

SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO BASADO EN FUENTES NO
CONVENCIONALES DE ENERGÍA PARA PESCA ARTESANAL EN EL
MUNICIPIO DE GUAPI, CAUCA



Diego Alejandro Chacón Campo

Monica Tatiana Rengifo Ordoñez

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Programa de Ingeniería en Automática Industrial

Popayán - Cauca

2021

SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO BASADO EN FUENTES NO
CONVENCIONALES DE ENERGÍA PARA PESCA ARTESANAL EN EL
MUNICIPIO DE GUAPI, CAUCA

Diego Alejandro Chacón Campo

Monica Tatiana Rengifo Ordoñez

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el
título de: Ingeniero(a) en Automática Industrial

Director: Dr. Maximiliano Bueno López

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Programa de Ingeniería en Automática Industrial

Popayán - Cauca

2021

Resumen

El presente trabajo de grado se lleva a cabo en el marco del “*Proyecto Econavipesca Del Pacífico: Ecosistema Para La Navegación Pesquera Sostenible En El Municipio De Guapi, Cauca*”, el cual tiene como propósito el diseño e implementación de un modelo sustentable asociado a la cadena de valor de la pesca artesanal en Guapi, que incluye el diseño tanto de una embarcación híbrida como de la cadena de valor y modelo de gestión socio-empresarial. Dentro de este orden de ideas, el presente documento describe una solución tecnológica para un sistema de generación híbrido basado en fuentes no convencionales de energía renovable para una embarcación utilizada en pesca artesanal; por consiguiente, la investigación se centró en determinar la disponibilidad de fuentes no convencionales de energía renovable en la zona objeto de estudio y con el fin de seleccionar la alternativa energética adecuada para realizar el dimensionamiento del sistema electropropulsivo de la embarcación, se implementó un método de análisis de decisiones de criterios múltiples considerando factores sociales, técnicos, económicos y ambientales, de tal manera que la propuesta sea una solución energéticamente sostenible.

Abstract

This degree work is carried out within the framework of the “*Pacific Econavipesca Project: Ecosystem for Sustainable Fishing Navigation in the Municipality of Guapi, Cauca*”, which aims to design and implement a sustainable model associated with small-scale artisanal fishing in Guapi, which includes the design of both a hybrid boat and the value chain and socio-business management model. In this line of thought, this proposal describes a technological solution for a hybrid generation system based on non-conventional sources of renewable energy for a vessel used in artisanal fishing; Therefore, the research focused on determining the availability of non-conventional sources of renewable energy in the study area and to select the appropriate energy alternative to carry out the dimensioning of the electric propulsive system of the vessel, a method of multi-criteria decision analysis considering social, technical, economic and environmental factors, therefore, the research focused on determining the availability of non-conventional sources of renewable energy in the study area and to select the appropriate energy alternative to carry out the dimensioning of the electric propulsive system of the vessel, a method of multi-criteria decision analysis considering social, technical, economic and environmental factors, in such a way that the proposal is an energetically sustainable solution.

Índice

Índice de tablas	5
Índice de figuras	7
1. Introducción	9
1.1. Planteamiento del problema	9
1.2. Objetivos	11
1.3. Antecedentes	11
2. Transición energética en Colombia	15
2.1. Consumo energético del sector transporte	17
2.2. Política Energética y normatividad	21
2.3. Pobreza Energética en Colombia	24
3. Análisis de Potenciales de generación	28
3.1. Análisis de potencial por tipo de generación	29
3.1.1. Energía solar fotovoltaica	29
3.1.2. Energía eólica	30
3.1.3. Energía de los océanos	32
3.2. Información energética en el Departamento del Cauca	35
3.2.1. Caracterización energética del municipio de Guapi, Cauca	40
4. Método de análisis de decisiones de criterios múltiples	42
4.1. Definir el problema	43
4.2. Determinación de criterios a emplear en el modelo	46
4.3. Identificar las alternativas	47
4.4. Evaluar las alternativas mediante el proceso analítico jerárquico - AHP	47
4.4.1. Definir objetivo en modelo jerárquico	48
4.4.2. Determinar pesos de cada criterio	49
4.4.3. Calcular la puntuación de cada alternativa considerando criterios	52
4.4.4. Calcular la puntuación global de cada alternativa	53
4.5. Seleccionar las alternativas	53
5. Sistema híbrido de generación basado en FNCER	55
5.1. Características de las actuales embarcaciones utilizadas para pesca artesanal en el municipio de Guapi, Cauca	55
5.2. Estudio y análisis de la potencia requerida	56
5.2.1. Línea base de demanda energética	56
5.2.2. Selección de equipos	58
5.2.3. Cálculo del sistema de electro propulsión	59
5.2.4. Perfil de carga y consumo diario de la embarcación	64
5.3. Dimensionamiento del sistema híbrido de generación de la embarcación	64
5.3.1. Sistema solar fotovoltaico	65
5.3.2. Sistema de almacenamiento de energía	68

5.3.3. Sistema de generación diésel	69
6. Análisis de resultados	73
6.1. Contribuciones del trabajo de grado	73
6.2. Conclusiones	73
6.3. Recomendaciones	75
6.4. Publicaciones y reconocimientos derivados del trabajo de grado	75
6.5. Trabajos futuros	76
6.6. Aportes a la Ingeniería en Automática Industrial	76

Índice de tablas

3.1. Índice de Cobertura de Energía Eléctrica del Departamento del Cauca 2018.	37
3.2. Proyectos FNCER.	40
4.1. Criterios e indicadores utilizados para este análisis.	47
4.2. Escala para establecer las estimaciones	49
4.3. Nivel de importancia de cada subcriterio.	50
4.4. Escala de Saaty	50
4.5. Comparación pareada entre criterios	51
4.6. Vector de prioridades inicial	51
4.7. Matriz de ponderación de cada alternativa	53
4.8. Puntuación global de cada alternativa	53
5.1. Línea base de consumo energético	58
5.2. Cuadro de cargas y consumo diario de la embarcación	64
E.1. Valor de C_{STERN}	115
E.2. Valores de $(1 + k_2)$ para los diferentes apéndices	116

Índice de figuras

2.1.	Capacidad efectiva neta del SIN a diciembre 31 de 2019 y 2020.	15
2.2.	Número de registro de proyectos vigentes a febrero de 2021.	16
2.3.	Participación del sector minero energético en el PIB.	17
2.4.	Consumo final de energía en Colombia (PJ).	18
2.5.	Consumo energético en el sector transporte.	18
2.6.	Resultados del Balance de energía útil (TJ).	19
2.7.	Potenciales de ahorro respecto a las mejores tecnologías disponibles. . .	20
2.8.	Resultados del Balance de energía útil para el sector transporte (TJ). .	21
2.9.	Ubicación de Zonas No Interconectadas.	25
2.10.	Mapa del ICEE total preliminar 2018 a nivel de municipio.	26
3.1.	Irradiación global horizontal media diaria.	30
3.2.	Velocidad promedio del viento en superficie.	32
3.3.	Velocidad de las corrientes oceánicas en Colombia. Medias mensuales para los meses de abril (a), octubre (b), junio (c) y diciembre (d). . . .	34
3.4.	Cobertura de la Compañía Energética de Occidente.	38
3.5.	Mapa de las carreteras del Cauca.	40
4.1.	Clasificación MCDM.	42
4.2.	Etapas del proceso de decisión.	43
4.3.	Jornada de pesca.	44
4.4.	Diagrama de costos de pesca.	45
4.5.	Pasos del proceso analítico jerárquico.	48
4.6.	Esquema del proceso analítico jerárquico en el caso de estudio.	48
5.1.	Medidas de las actuales embarcaciones	56
5.2.	Alzado del casco.	60
5.3.	Perfil del casco.	60
5.4.	Planta del casco.	61
5.5.	Gráfica de Resistencia vs Velocidad.	62
5.6.	Gráfica de Potencia vs Velocidad.	63
5.7.	Promedio anual de radiación solar del municipio de Guapi.	65
5.8.	Sistema solar fotovoltaico.	70
5.9.	Perfil de carga de un posible escenario de un día de pesca.	70
5.10.	Auto configuración de la capacidad del generador diésel	71
5.11.	Capacidad del generador diésel.	71
5.12.	Resultados simulación.	72
5.13.	Esquema del sistema híbrido de generación.	72
A.1.	Respuesta de la encuesta Cap. Francisco Javier Murillo.	88
A.2.	Respuesta parte I de la encuesta Cap. Francisco Javier Murillo.	89
A.3.	Respuesta parte II de la encuesta Cap. Francisco Javier Murillo.	90
A.4.	Respuesta de la encuesta Ing. Hugo Cesar Cuero.	91
A.5.	Respuesta parte I de la encuesta Ing. Hugo Cesar Cuero.	92
A.6.	Respuesta parte II de la encuesta Ing. Hugo Cesar Cuero.	93
A.7.	Respuesta de la encuesta Dr. Maximiliano Bueno Lopez.	94
A.8.	Respuesta parte I de la encuesta Dr. Maximiliano Bueno Lopez.	95

A.9. Respuesta parte II de la encuesta Dr. Maximiliano Bueno Lopez.	96
A.10. Respuesta de la encuesta Of. Ángel Rojas.	97
A.11. Respuesta parte I de la encuesta Of. Ángel Rojas.	98
A.12. Respuesta parte II de la encuesta Of. Ángel Rojas.	99
A.13. Respuesta de la encuesta Est. Jenner Sinisterra.	100
A.14. Respuesta parte I de la encuesta Est. Jenner Sinisterra.	101
A.15. Respuesta parte II de la encuesta Est. Jenner Sinisterra.	102
B.1. Matrices de comparación pareada entre alternativas para cada subcriterio.	103
C.1. Interfaz de inicio.	104
C.2. Base de datos.	105
C.3. Resultado final.	105
D.1. Respuesta selección de equipos.	106
D.2. Respuesta selección de equipos.	106
D.3. Respuesta selección de equipos.	107
D.4. Respuesta selección de equipos.	107
D.5. Respuesta selección de equipos.	108
D.6. Respuesta selección de equipos.	108
D.7. Respuesta selección de equipos.	109
D.8. Respuesta selección de equipos.	109
D.9. Respuesta selección de equipos.	110
E.1. Sistema de fuerzas que actúa sobre una embarcación planeadora.	111
E.2. Relación incremento de la relación eslora-manga mojada, trimado, ángulo de astilla muerta.	113
F.1. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-1.	121
F.2. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-2.	122
F.3. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-3.	122
F.4. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-4.	123
F.5. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-5.	123
F.6. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-6.	124
F.7. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-7.	124
F.8. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-8.	125
F.9. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-9.	125
F.10. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-10.	126
F.11. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-11.	126
F.12. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-12.	127
F.13. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-13.	127
F.14. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-14.	128
F.15. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-15.	128
F.16. Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-16.	129

*“La preocupación por el hombre y su destino
siempre debe ser el interés primordial de
todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto
entre tus diagramas y ecuaciones.”*
Albert Einstein

1. Introducción

En este capítulo se presenta la motivación que dio origen a este trabajo. Se hace una descripción del problema a resolver, se mencionan los objetivos conseguidos y se da un contexto del estado actual del tema estudiado.

1.1. Planteamiento del problema

Las embarcaciones utilizadas para la movilidad marítima y fluvial son una parte importante de las comunicaciones y la actividad económica de la región; sin embargo, el uso de combustibles fósiles para la propulsión, conduce a problemas como el agotamiento de los recursos naturales, daños ambientales por el poco mantenimiento de estas embarcaciones y pocas horas de navegación debido al alto costo del combustible en zonas aisladas [1]. Con base en lo anterior, se ha buscado implementar fuentes de energía limpias que reemplacen las convencionales sin que se vea afectada la eficiencia, la economía y seguridad de las personas que emplean estos medios de transporte [2].

Los recursos renovables disponibles en vías marítimas y fluviales, tales como el viento, las olas y la energía solar, se pueden emplear para mejorar la tecnología de transporte limpia y ecológica [3]. Dado que la energía producida por dichas fuentes no es constante en todo momento debido a las condiciones climáticas de la zona, se pueden incorporar en conjunto para tener un sistema confiable y que opere dentro de los valores establecidos [4]. Lo anterior con el fin de que cuando el subsistema que esté aportando la potencia, no sea suficiente, este debe pasar a su punto de conversión óptimo y la potencia restante debe ser aportada por el otro subsistema o por el sistema de almacenamiento [5], lo que garantiza el óptimo funcionamiento y a sus vez la prolongación de la vida útil de los sistemas de almacenamiento.

En este sentido, un sistema de generación híbrido basado en fuentes no convencionales de energía para movilidad eléctrica marítima y fluvial, se caracteriza por la manera en que mantiene su frecuencia bajo fluctuaciones en la potencia de generación y demandas de carga, y además garantiza la cobertura de la demanda [6, 7]. Generalmente los sistemas híbridos de generación se construyen de tal manera que se puedan aprovechar las ventajas de las fuentes individuales [8], este hecho crea la necesidad de utilizar un buen sistema de almacenamiento de energía eléctrica con el fin de aportar significativamente en cuanto a la estabilidad y confiabilidad del sistema [9]. En un sistema híbrido es fundamental gestionar el flujo de energía entre los diferentes componentes, se necesita una estrategia para controlar los intercambios de energía del sistema y también para regular el proceso de carga y descarga de la unidad de almacenamiento [10].

Cabe considerar que los sistemas de generación híbridos basados en fuentes no convencionales, tienen grandes retos para garantizar un buen rendimiento y operar en los puntos de máxima transferencia de potencia. Para el diseño e implementación de estos sistemas generalmente se busca aprovechar las ventajas individuales de las fuentes de energía, lo cual puede causar el sobredimensionamiento de las fuentes y los sistemas de almacenamiento [9]. El hecho de sobredimensionar las fuentes de energía conlleva a requerir mayor área de instalación para los componentes de dichas fuentes; sin embargo,

las embarcaciones comúnmente utilizadas en medios marítimos y fluviales carecen de este espacio, lo que finalmente limita el sistema de generación [1]. Además la intermitencia de las fuentes de energía renovable y la variabilidad de las condiciones atmosféricas elevan la complejidad del sistema híbrido y la determinación del plan operativo mas económico se convierte en una tarea desafiante [10].

En la literatura se han realizado diversas investigaciones sobre sistemas híbridos de generación basados en fuentes no convencionales de energía, donde se plantean diversas combinaciones de fuentes que componen el sistema de generación y además se destacan sus principales características, ventajas y desventajas. En [11] se propone un sistema de energía híbrida marina que consta de un generador diesel, energía solar, una batería y un supercondensador, y se establece un modelo matemático de generación de energía solar en condiciones oceánicas, donde se analizaron las características de actuación de la potencia de salida solar y la capacidad óptima del supercondensador. Para el diseño del sistema de generación en [12] se presentó una propuesta detallada haciendo uso de energía solar y energía térmica como medio de propulsión, teniendo en cuenta instalaciones efectivas para la seguridad de los pasajeros. Para determinar el tamaño óptimo de un sistema de energía híbrido. En [13, 14] se propuso un algoritmo de optimización de intervalo y un algoritmo de optimización de enjambre de partículas.

Según la consulta bibliográfica realizada, algunas de las desventajas en los sistemas híbridos de generación basados en fuentes de energía no convenciones para el desarrollo de embarcaciones, se presentan por la influencia del movimiento de la embarcación, lo cual conlleva a tener fluctuaciones en la potencia del sistema, además de las ya causadas por los factores climáticos debido a la naturaleza estocástica de estas fuentes; esto hace que dichas fluctuaciones minimicen la capacidad útil real del sistema de almacenamiento. Otra desventaja de los de los sistema híbridos de generación sustentada en elementos científicos, es su baja sostenibilidad, esto es aún más notorio cuando este tipo de sistemas son manipulados directamente por personas que no tienen un conocimiento técnico mínimo sobre las características de estos dispositivos. Hay factores diferentes a los técnicos que también influyen en la selección de un sistema de generación y esto es aún más evidente cuando la aplicación del sistema está enfocada al beneficio de una comunidad en particular. Es bajo estas circunstancias que el análisis multicriterio toma importancia y es necesario considerar elementos como la madurez de la tecnología, facilidad de uso, costos de operación y mantenimiento, entre otros elementos que no solo dependen de la disponibilidad del recurso primario.

En este contexto, con el presente trabajo de grado se busca identificar las características ideales para un sistema de generación híbrido basado en fuentes no convencionales de energía para movilidad eléctrica marítima y fluvial, con base en los diferentes factores de carga considerados para el desarrollo de una embarcación utilizada en pesca artesanal. Para ello se propone la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las características que permiten obtener un dimensionamiento óptimo de un sistema de generación híbrido basado en fuentes no convencionales de energía para el desarrollo de una embarcación utilizada en pesca artesanal en el municipio de Guapi, Cauca?

1.2. Objetivos

Objetivo General

Proponer un sistema de generación híbrido basado en fuentes no convencionales de energía renovable para movilidad eléctrica marítima y fluvial con aplicaciones en pesca artesanal.

Objetivos Específicos

- Identificar las potenciales fuentes de energía renovables disponibles en vías marítimas y fluviales de la región, capaces de generar la potencia suficiente para satisfacer la demanda de la embarcación.
- Formular un análisis multicriterio para la selección del tipo de fuentes de energía renovables que harán parte del sistema de generación híbrido.
- Dimensionar el sistema híbrido de generación con base en los diferentes factores de carga considerados para el desarrollo de la embarcación utilizada en pesca artesanal.

1.3. Antecedentes

Actualmente las investigaciones sobre fuentes renovables, como lo son la energía de olas [15], la energía geotérmica [16], la energía de biomasa [17], energía eólica [18] y la energía solar [19], han generado una tendencia considerable en cuanto a la generación de energía, esto debido al impacto socioeconómico, ambiental y tecnológico que caracteriza a dichas fuentes, sin embargo las fuentes convencionales de energía (hidroeléctricas y térmicas) siguen siendo las más utilizadas al brindar mayor estabilidad y no depender directamente de variables climáticas.

Una de las principales fuentes renovables de energía, es la energía solar, esta dispone de un gran número de investigaciones relacionadas a su aplicación, puesto que cuenta con tecnologías como la energía solar concentrada [20], la tecnología solar térmica [21] y las celdas fotovoltaicas [22], las cuales mejoran el aprovechamiento de este recurso; siendo las celdas fotovoltaicas la solución tecnológica de mayor uso, esto gracias a la fácil implementación de sus componentes, además de ser una solución sostenible con el medio ambiente y con el entorno económico. No obstante, la conversión de energía de las células fotovoltaicas es relativamente baja, porque la mayor parte de la energía solar de entrada se pierde en el medio ambiente en forma de calor residual [23]. Otra de las fuentes renovables en cuanto a la generación de energía limpia y ecología, es la energía eólica, ya que esta tendrá un papel fundamental en el futuro del suministro global de energía [24]. Sin embargo, la energía eólica es un recurso energético incierto y altamente aleatorio, ya que los parámetros meteorológicos como la temperatura, la humedad, la presión del aire, la dirección y velocidad del viento presentan enormes desafíos para la previsión de energía eólica [25].

En este aspecto, se puede concluir que las fuentes de energía renovables son de na-

turalidad estocástica, por lo cual diversas investigaciones sobre este tema han revelado que realizar una previsión de dichas fuentes es una opción acertada para aumentar la fiabilidad y viabilidad del sistema para reducir costos de operación y mejorar su eficiencia [26]. Pese a que realizar una previsión suena bastante atractivo, este es un proceso difícil debido al alto nivel de incertidumbre de las variables meteorológicas; puesto que la incertidumbre genera altos niveles de errores en la predicción de los datos, por lo tanto pronosticar las fuentes no convencionales de energías renovables se considera una tarea desafiante en la cual los autores siguen realizando aportes en torno al tema [27].

En relación a la idea anterior, se propone que una fuente autónoma de energía renovable, se combine con otra fuente de energía para compensar la potencia de la carga [28]. Es decir, implementar sistemas híbridos de generación basados en fuentes no convencionales de energía para obtener un sistema confiable y eficiente en cuanto a la continuidad de operación; dichos sistemas híbridos se encuentran en una etapa avanzada dentro del ámbito de la investigación [29]. Donde se han propuesto diversas combinaciones de fuentes de energía para satisfacer la demanda de carga y operar dentro de los valores establecidos. Para mejorar el rendimiento operativo y los índices ecológicos a corto y mediano plazo, se han implementado sistemas híbridos que combinan fuentes renovables de energía con fuentes tradicionales, el sistema de este tipo más conocido es el sistema híbrido compuesto por una matriz fotovoltaica, celda de combustible de tipo membrana de electrolito de polímero (PEM) y generador diesel que utiliza aceite diesel para su operación [30]. Ahora bien, para reducir las emisiones y dejar a un lado las fuentes tradicionales, además de maximizar el rendimiento económico y mejorar la estabilidad, se han propuesto sistemas híbridos compuestos únicamente por fuentes de generación no convencionales, siendo la opción más utilizada la combinación de la energía solar con la energía eólica gracias a la naturaleza complementaria (momentos de operación pico ocurren a diferentes momentos) que mejora la confiabilidad del sistema híbrido sin necesidad de sobredimensionar los componentes del sistema, para cumplir con la carga durante períodos de tiempo prolongados de forma constante y con menos fluctuaciones [31].

Generalmente los mencionados sistemas híbridos basados en fuentes de energía renovable están acoplados a dispositivos de almacenamiento de energía (baterías eléctricas) que permiten operaciones en una amplia gama de condiciones que no solo puede estabilizar la potencia de salida, sino también mejorar el rendimiento del sistema y operar como respaldo [29]. De esta manera, la generación cooperativa de energía eólica y fotovoltaica y el almacenamiento de energía mitigan el comportamiento incierto de las fuentes de energía renovables.

Ahora bien, la integración de las energías renovables en los sistemas de energía de las embarcaciones se han convertido en un tema importante de investigación [32, 5]. Esto debido a que existen diversos factores que se deben considerar ya que las embarcaciones tienen características especiales al encontrarse en constante movimiento, puesto que la posición relativa de la embarcación varía en el tiempo [33]. Uno de estos factores es el cambio de ángulo que ocurre cuando un barco se balancea por los vientos y las olas presentes en vías fluviales y marítimas lo cual conlleva a tener fluctuaciones en

la potencia del sistema [11]. Es aquí donde los anteriormente mencionados sistemas híbridos de generación toman importancia, debido a la complementariedad que existe entre una fuente y otra para satisfacer la demanda de carga de la embarcación, sin embargo las embarcaciones utilizadas para pesca artesanal carecen de espacio para la instalación de los componentes, lo que finalmente limita el sistema de generación convirtiéndose así en otro factor importante a considerar [1].

En este sentido se comprende que existen diversas formas de compensar la potencia de carga, sin embargo para un sistema híbrido de generación basado en fuentes no convencionales de energía para movilidad eléctrica marítima y fluvial, se han estudiado algunas condiciones como minimizar la capacidad de las baterías de almacenamiento, especialmente desde el punto de vista de su volumen y su peso, puesto que están a bordo de un barco, pero con la salvedad de mantener la estabilidad del sistema; otra consideración que se ha tomado en cuenta es mantener la salida constante frente a cambios y afectaciones de las variables meteorológicas para que el sistema opere en los rangos establecidos, sin disminuir el rendimiento [34].

Las investigaciones sobre sistemas híbridos de generación, también han demostrado la importancia de la optimización con respecto a varios aspectos del sistema, dentro de los cuales se encuentra que el dimensionamiento óptimo de los sistemas híbridos de generación basados en fuentes de energía renovable para movilidad eléctrica marítima y fluvial es indispensable, debido a que puede ayudar a respaldar la menor inversión con un uso adecuado y completo de los componentes del sistema [35]. También se propone un modelo de optimización de configuraciones de capacidad basado en un algoritmo de optimización de enjambre de partículas para maximizar el rendimiento económico [36]. Para lograr un costo mínimo de generación de energía, en [37] se obtiene el tamaño óptimo de cada componente utilizando la técnica de optimización de gaviota modificada y se compara con otros dos métodos de optimización (algoritmo de optimización de gaviota original (SOA) y el algoritmo de fertilidad de tierras agrícolas modificado (MFFA)). Otra forma de optimizar el tamaño del sistema, es enfocarse en el almacenamiento, lo cual mejora la utilización del banco de baterías y evita la pérdida de suministro de energía [38]. El diseño de un sistema de generación híbrido se basa en el análisis del potencial de cada fuente de energía, recopilando datos de las variables de sensibilidad y analizándolos [31]. En [39] se señalan los parámetros de eficiencia y se adopta un método de optimización paramétrica para diseñar el sistema con la máxima eficiencia concebible. Las herramientas de optimización le dan al diseñador la libertad de asignar los pesos asociados con el aspecto económico, impacto ambiental, regulaciones gubernamentales e impacto social, además de características técnicas idóneas [40].

La necesidad de incorporar estas consideraciones en la energización de la embarcación, da como resultado el uso de un enfoque multicriterio, ya que socialmente no es aceptable sugerir una alternativa sin tener en cuenta los intereses y preferencias de los múltiples factores afectados [41]. Por tal motivo, para realizar la correcta elección de las fuentes de energía no convencionales que componen el sistema híbrido de generación con base a una planificación energética, es importante contar con una técnica de toma de decisiones de

criterios múltiples que disminuya la subjetividad y aleatoriedad al momento de tomar una decisión.

Dentro de la literatura se ha mencionado que los métodos más utilizados en el sector energético para la selección de energías renovables se clasifican en: Métodos de sobreclasificación o superioridad como ELECTRE (Eliminación y elección que traducen la realidad) y PROMETHEE (Método para enriquecer la evaluación ordenando las preferencias), los cuales se caracterizan por establecer relaciones de sobreclasificación entre las diferentes alternativas y su base son los conceptos de concordancia y discordancia. Métodos de medición de valor o ranking como AHP (Proceso analítico jerárquico) y MAUT (Teora de utilidad multiatributo), los cuales se caracterizan por la asignación a priori de los pesos de cada criterio, y finalmente métodos de nivel de preferencias o distancias como TOPSIS (Técnica para la preferencia del orden por similitud a la solución ideal) Y VIKOR (Solución por compromiso para optimización multicriterio), los cuales tienen su origen en los métodos de la distancia a la alternativa ideal, donde alternativa ideal se comprende como aquella que supera al resto en todos los criterios [42].

A pesar de que las técnicas de toma de decisiones de criterios múltiples se utilizan en muchas áreas, la implementación de las mismas para la elección de fuentes no convencionales de energía, hasta donde tienen conocimiento los autores, no ha sido utilizada para el diseño de embarcaciones, sin embargo los métodos multicriterio si se han utilizado en la elección de la mejor alternativa para la solución de problemas de selección de tecnologías de energías renovables para zonas no interconectadas. En [42] además se destaca que la tendencia en el sector eléctrico es la implementación del método AHP (Proceso Analítico Jerárquico) por su fácil comprensión y su adaptabilidad, además este método se usa ampliamente para la toma de decisiones de criterios múltiples en varios dominios que involucran beneficios, oportunidades, riesgos y costos [43]. Por ejemplo, en [44] se implementó el método AHP para encontrar los pesos de los criterios que cubren aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociopolíticos para resolver el problema de selección de tecnologías de energía renovable para los refugiados Rohingya en Bangladesh. Los autores de [45] proponen un método que ayuda a decidir la mejor alternativa para sistemas de suministro de energía fuera de la red en áreas remotas, considerando problemas operativos y de planificación de sistemas de energía complejos de múltiples objetivos, donde la combinación de aplicar AHP para información tanto cualitativa como cuantitativa y usar software para evaluar datos cuantitativos establece un mejor enfoque.

2. Transición energética en Colombia

Colombia presenta un alto potencial energético que es aprovechable cuando los entes gubernamentales proporcionan los diferentes instrumentos que permitan el desarrollo de las diferentes tecnologías como eólica, solar, geotérmica, biomasa, entre otras [46]. La participación de estas fuentes de energía no aporta significativamente al Sistema Interconectado Nacional (SIN), tal y como se evidencia en el reporte integral de sostenibilidad, operación y mercado 2020 de XM. Reporte que detalla que al finalizar el año 2020 la capacidad efectiva del SIN fue de 17.484,71 MW, donde el 30,43 % es generado por fuentes de energías no renovables y el 69,57 % por fuentes de energía renovables, de las cuales solo el 1,26 % corresponde a la participación de las fuentes no convencionales de energía renovable, siendo el 0,80 % biomasa, 0,11 % eólica y 0,35 % solar [47]. En este sentido, en la figura 2.1, se observa esta clasificación y se evidencia que los recursos no renovables presentaron un decremento de 0,90 % al comparar la capacidad con la registrada a finales del año 2019.

Fuente de energía	2019 MW	2020 MW	Participación (%)	Variación 2020 vs. 2019
Fuentes de energía No Renovable				
Combustible fósil	5,369.74	5,321.34	30.43%	-0.90%
Total No Renovable	5,369.74	5,321.34	30.43%	-0.90%
Fuentes de energía Renovable				
Biomasa	139.60	139.60	0.80%	0.00%
Eólica	18.42	18.42	0.11%	0.00%
Hidráulica	11,916.61	11,944.79	68.32%	0.24%
Solar	17.98	60.56	0.35%	236.90%
Total Renovable	12,092.60	12,163.37	69.57%	0.59%
Total	17,462.34	17,484.71	100.00%	0.13%

Figura 2.1: Capacidad efectiva neta del SIN a diciembre 31 de 2019 y 2020.
Fuente: XM, Operador y administrador del SIN

El relativo subdesarrollo de las fuentes no convencionales de energía renovable (FN-CER) en Colombia, radica en los diferentes factores limitantes: costos de inversión asociados, contexto energético de relativa abundancia de recursos convencionales ligado a una fuerte participación de hidroenergía en la matriz eléctrica, sumado a dificultades socioculturales y políticas. Es por ello que los encargados de tomar decisiones del sector energético no han fortalecido la inclusión de las FN-CER [48]. Además de que el servicio de energía eléctrica en Colombia corresponde a un esquema de mercado donde se obtiene mayor beneficio de las grandes centrales hidroeléctricas o térmicas que de las FN-CER, a pesar que la ley colombiana establece el principio de neutralidad tecnológica donde

no pueden privilegiarse unas tecnologías sobre otras [49].

No obstante, Colombia avanza en dirección hacia la transformación gracias a la diversificación de su matriz energética a través del Plan Energético Nacional 2020-2050, en el cual se define una visión a largo plazo para el sector energético colombiano, buscando aumentar la capacidad instalada para la generación de energías renovables de fuentes no convencionales, las cuales en 2030 podrían representar el 17% de la capacidad del parque generador colombiano del futuro y en 2050 más del 40% [50]. Por otro lado, según el Informe de Registro de Proyectos de Generación de Electricidad de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), cuya fecha de corte es el 26 de Febrero de 2021, se tienen 1691 proyectos presentados desde 2007 que fomentan la participación de las FNCER. En el mencionado informe se detalla que hay 317 proyectos vigentes, de los cuales las plantas solares lideran las iniciativas con 217, a las que le siguen las centrales hidroeléctricas con 74, los parques eólicos con 19, térmicos con 5 y de biomasa con 2 [51]. En la figura 2.2 se presenta el número de registro de proyectos vigentes según su tipo de generación.

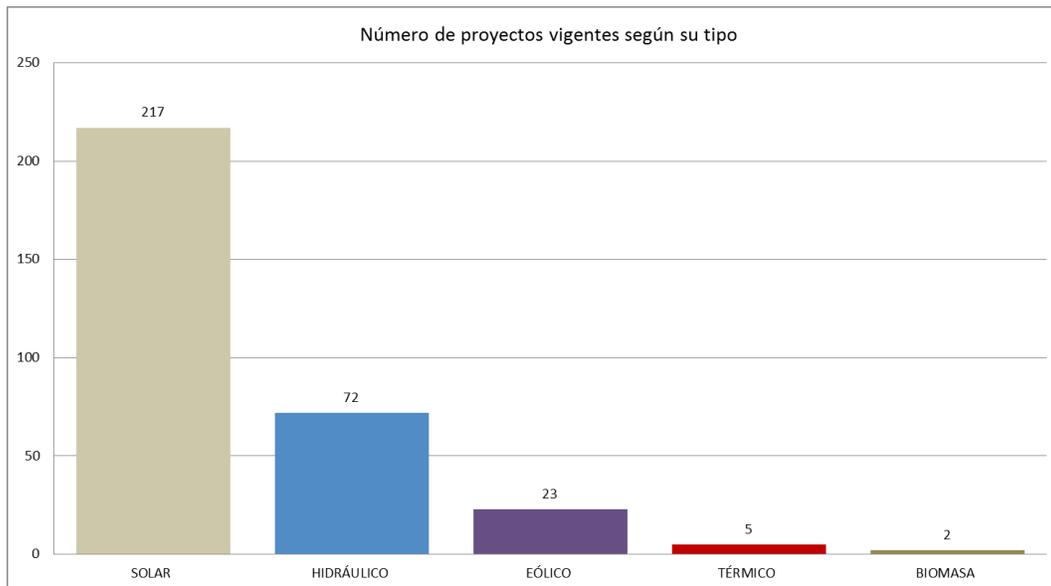


Figura 2.2: Número de registro de proyectos vigentes a febrero de 2021.
Fuente: UPME

Para continuar avanzando con la transición energética no sólo es importante revisar la evolución de la matriz energética, sino también la cantidad de energía utilizada para generar una unidad de valor agregado para la economía, por lo tanto se ha buscado fomentar la participación de las FNCER en usos energéticos para los sectores residencial, comercial y público, además de sectores clave como lo son transporte e industria [48, 52]. Dentro de este marco, el Plan Energético Nacional 2020-2050, *“propone posibles caminos encaminados hacia la sustitución de energéticos no renovables y contaminantes por fuentes renovables y con menores impactos ambientales, la optimización de los procesos en la cadena de valor gracias a la automatización y digitalización, la incorporación de*

soluciones energéticas modulares y de menor escala y el máximo aprovechamiento de la energía en su uso final”[50].

