

LOCALIZACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN COLOMBIA

**NATALIA ANDREA RUIZ LEDEZMA
ANGIE TATIANA MILLÁN GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ZARZAL
2019**

LOCALIZACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN COLOMBIA

**NATALIA ANDREA RUIZ LEDEZMA
ANGIE TATIANA MILLÁN GONZÁLEZ**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Industrial

Director

FRANCISCO JAVIER ALVAREZ

Codirector

JULIAN GONZÁLEZ VELASCO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ZARZAL
2019**

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 1	7
1.1 PROBLEMA	7
1.1.1 Antecedentes.....	7
1.1.2 Planteamiento.	7
1.1.3 Formulación del problema.	8
1.2 OBJETIVOS	8
1.2.1 Objetivo general.....	8
1.2.2 Objetivos específicos.....	8
1.3 JUSTIFICACIÓN	9
1.4 MARCO DE ANTECEDENTES	10
1.5 MARCO TEÓRICO.....	12
CAPÍTULO 2	24
2.1 DIAGNÓSTICO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES A NIVEL MUNDIAL 24	
2.2 DIAGNÓSTICO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA.....	25
2.3 CONCLUSIONES.....	27
CAPÍTULO 3	27
3.1 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE CRITERIOS PARA LA MACRO- LOCALIZACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN COLOMBIA.....	28
3.2 Asignación de criterios a categorías.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3 CONFORMACION DEL GRUPO DE EXPERTOS	31
3.2.1 Preparación del trabajo con expertos: formatos para llenar matrices ...	36
3.4 RESULTADO CONSOLIDADO DE LA PRIORIZACION DE CRITERIOS	40
3.5 CONCLUSIONES.....	41
CAPÍTULO 4	42
4.1 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVA SEGÚN CRITERIO	42
4.2 PREPARACIÓN DEL TRABAJO CON EXPERTOS: Formatos para llenar matrices	47
4.3 PRIORIZACIÓN GENERAL DE ALTERNATIVAS POR CADA CRITERIO 49	

4.4 CONCLUSIONES.....	51
CONCLUSIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	54

Lista de tablas

Tabla 1. Emisiones de CO2	9
Tabla 2. Escala de preferencias.....	13
Tabla 3. Agrupación de criterios	17
Tabla 4. Índice aleatorio para el cálculo del cociente de consistencia	18
Tabla 5. Consistencia de juicios.....	19
Tabla 6. Consistencia de juicios - Criterio C1	19
Tabla 7. Consistencia de Juicios - Criterio C2	20
Tabla 8. Consistencia de juicios - Criterio C3	21
Tabla 9. Consistencia de juicios - Criterio C4	21
Tabla 10. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C5	22
Tabla 11. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C6	22
Tabla 12. Priorización de proyectos según criterios de beneficios.....	22
Tabla 13. Vector prioridad de criterios	23
Tabla 14. Vector prioridad de proyectos - Beneficios.....	23
Tabla 15. Prioridad de proyectos	23
Tabla 16. Indicadores de proyecto.....	24
Tabla 17. Velocidad de viento promedio en Colombia	27
Tabla 18. Ciudades aptas para la evaluación	27
Tabla 19. Descripción de criterios de beneficios.....	29
Tabla 20. Descripción criterios de oportunidad	29
Tabla 21. Descripción criterios de costos	30
Tabla 22. Descripción criterios de riesgos	31
Tabla 23. Matriz Comparación	37
Tabla 24. Matriz normalizada.....	38
Tabla 25. Tabla vector prioridad	39
Tabla 26. Coeficiente de consistencia	39
Tabla 27. Resultado Coeficiente de consistencia para cada criterio	39
Tabla 28. Resultado de priorización de criterios	40
Tabla 29. Cumplimiento de Ley 1715	44
Tabla 30. Cumplimiento de Conexión al Sistema Interconectado.....	45
Tabla 31. Cumplimiento de Puertos Marítimos	46
Tabla 32. Cumplimiento de Aves migratorias.....	46
Tabla 33. Matriz Comparación	48
Tabla 34. Matriz Normalizada	48
Tabla 35. Vector prioridad.....	49

Tabla 36. Tabla Consistencia.....	49
Tabla 37. Vector de prioridad de alternativas según cada criterio	49
Tabla 38. Vector de prioridad de criterios	50
Tabla 39. Prioridad de proyectos	50
Tabla 40. Indicador de proyectos.....	51

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema Jerárquico AHP	13
Figura 2. Relación entre ANP y AHP.....	14
Figura 3. Red de ANP	15
Figura 4. Ejemplo de asignación de criterios a categorías	15
Figura 5. Estrategia metodología general.....	16
Figura 6. Matriz de comparación y Matriz Normalizada	17
Figura 7. Matriz de comparación y Matriz Normalizada - Criterio C1	19
Figura 8. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C2.....	20
Figura 9. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C3.....	20
Figura 10. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C4.....	21
Figura 11. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C5.....	21
Figura 12. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C6.....	22
Figura 13. Emisiones globales de CO2. medido en Gigatoneladas.....	24
Figura 14. Capacidad de generación eléctrica del SIN a diciembre de 2014	26
Figura 15. Parque eólico Jepirachi, Colombia	26
Figura 16. Asignación de criterios a categorías.....	28
Figura 17. Encuesta: Criterios para la localización de un parque en Colombia....	36
Figura 18. Escala Saaty	37
Figura 19. Niveles de vías de acceso.....	44
Figura 20. Niveles de vías de acceso.....	45
Figura 21. Encuesta: Alternativas para la localización de un parque en Colombia	47
Figura 22. Escala Saaty	48
Figura 23. Resultados de consolidado de Categoría de Criterios de Beneficio. ...	55
Figura 24. Resultados de consolidado de Categoría de Criterios de Oportunidad.	55
Figura 25. Resultados de consolidado de Categoría de Criterios de Costo.	56
Figura 26. Resultados de consolidado de Categoría de Criterios de Riesgo	57
Figura 27. Resultados de consolidado de Alternativas según Criterios Beneficio.	57
Figura 28. Resultados de consolidado de Alternativas según Criterios de Oportunidad.....	58
Figura 29. Resultados de consolidado de Alternativas según Criterios de Costo.	59
Figura 30. Resultados de consolidado de Alternativas según Criterios de Riesgo.	60

INTRODUCCIÓN

Este trabajo aborda el problema de localización de un parque eólico en Colombia, autores como (Sanchez, 2012) y (Roa, 2011), enfatizan en la importancia de estudios que agrupen criterios de diferentes aspectos, ya que el recurso viento no es la variable fundamental para la elección del emplazamiento.

En el primer capítulo se hace una contextualización de energías renovables en el país y se abordan los antecedentes la situación problema, en los proyectos de localización de parques eólicos y se exponen las herramientas, técnicas y métodos que se utilizan para el desarrollo y solución del problema de localización.

Seguidamente, en el segundo capítulo se realiza un diagnóstico de la situación actual con el fin de determinar los sitios con mayor potencial aprovechable del recurso viento de Colombia, se procede a realizar un diagnóstico de las energías renovables en el mundo y de Colombia enfatizado en la energía Eólica.

Posteriormente, se realiza la categorización y priorización de los criterios que determinan la decisión para la localización de centrales eólicas, a través de la herramienta AHP con categorización de criterios, conformando así, la matriz BOCR.

Finalmente, se realiza la priorización de 4 alternativas para la localización de centrales eólicas en la región caribe, teniendo en cuenta los macro criterios establecidos en el capítulo anterior.

CAPÍTULO 1

En este primer capítulo se aborda los antecedentes del problema, en los proyectos de localización de parques eólicos en Colombia.

Finalmente se exponen las herramientas, técnicas y métodos que se utilizan para en el desarrollo y solución del problema de localización.

1.1 PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes. Colombia es un país rico en combustibles fósiles y recursos renovables. Actualmente, la explotación y producción energética del país está constituida en un 93% de recursos primarios de origen fósil, 4% hidroeléctricos y un 3% de biomasa. (Upme, 2015)

De estos recursos, se exporta un 69%, en forma de carbón mineral y petróleo, es decir que el país utiliza un 31% de los cuales un 78% corresponde a recursos fósiles y el 22% a recursos renovables para autoabastecimiento, cuyos niveles de producción actuales indican reservas suficientes para cerca de 170 años en el caso de carbón, 7 años para el petróleo y 15 años para el gas natural (UPME, 2014)

En vista de dicha consideración, vale la pena tener en cuenta que el uso de los energéticos mencionados (petróleo y gas natural) se encuentra principalmente concentrado en el sector de industria para la generación de calor útil y el sector transporte, seguidos del uso del gas natural para la generación de energía eléctrica. (UPME, 2014)

Dada la baja participación energética del carbón mineral en la canasta doméstica y la alta participación de combustibles líquidos derivados del petróleo y del gas natural, se hace necesario el desarrollo de fuentes alternativas locales de energía, que puedan sustituir parcialmente el uso de energías convencionales en el transcurso de las próximas décadas, a fin de evitar la dependencia en la importación de estas a largo plazo. (UPME, 2014)

Actualmente, la matriz eléctrica del país produce aproximadamente un 17% de la energía final consumida en el país, cuenta con la amplia participación de la energía hidroeléctrica como recurso renovable, que representa entre el 70% y 80% de la generación, según variaciones en la hidrología anual. (UPME, 2014)

Teniendo en cuenta que las fuentes convencionales son abundantes pero finitas, se hace necesario que el país entre en una transición hacia el uso complementario de recursos energéticos de carácter renovable, que a su vez contribuyan a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la mitigación del cambio climático que viene experimentando el planeta. (UPME, 2014)

1.1.2 Planteamiento. El aprovechamiento mundial de la energía eléctrica es aproximadamente de 81% de fuentes fósiles, mientras que el 19% restante proviene

de fuentes renovables, lo que hace notoria la dependencia del petróleo, el carbón y el gas natural. Los países de acuerdo a sus características económicas, políticas y geográficas han decidido iniciar esta transición hacia el uso de recursos energéticos de carácter renovable, que contribuyan con la minimización de emisiones de gases de efecto invernadero y cambio climático que está produciendo el planeta. Los países pioneros en el desarrollo de instalaciones de estas tecnologías son: China, Alemania, España, y Estados Unidos. (UPME, 2014)

En la actualidad, Colombia cuenta con emisiones de carbono en baja magnitud en comparación con los países mencionados anteriormente, sin embargo, la nación depende de recursos hidroeléctricos, que con el transcurrir del tiempo han sido afectados por las sequías produciendo un aumento de los precios de consumo, como fue evidenciado en la crisis energética generada por el fenómeno de El Niño en los años 1992 y 1993 o los registrados en 2009, 2010, 2013 y 2014 (UPME, 2014)

Las energías renovables como lo son la hidráulica, eólica, solar, geotérmica y de biomasa, poseen un mayor costo de instalación que las energías convencionales, debido a su baja participación y las dificultades técnicas de instalación que aún existen, sin embargo, se espera una disminución en los costos de estas tecnologías, siendo el caso eólico el más destacado y competitivo. (Roa, 2011)

1.1.3 Formulación del problema.

¿Cuál es la mejor localización de un parque eólico en Colombia considerando beneficios, costos, oportunidades y riesgos?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general.

Definir la mejor macro-localización de un parque eólico en Colombia considerando beneficios, costos, oportunidades y riesgos, de tal forma que contribuya al proceso de toma de decisiones en la implementación de proyectos de energía eólica en Colombia.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Realizar un diagnóstico de la situación actual con el fin de determinar los sitios con mayor potencial aprovechable del recurso viento en Colombia.
- Categorizar los criterios que determinan la decisión para la localización de centrales eólicas.
- Priorizar las alternativas de localización de un parque eólico en Colombia

1.3 JUSTIFICACIÓN

La demanda de energía eléctrica en Colombia ha tenido un aumento en los últimos tiempos y se espera que dicha demanda energética aumente en los próximos años como consecuencia del crecimiento demográfico y el desarrollo económico del país. (Chaparro, 2017)

Las fuentes renovables de energía para diversas regiones de América Latina y el Caribe (ALC), han sido objeto de estudio por varios especialistas en la materia, quienes han afirmado, que la energía fotovoltaica y eólica, tienen una alta posibilidad de convertirse en propuestas muy factibles para su utilización en Colombia. (UPME, 2014)

Como nicho de oportunidad, la energía eólica le aportaría beneficios al país, los cuales justifican el esfuerzo y costos requeridos. Por un lado, vale la pena considerar el valor asociado al uso del recurso eólico de La Guajira (valor que hoy en día no es significativamente aprovechado), el cual, por ejemplo: está en capacidad de sustituir parte del gas natural que se utiliza actualmente para la generación de energía eléctrica. Por otra parte, este mismo beneficio puede ser entendido como la reducción de plantas de generación de alto costo (operación y mantenimiento) como las plantas térmicas que operan con gas y líquidos en la región Caribe, con costos elevados que están sujetos a la volatilidad del mercado internacional. (UPME, 2014)

Otro beneficio ligado al anterior, consiste en la reducción en los costos asociados a la operación, no solo por despachar energía más barata, sino por aumentar la capacidad de generación en la región Caribe que depende en buena parte de la originada en el centro del país. Igualmente, la complementariedad de la fuente eólica con la fuente hídrica, representa un beneficio para las grandes hidroeléctricas del país, las cuales se han venido valorando en los últimos 10 años. (UPME, 2014)

Igualmente, un beneficio ambiental medido en términos de ahorros en emisiones de efecto invernadero, como lo plantean valores establecidos por análisis de ciclo de vida, que indican factores de emisiones de las energías como:

Tabla 1. Emisiones de CO₂

TIPO	EMISIÓN
Eólico	15 kg CO ₂ eq/MWh

Gas Natural	450 Kg CO ₂ eq/MWh
Combustibles líquidos	850 Kg CO ₂ eq/MWh
Carbón	1000 Kg CO ₂ eq/MWh

Fuente: (Upme, 2015)

La generación de energía eólica trae ventajas como: reducción de costos en términos de kWh generado, diversificación y complementariedad a la canasta eléctrica nacional, mitigación de los riesgos de racionamiento enfrentados ante los fenómenos de escasez del recurso hídrico, que son fuente de la cual el país depende en un 75% en promedio en términos de generación, y que representa un 70% de la capacidad instalada del SIN. Por estos motivos, al contar con un escenario de oportunidades y a la vez retos importantes para su aprovechamiento en esta región, se considera el caso del desarrollo de proyectos eólicos de mediana y gran escala, empezando por La Guajira, como un nicho de oportunidad clave para que el Gobierno centre esfuerzos para obtener beneficios no solo ambientales y económicos sino sociales, que procuren el bienestar de las comunidades que habitan en la región gracias a la actividad laboral y económica que el desarrollo y operación de estos proyectos puede originar (UPME, 2014)

Con base en lo anterior, este proyecto tiene como finalidad definir la mejor localización de un parque eólico en Colombia considerando beneficios, costos, oportunidades y riesgos, de tal forma que contribuya al proceso de toma de decisiones en la implementación de proyectos de energía eólica en Colombia.

