social. Problemas Del Desarrollo, 45(178), 139–162. [https://doi.org/10.1016/S0301-7036\(14\)70879-X](https://doi.org/10.1016/S0301-7036(14)70879-X)

Hoyos, B. G. G., Vélez Macías, F. D. J., & Morales Quintero, D. E. (2020). Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en La Guajira (Colombia). Ambiente y Desarrollo, 23(44). <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd23-44.eets>

Jimenez Realpe, A., Diazgranados, J., & Acevedo Morantes, M. T. (2011). GENERACIÓN

ELÉCTRICA Y EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA EÓLICA EN REGIONES DE COLOMBIA. 116–122.

López, Y. (2011). Análisis de recurso solar y eólico en Colombia: caso Valle del Cauca. *El Hombre y La Máquina*, 34(37), 34–42.  
[http://ingenieria.uao.edu.co/hombreymaquina/revistas/37\\_2011-2/37\\_Articulo\\_05.pdf](http://ingenieria.uao.edu.co/hombreymaquina/revistas/37_2011-2/37_Articulo_05.pdf)

Martínez Mendoza, E., Rivas Tovar, L. A., & Vera Martínez, P. S. (2019). The wind energy between Mexico and Spain. *Perfiles Latinoamericanos*, 27(53), 1–21.  
<https://doi.org/10.18504/pl2753-002-2019>

Ongpeng, J. M. C., Dungca, J. R., Aviso, K. B., & Tan, R. R. (2019). Minimizing the carbon footprint of urban reconstruction projects. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118222.  
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118222>

Organización de las Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL. In *Publicación de las Naciones Unidas*.  
[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf)

Portafolio. (s/f). Energía eólica, la que requiere mayor inversión. *Portafolio.co*. Recuperado el 23 de febrero de 2024, de <https://www.portafolio.co/negocios/inversion/energia-eolica-la-que-requiere-mayor-inversion-570179>

Posso, F., Acevedo, J., & Hernández, J. (2014). El impacto económico de las energías renovables. *Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 2(2), 22–26.  
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2007/04/the-economic-impact-of-renewable-energy-48201>

- ROA, A. F. (2011). Método Para Localización Óptima De Centrales De Energías Renovables. 131. [http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-fernandez\\_ar/pdfAmont/cf-fernandez\\_ar.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-fernandez_ar/pdfAmont/cf-fernandez_ar.pdf)
- Rodriguez, J. M. L., & García, J. L. N. (2019). EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA VÍA AL MAR CALI-BUENAVENTURA.
- Ruiz, N., Ledezma, R., Tatiana, A., & González, M. (2019). LOCALIZACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN COLOMBIA.
- Sánchez, J. L. (2012). Combinación De Sistemas De Información Geográfica (Sig) Y Soft Computing.
- Staffell, I., Scamman, D., Velazquez Abad, A., Balcombe, P., Dodds, P. E., Ekins, P., Shah, N., & Ward, K. R. (2019). The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy and Environmental Science*, 12(2), 463–491. <https://doi.org/10.1039/c8ee01157e>
- TELLEZ, L. G. (2020). IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS PARQUES EÓLICOS Y LÍNEAS DE TRASMISIÓN DE ENERGÍA SOBRE LA BIODIVERSIDAD DE ÁREAS PROTEGIDAS DEL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA-COLOMBIA LIDIA GARAVITO TELLEZ.
- UPME. (2014). PROYECCIÓN DE PRECIOS DE LOS ENERGÉTICOS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA.
- UPME. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. In Unidad de Planeación Mineroenergética UPME, Ministerio de Minas y Energía.

<http://www1.upme.gov.co/sgic/>

Wright, V. P. (2023). World Energy Outlook. 23–28.