El Plan Energético Nacional 2020-2050 deja ver la importancia de la eficiencia energética desde el punto de vista económico, dado que se tiene en cuenta el Balance Energético Colombiano (BECO) y la Intensidad Energética (IE) que relacionan la matriz energética primaria y secundaria con la productividad (PIB) desde las fuentes hasta el uso final en distintos sectores [53]. Así las cosas, el sector energético ha habilitado y aportado al desarrollo económico del país, con una participación que ha oscilado entre el 8 % y el 14 % entre 2005 y 2019 en el PIB nacional, con la producción y extracción de hidrocarburos y minerales, además de inversiones en infraestructura para la producción, transporte y distribución de energéticos y la prestación de servicios públicos en el sector energético [50]. La figura 2.3 muestra la tendencia de la participación del sector minero energético en el PIB del país.

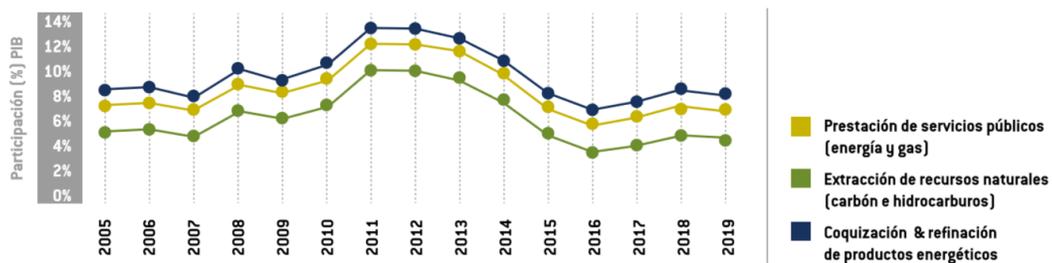


Figura 2.3: Participación del sector minero energético en el PIB.
Fuente: DANE, 2020

2.1. Consumo energético del sector transporte

El Balance Energético Colombiano donde se muestra la información de producción, transformación y consumo de energía del país, describe que para el año 2018 el consumo final de energía del país fue de 1.308 petajoules (PJ). Como se puede evidenciar en la figura 2.4, el sector transporte fue el principal consumidor de energía en Colombia representando un 40 % (524 PJ) del consumo total; un 22 % (293 PJ) el sector industrial; un 20 % (263 PJ) el sector residencial; un 6 % (71 PJ) el sector comercial y público y otros sectores con un 12 % (157 PJ) [54].

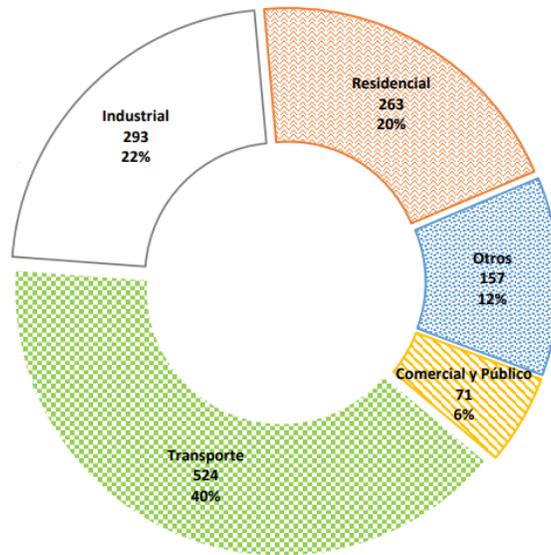


Figura 2.4: Consumo final de energía en Colombia (PJ).
Fuente: UPME-BECO 2018

En este sentido, se comprende que el principal consumidor de energía en Colombia es el sector transporte (40 %) y en la figura 2.5 se muestra que su fuente principal son los combustibles fósiles con una participación del 91 %, siendo el ACPM y la gasolina los energéticos más importantes del sector; el gas natural y los biocombustibles con una participación de 3 % y 6 % respectivamente, mientras que el consumo eléctrico tiene la más baja participación (0,07 %). El modo de transporte con mayor contribución es el subsector carretero (88 %) contando pasajeros y carga, seguido del subsector aéreo (10 %) [50].

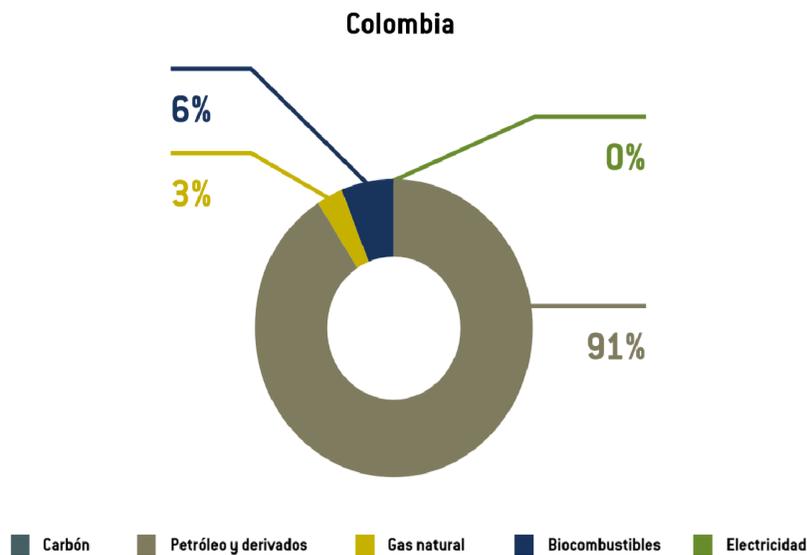


Figura 2.5: Consumo energético en el sector transporte.
Fuente: UPME 2020

Cabe resaltar que para reducir los costos de producción en el país, asegurar el abastecimiento energético, optimizar el uso de los recursos energéticos disponibles y contribuir con otros indicadores energéticos y ambientales, se hace necesario entre otras cosas acotar la brecha tecnológica, la cual se hace notable al comparar el consumo de energía que generan las tecnologías que se usan actualmente en el país con respecto al consumo que se generaría por las denominadas mejores tecnologías disponibles (Best Available Technologies (BAT)) [50]. Según el Balance de Energía Útil (BEU) de Colombia, el cual se hace considerando la cuantificación económica de las pérdidas energéticas por obsolescencia tecnológica, inadecuadas prácticas operativas y no diversificación de la matriz energética nacional, solo el 31 % de la energía final es útil y la ineficiencia en el consumo es alrededor del 67%; situación que le cuesta anualmente al país entre 6600 y 11000 millones de dólares al año. En el BEU también se destaca que el consumo de energía final del país se puede reducir entre un 38 % y un 50 % si se cambia a las mejores tecnologías disponibles en Colombia e incluso se podría reducir hasta un 62 % si se implementan las mejores tecnologías a nivel internacional [55]. Lo anterior se detalla en las figuras 2.6 y 2.7.

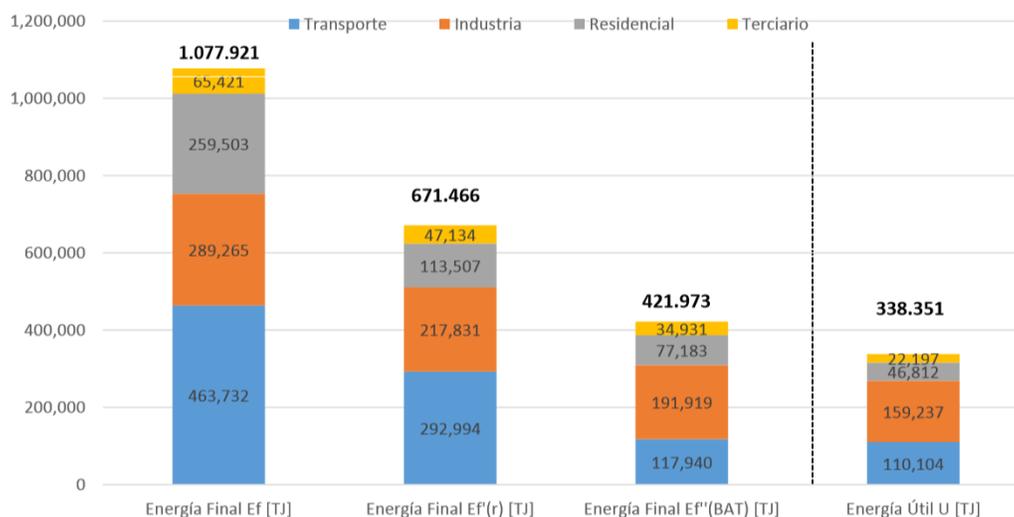


Figura 2.6: Resultados del Balance de energía útil (TJ).
Fuente: BEU

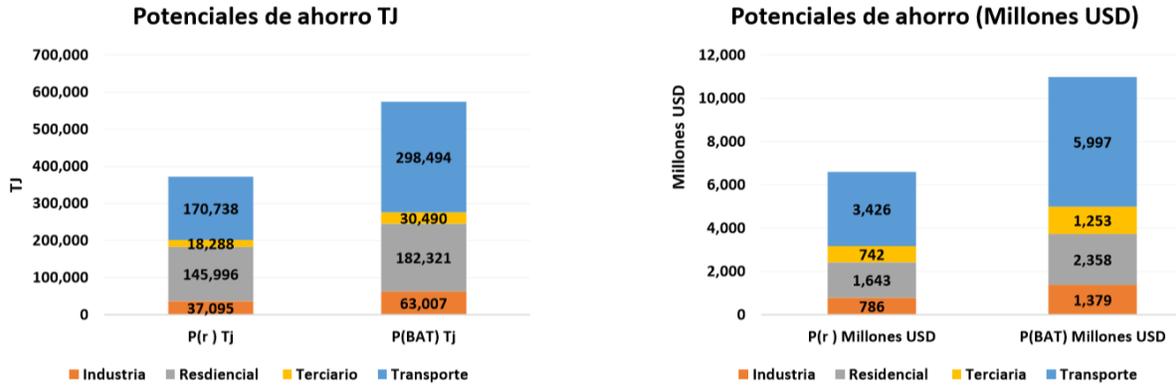


Figura 2.7: Potenciales de ahorro respecto a las mejores tecnologías disponibles.
Fuente: BEU

El sector transporte al tener mayor participación en el consumo final de energía, también representa mayor potencial de mejora de eficiencia energética, puesto que de acuerdo con los resultados del BEU mostrados en la figura 2.8, de la energía que se consume en este sector solo el 24% es energía útil. El potencial de mejora de eficiencia para este sector, al adoptar las mejores tecnologías disponibles en Colombia estaría alrededor del 50%, lo que representaría un potencial de ahorro de 3.426 millones de USD al año. Mientras que si se adoptaran las mejores tecnologías disponibles a nivel internacional el potencial de mejora de eficiencia estaría alrededor del 75%, lo que representaría un potencial de ahorro del orden de los 5.997 millones USD al año [55]. Así las cosas, el BEU propone mejorar el potencial de eficiencia energética en el sector transporte reemplazando los vehículos que utilizan combustibles fósiles como lo son el diesel y gasolina por vehículos que implementan las mejores tecnologías disponibles, debido a que los primeros representan el mayor porcentaje de ineficiencia y el mayor consumo energético en el sector con 250.861 TJ y 200.108 TJ respectivamente [55].

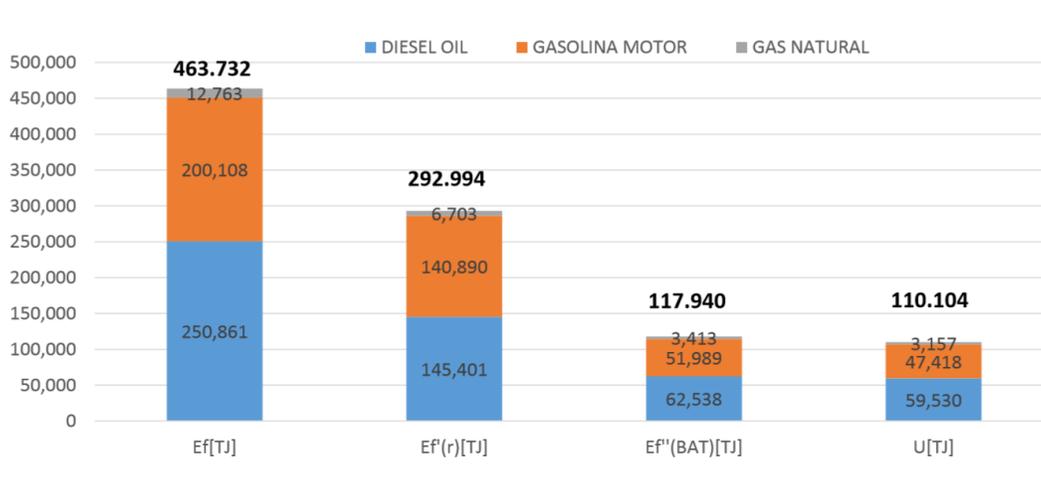


Figura 2.8: Resultados del Balance de energía útil para el sector transporte (TJ).
Fuente: BEU

2.2. Política Energética y normatividad

La principal prioridad de la regulación energética basada en políticas es satisfacer la demanda de energía necesaria para el desarrollo socio económico, para lograr este objetivo se han adoptado medidas como el progreso tecnológico, la regulación del mercado, el desarrollo energético y el suministro eficiente de energía; impulsadas por un consenso sobre la sostenibilidad global [56]. Cabe resaltar que en términos de política energética también se ha destacado la solución a problemas ambientales, mediante el desarrollo de normas que rigen la utilización de energía, que permitan cubrir el consumo de carbón, las descargas de contaminantes en las centrales térmicas, las emisiones de escape de los vehículos y la economía de los combustibles. Además de normas ambientales que impulsan e incentivan la utilización de energías limpias y eficientes [56, 57].

En este contexto, la crisis energética colombiana de 1992 hizo evidente la necesidad de una reforma de fondo tanto en la producción energética, como en los servicios públicos. De ahí que, el 29 de diciembre de 1992 el gobierno promulgó el Decreto 2119, con el fin de acoger una política nacional de generación, transmisión, interconexión y distribución de fuentes alternas, además de instaurar normas técnicas para la totalidad de los energéticos; reestructurando el Ministerio de Minas y Energías, y creando Unidades Administrativas Especiales, como la Unidad de Planeación Minero Energética (Upme), Unidad de Información Minero Energética (UIME) y la Comisión de Regulación Energética (CRE). Donde esta última se convirtió en 1994 por medio de la Ley de Servicios Públicos (Ley 142) y la Ley Eléctrica (Ley 143) en la actual comisión de regulación de energía y gases (CREG)[58]. Así mismo, a través del decreto 1140 del 29 de junio de 1999 se transforma el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, ICEL, en el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE); teniendo como objeto social la identificación, planificación y promoción de soluciones energéticas integrales, viables financieramente y sostenibles en el largo plazo, para las zonas no interconectadas del país [59].

Posteriormente, por medio de la ley 629 de 2000 se aprueba el “Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, el cual tiene como objetivo reducir las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), lo que incide en el uso de formas nuevas y renovables de energía para Colombia [60].

La inclusión de las fuentes no convencionales de energía en Colombia se remonta al año 2001 por medio de la ley 697, con la cual se crea el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de Energía No Convencionales (PROURE), se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones que promueven la optimización y la utilización de los recursos energéticos primarios del país, minimizando los impactos ambientales y mejorando la competitividad de la nación [61]. Teniendo en cuenta que en la mencionada ley no se definieron mecanismos concretos para la integración de estas tecnologías al sistema energético nacional, a continuación se presentan algunos aspectos importantes que han sido promulgados en el transcurso del tiempo en el marco regulatorio colombiano en materia de energías renovables:

Ley 788 de 2002: estableció una exención al impuesto de renta sobre los ingresos derivados de la venta de energía eléctrica generada con base en los recursos eólicos, biomasa o residuos agrícolas [62].

Decreto 3683 de 2003: reglamentando la Ley 697 de 2001, se crea la Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía (CIURE) para la coordinación y desarrollo de los lineamientos que guíen la política energética de las FNCE y del PROURE [63].

Resolución 18-0919 de 2010: por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el PROURE, se definen sus objetivos, subprogramas y se adoptan otras disposiciones al respecto [64].

Ley 1665 de 2013: por medio de la cual se aprueba el “Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena)” que promueve el uso sostenible de las energías renovables.

Sin embargo, el desarrollo a gran escala de estas tecnologías se promulga por el Congreso de la República en mayo de 2014, donde se da un gran paso en el proceso de la inclusión de las FNCE al sistema energético nacional con la ley 1715. La cual define como su objetivo: *“Promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el Sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. . .”*[65].

En este sentido, mediante la ley 1715 se adoptó una medida que era necesaria en el sistema eléctrico colombiano, en la cual se le autoriza a los autogeneradores a pequeña y gran escala entregar sus excedentes de electricidad a la red de distribución o transmisión y se establecen los lineamientos de política energética por medio del Decreto 2469 de 2014 expedido por el Ministerio de Minas [66]. Cabe resaltar que la presente ley establece

incentivos arancelarios y contables al desarrollo de proyectos de generación a partir de FNCE y de gestión eficiente de la energía, donde el Decreto 2143 de 2015 del Ministerio de Minas desarrolla los lineamientos para la aplicación de los incentivos tributarios previstos en la ley [67]. Desde una perspectiva más general, a continuación se listan los decretos que se han expedido en el marco de la reglamentación de la Ley 1715 de 2014 y que El Ministerio de Minas y Energía ha puesto a disposición de la ciudadanía a través de su portal web [68].

Decreto 2492 de 2014, por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda” [68].

Decreto 1623 de 2015, por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas [68].

Resolución CREG 024 de 2015, por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)[68].

Resolución UPME 0281 de 2015, por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala[68].

Resolución MinAmbiente 1283 de 8 agosto de 2016, por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones [68].

Resolución MinAmbiente 1312 de 11 agosto de 2016, por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones[68].

Decreto 0570 de 23 de marzo de 2018, se establecen los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica [68].

Resolución Minambiente 1303 del 13 de julio de 2018, por la cual se modifica la Resolución 1283 de 2016 y se dictan otras disposiciones [68].

Resolución UPME 703 del 14 de diciembre de 2018, por la cual se establecen el procedimiento y los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario de que tratan los artículos 12 y 13 de la Ley 1715 de 2014, y se adoptan otras disposiciones [68].

Ley 1955 de 25 de mayo de 2019, por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022. “Pacto por Colombia, pacto por equidad”. El artículo 174 modifica el artículo 11 de la Ley 1715 de 2014 [68].

Dentro de este marco, el 10 de Julio del 2021, el Congreso de la República promulgó la ley 2099 con el fin de modernizar la legislación vigente y dictar otras disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético con el uso de fuentes no convencionales de energía, la reactivación económica del país y dictar normas para el fortalecimiento de los servicios públicos de energía eléctrica y gas combustible [57].

Esta nueva Ley incorpora una serie de modificaciones y adiciones a la Ley 1715 de 2014 en temas como: incentivos a las fuentes no convencionales de energía; reglamentación del uso de nuevas tecnologías de generación como la geotermia y el hidrógeno; promoción, desarrollo y utilización de sistemas de almacenamiento y medición inteligente. Lo anterior, con el fin de lograr las reducciones de gases de efecto invernadero, el desarrollo sostenible y la seguridad de abastecimiento energético [57].

2.3. Pobreza Energética en Colombia

Pese a que la ley de servicios públicos (ley 142 de 1994) define el servicio público domiciliario de energía eléctrica como el transporte de energía eléctrica desde las redes regionales de transmisión hasta el domicilio del usuario final, incluida su conexión y medición [69], y aún cuando la constitución política de Colombia en el artículo 365 consagra como deber del estado es asegurar la prestación eficiente de los servicios públicos a todos los habitantes del territorio nacional [70]; en Colombia aproximadamente el 52 % del territorio corresponde a Zonas No Interconectadas (ZNI), porcentaje que incluye 18 departamentos, 77 municipios, 1924 localidades y 28 cabeceras municipales de las cuales cinco son capitales de departamento [71]. Teniendo en cuenta que para todos los efectos relacionados con la prestación del servicio público de energía eléctrica, se entiende por ZNI a los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al SIN [72]. En la figura 2.9 se evidencia en color verde las zonas que no se encuentran interconectadas al SIN.

Para suplir las necesidades y abastecerse de energía, en las ZNI se cuenta con fuentes de generación de energía eléctrica propias, con una capacidad total operativa de 288.206,62KW (271.866,62 KW de capacidad en diesel y 16.340KW de capacidad instalada en energías renovables) [71]. En este sentido, es notable que las fuentes convencionales de energía representan el mayor porcentaje de capacidad operativa de las ZNI, lo cual hace que se requiera de una solución que ofrezca un servicio confiable, constante, de calidad y sostenible ambientalmente. Esto implica evaluar la viabilidad de aumentar la capacidad instalada de fuentes de energía renovables, procurando que los costos de generación sean asequibles para los usuarios de dichas zonas [73].

Por otra parte, el resultado del último Índice de Cobertura de Energía Eléctrica 2018 (ICEE) el cual toma como fuente de información principal el Censo Nacional de Población y Viviendas 2018 (CNPV) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), arrojó que el porcentaje del ICEE para Colombia es de 96,44 %, lo que representa 505.981 viviendas sin servicio de energía, de las cuales 53.461 son del área urbana y 452.520 del área rural, siendo la cobertura rural 12 puntos porcentuales inferiores a la cobertura urbana [74]. En la figura 2.10 se representan los resultados del

ICEE departamentales y municipales.

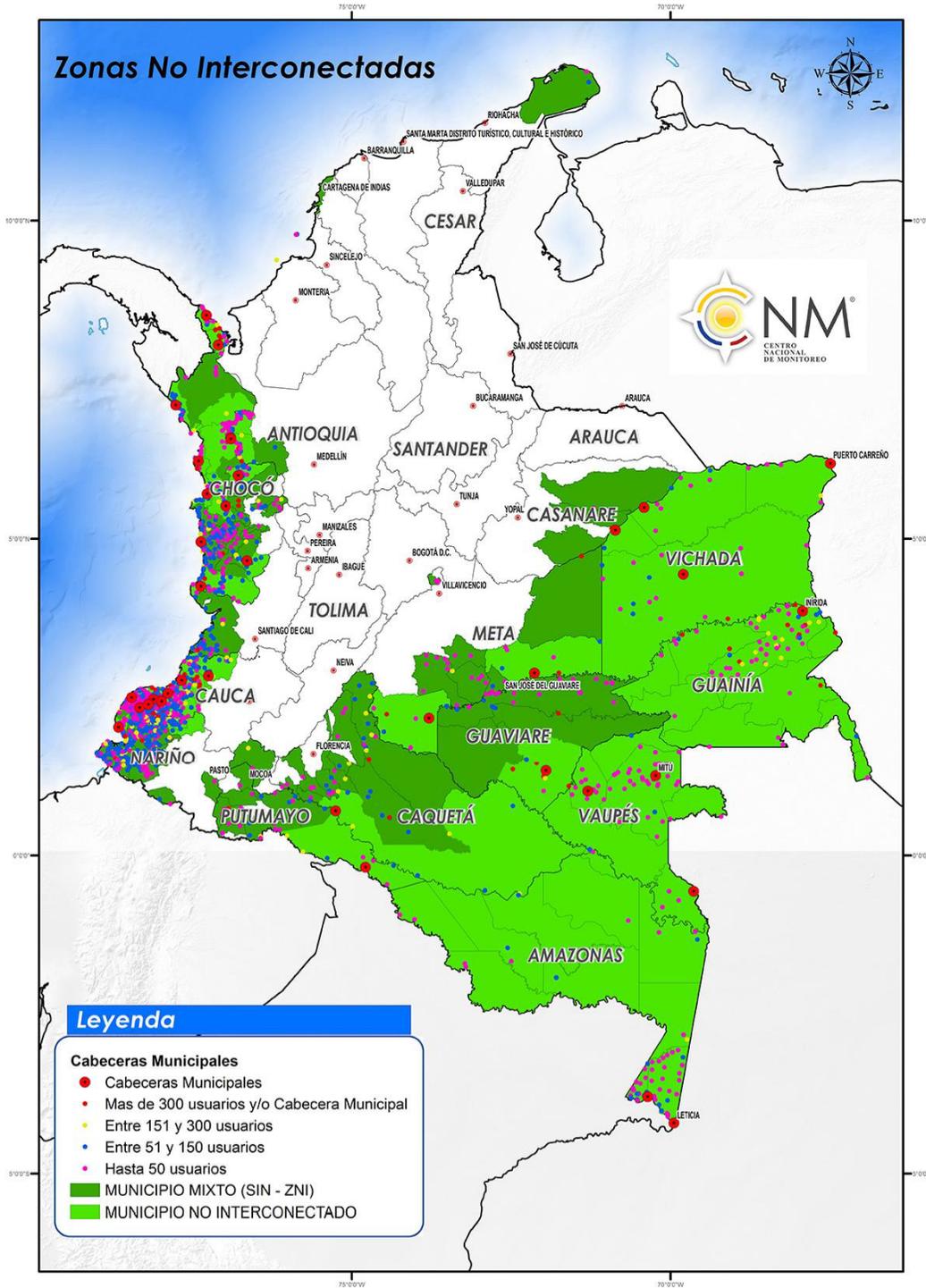


Figura 2.9: Ubicación de Zonas No Interconectadas.
Fuente: IPSE

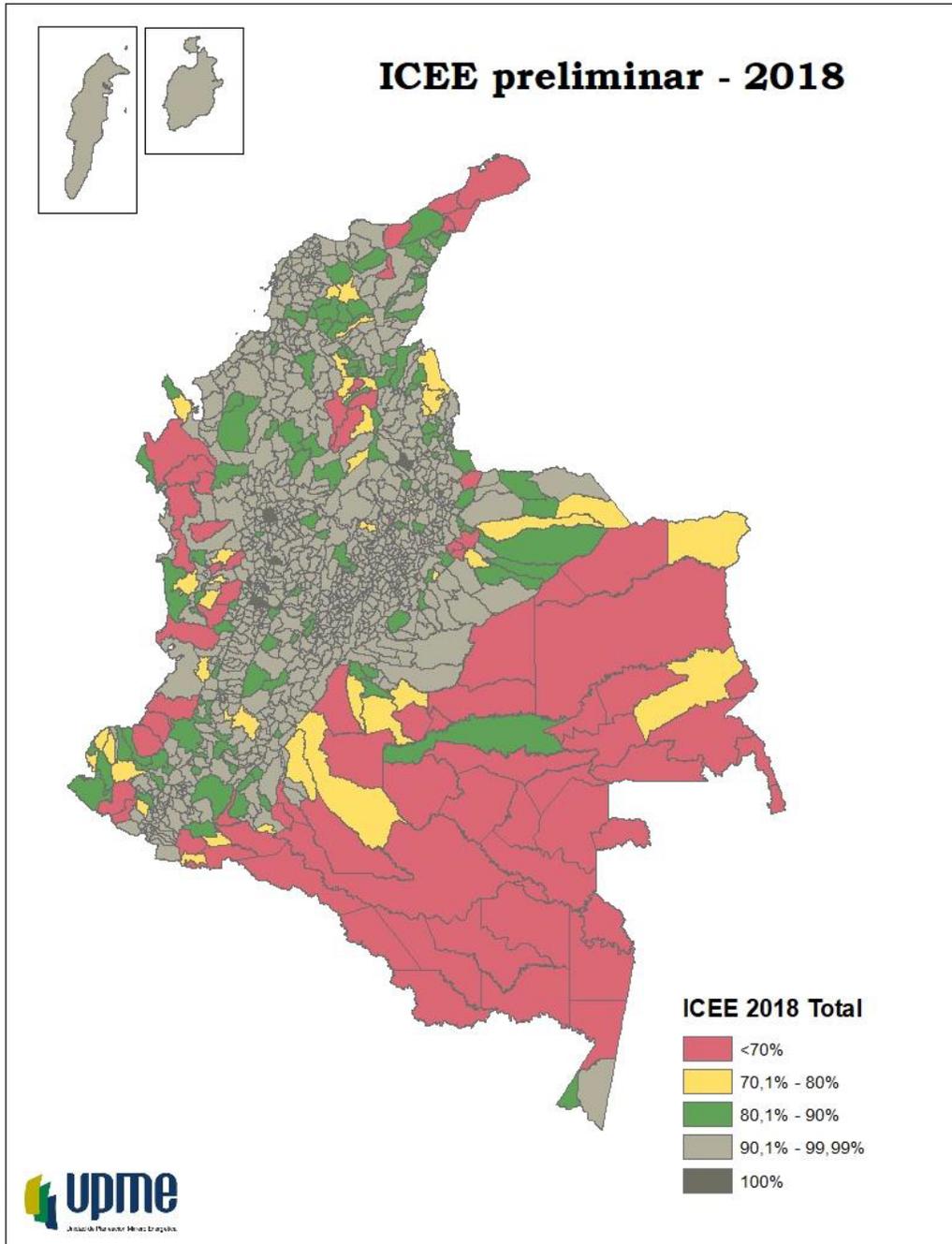


Figura 2.10: Mapa del ICEE total preliminar 2018 a nivel de municipio.
Fuente: UPME

Dentro de este orden de ideas, el limitado acceso de energía en las ZNI ha afectado negativamente la calidad de vida de los habitantes, puesto que la pobreza energética perjudica los ingresos, el nivel educativo y la salud, entre otros indicadores [75]; por lo que se asume que el Índice de Desarrollo Humano (IDH) está relacionado con el consumo de energía [76]. Dado esto, el ICEE es fundamental para las acciones que deben

encaminarse desde el gobierno para dar cumplimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [77], donde los principales objetivos planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) de cara al año 2030 son el objetivo 1 “No a la pobreza”, el objetivo 7 “Energía limpia y asequible” y el objetivo 10 “Desigualdades reducidas”, esto con el fin de enfrentar los principales desafíos que presenta la humanidad (pobreza, desigualdad y degradación ambiental) [74, 78].

Dado lo anterior, en el plan energético nacional 2020-2050, se estableció como primer objetivo *“Permitir el acceso universal a soluciones energéticas confiables, con estándares de calidad y asequibles”* proponiendo como indicador de seguimiento de dicho objetivo el índice de equidad energética del trilema energético del World Energy Council; trilema que consiste en calificar los países en su habilidad de proveer energía sostenible en tres aspectos: seguridad energética, equidad energética y sostenibilidad ambiental, donde Colombia se encuentra en el puesto 35 con una calificación BCA respectivamente [79]. Para el 2050 se espera que la calificación del índice de equidad energética mejore; es decir, se encuentre en la calificación A [50]. Cabe resaltar que el ICEE no se utiliza como indicador de seguimiento del primer objetivo del plan energético nacional, puesto que resulta limitado para evaluar su proceso, dado que este índice solo se limita a hacer el seguimiento al acceso de energía, cuando lo que se requiere es medir el grado de acceso a soluciones energéticas confiables, de calidad y asequibles, cosa que hace el indicador de pobreza energética, el cual es un concepto multidimensional que mide la capacidad que tiene un hogar de satisfacer una cantidad mínima de energía para sus necesidades básicas; sin embargo, actualmente el país no cuenta con información que permita tener una línea base [50].

3. Análisis de Potenciales de generación

La matriz de generación eléctrica colombiana se destaca como la sexta matriz más limpia del mundo, como resultado de la participación mayoritaria de tecnologías que utilizan el agua como fuente de generación [80]. Además, hoy en día el sector eléctrico colombiano ocupa el primer lugar en confiabilidad a nivel latinoamericano y la décima posición a nivel mundial en materia de sostenibilidad ambiental, siendo su factor de emisión 83 % menor al promedio mundial y con una participación de emisiones en el país del 4 % [80]. En función de lo planteado, cabe resaltar que gracias a la posición geográfica de Colombia en la zona ecuatorial, el país cuenta con un gran potencial de recursos naturales que se encuentran disponibles permanentemente, y que están relacionados con ciclos naturales como el sol, el viento, cuerpos hídricos, vegetación o calor emitido por la tierra.

En Colombia en el año 2018, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Medio Ambientales (IDEAM), publicó la nueva versión del Atlas Climatológico, Radiación y Viento de Colombia con un histórico de información desde 1981 hasta el año 2010, documento oficial donde se encuentran registrados los valores de los recursos energéticos del país; en el cual se puede constatar que los recursos disponibles a nivel nacional representan mejores potenciales que los de países ubicados en otras regiones [81]. En este sentido, Colombia cuenta con una irradiación solar promedio de 4,5 Kwh/m² por día, cifra que supera el promedio mundial estimado en 3,9 Kwh/m² /d, además de vientos localizados con velocidades promedio cercanas a los 9 m/s a 80 m de altura [48]. Sin embargo, en el Atlas también se evidencia la falta de datos particulares y detallados para amplias zonas del país, las cuales representan la mayor parte de las ZNI.