1.4 MARCO DE ANTECEDENTES

Las primeras apariciones de la energía eólica según (Diaz, 2010) se dieron en el año 3500 a.C, cuando los sumerios armaron las primeras embarcaciones de vela, después los griegos construyeron máquinas que funcionaban con el viento, contribuyendo así a facilitar las actividades del ser humano.

Autores como (Vadot, 1957) y (Needlham., 1965) narran el uso de los molinos de viento hasta los tiempos de Hammurabi, quien aparentemente utilizaba estos equipos para irrigar los Jardines de Babilonia. La primera evidencia escrita del uso de molinos de viento aparece en el siglo X, cuando se narra la muerte de un califa a manos de un campesino, a quien se le exigía pagar más impuestos debido a su capacidad de moler cantidades importantes de grano utilizando molinos de viento de eje vertical. Esta historia ocurre en el Valle de Beluchistán, en lo que hoy es Irán, y su frontera con Afganistán. Ya hacia el siglo XII, se sabe de la utilización de grandes equipos eólicos para el drenaje de agua en Holanda, al igual que su uso extensivo en otros países europeos. Hacia principios del siglo XX, la utilización de

la energía eólica se ve disminuida con el uso del petróleo y es solo hasta la década de los ochenta cuando se inician importantes desarrollos tecnológicos y prototipos experimentales de equipos eólicos para generación eléctrica. Se debe anotar que el primer equipo eólico utilizado para generación eléctrica fue desarrollado por el Profesor LaCour en Dinamarca, hacia finales del siglo XIX.

El desarrollo más reciente de la energía eólica desde 1980 ha crecido de la mano de modernos desarrollos en electrónica, sistemas de información y comunicación, de nuevos materiales, mejores herramientas computacionales de diseño, entre otros. Es por esto que las soluciones eólicas actuales de suministro de energía eléctrica comerciales ofrecen sistemas con alta confiabilidad y disponibilidad, buena calidad de suministro de energía, predicción precisa del comportamiento del viento con varios días de anticipación para facilitar ventas en bolsas de energía, entre otros desarrollos.

Con el fin de ayudar a la toma de decisiones, el autor (Sendra j., 1995) que con técnicas de evaluación multi-criterio pueden ayudar a diferenciar entre los lugares candidatos, empleando como datos en entrada dos valoraciones de ellos obtenidos con los dos métodos mencionados. El procedimiento que estos plantean proporciona una amplia gama de resultados y ordenaciones cuantitativas de los distintos puntos del espacio, en cuanto a su capacidad para recibir una instalación.

El recurso viento en la energía eólica recobra un valor muy significativo por tanto se hace necesario el estudio del mismo, autores como (Msc. Lic Jorge Proenza Valasquez, 2006) nos habla de la importancia de la caracterización de este importante recurso, además que como se evidencia en el trabajo denominado: "Solar and wind potential assessment in central campus of Universidad Industrial de Santander and Bucaramanga City, Colombia" que con base en el estudio de los registros meteorológicos de la ciudad de Bucaramanga, es posible concluir que el recurso eólico disponible es escaso con una velocidad promedio de 1,5 m/s (a 50 m de altura) y por tanto no tiene el potencial energético adecuado para el desarrollo de la generación a gran o pequeña escala, principalmente porque la mayoría de los aerogeneradores comerciales se caracterizan por una velocidad de arranque mayor a 2 m/s.

Investigaciones como las siguientes hacen notoria el avance y la necesidad de estudiar con profundidad la localización de este tipo de instalaciones teniendo resultados positivos: (Roa, 2011), logra constituir una metodología a nivel de anteproyecto para la selección, y posterior comparación, de sitios para el emplazamiento de centrales eólicas y fotovoltaicas conectadas a sistemas eléctricos de potencia, en este caso implementada para el Sistema Interconectado del Norte Grande, adicionalmente, la tesis doctoral de (Sanchez, 2012), que tiene como objetivo utilizar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como base de datos y la Soft Computing como herramienta de cálculo con la finalidad de optimizar la ubicación o emplazamientos para implantar instalaciones de energías renovables (concretamente energía eólica, solar fotovoltaica y solar termoeléctrica) en la costa de la Región de Murcia.

Para la elección de emplazamientos el autor (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012), realiza una guía metodológica para la priorización de proyectos, la cual contiene los fundamentos teóricos/prácticos que permiten priorizar proyectos de infraestructura, logística y conectividad, basados en un conjunto de técnicas de decisión, probadas ampliamente en el contexto científico internacional. El principal objetivo de la metodología es, por lo tanto, ordenar los proyectos de acuerdo con su impacto, basándose en una serie de criterios clave. La metodología utilizada corresponde a técnicas multi-criterio, específicamente el Analytic Hierarchy Process (AHP), modificado para tener en cuenta la categorización de criterios en Beneficio (B), Oportunidad (O), Costo (C) y Riesgo (R), el cual se conoce como Analytic Network Process (ANP).

En la actualidad, la energía eólica es la tecnología de generación de electricidad de mayor crecimiento a nivel mundial. Los 10 países con mayores instalaciones nuevas son: Estados Unidos con 5200 MW nuevos, España con 3500 MW, China con 3300 MW, Alemania con 1600 MW, Francia con 888 MW, Italia con 603 MW, Reino Unido con 426 MW, Portugal 414 MW y Canadá con 380 MW, otros 20 países aportaron cerca de 1700 MW de nuevas instalaciones (Koeneman, 2008)

1.5 MARCO TEÓRICO

En esta sección del Capítulo 1 se describió los principios y herramientas utilizados para la comprensión y solución del problema propuesto de localización de un parque eólico en Colombia teniendo en cuenta beneficios, costos, oportunidades y riesgos. Inicialmente se habla del proceso Analítico Jerárquico, conocido como AHP (Analytic Hierarchy Process) que según la literatura se evalúan los proyectos con la relación Beneficio/costo. Seguidamente el Proceso Analítico en Red, llamada ANP (Analytic Network Process) y finalmente se mostrará el método AHP con criterios categorizados, técnica que finalmente fue la que se empleó (asociada a la técnica ANP o Analytic Network Process).

- AHP (Analytic hierarchy process).

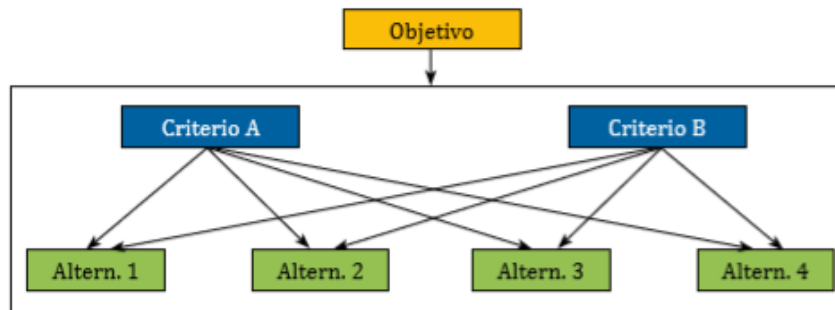
El proceso de análisis Jerárquico, desarrollado por Thomas L. Saaty (Analytic Hierarchy Process, 1980) está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples. El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que después especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado del AHP es una jerarquización de prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión.

La técnica AHP requiere de tres insumos principales, ver ilustración en la figura 1:

- Una lista de alternativas que se desean comparar, priorizar u ordenar.

- Un conjunto de criterios, cualitativos (por ejemplo: pertinencia estratégica, aceptación de las comunidades, etc.) y/o cuantitativos con los cuales se busca valorar o medir cada una de las alternativas.
- Un objetivo que refleje claramente el propósito y el alcance de la priorización.

Figura 1. Esquema Jerárquico AHP



Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Es un método de selección de alternativas (estrategias, inversiones, etc.) en función de una serie de criterios o variables, las cuales suelen estar en conflicto. Las tres principales características del método AHP son las siguientes:

- El problema de decisión se modeliza mediante una jerarquía en cuyo vértice superior está el principal objetivo del problema, y en la base se encuentran las posibles alternativas a evaluar. En los niveles intermedios se representan los criterios en base a los cuales se toma la decisión.
- Se realizan comparaciones entre pares de elementos en cada nivel de la jerarquía, en función de la importancia de cada uno al elemento del nivel superior.
- Proporciona la contribución global de cada alternativa al objetivo principal o meta mediante una agregación de tipo aditivo.
- Los criterios de decisión han de ser independientes entre sí de forma que no puede existir relaciones de interdependencia entre los criterios en el modelo jerárquico

Las comparaciones pareadas son bases fundamentales del AHP, se utiliza una escala subyacente con valores de 1 a 9 para calificar las preferencias relativas.

Tabla 2. Escala de preferencias

PLANTEAMIENTO VERBAL DE PREFERENCIA	CALIFICACION NUMERICA
El criterio A es Igual de importante que el criterio B	1

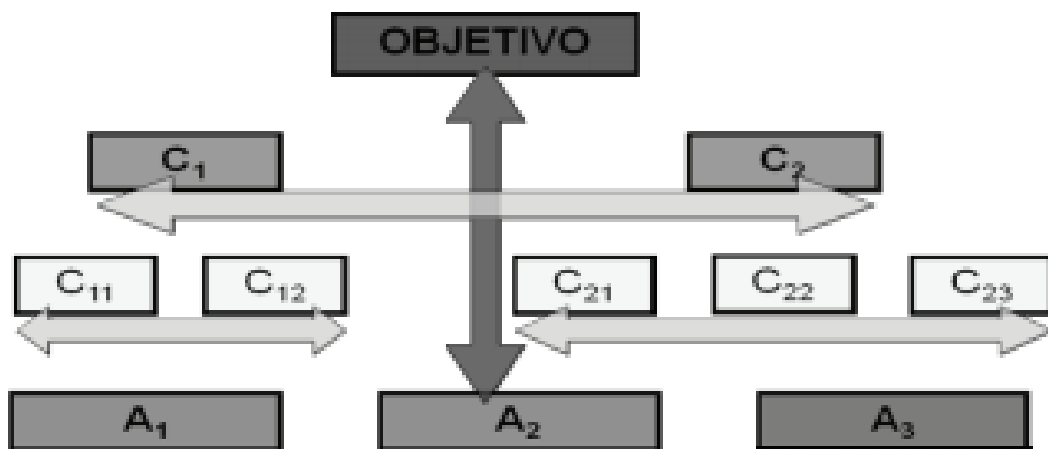
El criterio A es ligeramente más importante que el criterio B	3
El criterio B es ligeramente más importante que el criterio A	1/3
El criterio A es mucho más importante que el criterio B	5
El criterio B es mucho más importante que el criterio A	1/5
El criterio A es fuertemente más importante que el criterio B	7
El criterio B es fuertemente más importante que el criterio A	1/7
El criterio A es extremadamente más importante que el criterio B	9
El criterio B es extremadamente más importante que el criterio A	1/9

Fuente: Elaboración propia

ANP (Analytic Network Process). El ANP, también llamado de Proceso Analítico en Red, a diferencia de AHP, es que permite incluir relaciones de interdependencia y realimentación entre elementos del sistema.

Una representación gráfica de lo dicho se tiene en la figura 2, donde en el esquema jerárquico las relaciones de abajo arriba y de arriba abajo son las que considera AHP, mientras que ANP tiene en cuenta esas relaciones más también las que aparecen de derecha a izquierda y viceversa dentro de cada jerarquía.

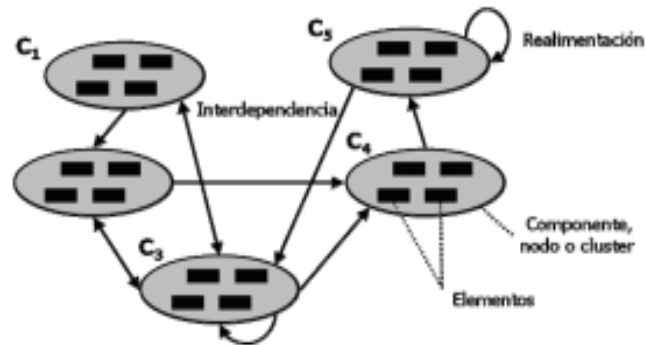
Figura 2. Relación entre ANP y AHP



Fuente: (Aznar Bellver & Guijarro Martinez, 2012)

Por ello la representación de ANP a diferencia de AHP ya no se realiza mediante el clásico sistema jerárquico, sino mediante una red. Figura 3.

Figura 3. Red de ANP



Fuente: (Aznar Bellver & Guijarro Martinez, 2012)

La red de ANP está formada por componentes, nodos o clusters y cada uno de ellos comprende una serie de elementos; Las relaciones entre componentes, nodos o clusters se llama interdependencias y las relaciones entre elementos dentro de un nodo, realimentación.

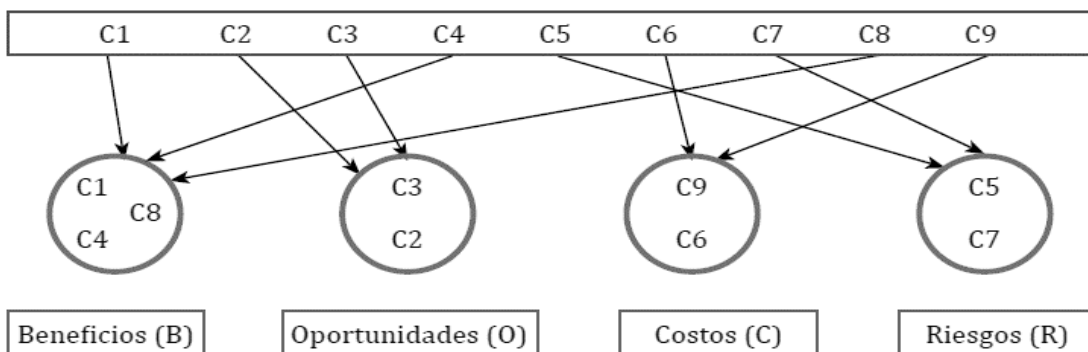
- AHP CON CATEGORIZACION DE CRITERIOS.

Asuma que en cierto problema de decisión se tienen 9 criterios, desde el C1 hasta el C9. Los criterios pueden agruparse en cuatro categorías, a saber: criterios de Beneficios, de Oportunidades, de Costos y de Riesgos. Cada criterio puede pertenecer sólo a una de las categorías, y en la figura 4 se muestra un ejemplo de esta asignación.