La posición geográfica estratégica de Colombia en el hemisferio sur permite que el país disponga de amplias costas sobre los océanos Atlántico y Pacífico, cuya extensión de línea es de alrededor de 3.531 Km, además las áreas marítimas colombianas representan el 45 % del territorio nacional, equivalente a un total de aguas jurisdiccionales de 892.102 Km² [82]. Visto desde esta perspectiva, Colombia tiene un gran potencial para el aprovechamiento del recurso primario proveniente de los océanos, ya que según la UPME se estima un potencial para las costas de 30 Gw respecto a la energía de las olas y un potencial de energía mareomotriz en el pacífico colombiano de 500 Mw [83].

En relación con lo planteado anteriormente, la UPME concluye que los recursos mencionados indican una dotación de recursos que dependiendo de la localidad en el país se califican hasta de extraordinarios. En cuanto a las potenciales fuentes de generación provenientes de los ríos y océanos, como la energía de las corrientes, la energía mareotérmica y la potencia osmótica o energía azul, la información es muy poca, cuando no prácticamente inexistente. Así mismo, en el caso de las ZNI la información de dotación de recursos es muy limitada dada en parte por la baja densidad en estas regiones del país de estaciones de medición de radiación solar y viento [84].

3.1. Análisis de potencial por tipo de generación

Teniendo en cuenta el objeto de este estudio, se profundizó en algunas fuentes no convencionales de energías renovables; se menciona su potencial y viabilidad de implementación desde una perspectiva técnica, económica y social.

3.1.1. Energía solar fotovoltaica

El recurso solar se determina de acuerdo a la irradiación solar recibida a nivel del suelo, la cual tiene una potencia promedio de 1 Kw por cada metro cuadrado de terreno plano. El valor de la energía corresponde al valor agregado de los Kwh que en promedio inciden durante el día sobre un metro cuadrado, expresado en Kwh/m²/d dependiendo así, del número de horas que brilla el sol; lo cual indica que en gran medida dependerá de las condiciones climáticas y la nubosidad del sitio objeto de estudio [85].

Las fuentes de información para el recurso solar disponibles en Colombia, indican que el territorio nacional cuenta con una gran disponibilidad de dicho recurso. En la figura 3.1 se evidencia el potencial del recurso solar en Colombia y sus departamentos; según esto, en el país se tiene una radiación promedio de 4,5 Kwh/m²/d. Los valores más altos, cuyas cifras son superiores a los 5,5 Kwh/m²/d se presentan en sectores de La Guajira y en el norte de Atlántico, Bolívar y Magdalena; seguidos por zonas donde se recibe una intensidad de radiación alrededor del promedio nacional como lo son: la región Caribe, las Islas de San Andrés y Providencia, amplios sectores de Vichada, Arauca, Casanare, Meta, el norte y oriente de Antioquia, el norte y centro de Norte de Santander, el suroriente de Santander, el centro y norte de Boyacá, el norte de Cundinamarca, el sur y oriente del Tolima, el norte del Huila, la zona que se inicia al centro del Cauca, atraviesa el Valle del Cauca de sur a norte y llega hasta el eje cafetero y el sector del norte de Nariño; y finalmente las zonas con menor intensidad de radiación solar global en Colombia, con promedios inferiores a los 3,5 Kwh/m²/d, se presentan en amplios sectores de Chocó, occidente de Putumayo y Valle del cauca, suroriente de Cauca, oriente de Nariño y muy pequeños sectores de Cundinamarca, Caquetá y Santander [86].

Sin embargo, las regiones mencionadas anteriormente que pertenecen a la Costa Pacífica y que reciben niveles de radiación por debajo del promedio nacional, siguen estando, por ejemplo, por encima de los niveles anuales promedio recibidos en Alemania (3,0 Kwh/m²/d) país que hace mayor uso de la energía solar fotovoltaica a nivel mundial, con aproximadamente 36 Gw de capacidad instalada a 2013 [48]. Este es un elemento clave para que Colombia pueda convertirse en un importante generador de energía solar, puesto que le permite al país desarrollar soluciones solares para generar energía eléctrica que permita satisfacer la demanda, con una mayor eficiencia que los países desarrollados y que tienen menor disponibilidad del recurso.

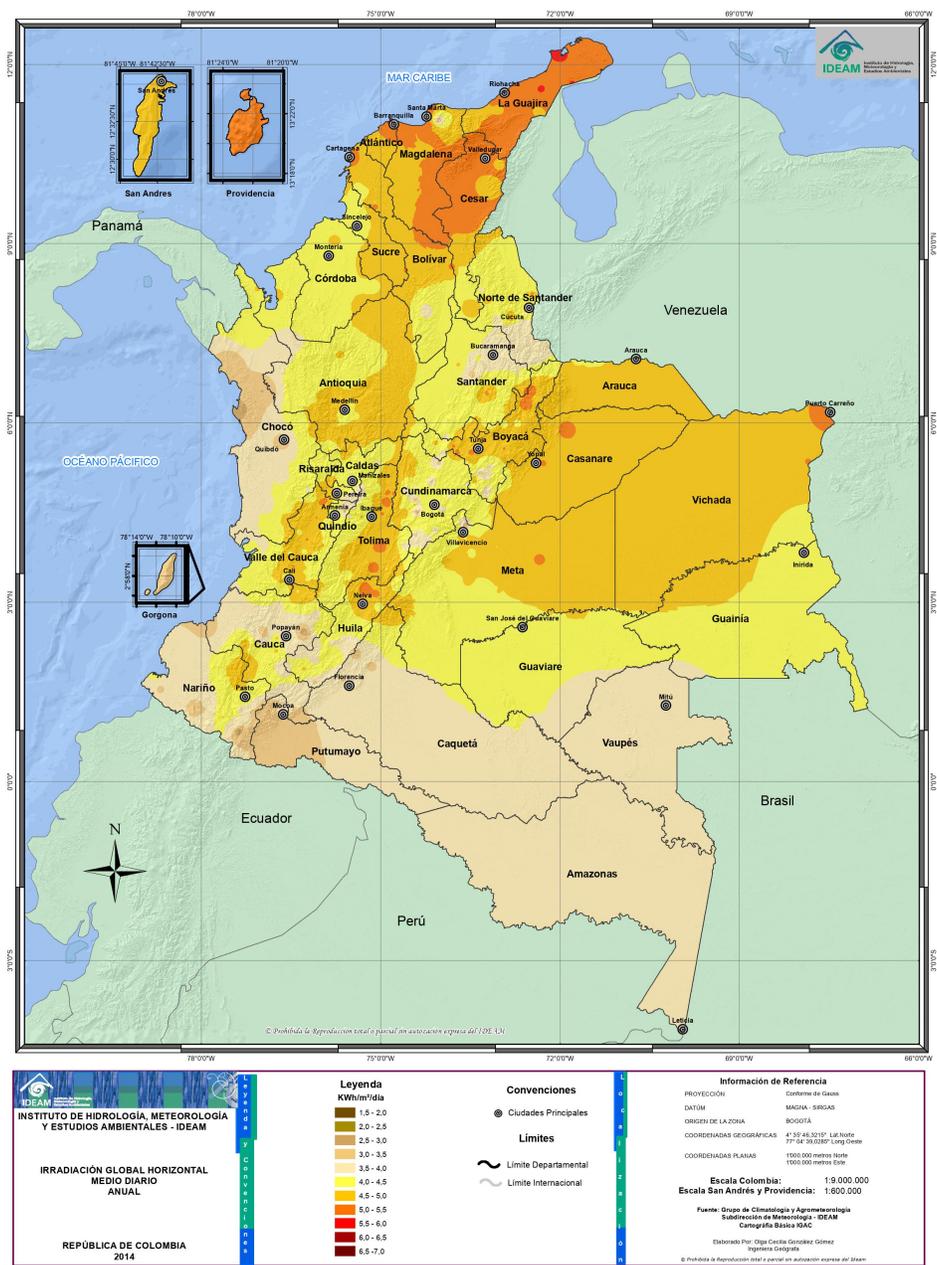


Figura 3.1: Irradiación global horizontal media diaria.
 Fuente: IDEAM

3.1.2. Energía eólica

Colombia al encontrarse ubicada entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio, tiene influencia directamente de los vientos alisios que soplan del noreste en el hemisferio Norte y del sureste en el hemisferio Sur, aunque no siempre llevan exactamente dichas direcciones. Además al estar ubicados en la zona ecuatorial, los vientos están

influenciados por las condiciones locales, el rozamiento causado por las irregularidades que presentan las cordilleras y los dos mares; esto hace que la dirección y la velocidad del viento varíen de un instante a otro y de un sitio a otro [87].

La velocidad del viento está dada por la relación entre la distancia recorrida por el aire y el tiempo que tarda en recorrerla, sin embargo es la velocidad media la que permite comparar un sitio con otro; este parámetro puede presentar importantes variaciones temporales y espaciales, además de subestimar el valor de potencia debido a que la potencia eólica está en función de la densidad del aire y el cubo de la velocidad del viento, lo que conlleva a que pequeñas variaciones en la velocidad del viento puedan representar cambios considerables en el potencial de energía [87]. En la figura 3.2 se evidencia el potencial del recurso del viento en Colombia y sus departamentos, donde los valores promedios de la velocidad del viento medidos son clasificados de acuerdo con su intensidad; la mayor área del país tiene valores cuya medida está por debajo de los 3 m/s, seguido de una zona más reducida con velocidades promedio entre los 3 y 5 m/s y finalmente una región mucho más pequeña donde los valores de velocidad promedio son mayores a 5 m/s; lo que permite evidenciar que el potencial de energía eólica es aprovechable en limitadas zonas del país.

En algunas zonas de Colombia como lo son, la Isla de San Andrés, sectores de Boyacá, centro del litoral Caribe en el departamento de Bolívar y a lo largo de la península de La Guajira, prevalecen vientos con intensidades iguales o superiores a 5 m/s, los cuales son persistentes a lo largo del año e indican un buen potencial de energía eólica. Sin embargo, en determinadas regiones como: Norte de Santander, límites entre Risaralda, Quindío y Tolima; límites entre Cundinamarca y Boyacá; límites entre Cundinamarca, Tolima y Huila sobre la Región Andina, así como sobre el Piedemonte Llanero y Casanare para los Llanos Orientales, aunque no se presenta la misma persistencia de vientos en el ciclo anual, si es aprovechable el recurso para una determinada época del año [87, 88]. A lo anterior, se suma que aguas adentro el viento alcanza mayores velocidades y encuentra menos obstáculos que interrumpan su flujo, lo que indica una mayor eficiencia posible que la de las zonas continentales [89].

Cabe resaltar que en el Atlas de Viento y Energía Eólica, a modo de conclusión se hace una mención importante sobre el porcentaje de error que tiene una estación anemográfica convencional respecto a un anemometro ultrasonico triaxial, el cual es tomado como patrón de referencia debido a su alto grado de precisión. Lo anterior, *“permitió ver que los errores de medición son del orden de ± 0.1 m/s, lo que repercute teóricamente en incertidumbres para el cálculo de la densidad de energía eólica así: superiores al 30 % cuando los vientos son menores o iguales a 1.5 m/s, 18 % para vientos alrededor de los 3.5 m/s, 16 % si los vientos son cercanos a 5 m/s y menores de 13 %, cuando los vientos son intensos y superiores a 10 m/s”*[87].

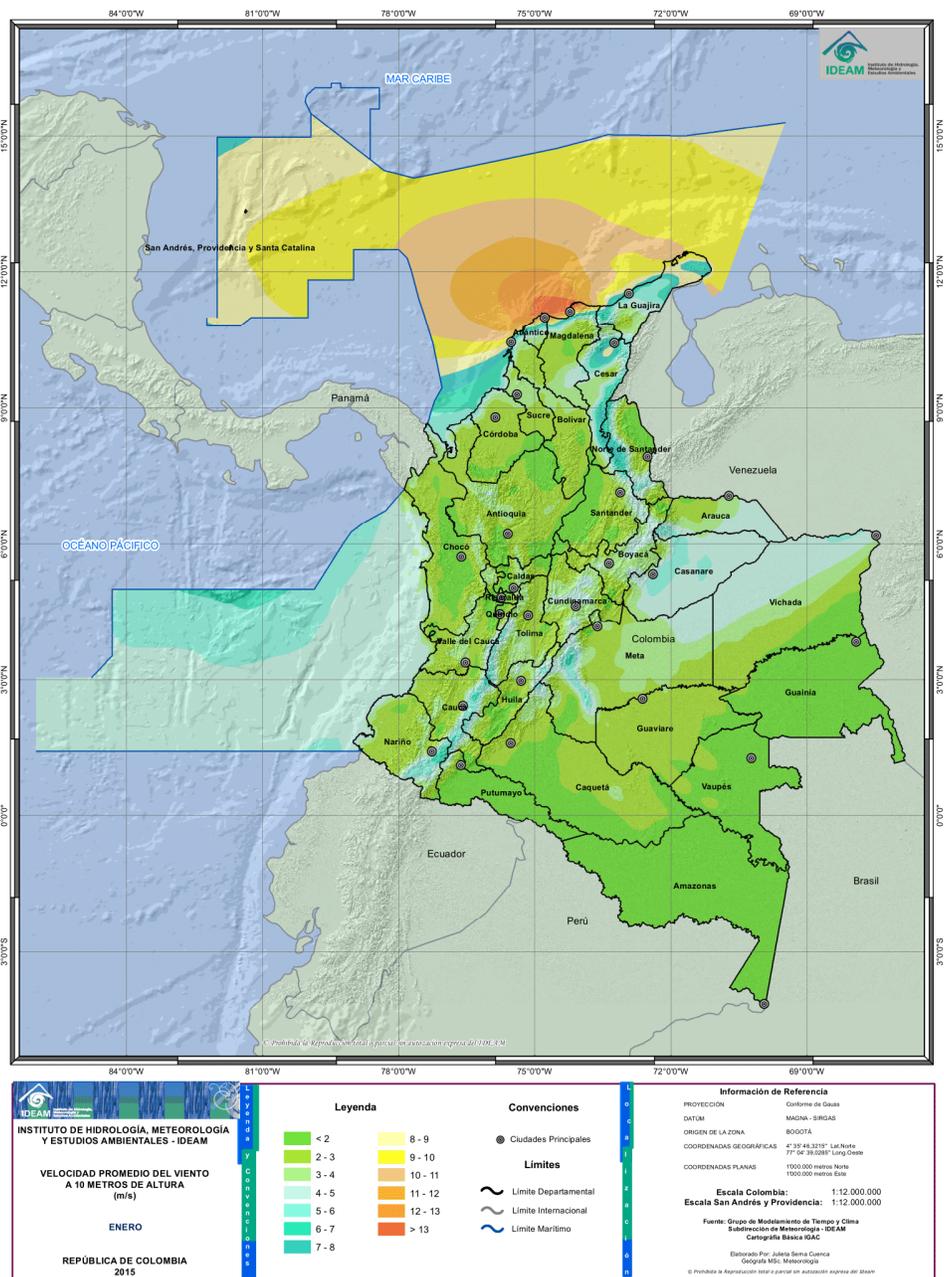


Figura 3.2: Velocidad promedio del viento en superficie.
Fuente: IDEAM

3.1.3. Energía de los océanos

Existen varias alternativas tecnológicas que hacen posible el aprovechamiento del potencial energético que se tiene en el agua de los ríos y los océanos, entre las que se encuentran: *“la energía de las corrientes, en la que se hace uso de la energía cinética que poseen las corrientes marinas mediante la instalación submarina de estructuras*

similares a un aerogenerador; la energía mareotérmica, que emplea la variación entre la temperatura de la superficie y la temperatura de aguas profundas, requiriéndose un gradiente térmico de al menos 20 °C; la energía undimotriz o energía a partir del movimiento de las olas, que utiliza la fuerza con la que se desplaza determinada masa de agua a causa del rozamiento con las corrientes de aire (oleaje); la potencia osmótica o también llamada energía azul, obtenida mediante ósmosis por la diferencia de concentraciones de sal entre el agua de mar y agua de ríos; y por último, la energía mareomotriz, que aprovecha el ascenso y descenso del agua del mar producidos por las fuerzas gravitatorias del sol y la luna”[90].

La costa Atlántica colombiana está influenciada principalmente por la corriente del Nordeste del Brasil, que posteriormente alimenta la corriente del golfo. En la costa Pacífica se encuentran corrientes superficiales, como la corriente de Humboldt, que se mueve por la costa occidental de Suramérica desde el Ártico y es una corriente fría; dichas corrientes responden generalmente al comportamiento de los vientos y al desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical [91]. Simulaciones basadas en datos recolectados durante las 18 expediciones del “Centro de Control de Contaminación del Pacífico (CCCP)” realizadas en el periodo comprendido entre 1988 y 2006; y 37 expediciones del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) realizadas en el Caribe, que cubren el periodo de 1969 a 2010; muestran que las principales corrientes oceánicas se encuentran lejos de la costa, donde la mayor velocidad de corriente alcanza 0.7 m/s, lo que sugiere que las corrientes oceánicas colombianas no proporcionan un suministro de energía viable, debido a que la velocidad recomendada es de 2 m/s [92]. En la figura 3.3 se muestra la distribución geográfica de las corrientes en las aguas colombianas.

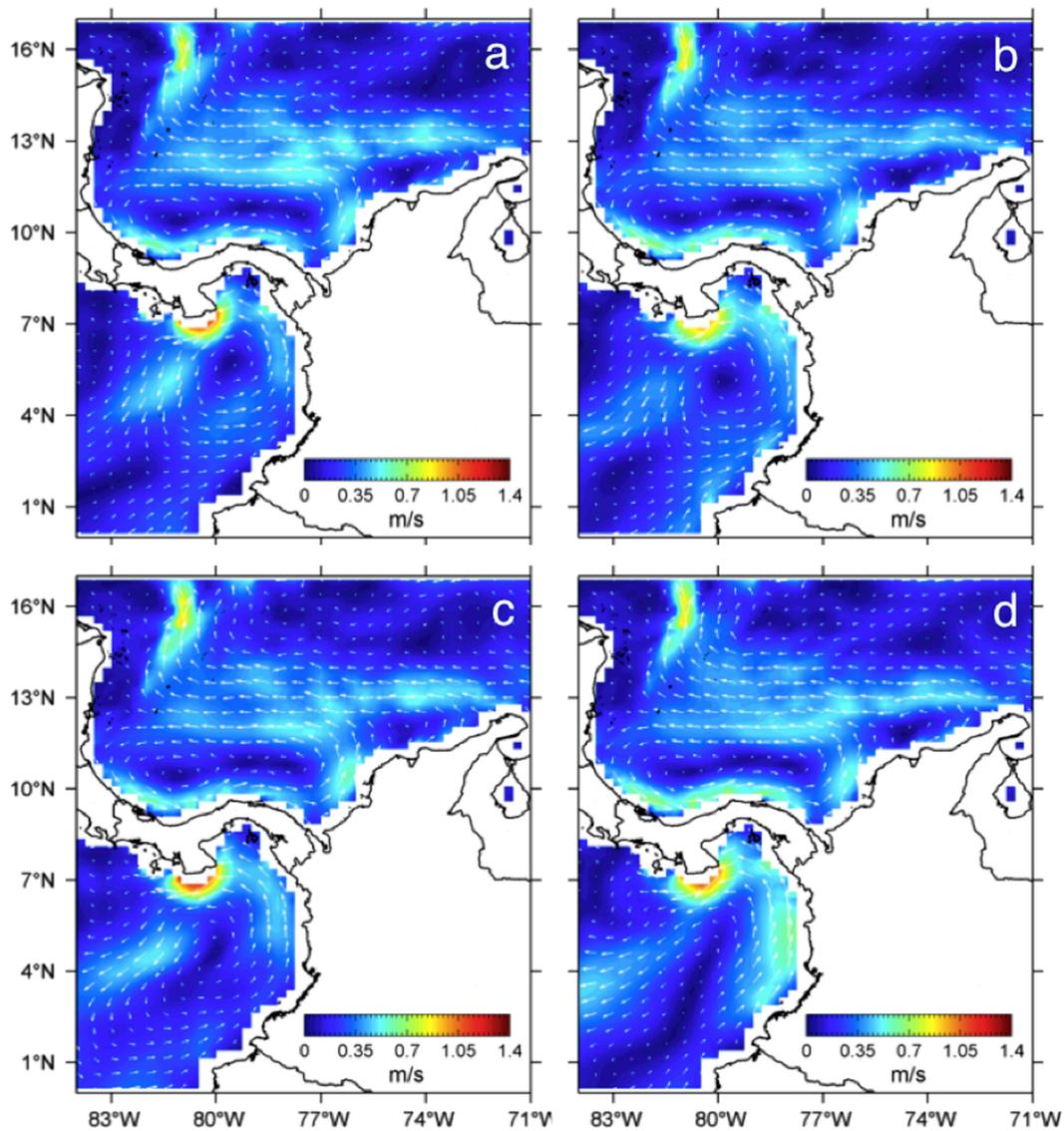


Figura 3.3: Velocidad de las corrientes oceánicas en Colombia. Medias mensuales para los meses de abril (a), octubre (b), junio (c) y diciembre (d).

Fuente: Tomado de [92]

Colombia al estar rodeada por las cálidas aguas tropicales del Mar Caribe y el Océano Pacífico ecuatorial oriental, es una región con gran potencial para la conversión de energía térmica oceánica (OTEC). En [93] se analizaron las condiciones oceanográficas climatológicas del World Ocean Atlas 2009 (WOA09) de 82 perfiles de temperatura disponibles, 40 sobre el Pacífico ecuatorial oriental y 42 sobre el Mar Caribe, para determinar los recursos térmicos disponibles en aguas marítimas colombianas. A partir de dicho análisis y teniendo en cuenta las diferencias térmicas encontradas desde la superficie hasta 1000 m de profundidad, se evidenció que el gradiente local siempre está por encima de 20°C , con una media anual de $21,903^{\circ}\text{C}$ y una desviación estándar de $0,973^{\circ}\text{C}$. Es decir, cuenta con las condiciones adecuadas para la generación de energía a

partir del gradiente térmico.

En cuanto a la energía undimotriz, en Colombia el estudio del oleaje se ha basado principalmente en el análisis a través de ecuaciones empíricas y datos de oleaje visual, acompañado de simulaciones para imitar el comportamiento de las olas a lo largo del tiempo y cuantificar el potencial de su energía. Así las cosas, la variación estacional media de la potencia de las olas en el Mar Caribe colombiano muestra que los valores más altos de potencia undimotriz media oscilan entre los 5-7 Kw/m en el periodo comprendido entre diciembre y abril, teniendo en cuenta que durante las temporadas de lluvia los valores medios de la potencia de las olas apenas alcanzan 1 Kw/m. Sin embargo, para el Pacífico colombiano el potencial de energía de las olas es un valor cercano a la mitad de lo estimado para el Mar Caribe (2-3 Kw/m). En términos generales, el recurso de energía de las olas en Colombia es relativamente pequeño en comparación con otros lugares del mundo, donde 40 Kw/m y más se considera un nivel atractivo de energía de las olas [94, 92].

Los rangos mareales de los principales puertos al centro y sur de la cuenca pacífica colombiana, oscilan alrededor de 5,6 m en la Bahía de Buenaventura y 4,45 m en la Bahía de Tumaco, esto con dos mareas altas y dos mareas bajas en un día lunar; donde los lugares con potencia máxima muestran valores entre 100 W/m² (marea baja) y 250 W/m² (marea alta) y se ubican en la zona más alejada de la Bahía [95, 92]. Por otra parte, la altura máxima del régimen medio de la marea en el Caribe alcanza los 0,52 m en Cartagena, de modo que este rango de marea descalifica al Caribe para el uso de las corrientes de marea como potencial fuente de generación de energía [96].

Tanto en el Mar Caribe como en el Océano Pacífico, existe una gran cantidad de estuarios; sin embargo, no todos ofrecen las condiciones adecuadas para la generación de energía de gradiente de salinidad o potencia osmótica, debido a que en el Océano Pacífico los movimientos de las mareas (3-4 m) hacen que las estratificaciones verticales de salinidad sean débiles, mientras que el Mar Caribe tiene un rango de micro-mareas que permiten una haloclina bien definida y fuertes estratificaciones verticales de salinidad. Dichas características hacen que el potencial de generación de energía a partir de gradientes de salinidad en Colombia sólo sea factible en la región Caribe [92, 97]. Dentro de este marco, el potencial teórico de la energía del gradiente de salinidad para Colombia es de alrededor del 1% del potencial mundial, el cual se estima que se encuentra alrededor de 2,6 Tw. De allí, que para Colombia los gradientes de salinidad resultaron ser la fuente de energía renovable marina más interesante [98].

3.2. Información energética en el Departamento del Cauca

En el departamento del Cauca para el año 2004 la cobertura de energía eléctrica solo llegaba al 56,44%, es por esto que en los últimos años se ha trabajado para incrementar este porcentaje, obteniendo para el año 2018 un ICEE del 92,27% [99, 74]. Como se describe en la Tabla 3.1, los municipios pertenecientes tanto a la costa pacífica como a la bota caucana son los que presentan un menor ICEE en el departamento, Guapi con el 54,24%, López de Micay con 69,07%, Timbiquí con 68,54% y Piamonte

con un 61,01% [74]. No obstante, en el mismo año a través del plan todos somos pazcífico el Ministerio de Minas y Energía (MME), llevó a cabo el proyecto COCANA “Línea de Interconexión eléctrica a 115 Kv desde Popayán a Guapi – Costa Pacífica – Cauca – Nariño y subestaciones Asociadas”, proyecto por el cual las nueve cabeceras municipales de la zona Pacífico Sur dejaron de pertenecer a las ZNI, favoreciendo a unas 80.000 personas que están ubicadas en los municipios de Guapi, Timbiquí y López de Micay, en el departamento del Cauca; Santa Bárbara (Iscuandé), El Charco, La Tola, Olaya Herrera (Bocas de Satinga), Mosquera y Francisco Pizarro (Salahonda), en el departamento de Nariño, logrando impulsar las economías locales y mejorando la calidad de vida de las personas [100, 101].

Municipio	Usuarios SIN	Usuarios ZNI	Total de usuarios	Total viviendas	VSS	ICEE
Popayán	96.540	-	96.540	96.828	288	99,70 %
Almaguer	5.123	-	5.123	6.018	895	85,13 %
Argelia	7.484	-	7.522	8.204	682	91,69 %
Balboa	5.897	-	5.897	6.193	296	95,22 %
Bolívar	11.440	-	11.440	12.362	922	92,54 %
Buenos Aires	7.080	-	7.080	7.952	872	89,03 %
Cajibío	10.212	-	10.212	11.202	990	91,16 %
Caldono	8.926	-	8.926	9.613	687	92,85 %
Caloto(1)(3)	7.714	-	7.714	8.245	531	93,56 %
Corinto	8.873	-	8.873	9.351	478	94,89 %
El Tambo	13.873	-	13.873	15.586	1.713	89,01 %
Florencia	1.393	-	1.393	1.436	43	97,01 %
Guachené (1)	5.516	-	5.516	5.648	132	97,66 %
Guapi	-	3.495	3.495	6.444	2.949	54,24 %
Inzá	7.383	-	7.383	8.022	639	92,03 %
Jambaló	3.064	-	3.064	3.865	801	79,28 %
La Sierra	3.478	-	3.478	3.947	469	88,12 %
La Vega	6.755	-	6.755	6.984	229	96,72 %
López	-	5.652	5.652	8.183	2.531	69,07 %
Mercaderes	4.838	-	4.838	5.078	240	95,27 %
Miranda	9.508	-	9.508	9.739	231	97,63 %
Morales	7.380	-	7.380	9.104	1.724	81,06 %
Padilla	2.627	-	2.627	2.680	53	98,02 %
Paez	6.843	-	6.843	8.741	1.898	78,29 %
Patía	9.471	-	9.471	10.268	797	92,24 %
Piamonte	1.432	-	1.432	2.347	915	61,01 %
Piendamó	11.718	-	11.718	12.177	459	96,23 %
Puerto Tejada	7.884	-	10.441	12.042	1.601	86,70 %
Puracé	3.084	-	3.084	3.597	513	85,74 %
Rosas	3.175	-	3.175	3.284	109	96,68 %
San Sebastián	3.226	-	3.226	3.450	224	93,51 %
Sant. de Quilichao	33.284	-	33.284	33.772	488	98,56 %
Santa Rosa	1.847	-	1.847	2.114	267	87,37 %
Silvia	8.259	-	8.259	9.011	752	91,65 %
Sotara	3.508	-	3.508	3.811	303	92,05 %
Suárez	5.641	-	5.641	6.116	475	92,23 %
Sucre	2.215	-	2.215	2.394	179	92,52 %
Timbío	10.355	-	10.355	10.653	298	97,20 %
Timbiquí	-	6.757	6.757	9.859	3.102	68,54 %
Toribio	9.025	-	9.025	9.342	317	96,61 %
Totoró	4.702	-	4.702	5.827	1.125	80,69 %
Villa Rica	5.800	-	5.800	5.858	58	99,01 %

Tabla 3.1: Índice de Cobertura de Energía Eléctrica del Departamento del Cauca 2018.
Fuente: ICEE 2018

Cabe considerar que mediante el Contrato Especial 680 de 2017 el Ministerio de Minas y Energía designó a Centrales Eléctricas de Nariño S.A. E.S.P (CEDENAR) como operador de red en el SIN de la línea de interconexión Cauca - Nariño [100]. Aun así, en los Municipios de Guapi y Timbiquí, CEDENAR no ha ejecutado actividades de comercialización de energía; a la fecha estas actividades las desarrollan las empresas locales que operaban como ZNI [101]. De esta manera, como se muestra en la figura 3.4 el principal operador de red del departamento del Cauca, Compañía Energética de Occidente (CEO), tiene el mayor porcentaje de cobertura de energía eléctrica en el departamento, mientras que para la bota caucana (Piamonte), la prestación del servicio está dada por la Empresa de Energia del Putumayo S.A E.S.P. [102, 103].



Figura 3.4: Cobertura de la Compañía Energética de Occidente.
Fuente: CEO

Pese a que el proyecto COCANA entró en operación el 22 de junio de 2018, en el informe del 2 semestre del 2020, caracterización energética de zonas no interconectadas del Centro Nacional de Monitoreo (CNM) y el IPSE, se especifica que en el Cauca

los municipios de Guapi, López de Micay y Timbiquí cuentan con al menos un centro poblado o localidad en la Colombia no interconectada [100]. De hecho, el Cauca es el tercer departamento, después de Nariño y Chocó, con el mayor número de localidades y usuarios pertenecientes a las ZNI (193 localidades y 16.214 usuarios), de las cuales 16 localidades con 4.109 usuarios cuentan con monitoreo por sistemas de telemetría y 177 localidades con 12.105 usuarios no cuentan con un sistema de telemetría. Cabe mencionar que las localidades de las ZNI que no cuentan con sistemas de telemetría son las localidades a las cuales se le hace el seguimiento a la prestación del suministro de energía eléctrica, mediante un contacto telefónico, correo electrónico u otros medios de comunicación digital, bajo la modalidad entrevistas o encuestas a los usuarios y/o operadores locales [71]. Para satisfacer la demanda energética en las ZNI del departamento del Cauca, se cuenta con una capacidad instalada de 10.995,80 Kw correspondientes en su totalidad a energía generada por diesel; sin embargo, según el mencionado informe, el Cauca no cuenta con una capacidad instalada de energías renovables para las ZNI, esto porque no se tienen en cuenta las soluciones fotovoltaicas aisladas con las que cuenta el IPSE, las cuales corresponden a una capacidad instalada de 10.686,78 Kw en soluciones fotovoltaicas individuales en las viviendas de la Colombia no interconectada [71].

Para mitigar el número de localidades y usuarios en el departamento del Cauca que no se encuentran interconectados al SIN y que el suministro de energía eléctrica depende de combustibles fósiles, se hace necesario incrementar la participación de las FNCER en la región. El Cauca cuenta con potencial para la generación de energía con dichas fuentes, dado que se encuentra ubicado en el nudo cordillerano andino del Macizo Colombiano, una de las regiones con más fuentes de agua de Colombia y con mayor potencial para la generación de energía hidráulica [104]. Algo semejante ocurre con el potencial de radiación solar, como lo hace notar la figura 3.1, la mayor parte de este recurso incide en el norte y sur occidente del departamento con niveles de radiación entre 4 y 5 Kwh/m²/d; valores que permiten un aprovechamiento del recurso primario para brindar soluciones energéticas. En cuanto a la energía de los océanos, se cuenta con un gran potencial de generación dado que el 28 % del territorio caucano, lo conforman tres municipios que se encuentran ubicados en la costa pacífica colombiana [105], este litoral pacífico posee una fuerte influencia del oleaje y de las mareas, con variaciones cada 12 horas de hasta de 6m, porque recibe la acción directa de un océano abierto [106].

En función de lo planteado, en la tabla 3.2 se listan los proyectos basados en FNCER que se han desarrollado en las ZNI del pacífico sur hasta el año 2017, con el objetivo de mitigar la falta de conectividad eléctrica en esta zona y aportar al cumplimiento de los objetivos del Plan Energético Nacional [50]. Estos proyectos representan el 3,7 % del total de proyectos que han sido realizados a nivel nacional para las ZNI, sin embargo se encuentran en estudio de viabilidad proyectos ejecutados por planes como: Todos Somos Pazífico, el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE), y el Plan de Energización Rural Sostenible (PERS) para el Cauca.