Figura 4. Ejemplo de asignación de criterios a categorías

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

En la explicación de los grupos de criterios BOCR, de acuerdo con Saaty y Vargas

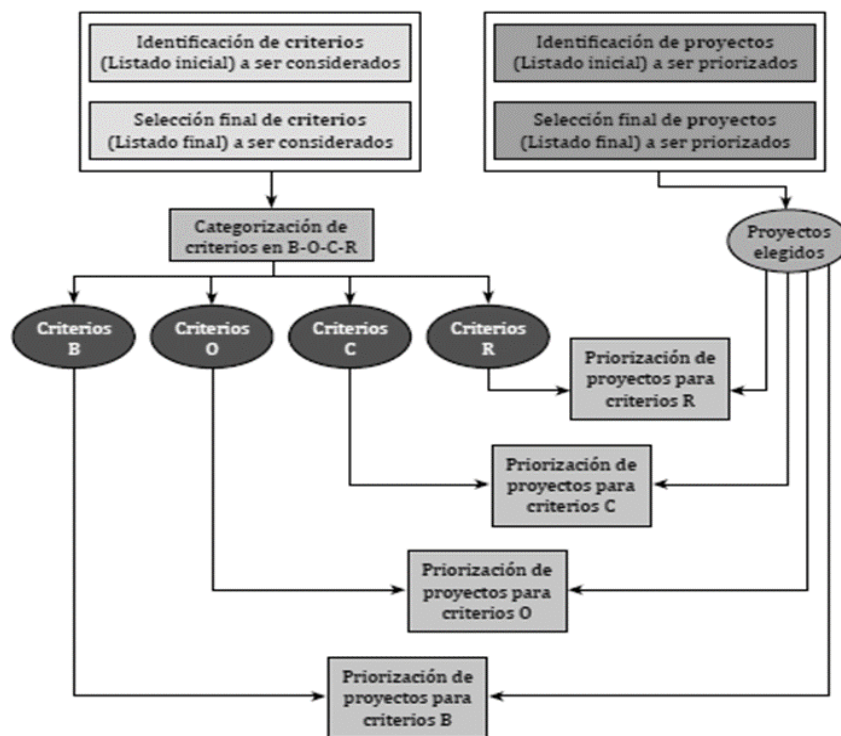


(2006), cualquier decisión tiene aspectos (criterios) favorables y desfavorables que considerar. Algunos de estos aspectos tienen certeza de que aparezcan y pueden

medirse con mayor facilidad, mientras que otros son más inciertos y tienen que ver más con lo que ocurrirá en el largo plazo. Los aspectos favorables que ocurrirán con certeza son llamados Beneficios (B), mientras que los no favorables son denominados Costos (C). Respecto a los aspectos cuya ocurrencia se asocia a incertidumbre, se tienen las Oportunidades (O) que la decisión podría crear, y los Riesgos (R) que podrían ocurrir. En la figura 10 se esquematiza la metodología de priorización de proyectos, considerando la categorización de criterios según B-O-C-R.

Figura 5. Estrategia metodología general

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)



- Guía práctica del método AHP con criterios categorizados

En esta sección se mostrará el método AHP con criterios categorizados, técnica que finalmente fue la que se empleó (asociada a la técnica conocida como ANP o Analytic Network Process).

Considere tres proyectos hipotéticos P1, P2 y P3 seis criterios de valoración de dichos proyectos C1, C2, C3, C4, C5 y C6. Suponga que:

- a. El criterio C1 pretende medir el Costo social de cada proyecto.
- b. El criterio C2 pretende cuantificar los Riesgos ambientales de los proyectos.

c. Los criterios C3, C4 y C5 buscan medir Beneficios en cuanto a integración de corredores, movilidad y generación de empleo, respectivamente.

d. El criterio C6 busca cuantificar Oportunidades de los proyectos, en cuanto a expectativas de inversión privada.

PASO 1. Agrupación de criterios según sean de Costos, Riesgos, Beneficios u Oportunidades. (tabla 3)

Tabla 3. Agrupación de criterios

C1	Costo
C2	Riesgo
C3, C4 y C5	Beneficio
C6	Oportunidad

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

PASO 2. Para cada una de las agrupaciones anteriores, realizar una comparación pareada (por pares) de criterios, siempre y cuando existan por lo menos dos criterios para comparar. Esta comparación se hace según el procedimiento AHP. Se obtiene finalmente, para cada grupo, un vector de prioridad de criterios.

Observando las agrupaciones del paso 1, los Beneficios corresponden al único grupo sobre el cual se puede hacer una comparación pareada de criterios con el procedimiento de comparación sugerido por el AHP. Suponga resultados mostrados en la figura 6, donde la Matriz Comparación resulto de un consenso entre expertos. (Los Cálculos se han realizado con máxima precisión posible y por ello se pueden diferir de los obtenidos con cifras significativas que se muestran).

Figura 6. Matriz de comparación y Matriz Normalizada

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Matriz de Comparación				Matriz Normalizada				Vector de prioridad	
	C3	C4	C5		C3	C4	C5		
C3	1	3	1/5	C3	3/19	3/11	7/47	0.19	C3
C4	1/3	1	1/7	C4	1/19	1/11	5/47	0.09	C4
C5	5	7	1	C5	15/19	7/11	35/47	0.72	C5

- Ejemplo de cómo hallar la Consistencia del indicador:

$$C.C. = \frac{\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}}{IA}$$

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Donde:

C.C es el cociente de consistencia

λ_{max} . Es el máximo valor propio de la matriz de comparación, el cual se calculará a continuación.

n. Es el número de elementos a comparar (3 elementos)

IA. Es el índice aleatorio, el cual tiene un valor asociado a cada valor de “n”.

- El λ_{max} se calcula multiplicando cada elemento del vector de prioridad por su correspondiente suma de columna en la matriz de comparación y sumando los términos.

$$\lambda_{max} = [0.77 \times 1.22] + [0.06 \times 15] + [0.17 \times 10] = 3.59$$

Tabla 4. Índice aleatorio para el cálculo del cociente de consistencia

Número de elementos a comparar	Índice aleatorio (IA)
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

El C.C se calcula así:

$$C.C = \frac{\frac{(3.59-3)}{3-1}}{0.58} = 0.52$$

Dado que el coeficiente de consistencia es menor a 0,1 y mayor que 0, que es el rango exigido por la literatura científica para la determinación de la consistencia, entonces se concluye que la matriz analizada es consistente.

Consistencia de juicios subjetivos en la Matriz de Comparación (tabla 5).

Tabla 5. Consistencia de juicios

λ (máximo valor propio) =	3.11
n (número de elementos comparados)=	3
CI ($(\lambda-n/n-1)$) =	0.05573
IA (índice aleatorio estándar, según "n") =	0.58
Radio de Consistencia (CI/IA) =	9.61%

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Dado que el valor obtenido es menor que el 10%, entonces se puede confiar en los juicios subjetivos realizados y, por lo tanto, en el vector de prioridad finalmente obtenido.

PASO 3. Teniendo en cuenta cada grupo de criterios identificados en el Paso 1, se realiza una comparación pareada entre proyectos, para cada uno de los criterios del grupo (figura 7 - 12)

Costo: Criterio C1

Figura 7. Matriz de comparación y Matriz Normalizada - Criterio C1

Matriz de Comparación				Matriz Normalizada				Vector de prioridad	
	P1	P2	P3		P1	P2	P3		
P1	1	7	4	P1	28/39	7/11	3/4	0.70	P1
P2	1/7	1	1/3	P2	4/39	1/11	1/16	0.09	P2
P3	1/4	3	1	P3	7/39	3/11	3/16	0.21	P3

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Consistencia de juicios subjetivos en la Matriz de comparación (tabla 6)

Tabla 6. Consistencia de juicios - Criterio C1

λ (máximo valor propio) =	3.05
n (número de elementos comparados)=	3
CI ($(\lambda-n/n-1)$) =	0.0264
IA (índice aleatorio estándar, según "n") =	0.58
Radio de Consistencia (CI/IA) =	4.56%

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Riesgo: Criterio C2

Figura 8. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C2

Matriz de Comparación				Matriz Normalizada				Vector de prioridad	
	P1	P2	P3		P1	P2	P3		
P1	1	1/6	1/2	P1	1/9	1/10	1/7	0.12	P1
P2	6	1	2	P2	2/3	3/5	4/7	0.61	P2
P3	2	1/2	1	P3	2/9	3/10	2/7	0.27	P3

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Consistencia de juicios subjetivos en la matriz de Comparación (Tabla 7)

Tabla 7. Consistencia de Juicios - Criterio C2

λ (máximo valor propio) =	3.03
n (número de elementos comparados)=	3
CI ($(\lambda - n/n - 1)$) =	0.0128
IA (índice aleatorio estándar, según "n") =	0.58
Radio de Consistencia (CI/IA) =	2.21%

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Advertencia: dado que se trata de Riesgos para la construcción de la anterior Matriz de Comparación hay que tener en cuenta que, por ejemplo, el "6" en la matriz mostrada implica que el proyecto P2 es "mucho más riesgoso" que el proyecto P1. Esto también debe tenerse en cuenta en el caso de costos.

Beneficio: Criterio C3

Figura 9. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C3

Matriz de Comparación				Matriz Normalizada				Vector de prioridad	
	P1	P2	P3		P1	P2	P3		
P1	1	5	4	P1	20/29	5/7	2/3	0.69	P1
P2	1/5	1	1	P2	4/29	1/7	1/6	0.15	P2
P3	1/4	1	1	P3	5/29	1/7	1/6	0.16	P3

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Consistencia de juicios en la Matriz de Comparación (Tabla 8)

Tabla 8. Consistencia de juicios - Criterio C3

λ (máximo valor propio) =	3.01
n (número de elementos comparados)=	3
CI ($(\lambda-n/n-1)$) =	0.0044
IA (índice aleatorio estándar, según "n") =	0.58
Radio de Consistencia (CI/IA) =	0.75%

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Beneficio: Criterio C4

Figura 10. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C4

Matriz de Comparación				Matriz Normalizada				Vector de prioridad	
	P1	P2	P3		P1	P2	P3		
P1	1	1/2	2	P1	2/7	1/4	2/5	0.31	P1
P2	2	1	2	P2	4/7	1/2	2/5	0.49	P2
P3	1/2	1/2	1	P3	1/7	1/4	1/5	0.20	P3

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Consistencia de juicios subjetivos en la Matriz de Comparación (tabla 9)

Tabla 9. Consistencia de juicios - Criterio C4

λ (máximo valor propio) =	3.06
n (número de elementos comparados)=	3
CI ($(\lambda-n/n-1)$) =	0.0304
IA (índice aleatorio estándar, según "n") =	0.58
Radio de Consistencia (CI/IA) =	5.23%

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Beneficio: Criterio C5

Figura 11. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C5

Matriz de Comparación				Matriz Normalizada				Vector de prioridad	
	P1	P2	P3		P1	P2	P3		
P1	1	1/3	1/7	P1	1/11	1/16	4/39	0.09	P1
P2	3	1	1/4	P2	3/11	3/16	7/39	0.21	P2
P3	7	4	1	P3	7/11	3/4	28/39	0.70	P3

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Consistencia de juicios subjetivos en la Matriz de Comparación (tabla 10)

Tabla 10. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C5

λ (máximo valor propio) =	3.05
n (número de elementos comparados)=	3
CI ($(\lambda-n/n-1)$) =	0.0264
IA (índice aleatorio estándar, según "n") =	0.58
Radio de Consistencia (CI/IA) =	4.56%

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Oportunidad: Criterio 6

Figura 12. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C6

Matriz de Comparación				Matriz Normalizada				Vector de prioridad	
	P1	P2	P3		P1	P2	P3		
P1	1	1/3	1/2	P1	1/6	1/5	1/9	0.16	P1
P2	3	1	3	P2	1/2	3/5	2/3	0.59	P2
P3	2	1/3	1	P3	1/3	1/5	2/9	0.25	P3

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Consistencia de juicios subjetivos en la Matriz de Comparación (tabla 11)

Tabla 11. Matriz de Comparación y Matriz Normalizada - Criterio C6

λ (máximo valor propio) =	3.07
n (número de elementos comparados)=	3
CI ($(\lambda-n/n-1)$) =	0.0352
IA (índice aleatorio estándar, según "n") =	0.58
Radio de Consistencia (CI/IA) =	6.07%

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

PASO 4. Para los grupos de criterios conformados por "más de 1 criterio", como es el caso de los Beneficios, se realiza la priorización global de proyectos para el grupo.

En el Paso 3 se puede obtener la matriz mostrada en la tabla 12.

Tabla 12. Priorización de proyectos según criterios de beneficios

	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
P1	0.69	0.31	0.09
P2	0.15	0.49	0.21
P3	0.16	0.20	0.70

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Y por el Paso 2 se había obtenido el vector mostrado en la tabla 13.

Tabla 13. Vector prioridad de criterios

	Vector de prioridad de criterios
Criterio 3	0.19
Criterio 4	0.09
Criterio 5	0.72

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Multiplicando la matriz de la tabla 12 por el vector de la tabla 13, se obtiene la priorización de proyectos para el grupo Beneficios (tabla 14).

Tabla 14. Vector prioridad de proyectos - Beneficios

	Vector de prioridad de proyectos según criterios de "Beneficios"
P1	0.22
P2	0.22
P3	0.56

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Lo anterior indica que en cuanto a Beneficios, el proyecto P3 es más prioritario, y que los proyectos P1 y P2 son igualmente prioritarios.

Paso 5. Registro de prioridades según indicador BO/CR. Considerando los resultados de los pasos 3 y 4 se obtiene la matriz de la tabla 15.

Tabla 15. Prioridad de proyectos

	Prioridad de proyectos según B-O-C-R			
	Beneficios	Oportunidad	Costos	Riesgos
P1	0.22	0.16	0.70	0.12
P2	0.22	0.59	0.09	0.61
P3	0.55	0.25	0.21	0.27

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Partiendo de la tabla 15, se puede calcular el indicador $(B \times O) / (C \times R)$ para cada proyecto (tabla 16).

Tabla 16. Indicadores de proyecto

Indicador BO/CR por proyecto	
0.42	P1
2.36	P2
2.43	P3

Fuente: (Carlos Julio Vidal Holgin, 2012)

Según el indicador BO/CR, el proyecto P3 tiene la mayor prioridad, seguido del proyecto P2 y por último del P1.

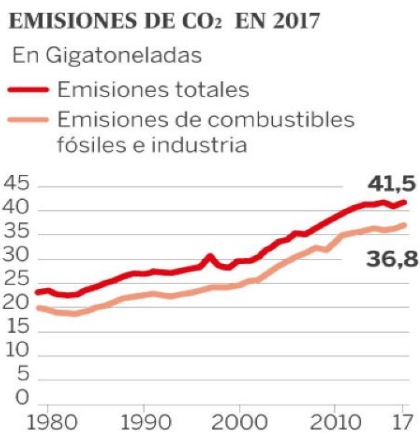
CAPÍTULO 2

Para dar cumplimiento al objetivo de Investigación sobre la situación actual con el fin de determinar los sitios con mayor potencial aprovechable del recurso viento de Colombia, se procede a realizar un diagnóstico de las energías renovables en el mundo, seguidamente de Colombia enfatizado en la energía Eólica. Finalmente se muestran los sitios específicos con mejor potencial de viento.

2.1 DIAGNÓSTICO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES A NIVEL MUNDIAL

Actualmente existe una gran preocupación en diferentes países del mundo debido al cambio climático. Una de sus principales causas son las acciones del hombre que afectan negativamente el medio ambiente como por ejemplo la explotación de fuentes fósiles (carbón, petróleo y gas natural), que han generado un aumento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera en los últimos años.

Figura 13. Emisiones globales de CO₂. medido en Gigatoneladas



Fuente: (Planelles, 2017)

Una de las actividades que emiten mayores cantidades de CO₂ es la generación de energía eléctrica a partir de fuentes fósiles que a su vez son materiales no

renovables, es decir que una vez se agoten, las centrales productoras deberán buscar otras fuentes para su obtención.

El modelo energético actual constituye una opción confiable por su amplia trayectoria, sin embargo, su aplicación está estrechamente relacionada con altos costos de producción e incremento de los residuos generados en dicha actividad. Por tanto, parece razonable realizar un esfuerzo en estudiar y evaluar posibles alternativas energéticas que mengüen los aspectos negativos de las tecnologías actuales. (Panwar, 2011)

Por ello en los últimos años se ha impulsado el desarrollo e implantación de instalaciones de energías renovables como lo son la hidráulica, eólica, solar, geotérmica y de biomasa. Uno de los puntos a considerar a la hora de implantar este tipo de infraestructuras es la ubicación de la misma, puesto que, la inversión necesaria para cualquier instalación de esta índole es de tal magnitud que, un mínimo error de planificación puede ocasionar graves perjuicios tanto económicos como medioambientales que incluso pueden llegar a ocasionar el cierre de la actividad. (Sanchez, 2012)

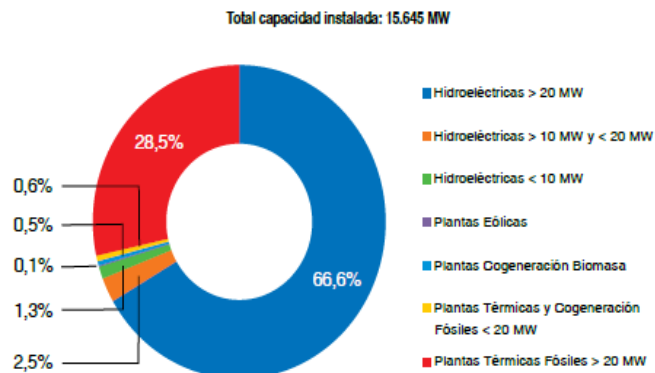
Teniendo en cuenta lo anterior, dentro de las alternativas de energías renovables, la eólica presenta menores costos de inversión y mantenimiento, frente a las otras (Roa, 2011). Además de brindar un aprovechamiento del recurso suelo, el cual ayuda a crear actividades combinadas como lo es el cultivo de cereales, que permitan el beneficio de la sociedad localizada en el área cercana a las instalaciones.

De esta manera, a la hora de pensar en instalaciones, se deben tener en cuenta los distintos criterios que influyen en el proceso de toma de decisión para su ubicación, como, por ejemplo: aspectos económicos, sociales, operaciones y ambientales.

2.2 DIAGNÓSTICO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA

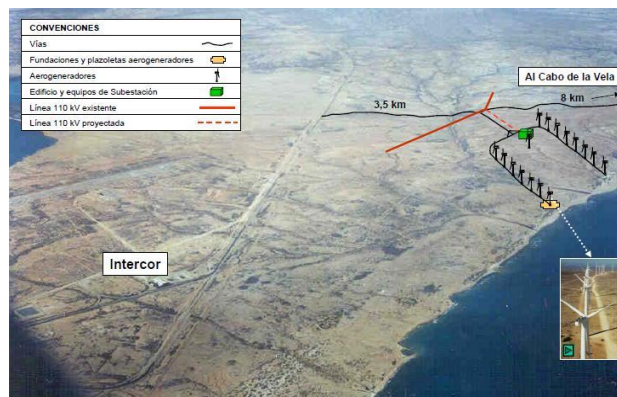
Actualmente Colombia tiene una participación de 0,1% en energía eólica (figura 14), esto no quiere decir que no haya material aprovechable, ya que, al estar ubicado en la línea ecuatorial, se define como un país que cuenta con mayores radiaciones solares, lo que es fundamental para la creación de vientos alisios que pueden convertirse en energía útil. Hoy en día el país tiene el parque eólico Jepírachi, en la Guajira (figura 15), cuyo proyecto está a cargo de la empresa EPM de Medellín. (UPME, 2014)

Figura 14. Capacidad de generación eléctrica del SIN a diciembre de 2014



Fuente: (Upme, 2015)

Figura 15. Parque eólico Jepirachi, Colombia



Fuente: (Empresas publicas de Medellin , 2008)

Según la literatura, la velocidad media de viento apta para la instalación de un parque eólico tiene que ser mayor a 6m/s (Mendoza, 2013). Por esta razón, en Colombia existen aproximadamente 7 sitios monitoreados por el IDEAM ilustrados en el atlas de viento de Colombia, que presentan niveles de velocidad del viento que se pueden utilizar para preseleccionar proyectos de factibilidad relacionados con el desarrollo de parques eólicos (IDEAM, s.f.). Pero, teniendo en cuenta que la construcción de parques eólicos y fotovoltaicos requiere el traslado de toda la infraestructura en camiones de alto tonelaje desde el puerto más cercano hasta el emplazamiento o ciudad y se requieren sitios de emplazamiento cercanos a caminos existentes que sirvan como vías de acceso (Vías de primer orden), considerando el alto costo que tiene la construcción de éstas, (Sanchez, 2012) solo se tendrán en cuenta 4 sitios para la evaluación.

Tabla 17. Velocidad de viento promedio en Colombia

ATLAS INTERACTIVO (50M ALTURA)				
N	CIUDAD	DEPARTAMENTO	VELOCIDAD PROMEDIO	ESTADO
1	SANTA MARTA	MAGDALENA	14 A 15	CUMPLE CON LA CONDICIÓN MÍNIMA DE VELOCIDAD PROMEDIO DE VIENTO
2	BARRANQUILLA	ATLANTICO	14 A 15	
3	CARTAGENA	BOLIVAR	11 A 12	
4	SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA	SAN ANDRÉS	10 A 11	
5	RIOACHA	LA GUAJIRA	9 A 10	
6	VALLEDUPAR	CESAR	9 A 10	NO CUMPLE CON LA CONDICIÓN MÍNIMA DE VELOCIDAD PROMEDIO DE VIENTO
7	SINCELEJO	SUCRE	6 A 7	
8	MONTERIA	CÓRDOBA	4 A 5	
9	BUCARAMANGA	SANTANDER	4 A 5	
10	MEDELLÍN	ANTIOQUIA	4 A 5	
11	QUIBDÓ	CHOCÓ	4 A 5	
12	TUNJA	BOYACÁ	4 A 5	
13	MANIZALES	CALDAS	4 A 5	
14	IBAGUÉ	TOLIMA	4 A 5	
15	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	4 A 5	
16	NEIVA	HUILA	4 A 5	
17	CALI	VALLE DEL CAUCA	4 A 5	
18	POPAYÁN	CAUCA	4 A 5	
19	PASTO	NARIÑO	4 A 5	
20	VILLAVICENCIO	META	4 A 5	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Ciudades aptas para la evaluación

ATLAS INTERACTIVO (50M ALTURA)			
CIUDAD	DEPARTAMENTO	VELOCIDAD PROMEDIO	ESTADO
SANTA MARTA	MAGDALENA	14 A 15	CUMPLE CON LA CONDICIÓN MÍNIMA DE VELOCIDAD PROMEDIO DE VIENTO
BARRANQUILLA	ATLANTICO	14 A 15	
CARTAGENA	BOLIVAR	11 A 12	
RIOACHA	LA GUAJIRA	9 A 10	

Fuente: Elaboración propia

2.3 CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que la velocidad mínima la para la instalación de un parque eólico tiene que ser mayor a 6m/s (Moraleta 2013). Se llega al resultado de que Santa Marta y Barranquilla con una velocidad de viento promedio de 14 a 15 m/s, Cartagena con una velocidad de viento promedio de 11 a 12 m/s y Riohacha con una velocidad de viento de 9 a 10 m/s son las ciudades aptas para la evolución para la localización de un parque eólico en Colombia.

CAPÍTULO 3

En este capítulo se aborda lo que concierne a la categorización y priorización de los criterios que determinan la decisión para la localización de centrales eólicas, a través de la herramienta AHP con categorización de criterios debido a que inicialmente se tenía un amplio abanico de criterios y alternativas los cuales no se

encontraban organizados ni clasificados en la literatura. Esta herramienta permite dar un orden de prioridad a proyectos que tiene muchas alternativas y criterios a considerar.

3.1 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE CRITERIOS PARA LA MACRO-LOCALIZACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN COLOMBIA.

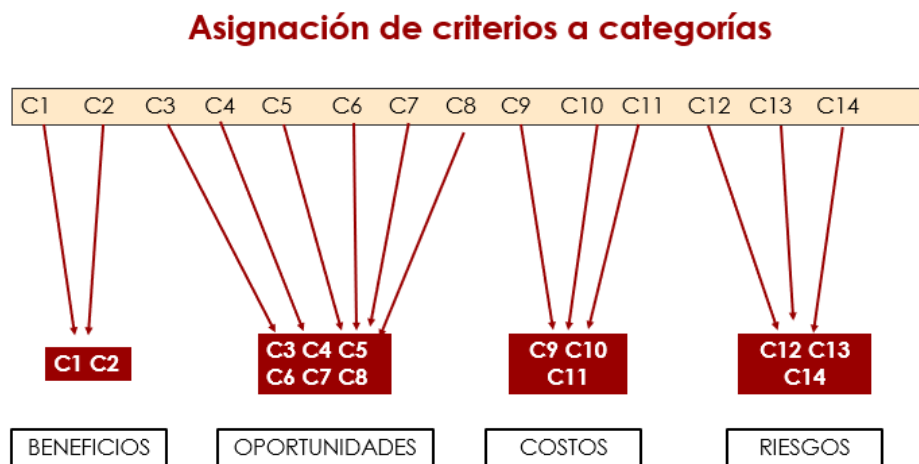
Para la identificación y selección de los criterios se revisaron cerca de 50 documentos entre artículos científicos, tesis doctoral, trabajos de grado sobre energías renovables, especialmente de energía eólica.

Cabe resaltar que los aspectos para la identificación y selección de los criterios son de nivel Macro, ya que no solo se tiene el recurso viento como prioridad de elección para la localización de emplazamientos eólicos, sino que además se tienen en cuenta otros criterios para la elección del mismo.

3.2 ASIGNACION DE CRITERIOS A CATEGORIAS

En la primera etapa del procesamiento de la información se caracterizaron los criterios en Beneficios, Oportunidades, Costos y Riesgos, el cual permitió consolidar el número de criterios en 14 (Figura 16) se da una descripción de los subcriterios en cada categoría (Tabla 19 – 22).

Figura 16. Asignación de criterios a categorías



Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Descripción de criterios de beneficios

Criterio particular	Descripción
Criterio1: Impacto en la complementariedad energética al sistema interconectado de energía nacional (SIN)	Grado de complementariedad energética del parque eólico con las fuentes hídricas y térmicas. (Upme, 2015), (Cortes, 2013)
Criterio 2: Impacto en la reducción de gases de efecto invernadero	La energía eólica es una energía limpia por que la generación de electricidad a partir del viento no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero, ni a la lluvia ácida. Cada kwh de electricidad, generada por energía eólica en lugar de carbón, evita la emisión de un kilogramo de dióxido de carbono CO2 a la atmósfera. (Roa, 2011) (Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climatico, 2011)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Descripción criterios de oportunidad

Criterio 3: Impacto en la generación de atractivo turístico	Si a futuro se potencializan las ventajas que brinda un parque eólico como atractivo turístico y tecnológico, se pueden obtener ingresos adicionales para la empresa, para el municipio y las comunidades locales. (Bernal, 2017)
Criterio 4: Velocidad anual media del viento	Colombia, por su posición en la franja tropical, con gran variabilidad en la estructura física de sus cordilleras y por su localización frente al mar Caribe y al océano Pacífico, adquiere una condición privilegiada en recursos renovables de energía como la asociada con el viento que entre mayor sea su velocidad, mejor será su aprovechamiento. (Roa, 2011) (Sanchez, 2012) (Mendoza, 2013) (Msc. Lic Jorge Proenza Valasquez, 2006)
Criterio 5: Condiciones aptas del terreno (Orografía)	Condiciones aptas del terreno (Orografía): Los estudios orográficos son importantes en el planeamiento de diversas obras de infraestructura. A la hora de extender las vías o trazar una nueva carretera, resulta indispensable conocer las características del terreno para adaptarse a las subidas, pendientes, entre otros obstáculos. (Roa, 2011) (Sanchez, 2012) (Mendoza, 2013)

Criterio 6: Área disponible y con potencial de crecimiento	Los parques eólicos son proyectos que tienen la posibilidad de expandirse ya sea por la implementación de nueva tecnología o por el terreno disponible para instalaciones que generen más aprovechamiento. (Bernal, 2017)
Criterio 7: Normatividad para la integración de Energías Renovables	Los beneficios de la ley 1715 de 2014 aplican a empresas que permitan que las fuentes no convencionales de energía entren en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, participación en zonas no interconectadas y en otros usos energéticos que beneficien objetivos del desarrollo económico sostenible como la seguridad del abastecimiento energético y la reducción de emisiones anuales de gases de efecto invernadero. (Upme, 2015) (Colombia, 2014)
Criterio 8: Cercanía a vías Nacionales que facilite la logística del transporte de los aerogeneradores	El transporte de un parque eólico generalmente se hace con camiones conocidos como 'cama baja', que, debido a la orografía del terreno y las condiciones de las carreteras nacionales en Colombia, se requiere la aplicación de ingeniería de transporte, para sortear puentes, inclinaciones u otros obstáculos. (Gubinelli, 2015)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Descripción criterios de costos

Criterio 9: Reducción de costo de conexión al sistema interconectado de energía nacional (SIN)	Impacto en la reducción de costos directamente relacionados con la distancia del emplazamiento al SIN. (Roa, 2011) (Sanchez, 2012) (Maria del Pilar Diaz Cuevas, 2017) (Upme, 2015)
Criterio 10: Reducción de costos de construcción de vías de acceso para el transporte de las piezas del parque eólico, desde las vías nacionales hasta el emplazamiento	La construcción de parques eólicos y fotovoltaicos requiere el traslado de toda la infraestructura en camiones de alto tonelaje. Es por este motivo que se requiere sitios de emplazamiento cercanos a caminos existentes que sirvan como vías de acceso, considerando el alto costo que tiene la construcción de éstas. (Upme, 2015) (Roa, 2011) (Sanchez, 2012)

Criterio 11: Reducción de costo de transporte dada por la proximidad a puertos de descarga de las piezas del parque eólico	Impacto en la reducción de costos directamente relacionados con la distancia del emplazamiento a puertos de descarga de las piezas. (Chaparro, 2017) (Roa, 2011) (Sanchez, 2012) (Upme, 2015)
--	---

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Descripción criterios de riesgos

Criterio 12: Impacto en la flora y la fauna local	Efectos directos de la construcción y operación del parque eólico sobre la fauna y la flora local. (Roa, 2011) (Bernal, 2017) (Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, 2011) (Mendoza, 2013)
Criterio 13: Mortandad de aves	Los pájaros frecuentemente colisionan con las estructuras que ellos tienen dificultad de ver, especialmente líneas de alta tensión, postes y ventanas de edificios. También son muertos por vehículos en movimiento, como autos en las rutas. El comportamiento de los pájaros y la tasa de mortalidad tiende a ser función de las especies y de los sitios. (Mendoza, 2013)
Criterio 14: Impacto paisajístico local	La construcción de parques eólicos a gran escala puede afectar significativamente el paisaje del sitio de operaciones y de sus alrededores, así como la percepción que los individuos le atribuyen al paisaje. (Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, 2011) (German, 2012)

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se abordan los aspectos a tener en cuenta para la elección del grupo de expertos quienes realizan la calificación y priorización de los criterios.