Proyecto, plan o programa	Fuentes de financiación	Tipo de proyecto	Cantidad de proyectos
Plan de Energización Rural Sostenible (PERS)	UPME-IPSE CCEP-UDENAR	Sistemas fotovoltaicos individuales y sociales	3
Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para zonas no interconectadas (IPSE)	IPSE	Sistemas fotovoltaicos individuales-residenciales	7
Programa de Energía Limpia para Colombia (CCEP)	CCEP-Otros	Sistemas híbridos solar-diésel-batería	1
Programa de Energía Limpia para Colombia (CCEP)	CCEP-MRE	Sistemas fotovoltaicos residenciales	1
Programa de Energía Limpia para Colombia (CCEP)	CCEP-MRE	Sistemas fotovoltaicos para infraestructura social	1
Plan Fronteras para la Prosperidad (FPF)	MRE-IPSE USAID-Otros	Sistemas fotovoltaicos para infraestructura social	7
Total de proyectos	—	—	20

Tabla 3.2: Proyectos FNCER.
Fuente: UPME

3.2.1. Caracterización energética del municipio de Guapi, Cauca

Guapi es un municipio ubicado en la costa pacífica colombiana, perteneciente al departamento del Cauca en los límites del vecino departamento de Nariño, es la tercera población más grande de todo el Pacífico colombiano, detrás de Buenaventura y Tumaco. En la figura 3.5 se pueden identificar claramente las líneas viales nacionales (líneas rojas) y se nota la situación de aislamiento y difícil acceso al municipio de Guapi.

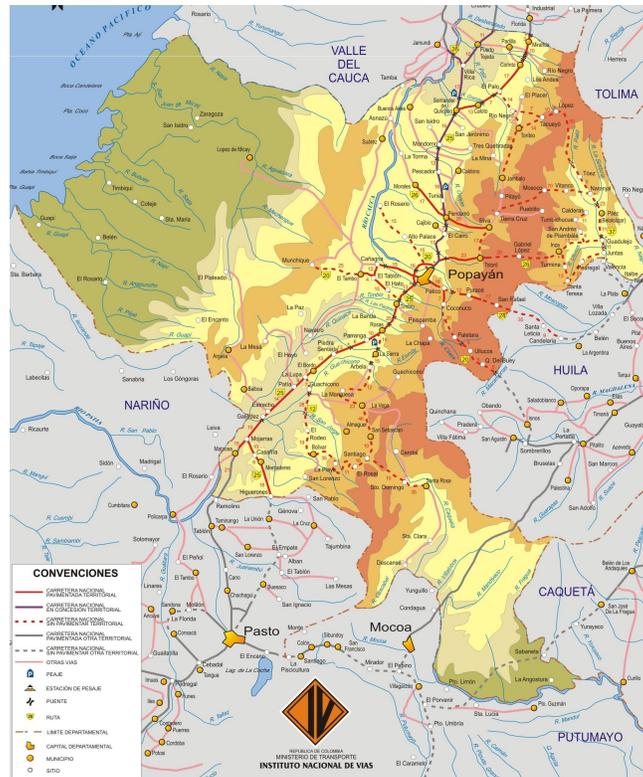


Figura 3.5: Mapa de las carreteras del Cauca.
Fuente: Instituto Nacional de Vías

Las principales actividades económicas en términos de generación de empleo, ingresos y dinamización de las economías locales, son actualmente los sectores pesquero, minero-tradicional, cocotero, artesanal y comercio y servicios locales básicos. Vale la pena mencionar que alrededor del 80 % de las familias del municipio dependen de la pesca y la agricultura, porque sus ingresos dependen del trabajo que realizan diariamente, pero no cuentan con apoyo logístico, financiero o de servicios [104]. Ahora bien, la incorporación de este municipio al Sistema Interconectado Nacional se llevó a cabo en 2018, gracias al “Plan Todos Somos Pazcífico” del gobierno nacional, hecho que favoreció las condiciones de vida de los habitantes al contar con un suministro energético constante durante el día; no obstante, tiempo después de la entrega del proyecto se comenzaron a presentar problemas de intermitencia en la red de conexión entre los municipios de Popayán y Guapi. A causa de esto la economía local ha terminado siendo afectada fuertemente, puesto que los problemas tienen un tiempo de respuesta demasiado lento debido a la longitud de la red eléctrica (un poco más de 200 km) y que se encuentra en una zona de difícil acceso [107].

Como se mencionó anteriormente, la administración de la interconexión desde la ciudad de Popayán hasta el municipio de Guapi es responsabilidad de CEDENAR y la comercialización en el casco urbano es responsabilidad de ENERGUAPI S.A E.S.P. Así mismo, la zona rural del municipio de Guapi (corregimientos y veredas) son alumbrados mediante plantas eléctricas administradas también por ENERGUAPI, para lo cual el Ministerio de Minas y Energía otorga un subsidio; no obstante, muchas de las comunidades permanecen largas horas sin energía, por la falta de combustible para el funcionamiento del sistema de suministro o por los daños en los grupos electrógenos. En ocasiones estas comunidades con fondos propios han proporcionado este recurso para generar energía, dichos gastos afectan de forma negativa la economía local y por ende la calidad de vida de las comunidades, situación que hace urgente intensificar la interconexión rural o la implementación de energía limpia [108].

4. Método de análisis de decisiones de criterios múltiples

Los Métodos de Toma de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDM) o también llamados Análisis de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDA), ayudan en el proceso y facilitan la toma de una decisión acorde con los objetivos establecidos, gracias al análisis metódico de las alternativas a través de sus criterios tanto cualitativos como cuantitativos [42]. El MCDA es tanto un enfoque como un conjunto de técnicas, cuya meta es proporcionar un orden global a un grupo de opciones, desde la opción más preferida hasta la opción menos preferida [109]. Para la solución de problemas relacionados con la planificación energética, esta herramienta se ha vuelto tendencia puesto que permite prestar atención a todos los criterios disponibles y tomar las decisiones adecuadas según la prioridad, dado que en la actualidad la planificación energética eficiente tiene múltiples objetivos, definiciones y criterios que dificultan la consecución de un sistema con una visión de desarrollo sostenible [110].

Dentro de este orden de ideas, en la literatura se ha mencionado que los MCDM más utilizados en el sector energético para la planificación energética eficiente basada en fuentes de energía renovable se clasifican como se muestra en la figura 4.1, en: Métodos de sobreclasificación o superioridad como ELECTRE (Eliminación y elección que traducen la realidad) y PROMETHEE (Método para enriquecer la evaluación ordenando las preferencias), los cuales se caracterizan por establecer relaciones de sobreclasificación entre las diferentes alternativas y su base son los conceptos de concordancia y discordancia. Métodos de medición de valor o ranking como AHP (Proceso analítico jerárquico) y MAUT (Teora de utilidad multiatributo), los cuales se caracterizan por la asignación a priori de los pesos de cada criterio, y finalmente métodos de nivel de preferencias o distancias como TOPSIS (Técnica para la preferencia del orden por similitud a la solución ideal) Y VIKOR (Solución por compromiso para optimización multicriterio), los cuales tienen su origen en los métodos de la distancia a la alternativa ideal, donde alternativa ideal se comprende como aquella que supera al resto en todos los criterios [42].



Figura 4.1: Clasificación MCDM.

Fuente: Tomado de [42]

El proceso de toma de decisiones comúnmente se divide en dos etapas (Estructuración

del problema y análisis del problema), como se muestra en la figura 4.2. La primera etapa, estructuración del problema, se divide en tres fases: en la primera fase se define el problema, en la segunda fase se determinan los criterios de decisión y en la tercera fase se identifican las alternativas que pueden dar solución al problema planteado. La segunda etapa, análisis del problema, consta de dos fases: En la primera fase se evalúan las alternativas dependiendo de la estrategia de evaluación que se desea implementar y en la segunda fase se seleccionan las alternativas que tienen mayor impacto sobre el objetivo [42].



Figura 4.2: Etapas del proceso de decisión.
Fuente: Adaptado de [42]

Para el caso de estudio, se describen a continuación cada una de las etapas del proceso de decisión, con el fin de seleccionar el tipo de fuentes de energía renovables que harán parte del sistema de generación híbrido de una embarcación pesquera en el municipio de Guapi, Cauca.

4.1. Definir el problema

En el municipio de Guapi, las embarcaciones utilizadas para la movilidad marítima y fluvial son una parte importante tanto de las comunicaciones como de la actividad económica de la región, dado que la pesca fluvial y marítima es una de las actividades base de la economía local en virtud de la extensa variedad de peces, moluscos y crustáceos presentes en la zona [108]. Estas embarcaciones utilizadas para pesca artesanal requieren el uso de combustibles fósiles para su propulsión, lo cual conduce a problemas como el agotamiento de los recursos naturales, daños ambientales por el poco mantenimiento de estas embarcaciones y pocas horas de navegación debido al alto costo del combustible en zonas aisladas [1]. Lo anterior sumado a falencias del sector pesquero como la falta de organización, los altos costos de producción y la escasez de cuartos fríos para almacenamiento.

Debe señalarse que hay una ausencia crítica de estadísticas confiables, las cuales son necesarias para caracterizar el sector pesquero del municipio. Sin embargo, en el marco del *“Proyecto Econavipesca Del Pacífico: Ecosistema Para La Navegación Pesquera Sostenible En El Municipio De Guapi, Cauca”* el cual tiene como propósito el diseño e implementación de un modelo sustentable asociado a la cadena de valor de la pesca artesanal en Guapi, que incluye el diseño tanto de una embarcación híbrida como de la cadena de valor y modelo de gestión socio-empresarial; se ha recolectado información para caracterizar la cadena de valor del modelo de pesca en el municipio, que incluye

la producción, transformación, distribución y consumo [111].

Adicionalmente para las actividades económicas de la región, se hace necesario resaltar que las actividades pesqueras son principalmente masculinas, sin embargo las mujeres están integradas en toda la cadena de valor; esto se puede notar en algunas de las organizaciones de pescadores de Guapi, donde según la información recopilada en campo por el equipo social de la Universidad del Cauca a partir de un taller de co-creación con tres de estas organizaciones de pescadores artesanales (Servipesca, Renacer progresista guapiense y Asociación Nueva Bella vista) estas están integradas por un total de 46 personas, de las cuales 16 son mujeres y 30 hombres [111]. Por medio de este ejercicio, también se evidenció que los métodos implementados para la pesca son artesanales y manuales, donde la artesanía consiste en el uso de mallas chinchorros, pararrayos y ganchos y el método manual se realiza con catanga y trampa para cangrejos. Además del uso de embarcaciones de madera y fibra de vidrio, propulsadas por remo y motores fuera de borda de 15 caballos de fuerza. En la información recopilada, también se identificaron los costos de las operaciones de pesca, datos que se obtuvieron en una “faena”, la cual corresponde a un viaje de pesca de 4 días en el mar, figura 4.3. En la figura 4.4 se puede observar que el costo de mayor incidencia (62 %) en toda la operación de pesca es el consumo de combustible. Es importante señalar que el precio del combustible en Guapi es 16 % más alto en comparación con la mayoría de zonas del país, esto se debe a que el municipio de Guapi no cuenta con vías de acceso y por lo tanto debe ser importado vía marítima desde el puerto más cercano, puerto de Buenaventura, ubicado a 175 km de distancia.



Figura 4.3: Jornada de pesca.
Fuente: Fotografía Alfredo Valderruten, Guapi 2021

Se estima que luego de cuatro faenas por mes, el dueño de la embarcación tiene unos \$350.000 pesos colombianos (COP) en utilidades. Esto contando que paga \$210.000 COP a cada tripulante. Si el dueño de la embarcación es pescador, tendrá un ingreso mensual de \$560.000 COP, lo que corresponde al 68 % del salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV). Con este ingreso se puede comprobar el motivo de la baja calidad de vida y condiciones de pobreza de la comunidad de Guapi [111].

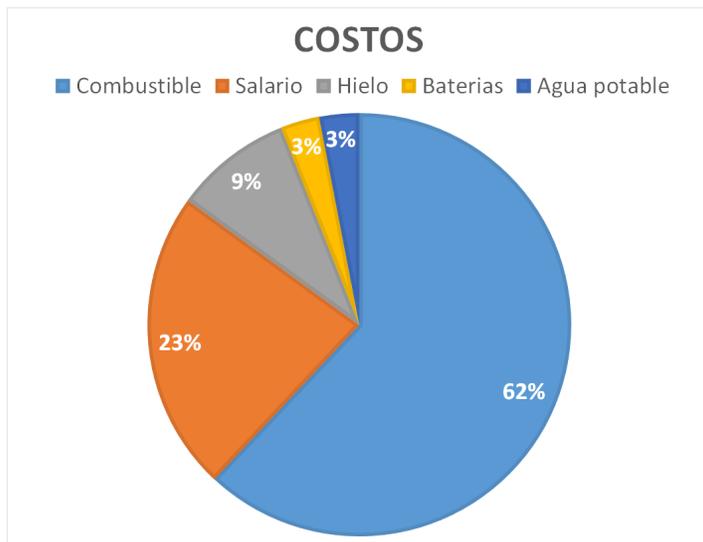


Figura 4.4: Diagrama de costos de pesca.
Fuente: Proyecto ECONAVIPESCA

En promedio, según los pescadores, se consumen diariamente unos 10 galones de gasolina por barco; para determinar el número de embarcaciones presentes en el municipio de Guapi y su frecuencia de operación, se requiere un estudio detallado, pero se estima que se movilizan alrededor de 100 embarcaciones por día, lo que generaría alrededor de 8.705 Kg de CO₂ emitidos diariamente al ambiente, teniendo en cuenta que la combustión de gasolina genera aproximadamente 2,3 Kg de CO₂ por litro consumido. Además, como resultado de las descargas localizadas pero permanentes de combustible durante el almacenamiento y la manipulación, los suelos y las fuentes de agua se ven afectados [111].

Con base en lo anterior, se ha buscado implementar fuentes de energía limpias que reemplacen las convencionales sin que se vea afectada la eficiencia, la economía y seguridad de las personas que emplean estos medios de transporte [2]. Los recursos renovables disponibles en la región, tales como el viento, las olas, las mareas, la radiación solar y el gradiente de salinidad, se pueden emplear para que la tecnología de transporte sea limpia y ecológica. Sin embargo, la energía producida por dichas fuentes no es constante en todo momento debido a las condiciones climáticas de la zona, de manera que se pueden incorporar en conjunto para tener un sistema confiable y que opere dentro de los valores establecidos [4]. Por lo tanto, se hace necesario implementar un proceso de selección basado en una planificación energética sostenible con el objetivo de elegir qué

tipo de recursos renovables formarán parte del sistema híbrido de generación.

4.2. Determinación de criterios a emplear en el modelo

El concepto de desarrollo energético sostenible se presentó en el informe de Evaluación Energética Mundial de la ONU con la introducción de un paradigma de desarrollo en el que se consideraron los impactos económicos, sociales y ambientales del desarrollo energético [112, 113]. El desarrollo energético sostenible se consolidó como parte integral del desarrollo sostenible con la introducción del objetivo siete de los ODS de la ONU, “ *Garantizar el acceso a energía asequible, confiable, sostenible y moderna para todos*” [77]. Además, se ha convertido en un objeto de política internacional que refleja los diversos desafíos que enfrentan los sistemas energéticos modernos, como el agotamiento de las fuentes de combustibles fósiles, el aumento del consumo de energía y el cambio climático [114]. De este modo, una planificación energética eficiente con un objetivo sostenible considera las dimensiones del marco de sostenibilidad tridimensional (económica, social y ambiental) [115, 116]. Sin embargo, para este caso de estudio se ha incluido un enfoque adicional (dimensión técnica) ya que tiene una influencia directa en la sostenibilidad del proyecto local. Así las cosas, estas dimensiones representan los criterios de decisión, los cuales se describen a continuación:

- **Criterio económico:** Centrado en la supervivencia del servicio más allá de la vida económica de la inversión inicial [117].
- **Criterio social:** Se ocupa del impacto de los servicios energéticos que tendrá el proyecto en el bienestar social de las comunidades involucradas[116].
- **Criterio ambiental:** Enfocado en la conservación de los recursos naturales, evitando la degradación del medio ambiente y previniendo la contaminación [117].
- **Criterio técnico:** Enfocado a mantener el servicio energético durante la vida económica de la inversión inicial [117].

Con base en los criterios anteriormente descritos, se seleccionaron los indicadores considerando tres razones: primero, indicadores que se utilizan con mayor frecuencia en la literatura; segundo, indicadores que son aplicables a la zona objeto de estudio y tercero, indicadores sugeridos por expertos involucrados en el desarrollo del proyecto. Se eligieron un total de 16 indicadores para este análisis, 4 indicadores o subcriterios para cada criterio o dimensión, los cuales se muestran en la tabla 4.1 .

Criterios	Subcriterios	Abreviación
Técnicos	Disponibilidad del recurso primario	DR
	Ausencia de normatividad	AN
	Disponibilidad de área para instalación de equipos	DA
	Eficiencia energética	EE
Económicos	Madurez de alternativa de generación	MA
	Barreras del mercado	BM
	Inversión inicial	II
	Costo de operación y mantenimiento	CO
Sociales	Información y conocimiento de la tecnología	IC
	Viabilidad	V
	Política energética	PE
	Aceptación de la alternativa	AA
Ambientales	Sostenibilidad ambiental	SA
	Afectación de la biodiversidad	AB
	Cambio Climático	CC
	Producción de residuos	PR

Tabla 4.1: Criterios e indicadores utilizados para este análisis.
Fuente: Elaboración propia

4.3. Identificar las alternativas

En cuanto a la identificación de las alternativas de generación basadas en FNCER que serán evaluadas y seleccionadas por medio del MCDA, en el capítulo tres se realizó un análisis detallado del potencial de generación de las fuentes de energía renovable disponibles en el país, enfocado en la zona del pacífico colombiano, lugar donde se desarrolla este caso de estudio. De este modo, con la información obtenida en dicho estudio y recomendaciones de expertos involucrados en el desarrollo del proyecto, se determinaron cinco alternativas de generación como posibles fuentes de suministro de energía para el sistema de generación híbrido de la embarcación. Entre las que se encuentran la energía eólica y la solar, además de tres de las energías de los océanos (mareomotriz, undimotriz y por gradiente salino) las cuales también podrían considerarse para establecer una posible estación de carga para el sistema de almacenamiento de la embarcación (baterías).

4.4. Evaluar las alternativas mediante el proceso analítico jerárquico - AHP

Para elegir la metodología que realice una mejor distribución de las decisiones a tomar en función de una prioridad o jerarquía que ayude a visualizar cuál o cuáles son las decisiones que mayor impactan frente al objetivo, en [118] se elabora un análisis comparativo entre los diferentes métodos, donde se argumenta la selección de la metodología AHP, dado que este método involucra todos los aspectos de toma de decisiones y permite considerar criterios tanto cualitativos como cuantitativos, además es capaz de desarrollar completamente el proceso de toma de decisión. Por otro lado, permite al

agente decisor realizar comparaciones, atribuyendo un valor numérico para cada alternativa que facilita la comprensión incorporando la participación de diferentes actores. Debe señalarse, que para la implementación de este método se establecen una serie de pasos, que como se muestra en la figura 4.5 conllevan a la ponderación final de cada alternativa según su impacto frente al objetivo [110, 119].

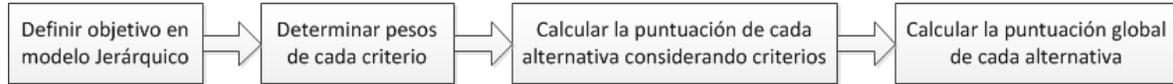


Figura 4.5: Pasos del proceso analítico jerárquico.
Fuente: Elaboración propia

A continuación se lleva a cabo la implementación de cada uno de los pasos del método analítico jerárquico, con el fin de evaluar y seleccionar el tipo de fuentes de energía renovables que harán parte del sistema de generación híbrido de una embarcación pesquera en el municipio de Guapi, Cauca.

4.4.1. Definir objetivo en modelo jerárquico

Para plantear la estructura del proceso analítico jerárquico, el problema se descompone en diferentes niveles que comprenden el objetivo principal (meta), los criterios, subcriterios y las alternativas; aunque esta estructura no es esencial para la metodología, es una ayuda visual a la hora de aplicar el modelo y tener una perspectiva global del problema. Ahora bien, con lo identificado y descrito en las anteriores etapas, en la figura 4.6 se estructura el modelo situando el objetivo en la parte más alta de la jerarquía, lo que indica que la decisión estará sujeta a obtener la mayor satisfacción del mismo. En los niveles inferiores a este objetivo (nivel dos y tres) se ubican los criterios y subcriterios respectivamente, los cuales han sido previamente determinados para poder tomar una buena decisión con base a una planificación energética sostenible. Finalmente, en la base de la jerarquía se ubican las diferentes alternativas.

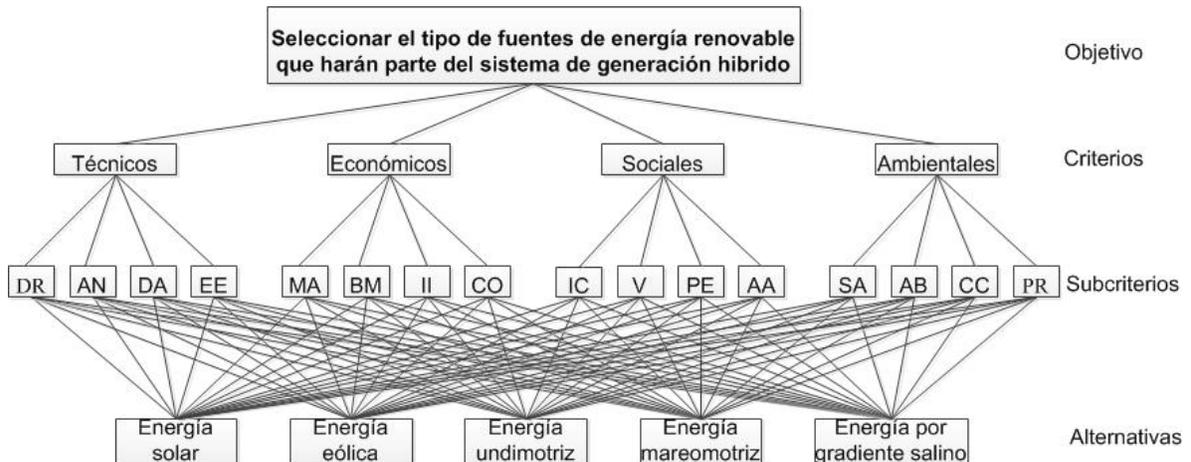


Figura 4.6: Esquema del proceso analítico jerárquico en el caso de estudio.
Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Determinar pesos de cada criterio

Dado que el sector energético y en particular la planificación energética afectan los intereses y recursos de múltiples actores, socialmente no es aceptable implementar o incluso sugerir una alternativa sin tener en cuenta los intereses y preferencias de los diversos actores afectados; por esta razón, se tuvieron en cuenta los actores involucrados en el marco del “*Proyecto Econavipesca Del Pacífico: Ecosistema Para La Navegación Pesquera Sostenible En El Municipio De Guapi, Cauca*” que incluyen grupos de personas, instituciones y autoridades administrativas, que directa o indirectamente influyen en el proceso de diseño e implementación de un modelo sustentable asociado a la cadena de valor de la pesca artesanal. Por otra parte, con la participación de estos se disminuye la aleatoriedad y la subjetividad a la hora de tomar una decisión.

Ahora bien, el grupo de actores que se eligió para el proceso de evaluación de los indicadores en la planificación energética sostenible de un sistema híbrido de generación basado en fuentes no convencionales de energía para pesca artesanal en el municipio de Guapi, está conformado por un estudiante de último semestre de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, oriundo del municipio de Guapi; un profesor de la Universidad del Cauca con más de 15 años de experiencia en la docencia e investigación y una amplia participación en proyectos relacionados con FNCER para zonas no interconectadas, perteneciente al proyecto Econavipesca; una persona procedente de Guapi, integrante del grupo baquiano del proyecto Econavipesca y dos personas pertenecientes a la categoría marítima, el Capitán del puerto de la Dirección General Marítima de Guapi (DIMAR) y el Comandante del Batallón de Infantería de Marina N°42 del municipio de Guapi.

Dado lo anterior, en este caso se implementó un cuestionario desarrollado tanto en formato físico como en formato digital, donde este último se realizó como una aplicación web (<https://tracker-ad86d.web.app/>). En estos se evaluaron las dimensiones e indicadores de sostenibilidad considerados para la planificación energética sostenible, descritos en la sección 4.2. En la primera parte de dicho cuestionario, se solicitó a los expertos evaluar los indicadores con el fin de determinar el nivel de importancia de cada uno de ellos con base en la tabla 4.2, donde los valores 9 y 1 indican una importancia muy fuerte y muy débil, respectivamente.

Valor cualitativo	Escala de Saaty
Muy débil	1
Débil	3
Moderada	5
Fuerte	7
Muy fuerte	9
Valores intermedios entre los anteriores cuando es necesario matizar	2,4,6,8

Tabla 4.2: Escala para establecer las estimaciones
Fuente: Tomado de [119]

Con base en los resultados obtenidos en la evaluación de la primera parte del formulario (ver anexo A), se tomó el valor característico de todos los valores asignados para cada indicador, logrando así establecer un solo valor para cada uno de estos, como se muestra en la tabla 4.3.

Subcriterio	DR	AN	DA	EE	MA	BM	II	CO	IC	V	PE	AA	SA	AB	CC	PR
Promedio	8	4	7	8	7	5	7	7	6	6	6	7	6	7	8	6

Tabla 4.3: Nivel de importancia de cada subcriterio.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se realizó una comparación por pares con base a la tabla 4.4 (Escala de Saaty) y se elaboró una matriz de comparación pareada entre subcriterios, como se evidencia en la tabla 4.5.

Escala numérica	Escala verbal	Interpretación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio
3	El elemento es moderadamente mas importante respecto al otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente a otro
5	El elemento es fuertemente mas importante respecto al otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente a otro
7	La importancia del elemento es muy fuerte respecto al otro	Un elemento domina fuertemente
9	La importancia del elemento es extrema respecto al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible
2,4,6,8	Valores intermedios entre los juicios adyacentes.	

Tabla 4.4: Escala de Saaty

Fuente: Tomado de [119]

	DR	AN	DA	EE	MA	BM	II	CO	IC	V	PE	AA	SA	AB	CC	PR
DR	1	4	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
AN	0.25	1	0.33	0.25	0.33	0.5	0.33	0.33	0.5	0.5	0.5	0.33	0.5	0.33	0.25	0.5
DA	0.5	3	1	0.5	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0.5	2
EE	1	4	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
MA	0.5	3	1	0.5	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0.5	2
BM	0.33	2	0.5	0.33	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.33	0.5
II	0.5	3	1	0.5	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0.5	2
CO	0.5	3	1	0.5	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0.5	2
IC	0.5	2	0.5	0.5	0.5	2	0.5	0.5	1	1	1	0.5	1	0.5	0.5	1
V	0.5	2	0.5	0.5	0.5	2	0.5	0.5	1	1	1	0.5	1	0.5	0.5	1
PE	0.5	2	0.5	0.5	0.5	2	0.5	0.5	1	1	1	0.5	1	0.5	0.5	1
AA	0.5	3	1	0.5	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0.5	2
SA	0.5	2	0.5	0.5	0.5	2	0.5	0.5	1	1	1	0.5	1	0.5	0.5	1
AB	0.5	3	1	0.5	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0.5	2
CC	1	4	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
PR	0.5	2	0.5	0.5	0.5	2	0.5	0.5	1	1	1	0.5	1	0.5	0.5	1

Tabla 4.5: Comparación pareada entre criterios

Fuente: Elaboración propia

Una vez se realizó la matriz de comparación pareada entre criterios, se procedió a normalizarla. Para normalizar dicha matriz, primero se sumaron los valores de cada columna de la matriz de comparaciones pareadas y luego se dividió cada elemento de la matriz entre el total de su columna. En seguida se procedió a determinar los pesos relativos de cada subcriterio, donde se calculó el promedio de las filas de la matriz normalizada y se encontró el vector de prioridades de los subcriterios, como se muestra en la tabla 4.6 [120, 121].

Subcriterio	Ponderación
Disponibilidad del recurso primario	0.1072
Ausencia de normatividad	0.0222
Disponibilidad de área para instalación de equipos	0.0690
Eficiencia energética	0.1072
Madurez de la alternativa de generación	0.0690
Barreras del mercado	0.0304
Inversión inicial	0.0690
Costo de operación y mantenimiento	0.0690
Información y conocimiento de la tecnología	0.0423
Viabilidad	0.0423
Política energética	0.0423
Aceptación de la alternativa	0.0690
Sostenibilidad ambiental	0.0423
Afectación de la biodiversidad	0.0690
Cambio climático	0.1072
Producción de residuos	0.0423

Tabla 4.6: Vector de prioridades inicial

Fuente: Elaboración propia

Este vector de prioridades permite identificar la ponderación del nivel de importancia que los evaluadores o expertos dieron a cada subcriterio. Sin embargo, se hace necesario evaluar la consistencia debido a que las comparaciones del vector de prioridades que se obtiene de la matriz de comparación entre criterios no representa la realidad, puesto que está determinado a juicio del tomador de decisiones y la inconsistencia de una matriz hace que no se pueda realizar la metodología de manera correcta. Por tal motivo, para verificar si los pesos de la comparación fueron asignados correctamente, se evaluó la consistencia de la siguiente manera:

En primer lugar se multiplicó la matriz de comparación pareada por el vector de prioridades, ecuación 4.1, luego se sumaron los valores del vector resultante, ecuación 4.2 y por medio de la ecuación 4.3, se calculó el índice de consistencia, siendo c el número total de subcriterios [119, 120].

$$\lambda w = \text{matriz} * Vp \quad (4.1)$$

$$\lambda max = \sum \lambda w = 16,2957 \quad (4.2)$$

$$CI = \frac{\lambda max - c}{c - 1} = \frac{16,2957 - 16}{16 - 1} = 0,0197 \quad (4.3)$$

En segundo lugar, se calculó la consistencia aleatoria, como se denota la expresión 4.4.

$$CA = 1,98 * \frac{C - 2}{C} = 1,98 * \frac{16 - 2}{16} = 1,7325 \quad (4.4)$$

Finalmente, por medio de la ecuación 4.5, se calculó la relación de consistencia, la cual arrojó un valor de 0.0114, afirmando que la comparación pareada entre subcriterios se hizo correctamente, dado que se considera que una matriz es consistente si el ratio es igual o menor al 10 % [119].

$$CR = \frac{CI}{CA} = \frac{0,0197}{1,7325} = 0,0114 \quad (4.5)$$

4.4.3. Calcular la puntuación de cada alternativa considerando criterios

En la segunda parte del cuestionario (ver anexo A), se solicitó a los expertos evaluar los subcriterios en función de cada alternativa con base a la tabla 4.2, con el fin de verificar cómo se adecuan según su rendimiento, desempeño o favorabilidad en cada alternativa. Luego de la evaluación por parte de los actores se procedió a realizar la comparación pareada entre alternativas para cada subcriterio, teniendo en cuenta las estimaciones de la tabla 4.4. Dado lo anterior, se generaron 16 matrices de comparación pareada, una por cada subcriterio, (ver anexo B). Una vez planteadas estas matrices, se calculó la matriz normalizada para cada una de ellas y enseguida se encontró el

vector de prioridades para cada subcriterio, de igual forma como se calculó el vector de prioridades inicial [118, 119].

4.4.4. Calcular la puntuación global de cada alternativa

En el último paso del proceso analítico jerárquico, se conformó la matriz de ponderación de cada alternativa, como se observa en la tabla 4.7, la cual está conformada por los 16 vectores de prioridades encontrados en el paso anterior (Calcular la puntuación de cada alternativa considerando criterios). Esta matriz de ponderación se multiplicó con el vector de prioridades inicial encontrado en el segundo paso (determinar los pesos de cada criterio). El resultado final, será un vector denotado como vector de puntuación global de cada alternativa, representando en la tabla 4.8 [119].

	DR	AN	DA	EE	MA	BM	II	CO	IC	V	PE	AA	SA	AB	CC	PR
Energía solar	0.052	0.039	0.069	0.088	0.109	0.089	0.039	0.040	0.104	0.087	0.123	0.089	0.102	0.039	0.062	0.062
Energía eólica	0.052	0.039	0.069	0.044	0.057	0.044	0.078	0.076	0.052	0.087	0.073	0.089	0.058	0.078	0.062	0.062
Energía undimotriz	0.052	0.078	0.069	0.044	0.057	0.044	0.078	0.043	0.052	0.038	0.038	0.044	0.058	0.078	0.062	0.062
Energía mareomotriz	0.104	0.078	0.069	0.071	0.057	0.044	0.078	0.109	0.052	0.059	0.038	0.044	0.034	0.078	0.062	0.062
Energía por gradiente salino	0.052	0.078	0.034	0.063	0.030	0.089	0.039	0.043	0.052	0.038	0.038	0.044	0.058	0.039	0.062	0.062

Tabla 4.7: Matriz de ponderación de cada alternativa

Fuente: Elaboración propia

Alternativa	Ponderación final
Energía solar	0.0724
Energía eólica	0.0644
Energía undimotriz	0.0564
Energía mareomotriz	0.0693
Energía por gradiente salino	0.0501

Tabla 4.8: Puntuación global de cada alternativa

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que todos los cálculos hechos a lo largo de este capítulo se realizaron mediante un algoritmo en Matlab adaptado de [118]; debido a que el autor de este documento menciona que desarrolló una interfaz con la herramienta guide de Matlab con el objetivo de utilizar el programa en otros proyectos o casos de estudio que requieran identificar la mejor alternativa de generación para una zona no interconectada (Ver anexo C).