3.3 CONFORMACION DEL GRUPO DE EXPERTOS

La elección del grupo de expertos es el factor crucial de esta investigación, según el autor (Von der Gracht, 2010) que dice que: “La inapropiada selección de expertos es considerada como la amenaza más severa de validez en la investigación Delphi” Es por esta razón que se siguieron los pasos que ellos realizaron en dicha investigación: (1) La identificación de expertos potenciales (2) La evaluación de los expertos identificados (3) la selección de los expertos, donde se tuvieron en cuenta el nivel educativo del experto y su especialización en el trabajo.

Para esta investigación fueron seleccionados (4) expertos en energías renovables. A continuación, sus perfiles profesionales:

RODRIGO JIMÉNEZ PIZARRO

Formación Académica:

- Postdoctorado/Estancia postdoctoral HARVARD UNIVERSITY
- Post-Doctoral Research Fellow in Atmospheric Sciences marzo de 2004 - Febrerode 2007
- QCLS: A high precision, fast response quantum-cascade laser spectrometer for measurements of CO₂, CO, CH₄ and N₂O from the ground to the stratosphere
- Doctorado Ecole Polytechnique Federale De Lausanne
- Civil and Environmental Engineering (EDCE) mayo de 1999 – marzo de 2004
- Development and application of UV-visible and mid-IR differential absorption spectroscopy techniques for pollutant trace gas monitoring
- Pregrado/Universitario UNIVERSIDAD DEL VALLE Ingeniería Química Agostode1985 - Noviembre de 1997
- Diseño y simulación de una miniplanta para el estudio de la remoción de sulfuro de hidrogeno mediante procesos de contacto gas-sólido

JULIAN ALBERTO BUITRAGO GIRALDO

Formación Académica:

- Maestría/Magister UNIVERSIDAD DEL VALLE
MAESTRIA EN INGENIERIA Agostode2005 – Abri Ide 2011 “Análisis del desempeño de la Tecnología CDMA y GPS/EDGE para el tranposter de datos HTTP”
- Especialización Tecnología en Energías Renovables 2011
- Pregrado/Universitario UNIVERSIDAD DEL VALLE
INGENIERIA ELECTRONICA junio de 1994 – febrero de 2001 “Desarrollo de Robots móviles”

Experiencia profesional:

ESCUELA DE ADMINISTRACION Y MERCADOTECNIA DEL QUINDIO
Dedicación: 40 horas Semanales enero de 2016 de

UNIVERSIDAD DEL VALLE

Dedicación: 12 horas Semanales agosto de 2015

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

Dedicación: horas Semanales febrero de 2002 Enero

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

Dedicación: horas Semanales febrero de 2002 Enero

Áreas de actuación

Ingeniería y Tecnología -- Ingenierías Eléctrica, Electrónica e Informática --
Automatización y Sistemas de Control

MARÍA FERNANDA OBANDO CHAPARRO

Formación Académica:

- Pregrado/Universitario UNIVERSIDAD DE MANIZALEZ
INGENIERIA AMBIENTAL
 - Especialización en Sistemas de información Geográficos – agosto 2017,
“Identificación del lugar óptimo de instalación de un parque eólico en el
departamento del Atlántico”.

JHON SEBASTIÁN GIRALDO CASTILLO

Formación Académica:

- Pregrado/Universitario UNIVERSIDAD DEL VALLE
INGENIERIA ELECTRONICA, 2010- 2015
 - MSc. The University of Edinburgh Sustainable Energy Systems, 2019 – 2020

Experiencia profesional:

Asesor en Ingeniería Eléctrica e Informática

Alfredo Reyes Navia, Consultoría especializada en servicios públicos domiciliarios
jul. de 2017 – ago. de 2019 2 años 2 meses
Colombia.

- Director Técnico de Interventoría "Proyecto de modernización de Planta
Trilladora Caficauca".

- Asesoramiento y revisión de planes de inversión, pérdidas y pliego tarifario de empresas intervenidas por el estado.
- Análisis de datos georeferenciados de interrupciones del servicio eléctrico de las empresas intervenidas por el estado.
- Cálculo de indicadores de calidad del servicio SAIDI y SAIFI de empresas intervenidas por el estado.
- Director Técnico de Interventoría "Proyecto de modernización de Planta Trilladora Caficauca".
- Asesoramiento y revisión de planes de inversión, pérdidas y pliego tarifario de empresas intervenidas por el estado.
- Análisis de datos georeferenciados de interrupciones del servicio eléctrico de las empresas intervenidas por el estado.
- Cálculo de indicadores de calidad del servicio SAIDI y SAIFI de empresas intervenidas por el estado.

Analista superior de planificación

Empresa energía honduras

Dbr. de 2016 – nov. de 2016 8 meses

- Estructuración y operación de la nueva empresa de distribución de energía de Honduras.
- Estudio y análisis técnico del contrato de operación entre la empresa y el estado, propuestas de modificaciones.
- Conceptualización e implementación de sistemas de gestión transitorios de la compañía.
- Estructuración y operación de la nueva empresa de distribución de energía de Honduras.
- Estudio y análisis técnico del contrato de operación entre la empresa y el estado, propuestas de modificaciones.
- Conceptualización e implementación de sistemas de gestión transitorios de la compañía.

Coordinador de operaciones en tiempo real

Empresa Energía Honduras

Dic. de 2016 – abr. de 2017, 5 meses.

Tegucigalpa

Responsable del análisis de la información de las interrupciones en la red y de la metodología del cálculo de los Indicadores de Calidad del Servicio SAIDI y SAIFI utilizando las herramientas computacionales SCADA, SGD y GIS. Responsable del análisis de la información de las interrupciones en la red y de la metodología del

cálculo de los Indicadores de Calidad del Servicio SAIDI y SAIFI utilizando las herramientas computacionales SCADA, SGD y GIS.

ZHARICK JULIANA DIAZ PUERTO

Formación Académica:

- Pregrado/Universitario UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS. INGENIERIA AMBIENTAL, 2012- 2016
- MCs. Ingeniería Ambiental, UNAM Institute of Materials Science and Nanotechnology. Junio 2018 – actualidad. “Desarrollo de investigaciones en nanomateriales para descontaminación de agua residual y potable”

Experiencia profesional:

Consultor externo

DIV Consulting. ene. de 2018 – oct. de 2018 10 meses

Bogotá D.C. Área, Colombia

Líder de consultoría para evaluación de normatividad ex-post en marco de cumplimiento con objetivos para ingresar a la OCDE. Líder de consultoría para evaluación de normatividad ex-post en marco de cumplimiento con objetivos para ingresar a la OCDE.

Profesional de apoyo directo

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP, ene. de 2017 – jun. de 2018 1 año 6 meses

JOSÉ NEFTALI TORRES MARIN

Formación Académica:

- Pregrado/Universitario UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA, INGENIERIA EN ELECTRONICA

Experiencia profesional:

- DOCENTE UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA 04/08/2014
17/06/2016
- DOCENTE UNIVERSIDAD DEL VALLE 13/02/2012 28/12/2016
- CONTRATISTA INELMA LIMITADA 01/01/2008 Actual

HÉCTOR FABIÁN QUINTERO CARVAJAL

Formación Académica: Técnico Electricista

Experiencia profesional:

ENECON: dedicada a la contratación de obras de construcción, montaje, instalación y mantenimiento de redes eléctricas y telefónicas, despeje forestal de redes y obras civiles, con empresas tales como EPM, UNE Telecomunicaciones, ESSA, EDEQ, EDATEL, entre otras. Su principal objetivo es prestar servicios de calidad buscando siempre el mayor beneficio para los clientes, sus empleados y la comunidad.

3.2.1 Preparación del trabajo con expertos: formatos para llenar matrices

Se cuentan con 14 criterios para priorizar, en este caso, cada experto le correspondió comparar estos entre sí, como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Encuesta: Criterios para la localización de un parque en Colombia

DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORÍAS

A. CATEGORÍA BENEFICIO: Son los impactos positivos que se darán con certeza a partir del funcionamiento del proyecto.

B. CATEGORÍA OPORTUNIDAD: Son los impactos positivos que posiblemente se darán a partir del funcionamiento del proyecto.

C. CATEGORÍA COSTO: Son los impactos no favorables que se darán con certeza en el proyecto.

D. CATEGORÍA RIESGO: Son los impactos no favorables que posiblemente se darán a partir del funcionamiento del proyecto.

Categorías BOCR

IMPACTO	POSITIVO NEGATIVO	OCURRENCIA	
		CIERTO	INCIERTO
		Beneficio	Oportunidad
		Costo	Riesgo

A. Criterios de Beneficio B. Criterios de Oportunidad *

Elige

A. Criterios de Beneficio C. Criterios de Costo * 1 punto

Elige

A. Criterios de Beneficio D. Criterios de Riesgo * 1 punto

Elige

B. Criterios de Oportunidad C. Criterios de Costo. *

Elige

B. Criterios de Oportunidad D. Criterios de Riesgo *

Elige

C. Criterios de Costo D. Criterios de Riesgo *

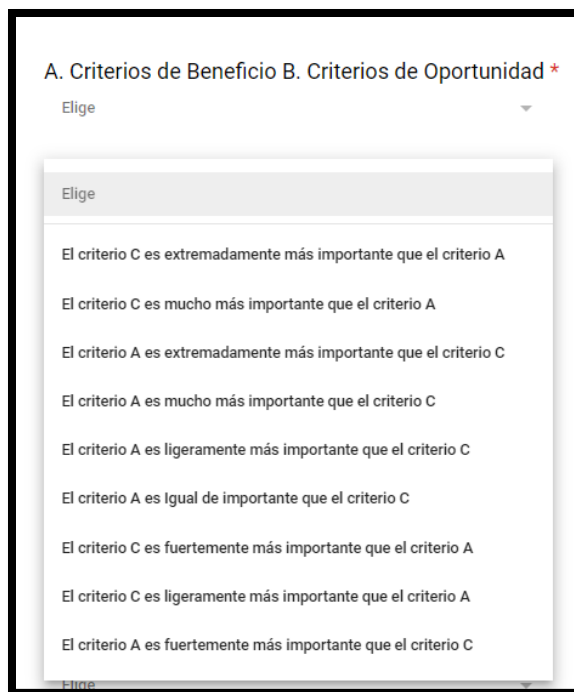
Elige

Fuente: Elaboración propia

Se evidenció que los expertos no tuvieron complicaciones a la hora de calificar los criterios, puesto que esta calificación se realizó de forma cualitativa a través de una encuesta digital, posteriormente las respuestas se les asigna un valor cuantitativo,

el cual se hace medible al ingresarlas a la herramienta multicriterio AHP con priorización (figura 18).

Figura 18. Escala Saaty



Fuente: Elaboración Propia

Una vez completada la información por todos los expertos, se ingresaron los datos a un software especialmente diseñado (Excel), el cual valora los juicios subjetivos de los expertos, ayuda a descartar los juicios inconsistentes desde la perspectiva del modelo matemático empleado y arroja finalmente las priorizaciones respectivas. (Tabla 23)

Tabla 23. Matriz Comparación

CATEGORÍA DE OPORTUNIDAD						
X	Criterio 3: Impacto en la generación de atractivo turístico	Criterio 4: Velocidad anual media del viento	Criterio 5: Condiciones aptas del terreno (Orografía)	Criterio 6: Área disponible y con potencial de crecimiento	Criterio 7: Normtividad para la integración de Energías Renovables	Criterio 8: Cercanía a vías Nacionales que facilite la logística del transporte de los aerogeneradores
Criterio 3: Impacto en la generación de atractivo turístico	1	1/6	1/7	2/5	2/7	1/4
Criterio 4: Velocidad anual media del viento	6	1	1	1 5/7	1 5/9	1

Criterio 5: Condiciones aptas del terreno (Orografía)	6 3/4	1	1	1 1/4	1 5/7	1 1/2
Criterio 6: Área disponible y con potencial de crecimiento	2 2/5	4/7	4/5	1	2/3	1/2
Criterio 7: Normatividad para la integración de Energías Renovables	3 5/9	2/3	4/7	1 5/9	1	1 3/8
Criterio 8: Cercanía a vías Nacionales que facilite la logística del transporte de los aerogeneradores	3 5/9	1 1/9	2/3	2	5/7	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Matriz normalizada

MATRIZ NORMALIZADA						
X	Criterio 3: Impacto en la generación de atractivo turístico	Criterio 4: Velocidad anual media del viento	Criterio 5: Condiciones aptas del terreno (Orografía)	Criterio 6: Área disponible y con potencial de crecimiento	Criterio 7: Normatividad para la integración de Energías Renovables	Criterio 8: Cercanía a vías Nacionales que facilite la logística del transporte de los aerogeneradores
Criterio 3: Impacto en la generación de atractivo turístico	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04
Criterio 4: Velocidad anual media del viento	0,26	0,23	0,25	0,22	0,26	0,16
Criterio 5: Condiciones aptas del terreno (Orografía)	0,29	0,21	0,23	0,16	0,29	0,27
Criterio 6: Área disponible y con potencial de crecimiento	0,10	0,13	0,19	0,13	0,11	0,09
Criterio 7: Normatividad para la integración de Energías Renovables	0,15	0,15	0,14	0,20	0,17	0,25
Criterio 8: Cercanía a vías Nacionales que facilite la logística del	0,15	0,25	0,15	0,25	0,12	0,18

transporte de los aerogeneradores						
-----------------------------------	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Tabla vector prioridad

VECTOR PRIORIDAD
0,04
0,22
0,24
0,13
0,19

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Coeficiente de consistencia

COEFICIENTE DE CONSISTENCIA
0,02

Fuente: Elaboración propia

Dado que Coeficiente de consistencia o CC. Resulto ser menor al 0.1 que es el límite superior exigido por la literatura científica para la determinación de consistencia, se concluye que la matriz analizada es consistente, por lo tanto, el vector prioridad obtenida es válido para el criterio en consideración.

Tabla 27. Resultado Coeficiente de consistencia para cada criterio

COEFICIENTES DE CONSISTENCIA			
CATEGORIAS BOCR	λ_{max}	n	C.C
CATEGORÍA DE CRITERIOS GENERAL	4,033	4	0,01
CRITERIOS DE BENEFICIO	2,0	2	0
CRITERIOS DE OPORTUNIDAD	6,154	6	0,02
CRITERIOS DE COSTO	3,0	3	0,00
CRITERIOS DE RIESGO	3,013	3	0,01

Fuente: Elaboración propia

Como los coeficientes de consistencia resultaron menor que 0.1, se concluye que las matrices analizadas son consistentes.

3.4 RESULTADO CONSOLIDADO DE LA PRIORIZACION DE CRITERIOS

Tabla 28. Resultado de priorización de criterios

BENEFICIOS	31,35%
Criterio 1: Impacto en la complementariedad energética al sistema interconectado de energía nacional (SIN)	20,55%
Criterio 2: Impacto en la reducción de gases de efecto invernadero	10,80%
OPORTUNIDADES	9,16%
Criterio 3: Impacto en la generación de atractivo turístico	0,45%
Criterio 4: Velocidad anual media del viento	2,58%
Criterio 5: Condiciones aptas del terreno (Orografía)	2,54%
Criterio 6: Área disponible y con potencial de crecimiento	1,34%
Criterio 7: Normatividad para la integración de Energías Renovables	1,25%
Criterio 8: Cercanía a vías Nacionales que facilite la logística del transporte de los aerogeneradores	0,99%
COSTOS	37,24%
Criterio 9: Reducción de costo de conexión al sistema interconectado de energía nacional (SIN)	17,14%
Criterio 10: Reducción de costos de construcción de vías de acceso para el transporte de las piezas del parque eólico, desde las vías nacionales hasta el emplazamiento	8,96%
Criterio 11: Reducción de costo de transporte dada por la proximidad a puertos de descarga de las piezas del parque eólico	11,13%
RIESGOS	22,25%
Criterio 12: Impacto en la flora y la fauna local	10,91%

Criterio 13: Mortandad de aves	7,52%
Criterio 14: Impacto paisajístico local	3,82%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se observa que la categoría de costos influye mucho más que el resto en la localización de parques eólicos, seguidos de los beneficios, en tercer lugar, los riesgos y por último las oportunidades.

3.5 CONCLUSIONES

Es interesante constatar que los criterios en orden de importancia son los correspondientes a la categoría de costos, beneficios, riesgos y oportunidades, en la primera categoría encontramos: (Criterio 10) Reducción de costo de conexión al sistema interconectado de energía nacional (SIN), dado que los proyectos con FNCER tienen que ser construidos donde se encuentran disponibles los mejores recursos renovables como son fuertes vientos, una alta irradiación solar o anomalías geotérmicas, es común que estas zonas no se encuentren cerca del STN (Sistema de transmisión nacional), por lo que se puede requerir la construcción de nuevas líneas de alta tensión. Estos costos de conexión o bien afectan el proyecto en su rentabilidad o en los costos de su energía o incrementan el costo de transmisión que los usuarios del Sistema de transmisión nacional pagan a través de su tarifa.

Seguido de (Criterio11). Reducción de costo de transporte dada por la proximidad a puertos de descarga de las piezas del parque eólico, dado que la mayor parte de la infraestructura utilizada en proyectos eólicos debe ser traída desde el extranjero al país. Por esta razón, y dado el alto tonelaje y gran tamaño de la infraestructura, es conveniente que el emplazamiento se encuentre cercano a un puerto.

Por otro lado, en la categoría de beneficios, el criterio con mayor peso es (Criterio1): Impacto en la complementariedad energética al sistema interconectado de energía nacional (SIN), ya que La complementariedad de la fuente eólica con la fuente hídrica, en virtud de la disponibilidad alterna de vientos y precipitación ante cambios de origen climático como el fenómeno de El Niño y los períodos cíclicos naturales de lluvias y sequía, representa un beneficio que los agentes que operan la mayor parte de las grandes hidroeléctricas del país han estado midiendo durante los último 10 años.

En la categoría de riesgos se encuentra el (Criterio 12) Impacto en la flora y la fauna local, esto dado que una central eólica puede tener efectos directos por destrucción de hábitat y desplazamiento de la fauna asociada y efectos indirectos por generación de contaminantes que afectan la salud de los ecosistemas, producción de ruidos y/o movimientos que afectan el comportamiento de los animales.

Finalmente se encuentra la velocidad anual media de viento como recurso principal, este claramente categorizada como oportunidad de aprovechamiento, sin embargo, en el caso de localización de parques eólicos, este criterio se valora en un parámetro que permite directamente descartar emplazamientos u alternativas, ya que, si en una zona la velocidad del viento es menor a 5m/s o es prácticamente nula, dicha zona habría que descartarla puesto que rara vez se pondrían en funcionamiento los aerogeneradores del parque.

CAPÍTULO 4

Para dar cumplimiento al tercer objetivo se realiza la priorización de 4 alternativas para la localización de centrales eólicas en la región caribe, a través de una herramienta multicriterio, teniendo en cuenta los macro criterios establecidos en el capítulo 3.

4.1 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVA SEGÚN CRITERIO

Con el propósito de establecer una ponderación, se han identificado 4 alternativas para la localización de un parque eólico en Colombia:

Alternativa 1: Santa Marta

Alternativa 2: Barranquilla

Alternativa 3: Cartagena

Alternativa 4: Riohacha

Cada criterio cuenta con una breve descripción y parámetros generales de entrada para la comparación entre las alternativas.

Criterio 1: Complementariedad Energética al Sistema Interconectado Nacional. La producción energética mediante derivados del petróleo, gas o carbón impacta de forma negativa la atmósfera. Por tanto, el trabajo conjunto con el potencial eólico podría mitigar dicho impacto dado que cada kwh de electricidad, generada por energía eólica en lugar de carbón, evita la emisión de un kilogramo de dióxido de carbono CO₂ a la atmósfera.

Alternativa 1: Cuenta con (1) Termoeléctrica a base de Combustoleo

Alternativa 2: Cuenta con (4) Termoeléctricas a base de Gas

Alternativa 3: Cuenta con (3) Termoeléctricas a base de Combustoleo

Alternativa 4: Cuenta con (2) Termoeléctricas a base de Carbón

Criterio 2: Impacto en la reducción de emisión de gases de efecto invernadero. A continuación, se presentan el inventario nacional de emisiones de cada alternativa en el campo energético para el 2012. Teniendo en cuenta que entre mayores sean las emisiones de CO₂ de la alternativa, mayor va a ser el impacto positivo del funcionamiento del parque eólico.

Alternativa 1: Emite 0,02 Mton CO2 eq
Alternativa 2: Emite 3,21 Mton CO2 eq
Alternativa 3: Emite 1,14 Mton CO2 eq
Alternativa 4: Emite 3,32 Mton CO2 eq

Criterio 3: Atractivo turístico. Cantidad de turistas registrados para el año 2018.

Alternativa 1: 30.945
Alternativa 2: 70.949
Alternativa 3: 511.906
Alternativa 4: 2.448

Criterio 5: Condiciones orográficas del terreno. La condición de instalación de un parque eólico es más favorable cuando el terreno cuenta con mayor porcentaje de elevación cero.

Alternativa 1: ELEVACION 0: 7,7%
Alternativa 2: ELEVACION 0: 67.6%
Alternativa 3: ELEVACION 0: 64.1%
Alternativa 4: ELEVACION 0: 52.3%

Criterio 4: Velocidad anual media del viento. Colombia por su posición en la franja tropical, con gran variabilidad en la estructura física de sus cordilleras y por su localización frente al mar Caribe y al océano Pacífico, adquiere una condición privilegiada en recursos renovables de energía como la asociada con el viento que entre mayor sea su velocidad, mejor será su aprovechamiento.

Alternativa 1: Entre 14-15 m/s
Alternativa 2: Entre 14 -15 m/s
Alternativa 3: Entre 11-12 m/s
Alternativa 4: Entre 9 -10 m/s

Criterio 6: Área disponible: Los parques eólicos son proyectos que tienen la posibilidad de expandirse ya sea por la implementación de nueva tecnología o por el terreno disponible para instalaciones que generen más aprovechamiento. Teniendo en cuenta que la elevación 0 nos permitirá conocer las condiciones del terreno aptas, se infiere que entre más elevación cero haya en el sitio más área disponible hay para la localización de un parque eólico.

Alternativa 1: ELEVACION 0: 7,7%
Alternativa 2: ELEVACION 0: 67.6%
Alternativa 3: ELEVACION 0: 64.1%
Alternativa 4: ELEVACION 0: 52.3%

Criterio 7. Normatividad para la integración de Energías Renovables. Los beneficios de la ley 1715 de 2014 aplican a empresas que permitan que las fuentes no convencionales de energía entren en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, participación en zonas no interconectadas y en

otros usos energéticos que beneficien objetivos del desarrollo económico sostenible como la seguridad del abastecimiento energético y la reducción de emisiones anuales de gases de efecto invernadero.

Tabla 29. Cumplimiento de Ley 1715

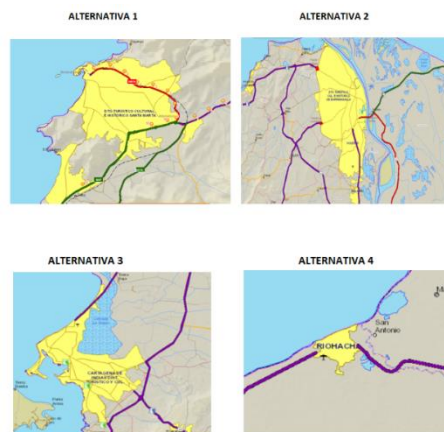
		CUMPLE
A1	Santa Marta	SI
A2	Barranquilla	SI
A3	Cartagena	SI
A4	Riohacha	SI

Fuente: Elaboración propia

El transporte de un parque eólico generalmente se hace con camiones conocidos como 'cama baja', que, debido a la orografía del terreno y las condiciones de las carreteras nacionales en Colombia, se requiere la aplicación de ingeniería de transporte, para sortear puentes, inclinaciones u otros obstáculos.

Las siguientes imágenes muestran las vías de primer orden (líneas rojas, verdes y moradas) que rodean o atraviesan las zonas alternativas (Amarillo).

Figura 19. Niveles de vías de acceso



Fuente: Elaboración propia

Criterio 9. Reducción de costo de conexión al sistema interconectado de energía nacional (SIN). Teniendo en cuenta que los proyectos con FNCER tienen que ser construidos donde se encuentran disponibles los mejores recursos renovables como son fuertes vientos, una alta irradiación solar o anomalías geotérmicas, es común que estas zonas no se encuentren cerca del STN (Sistema de transmisión nacional), por lo que se puede requerir la construcción de nuevas líneas de alta tensión. Estos costos de conexión o bien afectan el proyecto en su rentabilidad o en los costos de su energía.

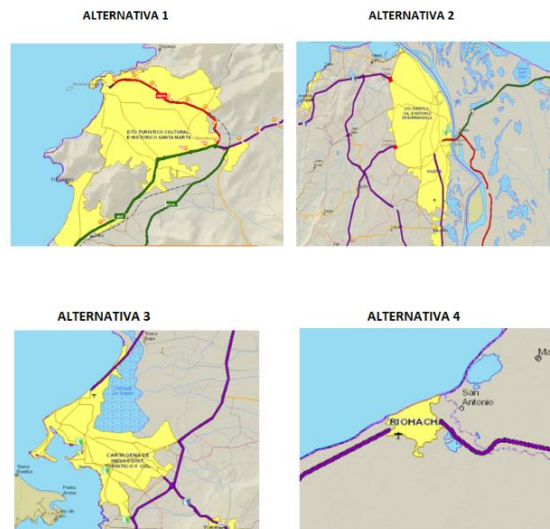
Tabla 30. Cumplimiento de Conexión al Sistema Interconectado

Conexión al SIN		CUMPLE
A1	Santa Marta	SI
A2	Barranquilla	SI
A3	Cartagena	SI
A4	Riohacha	SI

Fuente: Elaboración propia

Criterio 10. Si emplazamiento es atravesado o rodeado por vías nacionales es posible que haya una reducción de costos significativa a la hora de construir vías desde las de primer orden hasta la localización del parque.

Figura 20. Niveles de vías de acceso



Fuente: Elaboración propia

Las siguientes imágenes muestran las vías de primer orden (líneas rojas, verdes y moradas) que rodean o atraviesan las zonas alternativas (Amarillo).

Criterio 11. La mayor parte de la infraestructura utilizada en proyectos eólicos debe ser traída desde el extranjero al país. Por esta razón, y dado el alto tonelaje y gran tamaño de la infraestructura, es conveniente que el emplazamiento se encuentre cercano a un puerto. En este caso las alternativas que cuenten con puerto dentro de ella se podrían considerar con mayor potencial de instalación en la zona ya que los costos de transporte hasta el emplazamiento se reducirían.

Tabla 31. Cumplimiento de Puertos Marítimos

PUERTOS MARÍTIMOS		CUMPLE	PUERTO
A1	Santa Marta	SI	Sociedad Portuaria de Santa Marta S.A.
A2	Barranquilla	SI	Puerto de Barranquilla Sociedad Puertuaria
A3	Cartagena	SI	Sociedad Portuaria Regional de Cartagena S.A
A4	Riohacha	SI	El Puerto de Riohacha

Fuente: Elaboracion propia

Criterio 12. Impacto en la flora y fauna local. A continuación, se presenta la cantidad de Hectáreas de Reserva de parques naturales para cada alternativa, considerando así que el impacto de la construcción de un parque eólico es menor en grandes áreas.