4.5. Seleccionar las alternativas

Finalmente a través del proceso analítico jerárquico, se puede denotar que la alternativa que mayor impacto presentó frente al objetivo propuesto (seleccionar el tipo de fuente

de energía renovable que hará parte del sistema de generación híbrido) fue la energía solar, puesto que esta alternativa es la que mayor puntuación presentó en la tabla 4.8. Este resultado se torna confiable ya que el desarrollo del proceso se hizo teniendo en cuenta cada uno de los indicadores, criterios y alternativas, que se eligieron específicamente para este caso de estudio. Además, de contar con la participación de expertos y actores involucrados en el desarrollo del proyecto con el fin de obtener una planificación energética sostenible.

5. Sistema híbrido de generación basado en FNCER

Como se describió en el capítulo 4, la alternativa que mayor impacto presentó frente al objetivo propuesto (seleccionar el tipo de fuente de energía renovable que hará parte del sistema híbrido de generación) fue la energía solar. Sin embargo, como la energía producida por las FNCER no es constante en todo momento debido a las condiciones climáticas de la zona, se pueden incorporar en conjunto con otra fuente de generación para obtener un sistema confiable y que opere dentro de los valores establecidos [4]. Esto con el fin de que cuando el subsistema que esté aportando la potencia no sea suficiente, este debe pasar a su punto de conversión óptimo y la potencia restante debe ser aportada por el otro subsistema o por el sistema de almacenamiento [5].

Dado lo anterior, la literatura disponible en este campo muestra que la tendencia actual es integrar los sistemas de energías renovables con el uso de un generador diésel como una configuración híbrida; esto con el fin de reducir los problemas asociados con la contaminación ambiental y el aumento de los costos de combustible [122]. Es importante mencionar que los factores sociales juegan un papel clave para que los proyectos sean energéticamente sostenibles. Como se menciona en [110], *“la tecnología debe crearse para las personas, no es necesario crear personas para la tecnología”*. Es por esto, que el diseño de un sistema energético debe tener en cuenta los factores sociales dándole la misma importancia que a otros factores.

De esta manera, con los talleres desarrollados con los pescadores y las comunidades del municipio de Guapi, se lograron identificar varios factores entre los que se destaca el mantener el uso de combustibles fósiles para la propulsión de la embarcación. No obstante, en el desarrollo de este caso de estudio, el uso de combustibles fósiles se realiza por medio de un generador diesel y no a través de un motor principal diésel o gasolina, puesto que los generadores diesel presentan una mayor eficiencia frente a dichos motores; esto porque un motor principal trabaja a distinto régimen en función de la velocidad requerida de la embarcación, mientras que un generador diesel trabaja a un régimen prácticamente constante de revoluciones, lo que hace que el consumo de combustible sea considerablemente menor y a su vez las emisiones de CO₂ [123]. Cabe resaltar que el generador diesel satisface la demanda de la carga solo cuando los requisitos de energía superan la fuente renovable y la capacidad disponible de la batería [124].

5.1. Características de las actuales embarcaciones utilizadas para pesca artesanal en el municipio de Guapi, Cauca

Los pescadores artesanales del municipio de Guapi, usan principalmente embarcaciones pequeñas y primitivas, las cuales presentan bajo desarrollo tecnológico debido a su escasa autonomía. Los bajos ingresos de los pescadores artesanales y la falta de políticas para esta actividad económica, en algunos casos les obliga a adquirir embarcaciones o cascos generalmente usados y en mal estado, algunos de ellos construidos para cualquier otro oficio, sin tener en cuenta criterios técnicos para las labores de pesca.

Actualmente predominan los cascos de madera, usualmente recubiertos con fibra de vidrio, con medidas que oscilan entre 12 metros de eslora, 2,4 metros de manga y 1,6 metros de puntal (ver figura 5.1). Un gran porcentaje de las embarcaciones cuenta con motores fuera de borda o internos como mecanismos de propulsión, siendo los motores de 15 HP los más comunes.

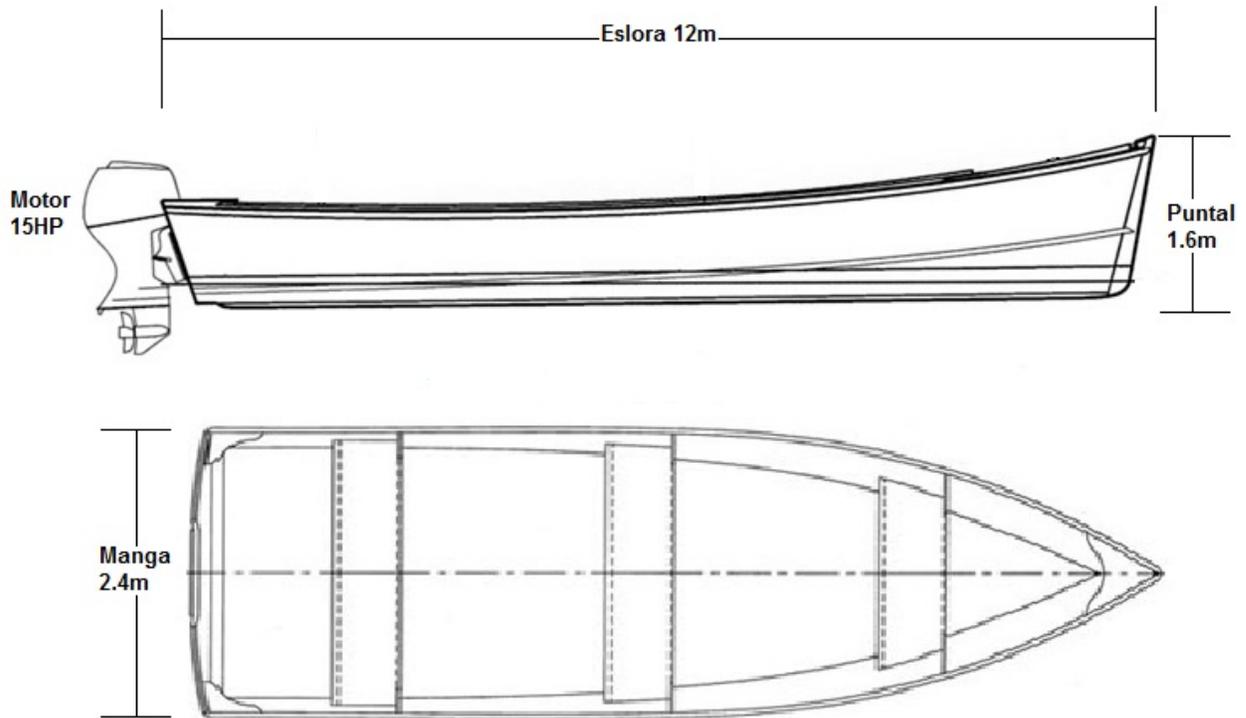


Figura 5.1: Medidas de las actuales embarcaciones
Fuente: Adaptado de [125]

5.2. Estudio y análisis de la potencia requerida

5.2.1. Línea base de demanda energética

A partir de las experiencias en las labores de pesca de las cuales hicieron parte los diferentes grupos que integran el proyecto Econavipesca e información suministrada por miembros de las asociaciones de pescadores [126, 127], fue posible identificar algunas de las actividades que los pescadores realizan antes, durante y después de una faena de pesca, además de los consumos energéticos alrededor de ésta; dado que para realizar una proyección de la demanda a suplir por el sistema híbrido de generación, es necesario establecer la línea base de demanda energética de la embarcación.

En función de lo planteado, a partir de las vivencias en contexto registradas en [126] se identificaron las principales actividades que describen una faena de pesca, las cuales se listan a continuación:

Antes de la faena de pesca

- Preparar alimentos para el consumo durante la estancia en el mar (fiambre).
- Organizar equipos o artes de pesca (embarcar las mallas y bajar el motor).
- Comprar hielo, combustible y alimentos complementarios.
- Tanquear el motor y recargar las linternas.
- Dirigirse al lugar de pesca.

Durante la faena de pesca

- Extender la malla en el sitio de pesca
- Lavar la embarcación.
- Dejar la malla en el mar aproximadamente tres horas y media y estar pendiente de que no se enrede en el fondo o alguna lancha la rompa.
- Recoger la malla y retirar cuidadosamente el pescado mallado.
- Arrojar las vísceras al mar para alimentar las otras especies.
- Conservar los pescados en las neveras.
- Lavar los utensilios con agua potable.
- Revisar constantemente el estado del clima.
- Determinar hacia donde desplazarse en busca de producción.
- Cocinar (cuando no se lleva alimentos preparados).
- Descansar mientras sea posible.

Después de la faena de pesca

- Lavar las mallas y la embarcación para quitar el marisco que se adquirió en la faena.
- Vender la captura a los cuartos fríos o a las mujeres revendedoras (se vende el 80 % del total y el 20 % queda para el consumo colectivo; de ese 80 % que se vende, el 50 % es para los equipos y el otro 50 % para los pescadores que participaron en la faena).
- Localizar algún daño que haya sufrido el equipo de pesca.
- Realizar pagos.

Con base en las actividades que se identificaron para una faena de pesca, se estableció el consumo energético para un escenario de pesca, como se muestra en la tabla 5.1. En esta se incluyen los diferentes elementos que tiene la embarcación y pensando en un equilibrio energético global, se considera también la alimentación e hidratación de los pescadores, que según datos de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y

la Agricultura (FAO), donde se toma como referencia las medidas antropométricas promedio de un de un pescador, como lo son el peso y la talla, además de su edad; se calculan las calorías y cantidad de agua que se requiere para consumir las energías necesarias en un trabajo con esfuerzo físico intenso, como lo son las labores de pesca [128].

Elemento	Potencia	Descripción	Horas de uso	Fuente energética	Cantidad del recurso	Tipo de energía	Costo del recurso energético (COP)
Motor	15 hp	Compra de combustible para la propulsión de la embarcación	6	Gasolina	10 Galones	Energía química	\$ 13.000 por cada galon de gasolina
Linterna	3 w	Compra de baterías para el funcionamiento de la linterna	8	Baterías	2 Baterías AA	Energía química	\$ 4.000 pesos el par de batearías
Estufa	2.200 Kcal/h	Compra de gas para preparación de alimentos durante la faena de pesca	2	Butano-Propano	1 Recarga	Energía térmica	\$ 15.000 por cada recarga de gas
Refrigeración	250 w	Compra de hielo para conservar la cadena de frío (250 w hace referencia a la potencia del congelador del proveedor de hielo)	12	Red electrica	2 marquetas de hielo	Energía eléctrica	\$ 12.000 por cada marqueta de hielo
Alimentos	15.518,456 J	Compra de alimentos para consumo de los pescadores	--	Carbohidratos, grasas y proteínas	3709 calorías diarias por persona	Energía química	\$ 17.000 por persona
Agua potable	--	Compra de agua potable para consumo de los pescadores	--	--	2500 ml/día	--	\$ 7.000 por cada garrafa de 5000 ml

Tabla 5.1: Línea base de consumo energético

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Selección de equipos

Con base en la tabla 5.1, se propone suplir los diferentes tipos de consumo energético de una faena de pesca, con la energía eléctrica generada por el sistema híbrido de generación. Por lo cual, se planteó la implementación de sistemas que requieran energía eléctrica para su funcionamiento y que puedan reemplazar los actuales elementos utilizados por los pescadores, sin que se vea afectada la eficiencia, la economía y mucho menos la seguridad de las personas que utilizan las embarcaciones para pesca artesanal.

- **Sistema de desalinización:** Planta desalinizadora de agua para el consumo de la tripulación durante su estancia en el mar, evitando así la compra de botellas de agua potable [111].
- **Sistema de comunicaciones:** Sistema de comunicación entre la embarcación y el continente con el fin de fortalecer las condiciones de seguridad que se dan en las operaciones de pesca [111].
- **Iluminación:** Sistema de iluminación en la embarcación que permita aumentar la seguridad en el mar, además de evitar la compra de baterías [111].
- **Sistema de refrigeración:** Mejora de la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de hielo dentro de la embarcación, reemplazando la compra de hielo que incrementa los costos en las operaciones de pesca [111].

Con el fin de validar la selección de los componentes descritos anteriormente, se desarrolló un formato tipo encuesta (ver anexo D), donde miembros de las asociaciones de pescadores seleccionaron los equipos que debería tener una embarcación ideal. Adicionalmente algunas de las personas sugirieron la implementación de sistemas o equipos de navegabilidad, además de una estufa solar para preparación de alimentos durante la faena de pesca.

5.2.3. Cálculo del sistema de electro propulsión

La determinación de la potencia necesaria para la propulsión de la embarcación requiere el cálculo de la resistencia al avance; por lo tanto, es importante conocer qué métodos de predicción de la potencia se deben utilizar para cada rango de velocidad [129]. Para ello, se observa y analiza el cálculo del número de Froude para distintos rangos de velocidad, este número relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y las fuerzas de la gravedad que actúan sobre un fluido y se puede calcular como:

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{g * l}} \quad (5.1)$$

Donde:

- v: Velocidad (m/s)
- g: Gravedad (m/s²)
- l: Eslora de la embarcación (m)

Como se plantea en [130], con el número de Froude se pueden distinguir los casos en los que cada término de la resistencia al avance de la embarcación adquiere una importancia u otra, como se muestra a continuación:

- Fr<0,4 Este caso se usa para velocidades reducidas. (Desplazamiento)
- 0,4<Fr<0,7 Este es un caso para velocidades un poco más altas. (Pre-planeo)
- Fr>0,7 Este es el caso para velocidades mucho más elevadas. (Planeo)

Dado lo anterior, se implementan los métodos de Holtrop y Savitsky, los cuales son métodos de estimación estadística que permiten dar una predicción de la potencia necesaria para la embarcación en función de su velocidad. Se aplican los dos métodos mencionados anteriormente puesto que se considera una embarcación de desplazamiento (método de Holtrop), pero se asume que esta alcanzará rangos de pre-planeo (método de Savitsky).

Para realizar los estudios de predicción estadística de la resistencia al avance en función de la velocidad, se hace uso del programa informático Maxsurf; este es un programa de diseño utilizado en la ingeniería naval, puesto que facilita el diseño de una embarcación al realizar estudios de dimensionamiento, estabilidad y resistencias [129]. Partiendo de un modelo ya prediseñado por el programa Maxsurf Modeler Advanced, se realizó el diseño del casco utilizando las medidas que se observan en la figura 5.1, obteniendo de

esta manera el diseño del casco en las tres vistas dimensionales tal y como se muestra las figuras 5.2, 5.3 y 5.4.

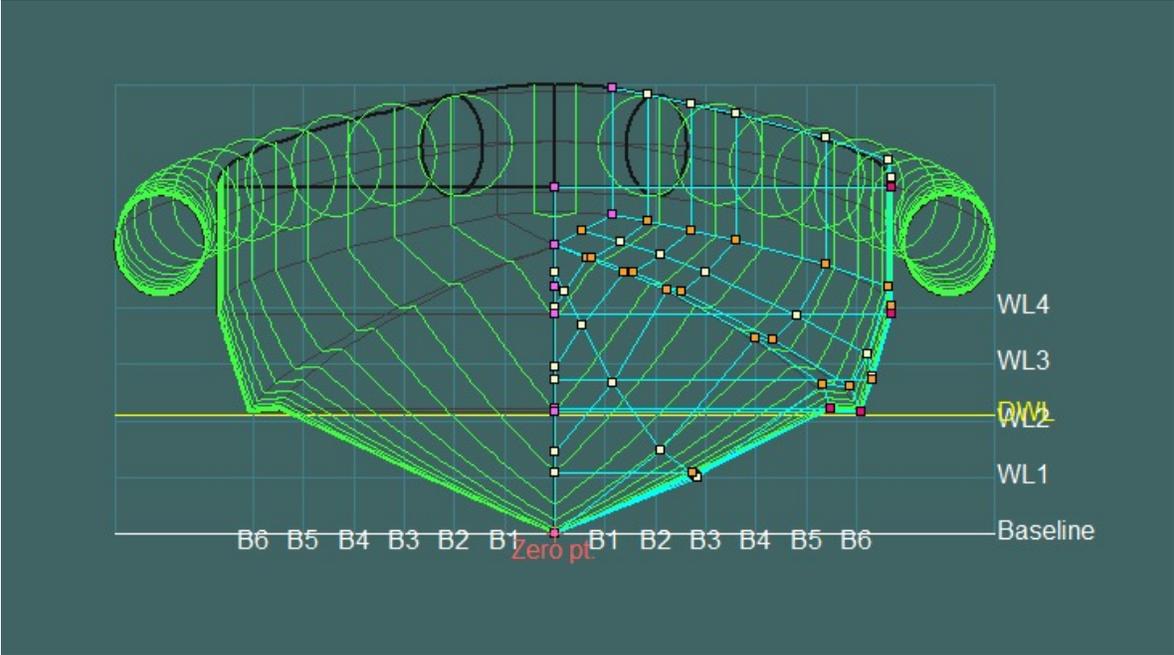


Figura 5.2: Alzado del casco.
Fuente: Elaboración propia

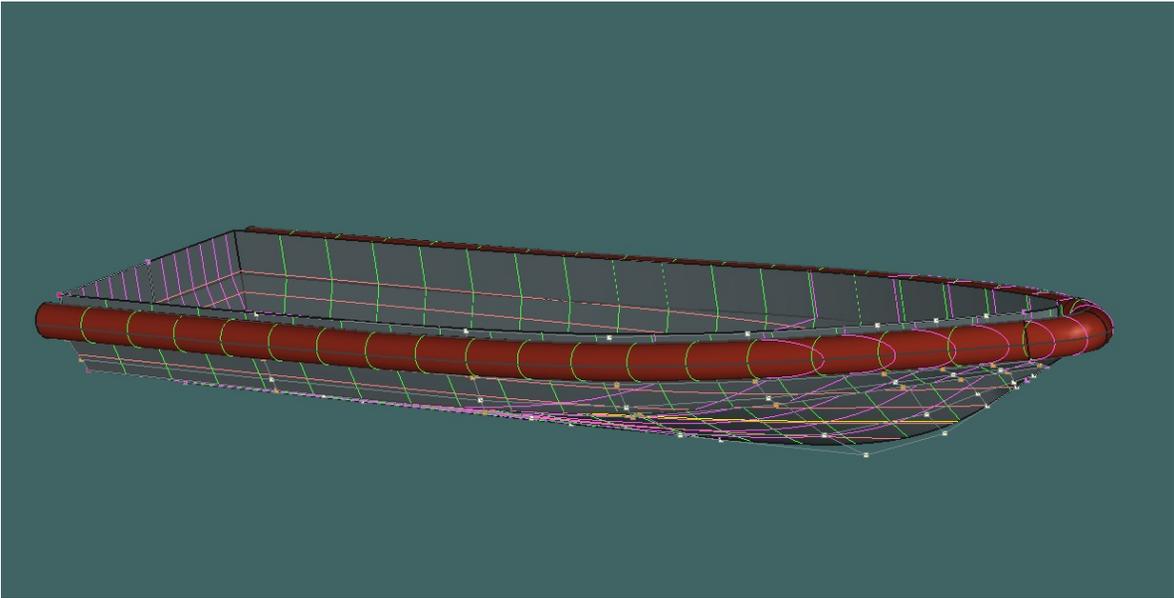


Figura 5.3: Perfil del casco.
Fuente: Elaboración propia

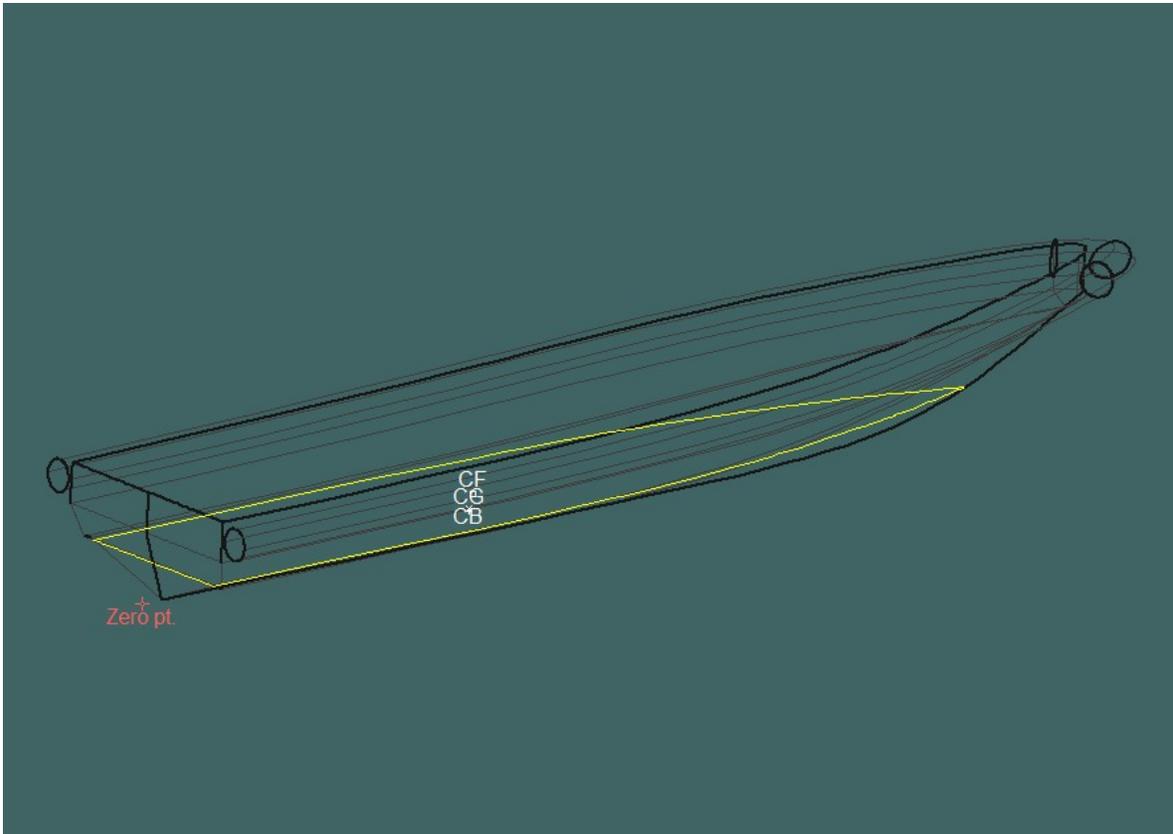


Figura 5.4: Planta del casco.
Fuente: Elaboración propia

Con este diseño, se procedió a estudiar y analizar la potencia requerida por la embarcación mediante los métodos de estimación estadísticos descritos anteriormente (Holtrop y Savitsky), en el programa informático Maxsurf Resistance. Como se puede observar, en la figura 5.5 se obtuvieron los distintos rangos de velocidad frente al número de Froude y se denota que el método de predicción estadístico de Holtrop se utiliza para la predicción de la potencia requerida hasta una velocidad de 7 Kn, cuando la velocidad pasa a ser crítica (7,5 Kn) se analiza a través del método de pre-plano de Savitsky.

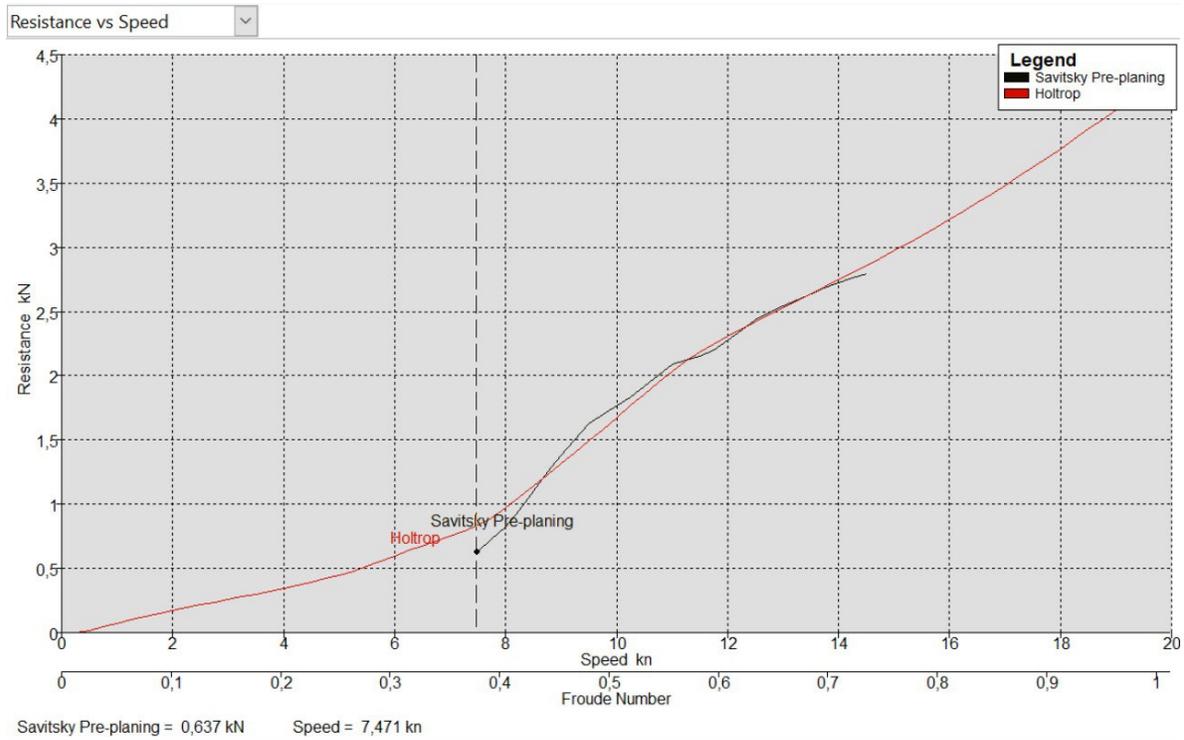


Figura 5.5: Gráfica de Resistencia vs Velocidad.
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la anterior figura, a mayor velocidad, mayor resistencia al avance; lo cual indica que se requiere de una mayor potencia a medida que la velocidad incrementa, como se muestra en la figura 5.6.

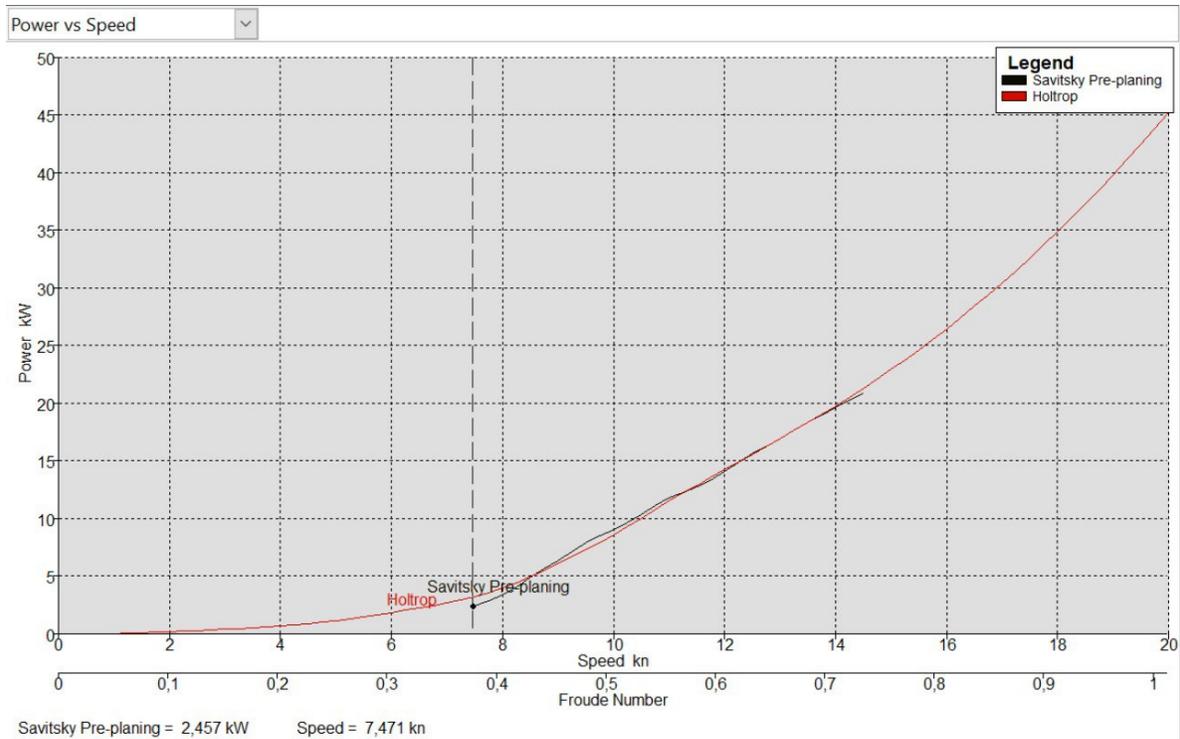


Figura 5.6: Gráfica de Potencia vs Velocidad.
Fuente: Elaboración propia

Con base en las gráficas anteriores, con una velocidad de 7,5 Kn se alcanzan rangos de pre planeo; sin embargo, en el estudio preliminar del casco y estructura de la embarcación realizados por el equipo de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional, pertenecientes también al proyecto Econavi pesca; por medio de una reconstrucción 3D de la embarcación, basada en fotografías de las actuales embarcaciones y por medio de cálculos específicos, determinaron que la velocidad crucero (velocidad constante sin perturbaciones) de la embarcación es de 8,5 Kn, lo cual indica que para esta velocidad, según los métodos seleccionados, se requiere una potencia estimada de 4,8 Kw. Sin embargo, teniendo en cuenta lo planteado en [131], a este resultado estimado se le aplican algunas pérdidas considerables, haciendo necesario sobredimensionar el resultado final como se muestra a continuación:

Potencia mínima requerida aproximada = 4,8 Kw + 1,2 Kw (25 %) = 6 Kw

Por lo tanto, se estima que la embarcación requiere 6 Kw para alcanzar una velocidad de 8,5 Kn.

En el anexo E se detallan los pasos a seguir para llevar a cabo el estudio de manera manual y así comprender el cálculo que se realiza mediante las herramientas de Maxsurf resistance.

5.2.4. Perfil de carga y consumo diario de la embarcación

Teniendo en cuenta las consideraciones técnicas antes mencionadas y sumado a las consideraciones planteadas con los actores involucrados en la selección de los equipos, se realiza la estimación del consumo de la embarcación como se muestra en la tabla 5.2. Para ello se tuvo en cuenta las características técnicas de equipos usualmente utilizados en embarcaciones pequeñas y disponibles actualmente en el mercado, con el fin de conocer su potencia unitaria.

Cuadro de cargas y consumo diario de la embarcación					
Equipo	Cantidad de equipos	Tensión (v)	Horas de uso diario	Potencia máxima (w)	Energía total diaria (w-h/día)
Sistema de comunicaciones	1	12	2	60	120
Sistema de iluminación	Faro de emergencia	1	2	50	100
	Iluminación LED	1	12	20	240
Nevera eléctrica	1	12	12	48	576
Motor eléctrico	1	48	6	6000	36000
Total				6418	37516

Tabla 5.2: Cuadro de cargas y consumo diario de la embarcación
Fuente: Elaboración propia

Con base en la tabla 5.2 se tiene que el consumo total diario de la embarcación es de 37.516 wh/día; sin embargo, para el dimensionamiento del sistema, considerando la disponibilidad de área para instalación de equipos y teniendo en cuenta que se trata de un sistema híbrido de generación, se asignaron los siguientes porcentajes para cada fuente de generación: 40% de la energía total requerida por la embarcación con el sistema solar fotovoltaico y 60% con el generador diesel.

5.3. Dimensionamiento del sistema híbrido de generación de la embarcación

Un sistema de generación híbrido se caracteriza por la manera en que mantiene su frecuencia bajo fluctuaciones en la potencia de generación y demandas de carga, y además garantiza la cobertura de la demanda [6, 7]. Generalmente los sistemas híbridos de generación se construyen de tal manera que se puedan aprovechar las ventajas de las fuentes individuales [8], este hecho crea la necesidad de utilizar un buen sistema de almacenamiento de energía eléctrica con el fin de aportar significativamente en cuanto a la estabilidad y confiabilidad del sistema [9]. En un sistema híbrido es fundamental gestionar el flujo de energía entre los diferentes componentes, se necesita una estrategia para controlar los intercambios de energía del sistema y también para regular el proceso de carga y descarga de la unidad de almacenamiento [10].

Con el fin de obtener el dimensionamiento del sistema híbrido de generación para la embarcación, se realizaron los cálculos pertinentes y se hizo uso del software de optimización de sistemas híbridos de generación eléctrica basada en energías renovables,

denominado “HOMER” (Hybrid Optimization Model For Electric Renewable). A continuación se detallan las memorias de cálculo para cada uno de los sistemas que componen la solución.