Alternativa 1: 346.280 Ha

Alternativa 2: 10.199 Ha

Alternativa 3: 15.215 Ha

Alternativa 4: 295.715 Ha

Criterio 13. Mortandad de Aves. Para muchas aves migratorias neárticas, Colombia es uno de los pasos casi obligados de ingreso a Suramérica. Pueden llegar al país usando el corredor del Pacífico y cruzar la cordillera para seguir hacia la Amazonia, o pueden llegar por la costa Caribe y luego usar los corredores andinos en su ruta hacia el sur. La mayoría de ellas usan las costas, bosques o humedales colombianos como lugar de descanso y alimentación. Igualmente, los migratorios australes en su mayoría visitan la Amazonia colombiana en busca de sitios de alimentación y descanso.

Tabla 32. Cumplimiento de Aves migratorias

AVES MIGRATORIAS		RUTA DE TRANSITO
A1	Santa Marta	SI
A2	Barranquilla	SI
A3	Cartagena	SI
A4	Riohacha	SI

Fuente: Elaboración propia

Criterio 14. Impacto paisajístico local. La construcción de parques eólicos a gran escala puede afectar significativamente el paisaje del sitio de operaciones y de sus alrededores, teniendo en cuenta que entre mayor elevación 0 (concepto del criterio 5). tenga el terreno, menor es el impacto, califique:

Alternativa 1: ELEVACION 0: 7,7%

Alternativa 2: ELEVACION 0: 67.6%

Alternativa 3: ELEVACION 0: 64.1%

Alternativa 4: ELEVACION 0: 52.3%

4.2 PREPARACIÓN DEL TRABAJO CON EXPERTOS: Formatos para llenar matrices

Para esta fase, se comparan las alternativas con cada criterio. (figura 21)

Figura 21. Encuesta: Alternativas para la localización de un parque en Colombia

Criterio 1: Complementariedad Energética al Sistema Interconectado Nacional. La producción energética mediante derivados del petróleo, gas o carbón impacta de forma negativa la atmósfera. Por tanto, el trabajo conjunto con el potencial eólico podría mitigar dicho impacto dado que cada kwh de electricidad, generada por energía eólica en lugar de carbón, evita la emisión de un kilogramo de dióxido de carbono CO2 a la atmósfera.

Alternativa 1: Cuenta con (1) Termoeléctrica a base de Combustóleo
Alternativa 2: Cuenta con (4) Termoeléctricas a base de Gas
Alternativa 3: Cuenta con (3) Termoeléctricas a base de Combustóleo
Alternativa 4: Cuenta con (2) Termoeléctricas a base de Carbón

B1 - Alternativa 1 vs Alternativa 2 * 1 punto
Elige ▼

Alternativa 1 vs Alternativa 3 * 1 punto
Elige ▼

Alternativa 1 vs Alternativa 4 *
Elige ▼

Alternativa 2 vs Alternativa 3 *
Elige ▼

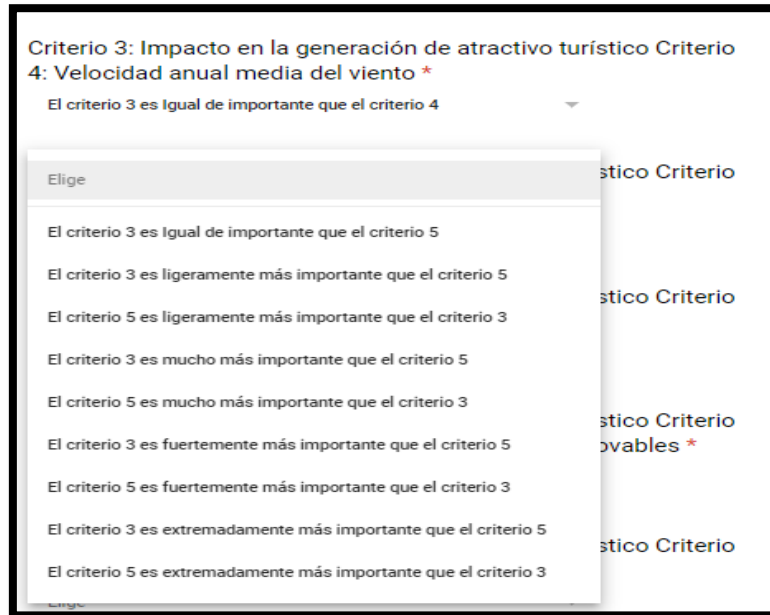
Alternativa 2 vs Alternativa 4 *
Elige ▼

Alternativa 3 vs Alternativa 4 *
Elige ▼

Fuente: Elaboración propia

Se evidencio que los expertos no tuvieron complicaciones a la hora de calificar los criterios, puesto que esta calificación se realizó de forma cualitativa a través de una encuesta digital, posteriormente las a respuestas se les asigna un valor cuantitativo, el cual se hace medible al ingresarlas a la herramienta multicriterio AHP con priorización

Figura 22. Escala Saaty



Fuente: Elaboración Propia

Una vez completada la información por todos los expertos, se ingresaron los datos a un software especialmente diseñado (Excel), el cual valora los juicios subjetivos de los expertos, ayuda a descartar los juicios inconsistentes desde la perspectiva del modelo matemático empleado y arroja finalmente las priorizaciones respectivas.

Tabla 33. Matriz Comparación

ALTERNATIVAS CRITERIO C4				
X	A1	A2	A3	A4
A1	1	1	3	2
A2	1	1	3 7/8	2 3/4
A3	1/3	1/4	1	2
0	1/2	1/3	1/2	1
Suma de Columnas	3	3	8	8
Matriz de Comparación				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Matriz Normalizada

Matriz de Normalizada				
X	A1	A2	A3	A4
A1	1/3	3/8	1/3	1/4
A2	1/3	3/8	1/2	1/3
A3	1/8	0	1/8	1/4
A4	1/6	1/7	0	1/8
Suma de Columnas	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Vector prioridad

VECTOR PRIORIDAD
0,34
0,39
0,15
0,12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Tabla Consistencia

COEFICIENTE DE CONCISTENCIA
0,07

Fuente: Elaboración propia

Dado que Coeficiente de consistencia o CC. Resulto ser menor al 0.1 que es el límite superior exigido por la literatura científica para la determinación de consistencia, se concluye que la matriz analizada es consistente, por lo tanto, el vector prioridad obtenida es válido para el criterio en consideración.

4.3 PRIORIZACIÓN GENERAL DE ALTERNATIVAS POR CADA CRITERIO

Con el vector prioridad de criterios en el capítulo anterior, y con los vectores de prioridad de las alternativas por cada criterio, se obtiene la prioridad final de las alternativas, la cual se muestra a continuación:

Tabla 37. Vector de prioridad de alternativas según cada criterio

VECTOR DE PRIORIDAD DE ALTERNATIVAS SEGÚN CADA CRITERIO														
X	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
A1	40%	40%	15%	34%	32%	30%	25%	46%	25%	47%	25%	30%	25%	7%
A2	26%	26%	16%	39%	27%	27%	25%	27%	25%	26%	25%	21%	25%	42%
A3	23%	23%	62%	15%	30%	32%	25%	15%	25%	15%	25%	20%	25%	28%
A4	12%	12%	7%	12%	11%	10%	25%	13%	25%	12%	25%	30%	25%	24%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Vector de prioridad de criterios

CATEGORÍA	VECTOR DE PRIORIDAD DE CRITERIOS	
B	C1	20,6%
	C2	10,8%
O	C3	0,5%
	C4	2,6%
	C5	2,5%
	C6	1,3%
	C7	1,3%
	C8	1,0%
C	C9	17,1%
	C10	9,0%
	C11	11,1%
R	C12	10,9%
	C13	7,5%
	C14	3,8%

Fuente: Elaboración propia

A continuación, esta prioridad general resulta de la multiplicación de la matriz conformada por los vectores de prioridad de alternativas con respecto a cada criterio, con el vector de prioridad de criterios.

Tabla 39. Prioridad de proyectos

	PRIORIDAD DE PROYECTOS SEGÚN B-O-C-R			
	BENEFICIOS	OPORTUNIDADES	COSTOS	RIESGOS
A1	12%	2,9%	11,3%	5,4%
A2	8%	2,7%	9,4%	5,7%
A3	7%	2,3%	8,5%	5,1%
A4	4%	1,2%	8,1%	6,0%

Fuente Elaboración propia

Estos datos señalan, por ejemplo, que la alternativa 1 es la de mayores beneficios, la alternativa 1 es la de mayores oportunidades en el largo plazo. Por el lado de los

costos, la alternativa 4 resulta ser la menos costosa; mientras que, desde el punto de vista de los riesgos, la alternativa 3 es la de menor riesgo.

Para el caso de los criterios de Beneficios y Oportunidades se prioriza desde el proyecto "más bueno al menos bueno". Por el contrario, para el caso de Costos y Riesgos se prioriza desde el proyecto "más malo al menos malo".

Partiendo de los datos de la tabla 39, se calcula el indicador final de priorización que señala a la alternativa 1 como la más conveniente, seguido por la A2, A3 y luego A4 (tabla 40). Por ejemplo, el indicador de la alternativa 1 se calcula como $(0.12 \times 0.029) / (0.113 \times 0.054) = 0.60$.

Tabla 40. Indicador de proyectos

INDICADOR BO/CR POR	
A1	0,60
A2	0,41
A3	0,38
A4	0,09

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, la suma de estos puntajes $(B \times O) / (C \times R)$ no tienen por qué sumar 1, tal como se podría pensar, puesto que no se trata de porcentajes.

4.4 CONCLUSIÓN

El resultado de la tabla 40 concluye que, dados los juicios subjetivos de los expertos, la A4 es la menos conveniente, mientras la A1 es la más conveniente de todas.

CONCLUSIONES

- En el primer objetivo específico se contextualizó el sector de energía eólica en el País donde se evidencia que Colombia explota y produce su energía principalmente de recursos fósiles.
- La capacidad instalada de energía eólica en Colombia es del 0,1% que corresponde al piloto desarrollado en la Guajira: Parque eólico Jepirachi, se realizó un diagnóstico con el fin de conocer y profundizar sobre los criterios a tener en cuenta a la hora de construir este tipo de instalaciones ya que el recurso viento no es el único criterio sobre el cual se debe suponer una localización óptima para un parque eólico.
- Se determinaron 14 subcriterios basados en la literatura, categorizados en macro criterios beneficios, oportunidades, costos y riesgos, por medio de la herramienta AHP con categorización de Criterios, asociado a la técnica ANP, que dan los diferentes aspectos que se deben integrar para la localización del emplazamiento.
- Colombia es un país con orografía compleja, dado que el suelo cuenta con diferentes grados de inclinación, el transporte de este tipo de estructuras de gran peso y longitud, se hace improbable al interior de país, ya que requieren de vías amplias, en buen estado y con poca inclinación.
- Dados los juicios subjetivos de los expertos, Riohacha es la alternativa menos conveniente, mientras que Santa Marta es la más conveniente de todas. La decisión para definir la priorización final puede incluso depender de otros factores Micro los cuales están fuera del alcance de este proyecto.
- Se recomienda realizar estudios similares con un alcance de micro-localización en la ciudad de Santa Marta, la cuál es la más conveniente dentro de las 4 categorías de criterio.
- Se recomienda para estudios futuros investigaciones sobre energía eólica offshore ya que, los vientos alisios se manifiestan con alto potencial en el mar caribe, por esta razón allí habrá mayor aprovechamiento.
- Cada uno de los subcriterios trabajados en este trabajo pueden abordarse individualmente para realizar trabajos de investigación a profundidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Aznar Bellver, J., & Guijarro Martinez, F. (2012). *Nuevos metodos de Valoracion. Modelos Multicriterio*. Universidad Politecnica de Valencia.
- Bernal, L. M. (2017). *Beneficios obtenidos y potenciales por el desarrollo del proyecto del parque eolico Jepirachi ubicado en el Departamento de la Guajira. Colombia*. Bogota.
- Carlos Julio Vidal Holgin, J. J. (2012). *Guia metodologia para la priorizacion de proyectos: Un enfoque aplicado a la infraestructura, la logistica y la conectividad*. Cali.
- Chaparro, M. F. (2017). *Identificacion del lugar optimo de instalacion de un parque eolico en el departamento del Atlantico*. Universidad de Manizales.
- Colombia, C. d. (2014). *Ley 1715 del 2014*.
- Cortes, P. A. (2013). *Energia Eolica: Ventajas y desventajas de su utilizacion en Colombia*. Bogota.
- Diaz, O. A. (2010). Energia del viento. *Ciencia*, 18.
- Empresas publicas de Medellin . (2008). *Experiencia en el desarrollo de proyectos de energia eolica*.
- German, V. H. (2012). *Optimizacion del diseño de la cimentacion para un aerogenerador de gran altura*.
- Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climatico. (2011). *Fuentes de energia renovable y mitigacion de cambio climatico*.
- Gubinelli, G. (2015). La necesidad de adecuar vias de transporte de aerogeneradores para motar parques eolicos. *Energia Estrategica*.
- IDEAM. (s.f.). *Atlas de viento*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>
- Koeneman, D. (2008). Statistics: The word market is on the move. . *Sun & Wind Energy*, 186.
- Maria del Pilar Diaz Cuevas, M. f. (2017). *Energia eolica y territorio en Andalucia: Diseño y aplicacion de un modelo de potencialidad para la implantacion de parques eolicos*. Alicante, España.
- Mendoza, J. M. (2013). *Estudio de viabilidad de un parque Eolico*. Cartagena, España.
- Msc. Lic Jorge Proenza Valasquez, I. J. (2006). *Study in the eolian resources along the cost of Holgin Province*.
- Needlham., J. (1965). *Science and Civilization in China*. Cambridge University Press.

- Panwar, N. L. (2011). *Department of Renewable Energy Sources, College of Technology and Engineering, Maharane . India.*
- Planelles, M. (13 de Noviembre de 2017). Cambio climatico: Las emisiones mundiales de CO2 vuelven a crecer en 2017. *El pais.*
- Roa, A. F. (2011). *Metodo para localizacion optima de centrales de energias renovables.* Santiago de Chile.
- Sanchez, J. M. (2012). *Sistemas de informacion geografica con metodos de decision multicriterio. Busqueda y evaluacion de emplazamientos optimos para albergar instalaciones de energia renovables en la costa de la region de murcia.*
- Sendra j., y. M. (1995). *Tecnicas de evaluacion multicriterio que podrian ayudar a la diferencia entre los lugares candidatos empleando dos valoraciones de ellos obtenidos con dos metodos. Modelo de localizacion Asignacion.*
- UPME. (2014). *Proyecciones de precios de los energeticos para la generacion electrica enero 2014 - 2037.* Obtenido de http://www.sipg.gov.co/sipg/documentos/precios_combustibles/Termicas_Marzo_2014.pdf
- Upme, T. G. (2015). *Integracion de energias renovables no convencionales en Colombia.* Bogota.
- Vadot, L. (1957). *Le pompage de l'eau par eoliennes.*
- Von der Gracht, H. A. (2010). *Scenario fot the logistics service industry: a Delfhi based analysis for 2025.* International journal of Porduction Economics .