5.3.1. Sistema solar fotovoltaico

Para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, en la literatura se han mencionado varias metodologías, entre las que se encuentran el diseño intuitivo, analítico y el diseño basado en métodos numéricos [132]. La metodología utilizada a continuación es el diseño por método numérico, puesto que es el más efectivo y recomendado ya que parte de un diseño intuitivo, el cual por medio de cálculos determina la configuración óptima del sistema.

Como primera medida, a partir de la información de georreferenciación del municipio de Guapi, se importaron por medio de HOMER los datos de disponibilidad de radiación solar que se reportan para este municipio; esta información es tomada de la base de datos de predicción de recursos energéticos mundiales de la NASA. En la figura 5.7 se resumen los valores de los promedios mensuales de radiación solar del municipio y se observa que el promedio anual de radiación solar en sitio es de 4,31 KWh/m²/d.

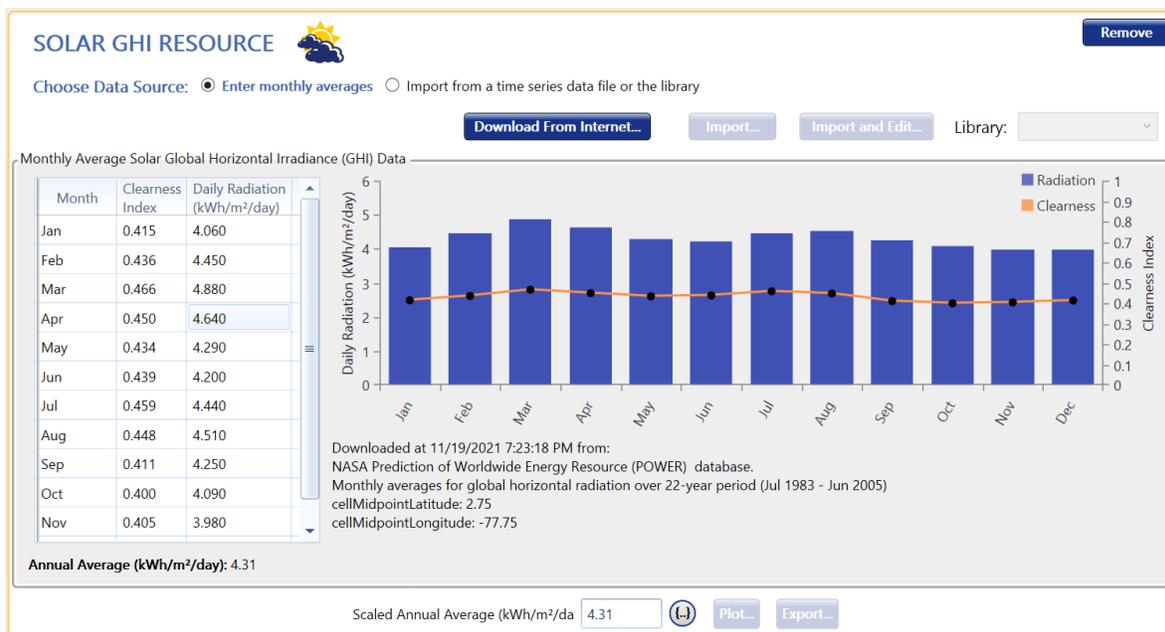


Figura 5.7: Promedio anual de radiación solar del municipio de Guapi.

Fuente: Elaboración propia

La energía total que debe ser suministrada por el sistema solar fotovoltaico se calcula como:

$$E_p = \frac{Et}{R} \quad (5.2)$$

Donde:

- Et: energía diaria total requerida por la carga a alimentar [W-h].
- Ep: energía diaria total a ser suministrada por el sistema fotovoltaico [W-h].
- R: parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica definida como,

$$R = (1 - Kb - Kc - Kv) * (1 - \frac{Ka * N}{Pd}) \quad (5.3)$$

- Kb: coeficiente de pérdidas por rendimiento de las baterías; 0,05 para sistemas que no demanden descargas intensas, y 0,1 para sistemas con descargas profundas.
- Kc: coeficiente de pérdidas en el convertidor; 0,05 para convertidores senoidales puros en régimen óptimo, y 0,1 en otras condiciones de trabajo lejanas al óptimo.
- Kv: coeficiente de pérdidas varias; valor entre 0,05 y 0,15 como valores de referencia, depende de longitud de las redes, efecto Joule, tipos de conectores, etc.
- Ka: coeficiente de autodescarga diario; 0,002 para baterías de baja autodescarga Ni-Cd, 0,005 para baterías estacionarias de PB-ácido, y 0,012 para baterías de alta autodescarga.
- N: número de días de autonomía de la instalación fotovoltaica.
- Pd: profundidad de descarga diaria de la batería.

$$R = (1 - 0,05 - 0,05 - 0,05) * (1 - \frac{0,005 * 2}{0,9}) \quad (5.4)$$

$$R = 0,8405555556 \quad (5.5)$$

$$Ep = \frac{15006,4 \text{ Wh}}{0,8405555556 \text{ dia}} \quad (5.6)$$

$$Ep = 17852,9544 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \quad (5.7)$$

A partir del resultado de energía total se calcula el número de baterías como:

$$Nb = \frac{Cb}{Ci} \quad (5.8)$$

Donde:

- Cb: capacidad de las baterías [A-h].

- Ci= Capacidad individual de las baterías [A-h].

$$Cb = \frac{Ep * N}{V * Pd} \quad (5.9)$$

- Ep: energía diaria total requerida por la carga a alimentar [W-h].
- V: voltaje de la instalación del sistema de baterías [V].
- N: número de días de autonomía de la instalación fotovoltaica.
- Pd: profundidad de descarga diaria de la batería.

$$Cb = \frac{17852,9544 * 2}{24 * 0,9} \quad (5.10)$$

$$Cb = 1648,645076 \quad (5.11)$$

$$Nb = \frac{1653,051333}{255} \quad (5.12)$$

$$Nb = 6 \quad (5.13)$$

El número de paneles a instalar se calcula como:

$$Np = \frac{Et}{0,9 * Wp * HPS} \quad (5.14)$$

Donde:

- Np: número de paneles fotovoltaicos.
- Et: energía diaria total requerida por la carga a alimentar [W-h].
- Wp: potencia pico del panel fotovoltaico [W].
- HPS: horas de pico solar [h], calculada como,

$$HPS = \frac{H}{I} \quad (5.15)$$

Donde:

- H: radiación solar [Kw-h/m2].

- I: radiación de referencia por horas de pico solar equivalente a 1 Kw/m².

$$HSP = (4,31 \frac{Kwh}{m^2} / dia) / (1 \frac{Kwh}{m^2}) \simeq 4,31h/dia \quad (5.16)$$

$$Np = \frac{17852,9544}{0,9 * 550 * 4,31} \quad (5.17)$$

$$Np = 8 \quad (5.18)$$

Se realiza la verificación de la capacidad energética de la instalación mediante la relación,

$$Fi = \frac{Energainstaladadelsistema}{Energatotalrequerida} = \frac{Np * 0,9 * Wp * HPS}{Et} \quad (5.19)$$

Donde:

- Np: número de paneles fotovoltaicos.
- Et: energía diaria total requerida por la carga a alimentar [W-h].
- Wp: potencia pico del panel fotovoltaico [W].
- HPS: horas de pico solar [h].

$$Fi = \frac{8 * 0,9 * 550 * 4,31}{15006,4} = 1,1373 \quad (5.20)$$

Finalmente, se tiene que para una generación esperada de 15006,4 Wh/día, se debe hacer uso de 8 paneles de 550 Wp 24v y 6 baterías de 24 V y 255 A-h. Teniendo en cuenta que se requiere de un inversor - cargador, con el fin de gestionar el flujo de energía entre los diferentes componentes del sistema.

5.3.2. Sistema de almacenamiento de energía

Los sistemas de almacenamiento de energía al ser de tan amplio espectro, requieren el desarrollo de una investigación detallada y siendo que este tema no es el sujeto objeto de estudio de esta investigación, se plantean a continuación algunos de los aspectos más relevantes encontrados en la literatura.

Estudios disponibles para sistemas de almacenamiento de energía, muestran que es posible realizar una integración entre unidades de almacenamiento como sistemas híbridos de acumulación, teniendo como principal objetivo de esta integración la minimización de la amplitud y fluctuación de las corrientes de carga y descarga de la unidad de baterías, con el fin de mitigar los efectos adversos sobre el envejecimiento de las baterías [11, 133].

Dentro de este marco, una de las tendencias es utilizar un dispositivo de almacenamiento de energía con un gran número de ciclos de carga y descarga como lo son los volantes de inercia o los supercondensadores. Este es un método para mejorar tanto la confiabilidad como la estabilidad del suministro de energía; sin embargo, los volantes en comparación con las baterías suelen tener costos iniciales más elevados y son relativamente más difíciles de operar, además sus dispositivos accionados eléctricamente requieren de grandes espacios para su instalación, lo que finalmente resultaría en una limitante para ser instalado en una embarcación utilizada para pesca artesanal, puesto que esta cuenta con poco espacio para instalación de equipos; en consecuencia los volantes de baja inercia son mayormente utilizados en buques militares con propulsión eléctrica [11].

Por otra parte, las baterías y supercondensadores se pueden considerar en muchas aplicaciones como sistemas complementarios donde la batería aporta la energía mientras el supercondensador aporta la potencia. Comúnmente en paralelo con el sistema de baterías se implementa una serie de supercondensadores que se encargan de almacenar o suministrar la energía debida a las transiciones rápidas de potencia en la generación o consumo respectivamente, mientras las baterías se encargan de almacenar o suministrar la energía en régimen permanente; no obstante, la principal desventaja de los supercondensadores es la limitada capacidad de almacenar energía y a su vez su elevado precio[134].

Finalmente, teniendo en cuenta el escaso desarrollo de las tecnologías de almacenamiento de energía descritas anteriormente, su elevado costo inicial y sumado a la madurez de sistemas de almacenamiento basados en baterías; para el dimensionamiento del sistema híbrido de generación de la embarcación, se consideraron baterías de 24v y 255 A-h, como se mencionó en el apartado anterior (sistema solar fotovoltaico).

5.3.3. Sistema de generación diésel

Teniendo en cuenta que el generador diésel debe satisfacer la demanda de la carga solo cuando los requisitos de energía superan la fuente renovable y la capacidad disponible de la batería, por medio de HOMER se determinó la capacidad del generador requerido por el sistema, como se detalla a continuación.

Considerando los cálculos realizados en el apartado anterior, se eligió en HOMER una potencia similar a la calculada para el sistema fotovoltaico, tal y como se observa en la figura 5.8.

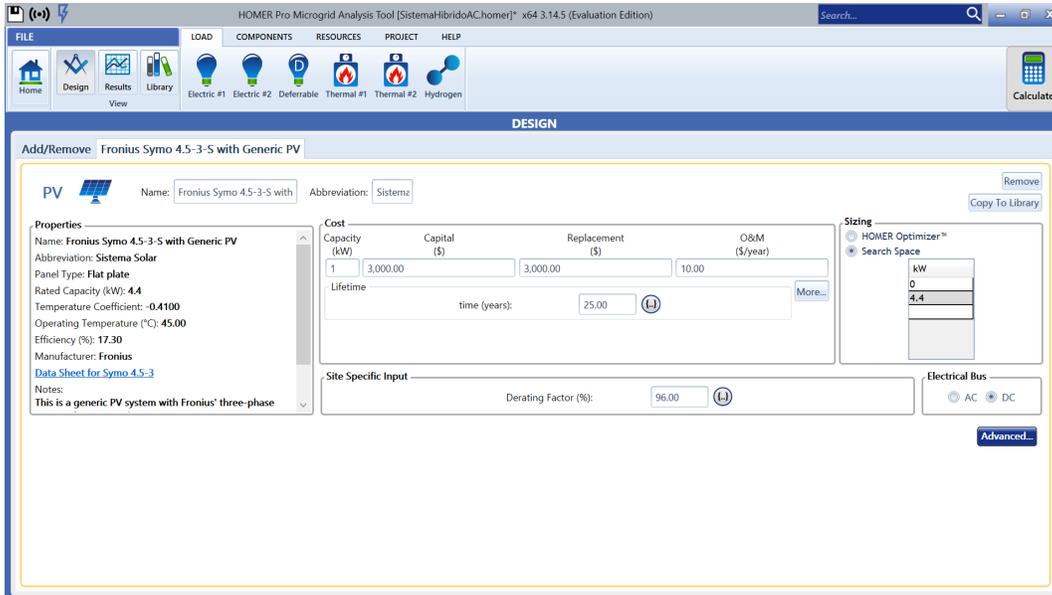


Figura 5.8: Sistema solar fotovoltaico.
Fuente: Elaboración propia

De igual forma, considerando la tabla 5.2, se ingresó en el software el perfil de carga aproximado de la embarcación, haciendo referencia a un posible escenario de un día de pesca, como se presenta en la figura 5.9.

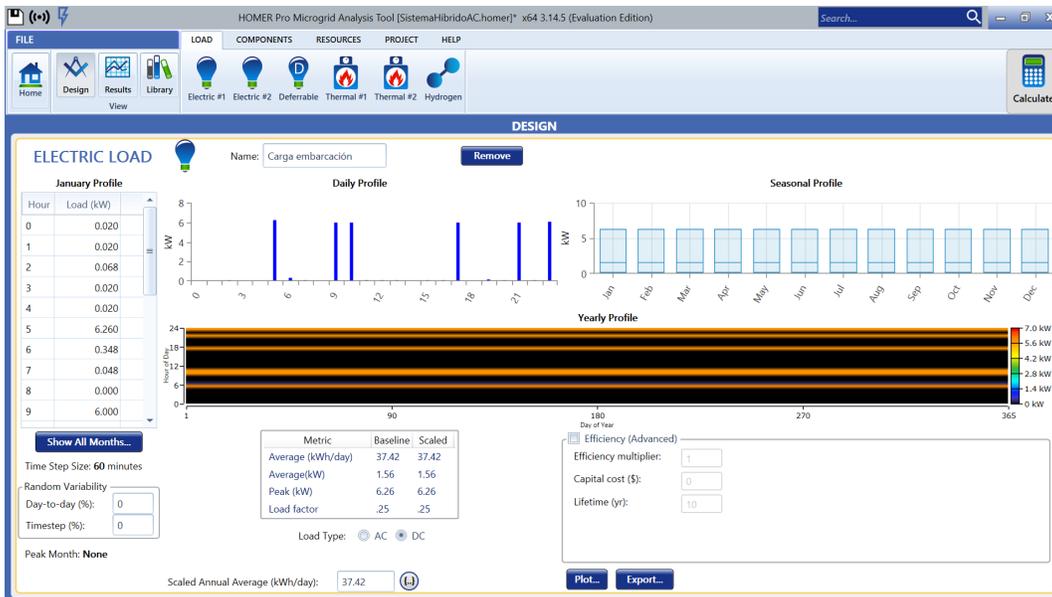


Figura 5.9: Perfil de carga de un posible escenario de un día de pesca.
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, con los parámetros antes mencionados, se procede a seleccionar un generador de tamaño automático (ver figura 5.10), con el fin de que el software determine

la capacidad que debe tener el generador para satisfacer la demanda. Así las cosas, en la figura 5.11 se observa que la capacidad aproximada que debe tener el generador es de 7.3 Kw.

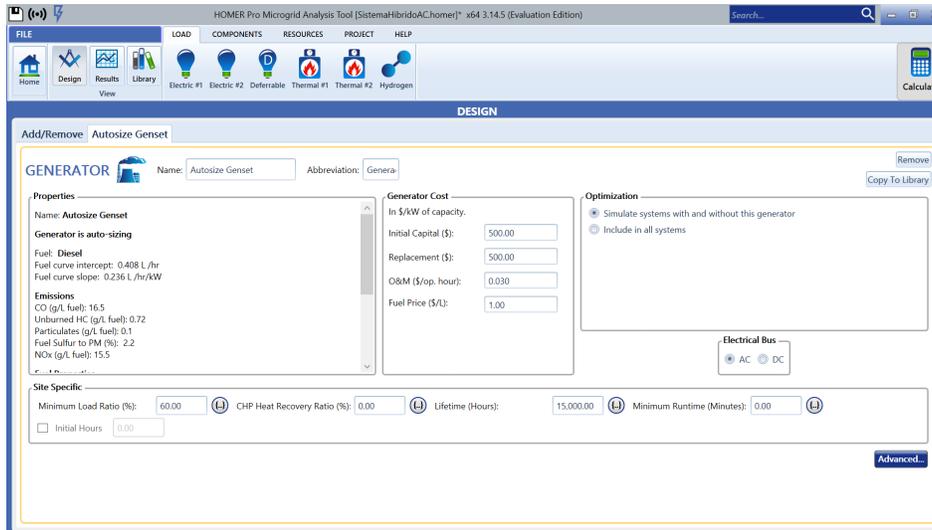


Figura 5.10: Auto configuración de la capacidad del generador diésel
Fuente: Elaboración propia

				Architecture		
				Sistema Solar (kW)	Sistema Solar-MPPT (kW)	Generador Diesel (kW)
				4.40	4.40	7.30
						7.30
				4.40	4.40	7.30
						7.30

Figura 5.11: Capacidad del generador diésel.
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 5.12, la simulación de los resultados conlleva a determinar que en efecto con una capacidad de 4.4 Kw del sistema solar fotovoltaico y 7.3 Kw del generador diésel, se cumple con los porcentajes establecidos anteriormente para satisfacer la demanda de la embarcación.

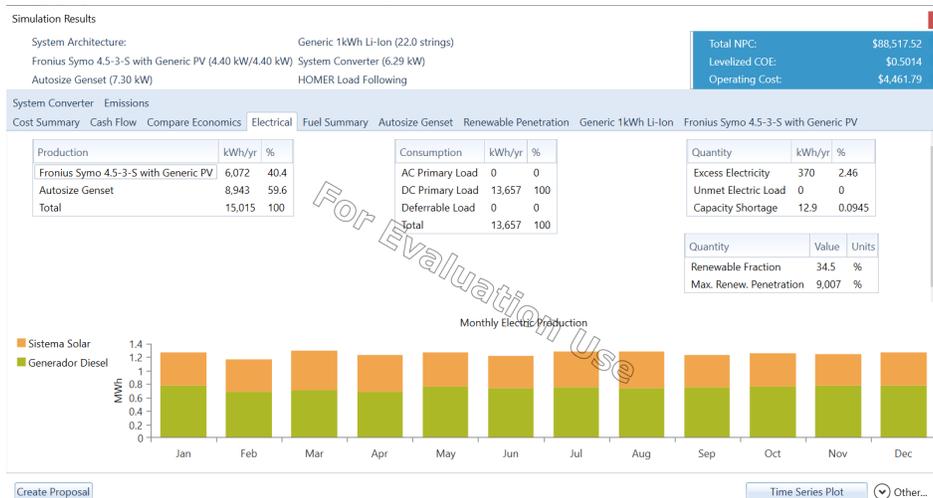


Figura 5.12: Resultados simulación.
 Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la figura 5.13, se muestra el diseño híbrido del sistema de generación configurado en el software HOMER, compuesto por el sistema solar fotovoltaico y el sistema de almacenamiento conectados a un bus DC que a su vez, se conectan al barraje AC a través de un inversor cargador, este barraje AC está también alimentado con un generador diésel.

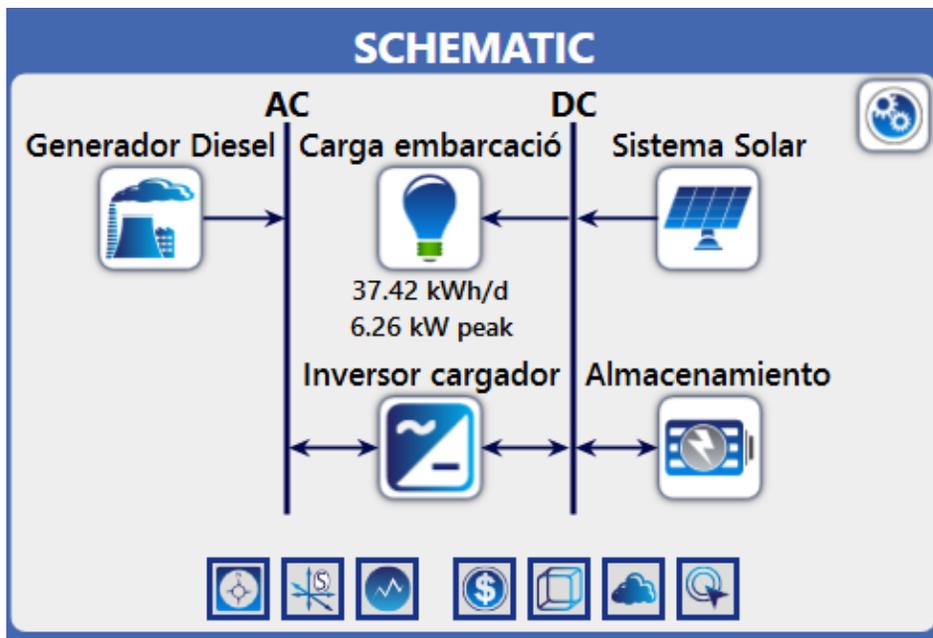


Figura 5.13: Esquema del sistema híbrido de generación.
 Fuente: Elaboración propia

6. Análisis de resultados

En el presente capítulo se mencionan las principales contribuciones del trabajo de grado y se realiza un análisis de los resultados obtenidos.

6.1. Contribuciones del trabajo de grado

El desarrollo de este trabajo de grado ha generado un documento que contiene un diagnóstico de la situación actual de las FNCER en Colombia y de cómo el país avanza hacia la descarbonización de la economía; junto con la implementación de uno de los denominados métodos de análisis de decisiones de criterios múltiples, donde se toman a consideración diversos criterios basados en el desarrollo energético sostenible, con el fin de seleccionar que tipo alternativa es la más indicada para hacer parte de un sistema de generación híbrido basado en FNCER para pesca artesanal en el municipio de Guapi, Cauca. El resultado de este análisis permitió realizar el dimensionamiento del sistema de generación, donde se tuvo en cuenta la participación de la comunidad para determinar el tipo de sistema híbrido para la propulsión de la embarcación.

De igual manera, el proyecto de grado permitió realizar una cartilla con el fin de brindarle a la comunidad una herramienta de información sobre el uso racional de la energía en zonas aisladas (Ver anexo F).

6.2. Conclusiones

A continuación se mencionan las principales conclusiones de este trabajo de grado:

- Se analizó la caracterización de la matriz energética colombiana, donde se evidenció que el relativo subdesarrollo de las fuentes no convencionales de energías renovables limita la participación de dichas fuentes; esto debido a diversos factores como lo son los elevados costos de inversión, la fuerte participación de la hidroenergía en la matriz eléctrica y las diversas dificultades socioculturales y políticas del país.
- Se identificó la importancia de la eficiencia energética desde el punto de vista económico, debido a la relación que existe entre el consumo de energía y el indicador de la capacidad de producción de la economía del país y se precisó que el sector energético ha habilitado y aportado al desarrollo económico del país, una participación que ha oscilado entre el 8 % y el 14 % entre 2005 y 2019 en el PIB nacional.
- Se revisó el consumo energético del país y se identificó que el sector transporte al ser el principal sector consumidor de energía en Colombia, representa el mayor potencial de mejora de eficiencia energética, esto si se adoptan las mejores tecnologías disponibles, buscando reemplazar los medios de transporte que utilizan combustibles fósiles para su propulsión.
- Existen diferentes definiciones que se pueden encontrar sobre el concepto de transición energética y en lo que todas coinciden básicamente es que se debe

trazar un camino hacia la transformación del sector de la energía buscando disminuir el uso de combustibles fósiles en esta área hasta llegar a un nivel de cero emisiones para la producción de energía; y se trazan como meta para esto la segunda mitad de este siglo.

- En Colombia las perspectivas son que a 2030, 25 % de la matriz energética este compuesta de fuentes renovables no convencionales y reducir 22.5 % de emisiones de CO₂. Para lograr esto todos los sectores económicos se deben involucrar y buscar la viabilidad de las alternativas propuestas.
- A pesar de que la constitución política de Colombia en su artículo 365 consagra como deber del estado asegurar la prestación eficiente de los servicios públicos a todos los habitantes del territorio nacional, en Colombia aproximadamente el 52 % del territorio corresponde a Zonas No Interconectadas, lo que afecta negativamente la calidad de vida de los habitantes, puesto que la pobreza energética perjudica los ingresos, el nivel educativo y la salud, por lo que se asume que el Índice de Desarrollo Humano está relacionado con el consumo de energía.
- Se realizó la caracterización de las posibles fuentes de energía alternativa disponibles en Colombia, específicamente en la zona objeto de estudio, evidenciando que la posición geográfica del país permite contar con un gran potencial de recursos naturales que se encuentran disponibles permanentemente y que están relacionados con ciclos naturales como el sol, el viento y los cuerpos hídricos; sin embargo, se identificó que estos recursos son aprovechables sólo cuando los entes gubernamentales proporcionan los diferentes instrumentos que permitan el desarrollo de las diferentes tecnologías.
- Se revisaron los métodos de toma de decisiones de criterios múltiples más utilizados en el sector energético, donde se evidenció la elección de la metodología AHP para una eficiente planificación energética basada en fuentes de energía renovable, dado que involucra todos los aspectos de toma de decisiones y permite considerar criterios tanto cualitativos como cuantitativos, incorporando la participación de diferentes actores.
- La validación de las dimensiones del marco de sostenibilidad tridimensional de la ONU y los indicadores sugeridos por parte de los actores involucrados en el desarrollo del proyecto, permitieron definir los criterios y subcriterios que se tomaron a consideración para evaluar las diferentes alternativas de generación y así elegir por medio del proceso analítico jerárquico la tecnología que mayor impacto presenta frente al objetivo propuesto (energía solar); garantizando de esta manera un desarrollo energético sostenible.
- Teniendo en cuenta que la energía producida por las FNCER no es constante en todo momento y sumado a la participación de las comunidades en el desarrollo del proyecto, se logró identificar el mantener el uso de combustibles fósiles para la propulsión de la embarcación con el propósito de que este satisfaga la demanda de la carga solo cuando los requisitos de energía superan la fuente renovable y la capacidad disponible de la batería.

- Se evidenció que para un correcto dimensionamiento del sistema de generación, es importante tener en cuenta variables de diseño naval, como lo es la determinación de la potencia necesaria para la propulsión de la embarcación a través de la resistencia al avance en función de la velocidad; para esto se hizo uso del programa informático Maxsurf, programa de diseño utilizado en la ingeniería naval, que facilita el diseño de una embarcación al realizar estudios de dimensionamiento, estabilidad y resistencias con el fin de obtener un perfil de operación más cercano a valores reales.
- La simulación de los resultados en el software de optimización de sistemas híbridos de generación eléctrica basada en energías renovables, HOMER, conlleva a determinar que en efecto con una capacidad de 4.4 Kw del sistema solar fotovoltaico y 7.3 Kw del generador diesel, se cumple con los porcentajes de generación establecidos para satisfacer la demanda de la embarcación, 40 % y 60 % respectivamente.

6.3. Recomendaciones

- Se recomienda actualizar y ampliar el levantamiento de información primaria y secundaria, socioeconómica y energética de las zonas rurales y no interconectadas del país, con el fin de garantizar una correcta formulación, evaluación y desarrollo de proyectos basados en fuentes no convencionales de energía renovable.
- Se recomienda que es conveniente asociar el tema de transición energética en Colombia con la reducción de la pobreza energética y de cómo la utilización de nuevas tecnologías eliminan la dependencia de combustibles fósiles en zonas aisladas donde el costo es mayor y el impacto de no tener un servicio de calidad y continuo de energía disminuye el progreso de las regiones.

6.4. Publicaciones y reconocimientos derivados del trabajo de grado

- Artículo de conferencia en el marco del X simposio internacional SICEL 2021 organizado por la Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad Nacional de Colombia.
- Premio a mejor artículo en la categoría estudiantes de pregrado (Premio Horacio Torres Sanchez por contribución a los objetivos de desarrollo sostenible y desarrollo de energías asequibles y no contaminantes), X simposio internacional SICEL 2021
- Publicación de artículo titulado “*Energy Transition for rural development: A preliminary case study in Colombia for improving artisanal fishing*”; en la revista indexada *Scienza et Technica*.
- Participación en “*Programa Regional Siemens Smart Infrastructure 2021*”, organizado por Siemens Argentina, con el trabajo denominado “*Sistema de generación*”

híbrido basado en fuentes no convencionales de energía como soporte a la pesca artesanal en el Pacífico Colombiano”.

6.5. Trabajos futuros

- En un sistema híbrido es fundamental gestionar el flujo de energía entre los diferentes componentes, por lo tanto como trabajo futuro se plantea establecer una estrategia para controlar los intercambios de energía del sistema y también para regular el proceso de carga y descarga de la unidad de almacenamiento.
- La seguridad y sostenibilidad ambiental del sistema de almacenamiento de energía es un tema no menos importante que su eficiencia, por consiguiente como trabajo futuro se plantea realizar un análisis detallado que permita determinar cuál es la unidad de almacenamiento indicada para tener un sistema confiable y que opere dentro de los valores establecidos por el sistema híbrido de generación de la embarcación.
- Como trabajo futuro se plantea estudiar la viabilidad de implementar una estación de carga basada en FNCER que proporcione la energía necesaria para cargar el sistema de almacenamiento cuando la embarcación se encuentre atracada a tierra; con la novedad de que el excedente de energía proporcionado por el sistema de generación sea utilizado para satisfacer la demanda de otras cargas, generando de esta manera un modelo sustentable asociado a la cadena de valor de la pesca artesanal en Guapi.

6.6. Aportes a la Ingeniería en Automática Industrial

Con el desarrollo de este trabajo de grado se ha verificado que el área de los sistemas de potencia ha generado una tendencia hacia los sistemas de generación basados en FNCER, dado entre otros aspectos por el rápido crecimiento e interés de la comunidad científica sobre el tema. Por esta razón, han surgido diversas líneas de investigación enfocadas a contribuir y mejorar la manera en que un sistema de generación híbrido basado en FNCER satisface la demanda de carga y mantiene la producción de energía constante en todo momento, independientemente de las condiciones climáticas; con el fin de obtener un sistema confiable y eficiente en cuanto a la continuidad de operación.

Por otra parte, los métodos de análisis de decisión de criterios múltiples han tenido una gran acogida e importancia a la hora de tomar una decisión en proyectos relacionados con áreas de la automatización; puesto que en la actualidad, la industria 4.0 busca la digitalización de la industria con la aplicación de buenas prácticas de automatización. Dicho de otro modo, la cuarta revolución industrial abre las puertas a nuevas oportunidades como lo son los MCDM, donde se da la interacción entre diferentes actores con el fin de implementar alternativas eficientes para una óptima gestión de los recursos, con el propósito de contar con una mayor calidad de los productos, bienes y/o servicios.

Referencias

- [1] Y. Yuan, J. Wang, X. Yan, Q. Li, and T. Long, “A design and experimental investigation of a large-scale solar energy/diesel generator powered hybrid ship,” *Energy*, vol. 165, pp. 965–978, 2018.
- [2] P. Baredar, V. K. Sethi, and M. Pandey, “Correlation analysis of small wind-solar-biomass hybrid energy system installed at RGTU Bhopal, MP (India),” *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 12, no. 3, pp. 265–271, 2010.
- [3] R. Tang, Z. Wu, and X. Li, “Optimal operation of photovoltaic/battery/diesel/cold-ironing hybrid energy system for maritime application,” *Energy*, vol. 162, no. 2018, pp. 697–714, 2018.
- [4] B. N. Prashanth, R. Pramod, and G. B. Kumar, “Design and Development of Hybrid Wind and Solar Energy System for Power Generation,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 5, pp. 11 415–11 422, 2018.
- [5] V. Alfonsín, A. Suarez, A. Cancela, A. Sanchez, and R. Maceiras, “Modelization of hybrid systems with hydrogen and renewable energy oriented to electric propulsion in sailboats,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 22, pp. 11 763–11 773, 2014.
- [6] D. C. Das, A. K. Roy, and N. Sinha, “GA based frequency controller for solar thermal-diesel-wind hybrid energy generation/energy storage system,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 43, no. 1, pp. 262–279, 2012.
- [7] M. Regad, M. Helaimi, R. Taleb, A. M. Othman, and H. A. Gabbar, “Control of hybrid power system based renewable energy generations using pid controller,” *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, vol. 11, no. 4, pp. 1775–1784, 2020.
- [8] J. Paska, P. Biczal, and M. Klos, “Hybrid power systems An effective way of utilising primary energy sources,” *Renewable Energy*, vol. 34, no. 11, pp. 2414–2421, 2009.
- [9] B. Ceran, “The concept of use of PV/WT/FC hybrid power generation system for smoothing the energy profile of the consumer,” *Energy*, vol. 167, pp. 853–865, 2019.
- [10] I. Hemdana, H. Dallagi, H. Bouaicha, C. Zaoui, and S. Nejim, “Hybrid electrical power supply for an electric propelled boat,” in *2018 International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies, ICASET2018*. IEEE, 2018, pp.319 – 326.

- [11] H. Liu, Q. Zhang, X. Qi, Y. Han, and F. Lu, "Estimation of PV output power in moving and rocking hybrid energy marine ships," *Applied Energy*, vol. 204, no. X, pp. 362–372, 2017.
- [12] A. Basu, B. Kumar, S. Rana, A. Basu, S. Bhattacharyya, and T. K. Rana, "Solar and ocean thermal energy operated hi-tech ship having passenger safety and desalination facilities," in *2017 8th Industrial Automation and Electromechanical Engineering Conference, IEMECON 2017*, 2017, pp. 52–55.
- [13] S. Wen, H. Lan, Y. Y. Hong, D. C. Yu, L. Zhang, and P. Cheng, "Allocation of ESS by interval optimization method considering impact of ship swinging on hybrid PV/diesel ship power system," *Applied Energy*, vol. 175, pp. 158–167, 2016.
- [14] H. Lan, S. Wen, Y. Y. Hong, D. C. Yu, and L. Zhang, "Optimal sizing of hybrid PV/diesel/battery in ship power system," *Applied Energy*, vol. 158, pp. 26–34, 2015.
- [15] C. Ozkan and T. Mayo, "The renewable wave energy resource in coastal regions of the Florida peninsula," *Renewable Energy*, vol. 139, pp. 530–537, 2019.
- [16] S.-Y. Pan, M. Gao, K. Shah, J. Zheng, S.-L. Peid, and P. Chiang, "Establishment of enhanced geothermal energy utilization plans barriers and strategies," *Renewable Energy*, vol. 132, pp. 19–32, 2019.
- [17] Danish and Z. Wang, "Does biomass energy consumption help to control environmental pollution? Evidence from BRICS countries," *Science of the Total Environment*, vol. 670, pp. 1075–1083, 2019.
- [18] M. Shoaib, I. Siddiqui, S. Rehman, S. Khan, and L. M. Alhems, "Assessment of wind energy potential using wind energy conversion system," *Journal of Cleaner Production*, vol. 216, pp. 346–360, 2019.
- [19] S. D. Tilley, "Recent Advances and Emerging Trends in Photo-Electrochemical Solar Energy Conversion," *Advanced Energy Materials*, vol. 9, no. 2, pp. 1–13, 2019.
- [20] R. Mena, R. Escobar, Lorca, M. Negrete-Pincetic, and D. Olivares, "The impact of concentrated solar power in electric power systems: A Chilean case study," *Applied Energy*, vol. 235, no. October 2018, pp. 258–283, 2019.
- [21] A. Kylili, P. A. Fokaides, A. Ioannides, and S. Kalogirou, "Environmental assessment of solar thermal systems for the industrial sector," *Journal of Cleaner Production*, vol. 176, pp. 99–109, 2018.
- [22] A. A. Husain, W. Z. W. Hasan, S. Shafie, M. N. Hamidon, and S. S. Pandey, "A review of transparent solar photovoltaic technologies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 94, no. June, pp. 779–791, 2018.
- [23] Q. Zhao, H. Zhang, Z. Hu, and S. Hou, "A solar driven hybrid photovoltaic module/direct contact membrane distillation system for electricity generation and

- water desalination,” *Energy Conversion and Management*, vol. 221, no. March, p. 113146, 2020.
- [24] J. Lee, S. Lee, H. Cho, K. S. Ham, and J. Hong, “Supervisory control and data acquisition for Standalone Hybrid Power Generation Systems,” *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 20, pp. 141–154, 2018.
- [25] X. Yuan, Q. Tan, X. Lei, Y. Yuan, and X. Wu, “Wind power prediction using hybrid autoregressive fractionally integrated moving average and least square support vector machine,” *Energy*, vol. 129, pp. 122–137, 2017.
- [26] C. Yildiz, H. Acikgoz, D. Korkmaz, and U. Budak, “An improved residual-based convolutional neural network for very short-term wind power forecasting,” *Energy Conversion and Management*, vol. 228, no. November 2020, p. 113731, 2021.
- [27] Y. Liu, L. Guan, C. Hou, H. Han, Z. Liu, Y. Sun, and M. Zheng, “Wind power short-term prediction based on LSTM and discrete wavelet transform,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 6, 2019.
- [28] J. S. Park, T. Katagi, S. Yamamoto, and T. Hashimoto, “Operation control of photovoltaic/diesel hybrid generating system considering fluctuation of solar radiation,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 67, no. 1-4, pp. 535–542, 2001.
- [29] G. Bruni, S. Cordiner, M. Galeotti, V. Mulone, M. Nobile, and V. Rocco, “Control strategy influence on the efficiency of a hybrid photovoltaic-battery-fuel cell system distributed generation system for domestic applications,” *Energy Procedia*, vol. 45, pp. 237–246, 2014.
- [30] W. Obaid, A. K. Hamid, and C. Ghenai, “Hybrid PEM fuel-cell-diesel-solar power system design with fuzzy battery management system and weather forecasting for electric boats,” in *Proceedings of 2018 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference, IRSEC 2018*. IEEE, 2018, pp. 2–8.
- [31] G. Bekelea and G. Boneya, “Design of a photovoltaic-wind hybrid power generation system for Ethiopian remote area,” *Energy Procedia*, vol. 14, no. 0, pp. 1760–1765, 2012.
- [32] E. Ovrum and T. F. Bergh, “Modelling lithium-ion battery hybrid ship crane operation,” *Applied Energy*, vol. 152, pp. 162–172, 2015.
- [33] F. Diab, H. Lan, and S. Ali, “Novel comparison study between the hybrid renewable energy systems on land and on ship,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 63, pp. 452–463, 2016.
- [34] S. Yamamoto, J. S. Park, M. Takata, K. Sasaki, and T. Hashimoto, “Basic study on the prediction of solar irradiation and its application to photovoltaic-diesel hybrid generation system,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 75, no. 3-4, pp. 577–584, 2003.

- [35] A. Kaabeche, M. Belhamel, and R. Ibtouen, “Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/wind power generation system,” *Energy*, vol. 36, no. 2, pp. 1214–1222, 2011.
- [36] Z. Ding, H. Hou, G. Yu, E. Hu, L. Duan, and J. Zhao, “Performance analysis of a wind-solar hybrid power generation system,” *Energy Conversion and Management*, vol. 181, no. September 2018, pp. 223–234, 2019.
- [37] G. Lei, H. Song, and D. Rodriguez, “Power generation cost minimization of the grid-connected hybrid renewable energy system through optimal sizing using the modified seagull optimization technique,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 3365–3376, 2020.
- [38] B. Shi, W. Wu, and L. Yan, “Size optimization of stand-alone PV/wind/diesel hybrid power generation systems,” *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 73, pp. 93–101, 2017.
- [39] M. S. Saleem, N. Abas, A. R. Kalair, S. Rauf, A. Haider, M. S. Tahir, and M. Sa-gir, “Design and optimization of hybrid solar-hydrogen generation system using TRNSYS,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 32, pp. 15 814–15 830, 2020.
- [40] A. Al-Sharafi, B. S. Yilbas, A. Z. Sahin, and T. Ayar, “Performance assessment of hybrid power generation systems: Economic and environmental impacts,” *Energy Conversion and Management*, vol. 132, pp. 418–431, 2017.
- [41] T. Tsoutsos, M. Drandaki, N. Frantzeskaki, E. Iosifidis, and I. Kiosses, “Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete,” *Energy Policy*, vol. 37, no. 5, pp. 1587–1600, 2009.
- [42] R. Saldaña and J. P. Bonrostro, “Los métodos de decisión multicriterio discretos.un punto de vista racional aplicado a la toma de decisiones,” *The Anáhuac Journal*, vol. 16, pp. 47–78, 2016.
- [43] E. Strantzali and K. Aravossis, “Decision making in renewable energy investments: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, pp. 885–898, 2016.
- [44] T. Ali, A. J. Nahian, and H. Ma, “A hybrid multi-criteria decision-making approach to solve renewable energy technology selection problem for Rohingya refugees in Bangladesh,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 273, p. 122967, 2020.
- [45] T. Jamal, T. Urmee, and G. M. Shafiullah, “Planning of off-grid power supply systems in remote areas using multi-criteria decision analysis,” *Energy*, vol. 201, 2020.
- [46] W. Ñustes and S. Rivera, “Colombia: Territorio De Inversión En Fuentes No Convencionales De Energía Renovable Para La Generación Eléctrica,” *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, vol. 17, no. 1, pp. 37–48, 2017.

- [47] XM, “Reporte integral de sostenibilidad, operación y mercado 2020,” *Informe Anual XM*, p. 381, 2020. [Online]. Available: <https://informeanual.xm.com.co/2020/informe/pages/xm/24-capacidad-efectiva-neta.html>
- [48] UPME, “Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia,” p. 370, 2015. [Online]. Available: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf
- [49] MinTic, “Neutralidad tecnológica.” [Online]. Available: <https://mintic.gov.co/portal/inicio/6515:Neutralidad-Tecnologica>
- [50] UPME, “Plan Energético Nacional 2020-2050,” Tech. Rep., 2021. [Online]. Available: https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_Nacional_2020_2050.pdf
- [51] U. de Planeación Minero Energética, “Informe de registro de proyectos de generación de electricidad.” [Online]. Available: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiODRjNWY2NmEtZDI5MC00OGJhLWVmMTItYmU3NTNiMDE4MTM2IiwidCI6IjUxYyY>
- [52] UPME, “Plan Energetico Nacional 2020-2050 Documento para consulta,” p. 83, 2019. [Online]. Available: https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/UPME_Presentacion_PEN_V48.pdf
- [53] M. de minas y energía, “Energy Demand Situation in Colombia,” p. 136, 2017. [Online]. Available: <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Energia/MCV-EnergyDemandSituationVF.pdf>
- [54] UPME, “Balance Energetico Colombiano.” [Online]. Available: <https://www1.upme.gov.co/informacioncifras/paginas/balanceenergetico.aspx>
- [55] U. de Planeación Minero Energética, “Balance de Energía Util,” 2019. [Online]. Available: https://www1.upme.gov.co/Documents/Balance_energia_util.pdf
- [56] Z. Liu, “Supply and Demand of Global Energy and Electricity,” in *Global Energy Interconnection*, 2015, pp. 101–182.
- [57] Congreso de la república de Colombia, “Ley 2099 de 2021,” 2021. [Online]. Available: <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%202099%20DEL%2010%20DE%20JULIO%20DE%202021.pdf>
- [58] CREG, “25 Años De Regulación En El Sector Energético,” pp. 1689–1699, 2019. [Online]. Available: https://www.creg.gov.co/sites/default/files/creg_baja.pdf
- [59] Presidencia de la república de Colombia, “Decreto 1140 de 1999,” 1999. [Online]. Available: <https://www.lexbase.co/lexdocs/decretos/1999/d1140de1999>
- [60] Congreso de la república de Colombia, “Ley 629 de 2000,” 2000. [Online]. Available: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0629_2000.html
- [61] Congreso de la república de Colombia, “Ley 697 de 2001,” 2001. [Online]. Available: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0697_2001.html

- [62] Congreso de la república de Colombia, “Ley 788 de 2002,” 2002. [Online]. Available: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0788_2002.html
- [63] Presidencia de la república de Colombia, “Decreto 3683 de 2003,” 2003. [Online]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=11032>
- [64] UPME, “Resolución 18-0919 de 2010,” 2010. [Online]. Available: <https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/919.pdf>
- [65] Congreso de la república de Colombia, “Ley 1715 de 2014,” 2014. [Online]. Available: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html
- [66] Ministerio de Minas y Energía, “Decreto 2469 de 2014,” 2014. [Online]. Available: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/36864-Decreto-2469-02Dic2014.pdf>
- [67] Presidencia de la república de Colombia, “Decreto 2143 de 2015,” 2015. [Online]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=64682>
- [68] Ministerio de Minas y Energía, “Energías Renovables No Convencionales.” [Online]. Available: <https://www.minenergia.gov.co/energias-renovables-no-convencionales>
- [69] Congreso de la república de Colombia, “Ley 142 de 1994,” 1994. [Online]. Available: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0142_1994.html
- [70] Constitución Política de Colombia, “Artículo 365.” [Online]. Available: <https://www.constitucioncolombia.com/titulo-12/capitulo-5/articulo-365>
- [71] IPSE, “Caracterización energética zonas no interconectadas,” 2020. [Online]. Available: https://ipse.gov.co/documentos_cmn/documentos/caracterizacion_de_energia/Caracterizaci%C3%B3n%20Energetica%202020_2Sem_V5.pdf
- [72] Congreso de la república de Colombia, “Ley 855 de 2003,” 2003. [Online]. Available: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0855_2003.html
- [73] J. R. L. Revelo, “Análisis de la Interconexión al SIN y GD para los municipios pertenecientes a la ZNI de los departamentos del Cauca y Nariño,” Tesis, Universidad Nacional de Colombia, 2018.
- [74] UPME, “Metodología y resultados de la estimación del Índice de Cobertura de Energía Eléctrica,” 2019. [Online]. Available: http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/0/Piec/Anexo3_Metodologia_ICEE_2018_paraComentariosDic5.pdf
- [75] H. Louie, “Energy Poverty,” in *Off-Grid Electrical Systems in Developing Countries*, 2018, ch. 2, pp. 21–29.

- [76] O. S. Santillán, K. G. Cedano, and M. Martínez, “Analysis of energy poverty in 7 Latin American countries using multidimensional energy poverty index,” *Energies*, vol. 13, no. 7, p. 19, 2020.
- [77] ONU, “Objetivos y metas de desarrollo sostenible.” [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [78] J. J. Pérez, “Energy Poverty in Colombia : Empirical Evidence from 2011 to 2016,” Tesis, Pontificia Universidad Javeriana, 2019.
- [79] World Energy Council, “WEC Trilemma: Country profile.” [Online]. Available: <https://trilemma.worldenergy.org/#!/country-profile?country=UnitedKingdom&year=2020>
- [80] Acolgen, “Capacidad instalada en Colombia.” [Online]. Available: <https://www.acolgen.org.co/>
- [81] M. de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “IDEAM presenta los nuevos atlas de clima, radiación y viento de Colombia.” [Online]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3796-ideam-presenta-los-nuevos-atlas-de-clima-radiacion-y-viento-de-colombia>
- [82] Comision Colombiana del Oceano, “Gestión del territorio marino costero.” [Online]. Available: <http://www.cco.gov.co/cco/areas/gestion-del-territorio-marino-costero.html>
- [83] UPME, “Energías Renovables: Descripción, Tecnologías y Usos Finales,” p. 47, 2010. [Online]. Available: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Iluminacion/CarFNCE.pdf>
- [84] Consorcio Energético CORPOEMA, “Formulacion de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales en Colombia (PDFNCE) V1,” pp. 25–28, 2010. [Online]. Available: http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_1_Plan_Desarrollo.pdf
- [85] Yurani Puertas González , “Electrificación sostenible de zonas no interconectadas del pacífico colombiano, por medio de clusters prototipo de sistemas híbridos solar-eólico-hidro-diésel optimizados con homer,” Tesis, Pontificia Universidad Javeriana, 2016.
- [86] IDEAM, “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia.” [Online]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- [87] UPME, “Atlas del Viento y Energía Eólica de Colombia,” pp. 296–310, 2017. [Online]. Available: <https://bdigital.upme.gov.co/handle/001/22>
- [88] IDEAM, “Atlas de Viento de Colombia.” [Online]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

- [89] Gobierno de Colombia, “Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia ,” 2021. [Online]. Available: <https://www.minenergia.gov.co/libro-transicion-energetica>
- [90] J. R. Quintero and L. E. Quintero, “Energía mareomotriz : potencial energético y medio ambiente,” *Gestión y Ambiente*, vol. 18, no. 2, pp. 121–134, 2015.
- [91] J. M. Polo, J. Rodríguez, and A. Sarmiento, “Potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas,” *Revista de Ingeniería*, no. 28, pp. 99–105, 2009.
- [92] A. F. Osorio, S. Ortega, and S. Arango-Aramburo, “Assessment of the marine power potential in Colombia,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, pp. 966–977, 2016. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.057>
- [93] A. Devis-Morales, R. A. Montoya-Sánchez, A. F. Osorio, and L. J. Otero-Díaz, “Ocean thermal energy resources in Colombia,” *Renewable Energy*, vol. 66, no. 2014, pp. 759–769, 2014.
- [94] A. L. Caicedo Laurido, S. L. Solana, and J. Portilla Yandún, “Modelización operacional de oleaje en el pacífico colombiano,” *Boletín Científico CIOH*, no. 32, pp. 71–84, 2014.
- [95] D. G. Marítima, “Boletín Meteomarino del Pacifico Colombiano del mes de febrero de 2021.” [Online]. Available: https://issuu.com/dimarcolombia/docs/bol_meteomarino_febrero_2021
- [96] R. R. Torres Parra and C. A. Andrade Amaya, “Potencial en Colombia para el Aprovechamiento de la Energía No Convencional de los Océanos,” *Boletín Científico CIOH*, vol. 25, no. 24, pp. 11–25, 2006.
- [97] O. Alvarez-Silva and A. F. Osorio, “Salinity gradient energy potential in Colombia considering site specific constraints,” *Renewable Energy*, vol. 74, pp. 737–748, 2015.
- [98] A. T. Jones and W. Finley, “Recent developments in salinity gradient power,” in *Oceans 2003: Celebrating the Past... Teaming Toward the Future*, vol. 4, 2003, pp. 2284–2287.
- [99] Gobernación del Cauca, “Plan de Desarrollo Departamental “42 motivos para avanzar” 2020-2023,” Tech. Rep., 2020. [Online]. Available: <https://www.cauca.gov.co/NuestraGestion/PlaneacionGestionControl/PlandeDesarrolloDepartamental2020-2023.pdf>
- [100] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, “Diagnóstico De La Prestación Del Servicio De Energía Eléctrica,” Tech. Rep., 2018. [Online]. Available: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/diag_zni_2018.vfinal_04122018.pdf

- [101] CEDENAR, “Informe de Gestión 2020,” Tech. Rep., 2020. [Online]. Available: <https://www.cedenar.com.co/webcedenar/wp-content/uploads/2021/05/informe2020.pdf>
- [102] CEO, “Informe de Gestión y Sostenibilidad 2016,” Tech. Rep., 2016. [Online]. Available: <https://www.ceoesp.com.co/informes-de-gestion>
- [103] —, “Informe de Gestión 2020,” Tech. Rep., 2020. [Online]. Available: https://www.ceoesp.com.co/archivos_usuarios/file-8067-Informe_de_Gestion_2020vr3.pdf
- [104] Gobernación del Cauca, “Perfil Departamento del Cauca,” Tech. Rep. [Online]. Available: <https://www.cauca.gov.co/Dependencias/OficinaAsesoradePlaneacion/InformacioneIndicadores/PerfilDepartamentodelCauca.pdf>
- [105] El Tiempo, “Popayán, cada vez mas cerca al mar.” [Online]. Available: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-123012>
- [106] A. J. Perdomo Idárraga, H. Diaz, and J. Palacios, “Viabilidad técnica de tecnologías para aprovechamiento de la energía undimotriz en la costa del pacifico colombiano,” *AVANCES: Investigación en Ingeniería*, vol. 15, no. 1, pp. 286–301, 2018.
- [107] C. Prural, “Guapi a oscuras: ¿quién responde?” 2018. [Online]. Available: <https://colombiaplural.com/guapi-a-oscuras-quien-responde/>
- [108] Alcaldía Municipal de Guapi, “Plan de Desarrollo Municipal “Guapi somos todos” 2020-2023,” Tech. Rep., 2020. [Online]. Available: https://alcaldiaguapicauca.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldiaguapicauca/content/files/000243/12122_pdm-guapi-final-2020-2023-de-18062020.pdf
- [109] C. Yajure and Y. Arlenis, “Decisiones Multicriterio Para La Jerarquización De Tecnologías De Energías Renovables a Utilizar En La Producción De Electricidad,” *Scintia et Technica*, vol. 22, no. 3, pp. 273–281, 2017.
- [110] A. Kumar, B. Sah, A. R. Singh, Y. Deng, X. He, P. Kumar, and R. C. Bansal, “A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, no. October 2016, pp. 596–609, 2017.
- [111] UNAL-UNICAUCA, “ECONAVIPESCA,” p. 30, 2020. [Online]. Available: www.https://minas.medellin.unal.edu.co/noticias/4065-buscan-desarrollar-modelo-de-gestion-sustentable-de-pesca-artesanal-en-guapi
- [112] ONU, “World energy assessment. Energy and the challenge of sustainability,” 2000.
- [113] —, *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies*, 2001, no. October.

- [114] I. Gunnarsdottir, B. Davidsdottir, E. Worrell, and S. Sigurgeirsdottir, “Review of indicators for sustainable energy development,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 133, no. August, p. 110294, 2020.
- [115] I. Khan, “Power generation expansion plan and sustainability in a developing country: A multi-criteria decision analysis,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 220, pp. 707–720, 2019.
- [116] —, “Sustainability challenges for the south Asia growth quadrangle: A regional electricity generation sustainability assessment,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 243, p. 118639, 2020.
- [117] E. Ilskog and B. Kjellström, “And then they lived sustainably ever after?- Assessment of rural electrification cases by means of indicators,” *Energy Policy*, vol. 36, no. 7, pp. 2674–2684, 2008.
- [118] I. F. Muñoz Sarria, “Análisis de viabilidad de implementación de proyectos de energización en Zonas No Interconectadas,” Tesis, Universidad del Cauca, 2020.
- [119] P. Casaban Panells, “Aplicación de la técnica de Proceso Analítico Jerárquico (AHP) de análisis de decisión multicriterio a la selección de carteras de proyectos de una empresa del sector de las energías renovables.” Tesis, Escuela Superior de Ingeniería Industrial Valencia, 2020.
- [120] A. Mendoza, C. Solano, D. Palencia, and D. Garcia, “Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos,” *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 27, no. 3, pp. 348–360, 2019.
- [121] S. a. Berumen and F. Llamazares, “La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente,” *Cuadernos de Administración*, vol. 20, no. 34, pp. 65–87, 2007.
- [122] P. Kumar, N. Pal, and H. Sharma, “Techno-economic analysis of solar photovoltaic/diesel generator hybrid system using different energy storage technologies for isolated islands of India,” *Journal of Energy Storage*, vol. 41, p. 102965, 2021.
- [123] M. R. Castillo, “Desarrollo del sistema de propulsión diésel-eléctrico de un catamarán,” Tesis, 2018.
- [124] H. Lan, S. Wen, Y. Y. Hong, D. C. Yu, and L. Zhang, “Optimal sizing of hybrid PV/diesel/battery in ship power system,” *Applied Energy*, vol. 158, pp. 26–34, 2015.
- [125] Hylan and B. Boatbuilders, “Chesapeake Deadrise Boat.” [Online]. Available: https://www.dhylanboats.com/design/plans/pointcomfort18_plans/
- [126] Proyecto Econavipesca del Pacifico Ecosistema Para La Navegación Pesquera Sostenible En El Municipio de Guapi- Cauca, “Documentos entregables 2021-Anexo 1,” Tech. Rep., 2021.

- [127] Feria del Libro Bogotá, “Navegación pesquera sostenible en Guapi, Colombia,” 2021. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=70wQzb1nRFo&ab_channel=FeriadelLibroBogot%C3%A1
- [128] La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “Composición corporal, funciones de los alimentos, metabolismo y energía.” [Online]. Available: <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0c.htm>
- [129] G. Bausa, “Diseño de un yate híbrido,” Tesis, Universidad Politécnica de Cataluña, 2019.
- [130] M. Ricardo, “Diseño básico de un motor fuera borda híbrido eléctrico,” Tesis, Universidad Pontificia Comillas, 2016.
- [131] M. Rebassa, “Estudio y Diseño de una Embarcación de Recreo,” Tesis, Universidad Politecnica de Cataluña, 2016.
- [132] S. Salamanca-Avila, “Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá,” *Revista científica*, vol. 3, no. 30, p. 263, 2017.
- [133] F. Balsamo, C. Capasso, D. Lauria, and O. Veneri, “Optimal design and energy management of hybrid storage systems for marine propulsion applications,” *Applied Energy*, vol. 278, 2020.
- [134] J. Villegas Núñez, “Diseño de un sistema de control predictivo para el accionamiento de la máquina de reluctancia conmutada de un sistema de almacenamiento cinético para la mejora de la eficiencia en la edificación,” Tesis, Universidad de Sevilla, 2009.
- [135] R. M. Francisco Javier, “Estimación y análisis paramétrico mediante diferentes métodos numéricos de cálculo de potencia para buques, e implementación en una interfaz gráfica mediante Matlab.” Tesis, Universidad Politécnica de Cartagena, 2020.

Anexos

Anexo A: Respuestas de la encuesta



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

ENCUESTA PARA SELECCIONAR LAS MEJORES ALTERNATIVAS DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA QUE HARÁN PARTE DEL SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO DE UNA EMBARCACIÓN PESQUERA EN EL MUNICIPIO DE GUAPI, CAUCA

Nombre: Francisco Javier Murillo Q. Ocupación: Capitán Puerto DIMAR GUAPI.

Esta encuesta tiene como finalidad recoger información acerca de la importancia de algunos criterios a la hora de priorizar y seleccionar las mejores alternativas de fuentes no convencionales de energía que harán parte del sistema de generación híbrido de una embarcación pesquera en el marco del proyecto "Econavipesca Del Pacífico: Ecosistema Para La Navegación Pesquera Sostenible En El Municipio De Guapi, Cauca".

En la primera parte de la encuesta tendrán que evaluar los distintos subcriterios mostrando el grado de importancia que tiene cada uno de ellos.

En la segunda parte se debe realizar una evaluación de los subcriterios en función de cada alternativa, con el fin de verificar cómo se adecuan según su rendimiento, desempeño o favorabilidad a cada alternativa. Para esta segunda parte encontrará información anexa que le servirá de apoyo para evaluar cada una de los subcriterios en función de las alternativas de manera correcta.

Para establecer un valor a los subcriterios se hace uso de la asignación directa, en la cual debe dar un valor, según su opinión, dentro de la escala que ha sido definida en la Tabla 1.

Valor cualitativo	Escala de Saaty
Muy débil	1
Débil	3
Moderada	5
Fuerte	7
Muy fuerte	9
Valores intermedios entre los anteriores cuando es necesario matizar	2,4,6,8

Tabla 1. Escala para establecer las estimaciones

Figura A.1: Respuesta de la encuesta Cap. Francisco Javier Murillo.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Parte I

NIVEL DE IMPORTANCIA DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS MEJORES ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN

Considerando una escala numérica de 1 a 9, donde 1 es una importancia muy débil y 9 una muy fuerte importancia, identifique la relevancia de los siguientes criterios con base a la Tabla 1.

SUBCRITERIO	VALOR NUMÉRICO
Disponibilidad del recurso primario	9
Ausencia de normatividad	2
Disponibilidad de área para instalación de equipos	6
Eficiencia energética	8
Madurez de alternativa de generación	9
Barreras de mercado	5
Inversión inicial	7
Costo de operación y mantenimiento	7
Información y conocimiento de la tecnología	9
Viabilidad	3
Política energética	8
Aceptación de alternativa	8
Sostenibilidad ambiental	8
Afectación de la biodiversidad	9
Cambio climático	7
Producción de residuos	8

2

Figura A.2: Respuesta parte I de la encuesta Cap. Francisco Javier Murillo.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Parte II

EVALUACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS EN FUNCIÓN DE CADA ALTERNATIVA

Evalúe de 1 a 9, con base en la tabla 1, los subcriterios en función de cada alternativa, con el fin de verificar cómo se adecua cada uno de los subcriterios según su rendimiento, desempeño o favorabilidad en cada alternativa.

SUBCRITERIO	ENERGÍA SOLAR	ENERGÍA EÓLICA	ENERGÍA UNDIMOTRIZ	ENERGÍA MAREOMOTRIZ	ENERGÍA POR GRADIENTE SALINO
Disponibilidad del recurso primario	9	9	9	9	7
Ausencia de normatividad	6	5	5	6	7
Disponibilidad de área para instalación de equipos	9	9	9	9	9
Eficiencia energética	8	9	9	9	7
Madurez de la alternativa de generación	9	7	8	8	7
Barreras del mercado	6	6	7	5	6
Inversión inicial	6	9	6	9	4
Costo de operación y mantenimiento	2	3	1	8	5
Información y conocimiento de la tecnología	5	5	7	8	7
Viabilidad	9	9	9	9	7
Política energética	9	8	7	7	8
Aceptación de la alternativa	9	9	8	9	8
Sostenibilidad ambiental	9	9	8	7	8
Afectación de la biodiversidad	1	2	5	5	4
Cambio climático	8	7	7	7	8
Producción de residuos	1	1	2	1	1

Figura A.3: Respuesta parte II de la encuesta Cap. Francisco Javier Murillo.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca ®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

ENCUESTA PARA SELECCIONAR LAS MEJORES ALTERNATIVAS DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA QUE HARÁN PARTE DEL SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO DE UNA EMBARCACIÓN PESQUERA EN EL MUNICIPIO DE GUAPI, CAUCA

Nombre: HUGO C. CUERO Ocupación: Ing. Agrónomo

Esta encuesta tiene como finalidad recoger información acerca de la importancia de algunos criterios a la hora de priorizar y seleccionar las mejores alternativas de fuentes no convencionales de energía que harán parte del sistema de generación híbrido de una embarcación pesquera en el marco del proyecto "Econavipesca Del Pacífico: Ecosistema Para La Navegación Pesquera Sostenible En El Municipio De Guapi, Cauca".

En la primera parte de la encuesta tendrán que evaluar los distintos subcriterios mostrando el grado de importancia que tiene cada uno de ellos.

En la segunda parte se debe realizar una evaluación de los subcriterios en función de cada alternativa, con el fin de verificar cómo se adecuan según su rendimiento, desempeño o favorabilidad a cada alternativa. Para esta segunda parte encontrará información anexa que le servirá de apoyo para evaluar cada una de los subcriterios en función de las alternativas de manera correcta.

Para establecer un valor a los subcriterios se hace uso de la asignación directa, en la cual debe dar un valor, según su opinión, dentro de la escala que ha sido definida en la Tabla 1.

Valor cualitativo	Escala de Saaty
Muy débil	1
Débil	3
Moderada	5
Fuerte	7
Muy fuerte	9
Valores intermedios entre los anteriores cuando es necesario matizar	2,4,6,8

Tabla 1. Escala para establecer las estimaciones



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Parte I

NIVEL DE IMPORTANCIA DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS MEJORES ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN

Considerando una escala numérica de 1 a 9, donde 1 es una importancia muy débil y 9 una muy fuerte importancia, identifique la relevancia de los siguientes criterios con base a la Tabla 1.

SUBCRITERIO	VALOR NUMÉRICO
Disponibilidad del recurso primario	7
Ausencia de normatividad	3
Disponibilidad de área para instalación de equipos	9
Eficiencia energética	9
Madurez de alternativa de generación	5
Barreras de mercado	5
Inversión inicial	3
Costo de operación y mantenimiento	7
Información y conocimiento de la tecnología	5
Viabilidad	3
Política energética	5
Aceptación de alternativa	5
Sostenibilidad ambiental	3
Afectación de la biodiversidad	3
Cambio climático	1
Producción de residuos	3

Figura A.5: Respuesta parte I de la encuesta Ing. Hugo Cesar Cuero.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Parte II

EVALUACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS EN FUNCIÓN DE CADA ALTERNATIVA

Evalúe de 1 a 9, con base en la tabla 1, los subcriterios en función de cada alternativa, con el fin de verificar cómo se adecua cada uno de los subcriterios según su rendimiento, desempeño o favorabilidad en cada alternativa.

SUBCRITERIO	ENERGÍA SOLAR	ENERGÍA EÓLICA	ENERGÍA UNDIMOTRIZ	ENERGÍA MAREOMOTRIZ	ENERGÍA POR GRADIENTE SALINO
Disponibilidad del recurso primario	5	5	3	9	5
Ausencia de normatividad	7	7	9	9	9
Disponibilidad de área para instalación de equipos	7	7	5	5	5
Eficiencia energética	9	9	3	3	3
Madurez de la alternativa de generación	9	7	3	3	3
Barreras del mercado	5	5	3	3	3
Inversión inicial	9	9	7	7	7
Costo de operación y mantenimiento	7	7	7	7	7
Información y conocimiento de la tecnología	5	5	3	3	3
Viabilidad	9	9	7	7	7
Política energética	9	5	3	3	3
Aceptación de la alternativa	9	7	5	5	5
Sostenibilidad ambiental	7	7	7	7	7
Afectación de la biodiversidad	3	3	3	3	3
Cambio climático	1	1	1	1	1
Producción de residuos	3	3	3	3	3

Figura A.6: Respuesta parte II de la encuesta Ing. Hugo Cesar Cuero.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

ENCUESTA PARA SELECCIONAR LAS MEJORES ALTERNATIVAS DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA QUE HARÁN PARTE DEL SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO DE UNA EMBARCACIÓN PESQUERA EN EL MUNICIPIO DE GUAPI, CAUCA

Nombre: Maximiliano Bueno López. Ocupación: Docente

Esta encuesta tiene como finalidad recoger información acerca de la importancia de algunos criterios a la hora de priorizar y seleccionar las mejores alternativas de fuentes no convencionales de energía que harán parte del sistema de generación híbrido de una embarcación pesquera en el marco del proyecto “*Econavipesca Del Pacífico: Ecosistema Para La Navegación Pesquera Sostenible En El Municipio De Guapi, Cauca*”.

En la primera parte de la encuesta tendrán que evaluar los distintos subcriterios mostrando el grado de importancia que tiene cada uno de ellos.