ANEXOS

Figura 23. Resultados de consolidado de Categoría de Criterios de Beneficio.

CATEGORÍA DE BENEFICIO		
x	Criterio1: Impacto en la complementariedad energética al sistema interconectado de energía nacional (SIN)	Criterio 4: Impacto en la reducción de gases de efecto invernadero
Criterio1: Impacto en la complementariedad energética al sistema interconectado de energía nacional (SIN)	1	1 3/8
Criterio 4: Impacto en la reducción de gases de efecto invernadero	5/7	1
Suma de Columnas	1,72	2
Matriz de Comparación		

MATRIZ NORMALIZADA				
x	Criterio1: Impacto en la complementariedad energética al sistema interconectado de energía nacional (SIN)	Criterio 4: Impacto en la reducción de gases de efecto invernadero	VECTOR PRIORIDAD	2,00
Criterio1: Impacto en la complementariedad energética al sistema interconectado de energía nacional (SIN)	0,58	0,58	0,58	COEFICIENTES DE CONSISTENCIA
Criterio 4: Impacto en la reducción de gases de efecto invernadero	0,42	0,42	0,42	0,00
	1,00	1,00	1,00	

Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Resultados de consolidado de Categoría de Criterios de Oportunidad.

CATEGORÍA DE OPORTUNIDAD						
x	Criterio 3: Impacto en la generación de atractivo turístico	Criterio 4: Velocidad anual media del viento	Criterio 5: Condiciones aptas del terreno (Drografía)	Criterio 6: Área disponible y con potencial de crecimiento	Criterio 7: Normitud para la integración de Energías Renovables	Criterio 8: Cercanía a vías Nacionales que facilite la logística del transporte de los aerogeneradores
Criterio 3: Impacto en la generación de atractivo turístico	1	1/6	1/7	2/5	2/7	1/4
Criterio 4: Velocidad anual media del viento	6	1	1	1 5/7	1 5/9	1
Criterio 5: Condiciones aptas del terreno (Drografía)	6 3/4	1	1	1 1/4	1 5/7	1 1/2
Criterio 6: Área disponible y con potencial de crecimiento	2 2/5	4/7	4/5	1	2/3	1/2
Criterio 7: Normitud para la integración de Energías Renovables	3 5/9	2/3	4/7	1 5/9	1	1 3/8
Criterio 8: Cercanía a vías Nacionales que facilite la logística del transporte de los aerogeneradores	3 5/9	1 1/9	2/3	2	5/7	1
Suma de Columnas	23	4	4	8	6	6
Matriz de Comparación						

Fuente: Elaboración propia

MATRIZ NORMALIZADA							VECTOR PRIORIDAD	6,15444903
X	Criterio 3: Impacto en la	Criterio 4: Velocidad anual media	Criterio 5: Condiciones aptas del terreno	Criterio 6: Área disponible y con potencial de	Criterio 7: Normtividad para la	Criterio 8: Cercanía a vías Nacionales que facilite la logística del		
Criterio 3: Impacto en la generación de atractivo turístico	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,02
Criterio 4: Velocidad anual media del viento	0,26	0,23	0,25	0,22	0,26	0,16	0,22	
Criterio 5: Condiciones aptas del terreno (Orografía)	0,29	0,21	0,23	0,16	0,29	0,27	0,24	
Criterio 6: Área disponible y con potencial de	0,10	0,13	0,19	0,13	0,11	0,09	0,13	
Criterio 7: Normtividad para la integración de Energías Renovables	0,15	0,15	0,14	0,20	0,17	0,25	0,19	
Criterio 8: Cercanía a vías Nacionales que facilite la logística del transporte de los	0,15	0,25	0,15	0,25	0,12	0,18	0,18	
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Resultados de consolidado de Categoría de Criterios de Costo.

CATEGORÍA DE COSTOS			
x	Criterio 9: Reducción de costo de conexión al sistema interconectado de energía nacional (SIN)	Criterio 10: Reducción de costos de construcción de vías de acceso para el transporte de las piezas del parque eólico, desde las vías nacionales hasta el emplazamiento	Criterio 11: Reducción de costo de transporte dada por la proximidad a puertos de descarga de las piezas del parque eólico
Criterio 9: Reducción de costo de conexión al sistema interconectado de energía nacional (SIN)	1,00	1,00	1,25
Criterio 10: Reducción de costos de construcción de vías de acceso para el transporte de las piezas del parque eólico, desde las vías nacionales hasta el emplazamiento	1,00	1,00	1,31
Criterio 11: Reducción de costo de transporte dada por la proximidad a puertos de descarga de las piezas del parque eólico	0,80	0,76	1,00
Suma de Columnas	3	3	4

MATRIZ NORMALIZADA					
X	Criterio 9: Reducción de costo de conexión al sistema interconectado de energía nacional (SIN)	Criterio 10: Reducción de costos de construcción de vías de acceso para el transporte de las piezas del parque eólico, desde las vías nacionales hasta el emplazamiento	Criterio 11: Reducción de costo de transporte dada por la proximidad a puertos de descarga de las piezas del parque eólico	VECTOR PRIORIDAD	3,000303012
Criterio 9: Reducción de costo de conexión al sistema interconectado de energía nacional (SIN)	0,36	0,36	0,35	0,36	COEFICIENTES DE CONSISTENCIA
Criterio 10: Reducción de costos de construcción de vías de acceso para el transporte de las piezas del parque eólico, desde las vías nacionales hasta el emplazamiento	0,36	0,36	0,37	0,36	
Criterio 11: Reducción de costo de transporte dada por la proximidad a puertos de descarga de las piezas del parque eólico	0,29	0,28	0,28	0,28	
	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Resultados de consolidado de Categoría de Criterios de Riesgo

CATEGORÍA DE RIESGO			
X	Criterio 12: Impacto en la flora y la fauna local	Criterio 13: Mortandad de aves	Criterio 14: Impacto paisajístico local
Criterio 12: Impacto en la flora y la fauna local	1	1 1/8	2 3/8
Criterio 13: Mortandad de aves	8/9	1	1 1/2
Criterio 14: Impacto paisajístico local	3/7	2/3	1

MATRIZ NORMALIZADA					
X	Criterio 12: Impacto en la flora y la fauna local	Criterio 13: Mortandad de aves	Criterio 14: Impacto paisajístico local	VECTOR PRIORIDAD	
Criterio 12: Impacto en la flora y la fauna local	0,43	0,40	0,48	0,44	3,012501261
Criterio 13: Mortandad de aves	0,38	0,36	0,31	0,35	COEFICIENTES DE CONSISTENCIA
Criterio 14: Impacto paisajístico local	0,18	0,24	0,20	0,21	0,01
1,00 1,00 1,00 1,00					

Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Resultados de consolidado de Alternativas según Criterios Beneficio.

ALTERNATIVAS CRITERIO 2					MATRIZ NORMALIZADA						
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORIDAD	
A1	1	3/5	2/5	1 4/5	A1	1/6	1/6	1/8	1/3	0,21	4,199624793
A2	1 5/8	1	1	1 1/4	A2	2/7	2/7	1/3	1/4	0,28	COEFICIENTE DE CONSISTENCIA
A3	2 1/2	1	1	1 1/7	A3	4/9	2/7	1/3	2/9	0,31	0,07
A4	5/9	4/5	7/8	1	A4	0	1/4	1/4	1/5	0,20	
SUMA	6	3	3	5	SUMA	1	1	1	1		

ALTERNATIVAS CRITERIO 1					MATRIZ NORMALIZADA						
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORIDAD	
A1	1	1 3/5	2 3/7	2 3/7	A1	2/5	3/8	1/2	2/7	0,40	4,12782333
A2	5/8	1	4/5	3 1/5	A2	1/4	1/4	1/6	3/8	0,26	C.C
A3	2/5	1 1/4	1	2	A3	1/6	2/7	1/5	2/9	0,23	0,05
A4	2/5	1/3	1/2	1	A4	1/6	0	1/9	1/9	0,12	
suma	2	4	5	9	suma	1	1	1	1		

Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Resultados de consolidado de Alternativas según Criterios de Oportunidad.

ALTERNATIVAS CRITERIO 3					MATRIZ NORMALIZADA						
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORIDAD	
A1	1	1	1/5	3	A1	1/8	1/8	1/8	1/4	0,15	4,274632838
A2	1	1	1/5	3 2/5	A2	1/8	1/8	1/8	1/4	0,16	CC
A3	5 4/9	5 4/9	1	5 4/9	A3	2/3	5/7	2/3	3/7	0,62	0,10
A4	1/3	2/7	1/5	1	A4	0	0	1/8	0	0,07	
suma	8	8	2	13	suma	1	1	1	1		
Matriz de Comparación											

ALTERNATIVAS CRITERIO 4					Matriz de Normalizada						
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORID	
A1	1	1	3	2	A1	1/3	3/8	1/3	1/4	0,34	4,181362871
A2	1	1	3 7/8	2 3/4	A2	1/3	3/8	1/2	1/3	0,39	CC
A3	1/3	1/4	1	2	A3	1/8	0	1/8	1/4	0,15	0,07
0	1/2	1/3	1/2	1	A4	1/6	1/7	0	1/8	0,12	
SUMA	3	3	8	8	SUMA	1	1	1	1		
Matriz de Comparación											

ALTERNATIVAS CRITERIO 5					MATRIZ NORMALIZADA						
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORIDAD	
A1	1	1/3	3/4	1/5	A1	0	1/9	1/6	0	0,11	4,117296
A2	3 1/5	1	1 3/4	7/8	A2	1/3	1/3	1/3	1/3	0,33	CC
A3	1 1/3	4/7	1	7/9	A3	1/8	1/5	1/5	1/4	0,20	0,04
A4	5	1 1/7	1 2/7	1	A4	1/2	3/8	1/4	1/3	0,37	
SUMA	11	3	5	3	SUMA	1	1	1	1		
Matriz de Comparación											

ALTERNATIVAS CRITERIO 6					MATRIZ NORMALIZADA					
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORIDAD
A1	1	1/3	3/4	1/5	A1	0	1/9	1/6	0	0,11
A2	3 1/5	1	1 3/4	7/8	A2	1/3	1/3	1/3	1/3	0,33
A3	1 1/3	4/7	1	7/9	A3	1/8	1/5	1/5	1/4	0,20
A4	5	1 1/7	1 2/7	1	A4	1/2	3/8	1/4	1/3	0,37
SUMA	11	3	5	3	SUMA	1	1	1	1	
Matriz de Comparación										

4,11729681

CC

0,04

ALTERNATIVAS CRITERIO 7					MATRIZ NORMALIZADA					
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORIDAD
A1	1	1	1	1	A1	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
A2	1	1	1	1	A2	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
A3	1	1	1	1	A3	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
A4	1	1	1	1	A4	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
SUMA	4	4	4	4	SUMA	1	1	1	1	
Matriz de Comparación										

4

CC

0,00

ALTERNATIVAS CRITERIO 8					MATRIZ NORMALIZADA					
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORIDAD
A1	1	1 1/2	4 1/2	3	A1	4/9	2/5	3/5	2/5	0,46
A2	2/3	1	1 1/3	2 1/2	A2	2/7	2/7	1/6	1/3	0,27
A3	2/9	3/4	1	1 1/5	A3	0	1/5	1/8	1/6	0,15
A4	1/3	2/5	5/6	1	A4	1/7	1/9	1/9	1/8	0,13
SUMA	2	4	8	8	SUMA	1	1	1	1	
Matriz de Comparación										

4,096778049

CC

0,04

Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Resultados de consolidado de Alternativas según Criterios de Costo.

ALTERNATIVAS CRITERIO 9					MATRIZ NORMALIZADA					
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORIDAD
A1	1	1	1	1	A1	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
A2	1	1	1	1	A2	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
A3	1	1	1	1	A3	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
A4	1	1	1	1	A4	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
SUMA	4	4	4	4	SUMA	1	1	1	1	
Matriz de Comparación										

4

CC

0,00

ALTERNATIVAS CRITERIO 10					MATRIZ NORMALIZADA					
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORIDAD
A1	1	1 5/8	4 7/8	3 1/5	A1	1/2	2/5	3/5	2/5	0,47
A2	3/5	1	1 1/2	2 1/2	A2	2/7	1/4	1/5	1/3	0,26
A3	1/5	1	1	1 1/5	A3	0	1/4	1/8	1/7	0,15
A4	1/3	2/5	5/6	1	A4	1/7	1/9	1/9	1/8	0,12
SUMA	2	4	8	8	SUMA	1	1	1	1	
Matriz de Comparación					Matriz de Comparación					

4,244811908
CC
0,09

ALTERNATIVAS CRITERIO 11					MATRIZ NORMALIZADA					
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORIDAD
A1	1	1	1	1	A1	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
A2	1	1	1	1	A2	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
A3	1	1	1	1	A3	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
A4	1	1	1	1	A4	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
SUMA	4	4	4	4	SUMA	1	1	1	1	
Matriz de Comparación					Matriz de Comparación					

4
CC
0,00

Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Resultados de consolidado de Alternativas según Criterios de Riesgo.

ALTERNATIVAS CRITERIO 12					MATRIZ NORMALIZADA					
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORIDAD
A1	1	1 1/3	1 1/2	1	A1	1/3	2/7	1/3	1/3	0,30
A2	3/4	1	1	2/3	A2	2/9	1/5	1/5	1/5	0,21
A3	2/3	1	1	2/3	A3	1/5	1/5	1/5	1/5	0,20
A4	1	1 1/2	1 1/2	1	A4	2/7	1/3	1/3	2/7	0,30
SUMA	3	5	5	3	SUMA	1	1	1	1	
Matriz de Comparación					Matriz de Comparación					

4,004370632
CC
0,002

ALTERNATIVAS CRITERIO 13					MATRIZ NORMALIZADA					
X	A1	A2	A3	A4	X	A1	A2	A3	A4	VECTOR PRIORIDAD
A1	1	1	1	1	A1	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
A2	1	1	1	1	A2	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
A3	1	1	1	1	A3	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
A4	1	1	1	1	A4	1/4	1/4	1/4	1/4	0,25
SUMA	4	4	4	4	SUMA	1	1	1	1	
Matriz de Comparación					Matriz de Comparación					

4
CC
0,00

Fuente: Elaboración propia