En la segunda parte se debe realizar una evaluación de los subcriterios en función de cada alternativa, con el fin de verificar cómo se adecuan según su rendimiento, desempeño o favorabilidad a cada alternativa. Para esta segunda parte encontrará información anexa que le servirá de apoyo para evaluar cada una de los subcriterios en función de las alternativas de manera correcta.

Para establecer un valor a los subcriterios se hace uso de la asignación directa, en la cual debe dar un valor, según su opinión, dentro de la escala que ha sido definida en la Tabla 1.

Valor cualitativo	Escala de Saaty
Muy débil	1
Débil	3
Moderada	5
Fuerte	7
Muy fuerte	9
Valores intermedios entre los anteriores cuando es necesario matizar	2,4,6,8

Tabla 1. Escala para establecer las estimaciones

Figura A.7: Respuesta de la encuesta Dr. Maximiliano Bueno Lopez.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Parte I

NIVEL DE IMPORTANCIA DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS MEJORES ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN

Considerando una escala numérica de 1 a 9, donde 1 es una importancia muy débil y 9 una muy fuerte importancia, identifique la relevancia de los siguientes criterios con base a la Tabla 1.

SUBCRITERIO	VALOR NUMÉRICO
Disponibilidad del recurso primario	9
Ausencia de normatividad	3
Disponibilidad de área para instalación de equipos	8
Eficiencia energética	8
Madurez de alternativa de generación	7
Barreras de mercado	3
Inversión inicial	9
Costo de operación y mantenimiento	6
Información y conocimiento de la tecnología	5
Viabilidad	7
Política energética	6
Aceptación de alternativa	8
Sostenibilidad ambiental	6
Afectación de la biodiversidad	8
Cambio climático	8
Producción de residuos	9

2

Figura A.8: Respuesta parte I de la encuesta Dr. Maximiliano Bueno Lopez.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Parte II

EVALUACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS EN FUNCIÓN DE CADA ALTERNATIVA

Evalúe de 1 a 9, con base en la tabla 1, los subcriterios en función de cada alternativa, con el fin de verificar cómo se adecua cada uno de los subcriterios según su rendimiento, desempeño o favorabilidad en cada alternativa.

SUBCRITERIO	ENERGÍA SOLAR	ENERGÍA EÓLICA	ENERGÍA UNDIMOTRIZ	ENERGÍA MAREOMOTRIZ	ENERGÍA POR GRADIENTE SALINO
Disponibilidad del recurso primario	9	7	7	7	7
Ausencia de normatividad	3	5	9	9	9
Disponibilidad de área para instalación de equipos	9	9	7	7	6
Eficiencia energética	4	6	6	6	6
Madurez de la alternativa de generación	9	8	5	5	3
Barreras del mercado	5	7	9	9	9
Inversión inicial	3	5	9	8	9
Costo de operación y mantenimiento	3	6	8	9	4
Información y conocimiento de la tecnología	9	1	1	1	1
Viabilidad	9	4	1	1	1
Política energética	4	1	1	1	1
Aceptación de la alternativa	9	9	2	2	5
Sostenibilidad ambiental	9	8	5	5	3
Afectación de la biodiversidad	2	5	7	7	3
Cambio climático	2	5	3	3	2
Producción de residuos	5	3	3	4	4

Figura A.9: Respuesta parte II de la encuesta Dr. Maximiliano Bueno Lopez.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

ENCUESTA PARA SELECCIONAR LAS MEJORES ALTERNATIVAS DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA QUE HARÁN PARTE DEL SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO DE UNA EMBARCACIÓN PESQUERA EN EL MUNICIPIO DE GUAPI, CAUCA

Nombre: Oficial, Ángel Rojas. Ocupación: Comandante del Batallón de Infantería Marina del municipio de Guapi, Cauca.

Esta encuesta tiene como finalidad recoger información acerca de la importancia de algunos criterios a la hora de priorizar y seleccionar las mejores alternativas de fuentes no convencionales de energía que harán parte del sistema de generación híbrido de una embarcación pesquera en el marco del proyecto “*Econavipesca Del Pacífico: Ecosistema Para La Navegación Pesquera Sostenible En El Municipio De Guapi, Cauca*”.

En la primera parte de la encuesta tendrán que evaluar los distintos subcriterios mostrando el grado de importancia que tiene cada uno de ellos.

En la segunda parte se debe realizar una evaluación de los subcriterios en función de cada alternativa, con el fin de verificar cómo se adecuan según su rendimiento, desempeño o favorabilidad a cada alternativa. Para esta segunda parte encontrará información anexa que le servirá de apoyo para evaluar cada una de los subcriterios en función de las alternativas de manera correcta.

Para establecer un valor a los subcriterios se hace uso de la asignación directa, en la cual debe dar un valor, según su opinión, dentro de la escala que ha sido definida en la Tabla 1.

Valor cualitativo	Escala de Saaty
Muy débil	1
Débil	3
Moderada	5
Fuerte	7
Muy fuerte	9
Valores intermedios entre los anteriores cuando es necesario matizar	2,4,6,8

Tabla 1. Escala para establecer las estimaciones

Figura A.10: Respuesta de la encuesta Of. Ángel Rojas.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Parte I

NIVEL DE IMPORTANCIA DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS MEJORES ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN

Considerando una escala numérica de 1 a 9, donde 1 es una importancia muy débil y 9 una muy fuerte importancia, identifique la relevancia de los siguientes criterios con base a la Tabla 1.

SUBCRITERIO	VALOR NUMÉRICO
Disponibilidad del recurso primario	8
Ausencia de normatividad	6
Disponibilidad de área para instalación de equipos	4
Eficiencia energética	7
Madurez de alternativa de generación	7
Barreras de mercado	6
Inversión inicial	9
Costo de operación y mantenimiento	6
Información y conocimiento de la tecnología	4
Viabilidad	6
Política energética	5
Aceptación de alternativa	5
Sostenibilidad ambiental	6
Afectación de la biodiversidad	8
Cambio climático	8
Producción de residuos	3

2

Figura A.11: Respuesta parte I de la encuesta Of. Ángel Rojas.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Parte II

EVALUACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS EN FUNCIÓN DE CADA ALTERNATIVA

Evalúe de 1 a 9, con base en la tabla 1, los subcriterios en función de cada alternativa, con el fin de verificar cómo se adecua cada uno de los subcriterios según su rendimiento, desempeño o favorabilidad en cada alternativa.

SUBCRITERIO	ENERGÍA SOLAR	ENERGÍA EÓLICA	ENERGÍA UNDIMOTRIZ	ENERGÍA MAREOMOTRIZ	ENERGÍA POR GRADIENTE SALINO
Disponibilidad del recurso primario	6	6	6	8	6
Ausencia de normatividad	5	3	4	5	7
Disponibilidad de área para instalación de equipos	3	4	4	5	6
Eficiencia energética	8	8	5	6	4
Madurez de la alternativa de generación	6	4	5	6	6
Barreras del mercado	7	3	2	3	3
Inversión inicial	5	4	3	3	2
Costo de operación y mantenimiento	6	6	2	5	3
Información y conocimiento de la tecnología	5	4	4	4	3
Viabilidad	6	6	2	2	3
Política energética	7	7	4	3	4
Aceptación de la alternativa	5	6	4	4	5
Sostenibilidad ambiental	6	4	5	5	6
Afectación de la biodiversidad	6	5	4	4	5
Cambio climático	4	4	4	4	4
Producción de residuos	3	3	3	3	6

3

Figura A.12: Respuesta parte II de la encuesta Of. Ángel Rojas.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

ENCUESTA PARA SELECCIONAR LAS MEJORES ALTERNATIVAS DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA QUE HARÁN PARTE DEL SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO DE UNA EMBARCACIÓN PESQUERA EN EL MUNICIPIO DE GUAPI, CAUCA

Nombre: Jenner Sinisterra Ocupación:Estudiante

Esta encuesta tiene como finalidad recoger información acerca de la importancia de algunos criterios a la hora de priorizar y seleccionar las mejores alternativas de fuentes no convencionales de energía que harán parte del sistema de generación híbrido de una embarcación pesquera en el marco del proyecto “*Econavipesca Del Pacífico: Ecosistema Para La Navegación Pesquera Sostenible En El Municipio De Guapi, Cauca*”.

En la primera parte de la encuesta tendrán que evaluar los distintos subcriterios mostrando el grado de importancia que tiene cada uno de ellos.

En la segunda parte se debe realizar una evaluación de los subcriterios en función de cada alternativa, con el fin de verificar cómo se adecuan según su rendimiento, desempeño o favorabilidad a cada alternativa. Para esta segunda parte encontrará información anexa que le servirá de apoyo para evaluar cada una de los subcriterios en función de las alternativas de manera correcta.

Para establecer un valor a los subcriterios se hace uso de la asignación directa, en la cual debe dar un valor, según su opinión, dentro de la escala que ha sido definida en la Tabla 1.

Valor cualitativo	Escala de Saaty
Muy débil	1
Débil	3
Moderada	5
Fuerte	7
Muy fuerte	9
Valores intermedios entre los anteriores cuando es necesario matizar	2,4,6,8

Tabla 1. Escala para establecer las estimaciones

Figura A.13: Respuesta de la encuesta Est. Jenner Sinisterra.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Parte I

NIVEL DE IMPORTANCIA DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS MEJORES ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN

Considerando una escala numérica de 1 a 9, donde 1 es una importancia muy débil y 9 una muy fuerte importancia, identifique la relevancia de los siguientes criterios con base a la Tabla 1.

SUBCRITERIO	VALOR NUMÉRICO
Disponibilidad del recurso primario	9
Ausencia de normatividad	5
Disponibilidad de área para instalación de equipos	8
Eficiencia energética	9
Madurez de alternativa de generación	7
Barreras de mercado	6
Inversión inicial	8
Costo de operación y mantenimiento	8
Información y conocimiento de la tecnología	9
Viabilidad	9
Política energética	6
Aceptación de alternativa	8
Sostenibilidad ambiental	7
Afectación de la biodiversidad	8
Cambio climático	8
Producción de residuos	8

2

Figura A.14: Respuesta parte I de la encuesta Est. Jenner Sinisterra.
Fuente: Elaboración propia



Universidad
del Cauca®



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Parte II

EVALUACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS EN FUNCIÓN DE CADA ALTERNATIVA

Evalúe de 1 a 9, con base en la tabla 1, los subcriterios en función de cada alternativa, con el fin de verificar cómo se adecua cada uno de los subcriterios según su rendimiento, desempeño o favorabilidad en cada alternativa.

SUBCRITERIO	ENERGÍA SOLAR	ENERGÍA EÓLICA	ENERGÍA UNDIMOTRIZ	ENERGÍA MAREOMOTRIZ	ENERGÍA POR GRADIENTE SALINO
Disponibilidad del recurso primario	8	7	8	8	8
Ausencia de normatividad	5	6	6	6	5
Disponibilidad de área para instalación de equipos	6	7	8	9	6
Eficiencia energética	8	8	9	9	8
Madurez de la alternativa de generación	6	6	7	8	7
Barreras del mercado	6	6	6	6	7
Inversión inicial	8	8	9	9	9
Costo de operación y mantenimiento	8	7	8	8	8
Información y conocimiento de la tecnología	8	8	9	9	9
Viabilidad	9	9	8	9	9
Política energética	6	6	6	6	6
Aceptación de la alternativa	8	7	9	8	6
Sostenibilidad ambiental	7	8	8	7	9
Afectación de la biodiversidad	8	8	8	8	7
Cambio climático	8	8	8	8	9
Producción de residuos	8	7	9	8	8

3

Figura A.15: Respuesta parte II de la encuesta Est. Jenner Sinisterra.
Fuente: Elaboración propia

Anexo B: Matrices de comparación entre alternativas

Comparación pareada entre alternativas para cada criterio					
Disponibilidad del recurso primario					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	1	1	0,5	1
Energía Eólica	1	1	1	0,5	1
Energía Undimotriz	1	1	1	0,5	1
Energía Mareomotriz	2	2	2	1	2
Energía por gradiente salino	1	1	1	0,5	1
Ausencia de normatividad					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	1	0,5	0,5	0,5
Energía Eólica	1	1	0,5	0,5	0,5
Energía Undimotriz	2	2	1	1	1
Energía Mareomotriz	2	2	1	1	1
Energía por gradiente salino	2	2	1	1	1
Disponibilidad de área para instalación de equipos					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	1	1	1	2
Energía Eólica	1	1	1	1	2
Energía Undimotriz	1	1	1	1	2
Energía Mareomotriz	1	1	1	1	2
Energía por gradiente salino	0,5	0,5	0,5	0,5	1
Madurez de alternativa de generación					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	2	2	2	3
Energía Eólica	0,5	1	1	1	2
Energía Undimotriz	0,5	1	1	1	2
Energía Mareomotriz	0,5	1	1	1	2
Energía por gradiente salino	0,33333	0,5	0,5	0,5	1
Barreras del mercado					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	2	2	2	1
Energía Eólica	0,5	1	1	1	0,5
Energía Undimotriz	0,5	1	1	1	0,5
Energía Mareomotriz	0,5	1	1	1	0,5
Energía por gradiente salino	1	2	2	2	1
Inversión inicial					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	0,5	0,5	0,5	1
Energía Eólica	2	1	1	1	2
Energía Undimotriz	2	1	1	1	2
Energía Mareomotriz	2	1	1	1	2
Energía por gradiente salino	1	0,5	0,5	0,5	1
Información y conocimiento de la tecnología					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	2	2	2	2
Energía Eólica	0,5	1	1	1	1
Energía Undimotriz	0,5	1	1	1	1
Energía Mareomotriz	0,5	1	1	1	1
Energía por gradiente salino	0,5	1	1	1	1
Viabilidad					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	1	2	2	2
Energía Eólica	1	1	2	2	2
Energía Undimotriz	0,5	0,5	1	0,5	1
Energía Mareomotriz	0,5	0,5	2	1	2
Energía por gradiente salino	0,5	0,5	1	0,5	1
Política energética					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	2	3	3	3
Energía Eólica	0,5	1	2	2	2
Energía Undimotriz	0,33333	0,5	1	1	1
Energía Mareomotriz	0,33333	0,5	1	1	1
Energía por gradiente salino	0,33333	0,5	1	1	1
Sostenibilidad ambiental					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	2	2	2	2
Energía Eólica	0,5	1	1	2	1
Energía Undimotriz	0,5	1	1	2	1
Energía Mareomotriz	0,5	0,5	0,5	1	0,5
Energía por gradiente salino	0,5	1	1	2	1
Afectación a la biodiversidad					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	0,5	0,5	0,5	1
Energía Eólica	2	1	1	1	2
Energía Undimotriz	2	1	1	1	2
Energía Mareomotriz	2	1	1	1	2
Energía por gradiente salino	1	0,5	0,5	0,5	1
Cambio climático					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	1	1	1	1
Energía Eólica	1	1	1	1	1
Energía Undimotriz	1	1	1	1	1
Energía Mareomotriz	1	1	1	1	1
Energía por gradiente salino	1	1	1	1	1
Eficiencia energética					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	2	2	1	2
Energía Eólica	0,5	1	1	0,5	1
Energía Undimotriz	0,5	1	1	0,5	1
Energía Mareomotriz	1	2	2	1	0,5
Energía por gradiente salino	0,5	1	1	2	1
Costo de operación y mantenimiento					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	0,5	1	0,33333333	1
Energía Eólica	2	1	2	0,5	2
Energía Undimotriz	1	0,5	1	0,5	1
Energía Mareomotriz	3	2	2	1	2
Energía por gradiente salino	1	0,5	1	0,5	1
Aceptación de la alternativa					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	1	2	2	2
Energía Eólica	1	1	2	2	2
Energía Undimotriz	0,5	0,5	1	1	1
Energía Mareomotriz	0,5	0,5	1	1	1
Energía por gradiente salino	0,5	0,5	1	1	1
Producción de residuos					
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente salino
Energía Solar	1	2	1	1	1
Energía Eólica	0,5	1	0,5	0,5	0,5
Energía Undimotriz	1	2	1	1	1
Energía Mareomotriz	1	2	1	1	1
Energía por gradiente salino	1	2	1	1	1

Figura B.1: Matrices de comparación pareada entre alternativas para cada subcriterio.

Fuente: Elaboración propia

Anexo C: Interfaz en Matlab

El programa en matlab adaptado de [118], entregará la alternativa que presenta mayor impacto frente al objetivo, teniendo en cuenta la calificación dada por el grupo de expertos. En la figura C.1 se muestra el inicio de la plataforma.

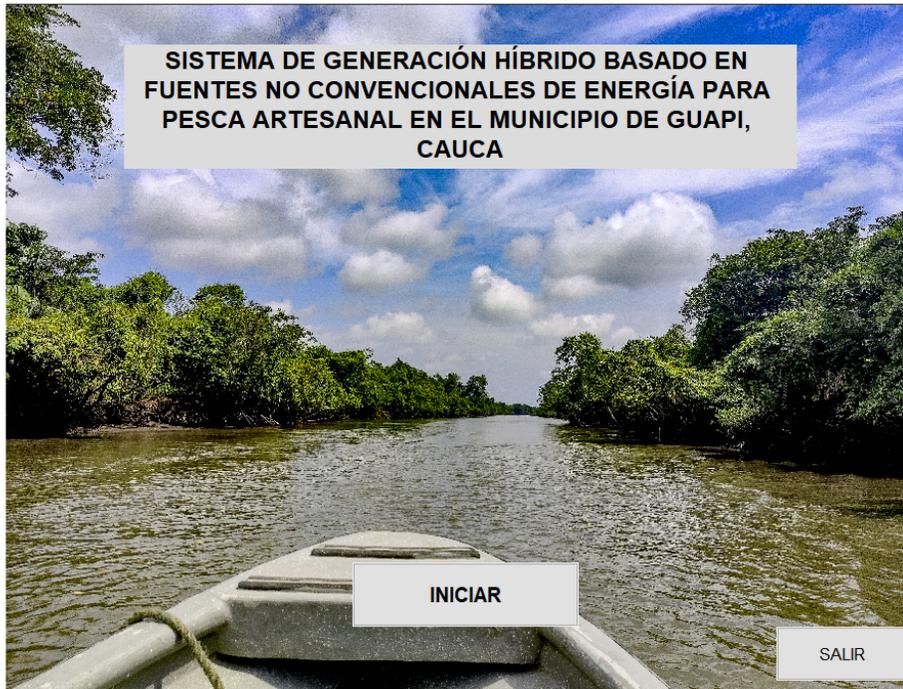


Figura C.1: Interfaz de inicio.
Fuente: Elaboración propia

Para seleccionar el tipo de fuente de energía renovable que hará parte del sistema de generación híbrido de la embarcación, se utilizó una base de datos denominada “AHP” (ver figura C.2); donde se encuentra tanto la matriz de comparación pareada entre subcriterios, como las 16 matrices de comparación pareada por cada subcriterio.

Comparación pareada entre criterios																	
	DR	AN	DA	EE	MA	BM	II	CO	IC	V	PE	AA	SA	AB	CC	PR	
DR	1	4	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	
AN	0,25	1	0,3333333	0,25	0,3333333	0,5	0,3333333	0,3333333	0,5	0,5	0,5	0,3333333	0,5	0,3333333	0,25	0,5	
DA	0,5	3	1	0,5	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0,5	2	
EE	1	4	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	
MA	0,5	3	1	0,5	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0,5	2	
BM	0,3333333	2	0,5	0,3333333	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3333333	0,5	
II	0,5	3	1	0,5	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0,5	2	
CO	0,5	3	1	0,5	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0,5	2	
IC	0,5	2	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	1	
V	0,5	2	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	1	
PE	0,5	2	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	1	
AA	0,5	3	1	0,5	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0,5	2	
SA	0,5	2	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	1	
AB	0,5	3	1	0,5	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	0,5	2	
CC	1	4	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	
PR	0,5	2	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	1	

Comparación pareada entre alternativas para cada criterio										
	Disponibilidad del recurso primario					Ausencia de normatividad				
	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente	Energía Solar	Energía Eólica	Energía Undimotriz	Energía Mareomotriz	Energía por gradiente
Energía Solar	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	0,5	0,5
Energía Eólica	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	0,5	0,5
Energía Undimotriz	1	1	1	0,5	1	2	2	1	1	1
Energía Mareomotriz	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1
Energía por gradiente salino	1	1	1	0,5	1	2	2	1	1	1

Figura C.2: Base de datos.
Fuente: Elaboración propia

El programa está desarrollado de tal manera que llame la base de datos donde se encuentran las matrices pareadas mencionadas anteriormente, para posteriormente realizar los respectivos cálculos del proceso analítico jerárquico y finalmente entregar la alternativa de generación que mayor impacto tiene frente al objetivo, como se observa en la figura C.3.

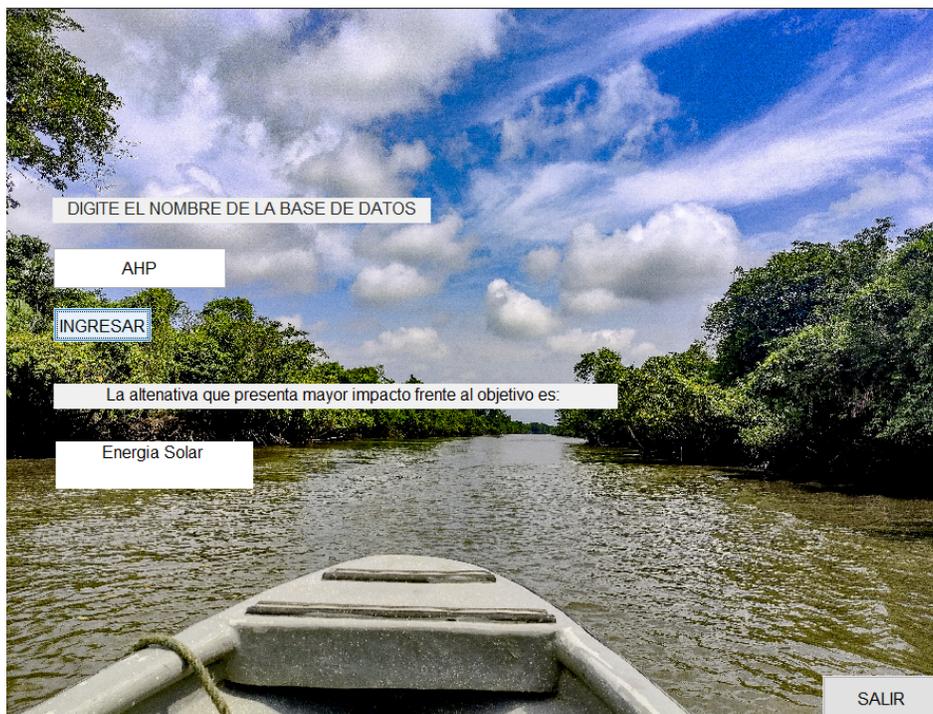


Figura C.3: Resultado final.
Fuente: Elaboración propia

Anexo D: Encuesta para la selección de equipos



¿Qué debería tener la embarcación ideal?

Sistema de desalinización	Planta desalinizadora de agua para el consumo de la tripulación durante su estancia en el mar, evitando así la compra de botellas de agua dulce.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de comunicaciones	Sistema de comunicación entre la embarcación y el continente con el fin de fortalecer las condiciones de seguridad que se dan en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Iluminación	Sistema de iluminación en el barco que permite aumentar la seguridad en el mar.		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Sistema de refrigeración	Mejora de la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de hielo dentro de la embarcación, reemplazando la compra de hielo que incrementa los costos en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Considera usted necesario incluir algún otro elemento en la embarcación?

Figura D.1: Respuesta selección de equipos.

Fuente: Elaboración propia



¿Qué debería tener la embarcación ideal?

Sistema de desalinización	Planta desalinizadora de agua para el consumo de la tripulación durante su estancia en el mar, evitando así la compra de botellas de agua dulce.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de comunicaciones	Sistema de comunicación entre la embarcación y el continente con el fin de fortalecer las condiciones de seguridad que se dan en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Iluminación	Sistema de iluminación en el barco que permite aumentar la seguridad en el mar.		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Sistema de refrigeración	Mejora de la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de hielo dentro de la embarcación, reemplazando la compra de hielo que incrementa los costos en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Considera usted necesario incluir algún otro elemento en la embarcación?

Figura D.2: Respuesta selección de equipos.

Fuente: Elaboración propia

¿Qué debería tener la embarcación ideal?

Sistema de desalinización	Planta desalinizadora de agua para el consumo de la tripulación durante su estancia en el mar, evitando así la compra de botellas de agua dulce.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de comunicaciones	Sistema de comunicación entre la embarcación y el continente con el fin de fortalecer las condiciones de seguridad que se dan en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Iluminación	Sistema de iluminación en el barco que permite aumentar la seguridad en el mar.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de refrigeración	Mejora de la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de hielo dentro de la embarcación, reemplazando la compra de hielo que incrementa los costos en las operaciones de pesca.		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

¿Considera usted necesario incluir algún otro elemento en la embarcación?

Figura D.3: Respuesta selección de equipos.
Fuente: Elaboración propia

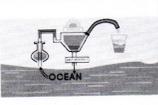
¿Qué debería tener la embarcación ideal?

Sistema de desalinización	Planta desalinizadora de agua para el consumo de la tripulación durante su estancia en el mar, evitando así la compra de botellas de agua dulce.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de comunicaciones	Sistema de comunicación entre la embarcación y el continente con el fin de fortalecer las condiciones de seguridad que se dan en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Iluminación	Sistema de iluminación en el barco que permite aumentar la seguridad en el mar.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de refrigeración	Mejora de la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de hielo dentro de la embarcación, reemplazando la compra de hielo que incrementa los costos en las operaciones de pesca.		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

¿Considera usted necesario incluir algún otro elemento en la embarcación?

Figura D.4: Respuesta selección de equipos.
Fuente: Elaboración propia

¿Qué debería tener la embarcación ideal?

Sistema de desalinización	Planta desalinizadora de agua para el consumo de la tripulación durante su estancia en el mar, evitando así la compra de botellas de agua dulce.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de comunicaciones	Sistema de comunicación entre la embarcación y el continente con el fin de fortalecer las condiciones de seguridad que se dan en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Iluminación	Sistema de iluminación en el barco que permite aumentar la seguridad en el mar.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de refrigeración	Mejora de la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de hielo dentro de la embarcación, reemplazando la compra de hielo que incrementa los costos en las operaciones de pesca.		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

¿Considera usted necesario incluir algún otro elemento en la embarcación?

Figura D.5: Respuesta selección de equipos.
Fuente: Elaboración propia

¿Qué debería tener la embarcación ideal?

Sistema de desalinización	Planta desalinizadora de agua para el consumo de la tripulación durante su estancia en el mar, evitando así la compra de botellas de agua dulce.		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Sistema de comunicaciones	Sistema de comunicación entre la embarcación y el continente con el fin de fortalecer las condiciones de seguridad que se dan en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Iluminación	Sistema de iluminación en el barco que permite aumentar la seguridad en el mar.		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Sistema de refrigeración	Mejora de la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de hielo dentro de la embarcación, reemplazando la compra de hielo que incrementa los costos en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Considera usted necesario incluir algún otro elemento en la embarcación?

Figura D.6: Respuesta selección de equipos.
Fuente: Elaboración propia

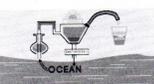
¿Qué debería tener la embarcación ideal?

Sistema de desalinización	Planta desalinizadora de agua para el consumo de la tripulación durante su estancia en el mar, evitando así la compra de botellas de agua dulce.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de comunicaciones	Sistema de comunicación entre la embarcación y el continente con el fin de fortalecer las condiciones de seguridad que se dan en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Iluminación	Sistema de iluminación en el barco que permite aumentar la seguridad en el mar.		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Sistema de refrigeración	Mejora de la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de hielo dentro de la embarcación, reemplazando la compra de hielo que incrementa los costos en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Considera usted necesario incluir algún otro elemento en la embarcación?

Figura D.7: Respuesta selección de equipos.
Fuente: Elaboración propia

¿Qué debería tener la embarcación ideal?

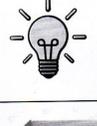
Sistema de desalinización	Planta desalinizadora de agua para el consumo de la tripulación durante su estancia en el mar, evitando así la compra de botellas de agua dulce.		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Sistema de comunicaciones	Sistema de comunicación entre la embarcación y el continente con el fin de fortalecer las condiciones de seguridad que se dan en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Iluminación	Sistema de iluminación en el barco que permite aumentar la seguridad en el mar.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de refrigeración	Mejora de la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de hielo dentro de la embarcación, reemplazando la compra de hielo que incrementa los costos en las operaciones de pesca.		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Considera usted necesario incluir algún otro elemento en la embarcación?

* sistema de apoyo para la preparación de alvaca en temporada de faena de pesca
* sistema o equipos de navegabilidad.

Figura D.8: Respuesta selección de equipos.
Fuente: Elaboración propia

¿Qué debería tener la embarcación ideal?

Sistema de desalinización	Planta desalinizadora de agua para el consumo de la tripulación durante su estancia en el mar, evitando así la compra de botellas de agua dulce.			
Sistema de comunicaciones	Sistema de comunicación entre la embarcación y el continente con el fin de fortalecer las condiciones de seguridad que se dan en las operaciones de pesca.			
Iluminación	Sistema de iluminación en el barco que permite aumentar la seguridad en el mar.			
Sistema de refrigeración	Mejora de la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de hielo dentro de la embarcación, reemplazando la compra de hielo que incrementa los costos en las operaciones de pesca.			

¿Considera usted necesario incluir algún otro elemento en la embarcación?

*Estufa solar

Figura D.9: Respuesta selección de equipos.

Fuente: Elaboración propia

Anexo E: Métodos para el calculo de resistencia al avance

E.1. Método de Savitsky

El más famoso método de estimación de potencia para embarcaciones planeadoras es el Método de Savitsky, propuesto por un investigador estadounidense. Este método empírico, se basa en la realización de estudios experimentales sistemáticos con formas prismáticas en régimen de planeo. Mediante su aplicación se puede estimar la resistencia al avance, por lo que se obtendrá la potencia necesaria de la embarcación.

En la siguiente figura se puede ver como en la situación de navegación, la embarcación está en un sutil equilibrio de fuerzas y momentos, con cierto ángulo de trimado dinámico, τ .

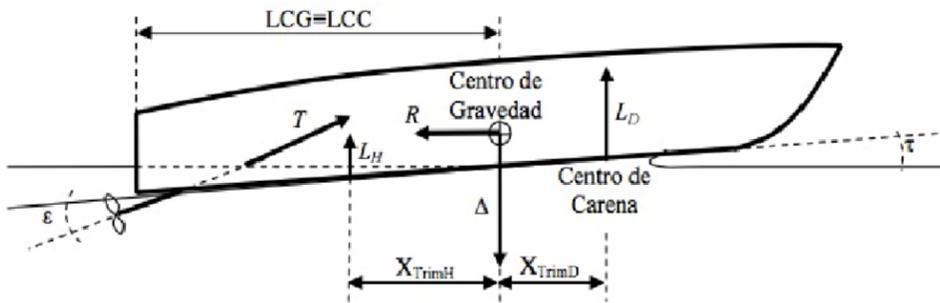


Figura E.1: Sistema de fuerzas que actúa sobre una embarcación planeadora.
Fuente: Tomado de [131]

Las fuerzas que actúan son: el empuje de la hélice T , que forma un ángulo sobre la línea de quilla, la resistencia al avance R , la sustentación L y el desplazamiento Δ . De los valores de estas fuerzas dependerá el equilibrio de la embarcación, su resistencia al avance y su empuje. El método de Savitsky se basa en el cálculo del equilibrio de la embarcación mediante la estimación de dichas componentes.

A continuación se detalla el proceso a seguir para el cálculo.

Se definen primero los siguientes parámetros.

- V : velocidad [m/s]
- g : aceleración de la gravedad [m/s²]
- b : manga máxima [m]
- m_{LDC} : peso de la embarcación en condición de máxima carga [kg]
- ρ : densidad del agua [kg/m³]
- β : ángulo de astilla muerta [°]

- τ : ángulo de trimado [°]
- λ : relación eslora-manga mojada [LW/b]
- v : velocidad cinemática [m²/s]
- VCG: distancia vertical entre la quilla y el centro de gravedad [m]
- LCG: distancia longitudinal entre la perpendicular de popa y el centro de gravedad [m]

1. Calcular el coeficiente de velocidad, C_v .

$$C_v = \frac{v}{g * b} \quad (\text{E.1})$$

2. Calcular el coeficiente de sustentación para una placa plana $C_{L_o,flat}$

$$C_{L_o,flat} = \frac{m * g}{0,5 * \rho * v^2 * b^2} \quad (\text{E.2})$$

3. Mediante la siguiente fórmula se estudia la relación entre el coeficiente de sustentación, C_{L_o} , y el coeficiente de sustentación de una placa con cierto ángulo de astilla muerta, $C_{L\beta}$

$$C_{L\beta} = C_{L_o} - 0,0065 * \beta * (C_{L_o})^{0,6} \quad (\text{E.3})$$

Para realizar el cálculo anterior, primero se debe calcular el valor del coeficiente de sustentación, C_{L_o} . Inicialmente, se estimará un valor de λ .

$$C_{L_o} = \tau^{1,1} * (0,012 * \lambda^{0,5} + 0,0055 * \frac{\lambda^{2,5}}{(C_v)^2}) \quad (\text{E.4})$$

4. Calcular la eslora mojada, L_w .

$$L_w = \lambda * b \quad (\text{E.5})$$

5. Calcular el número de Reynolds, R_n .

$$v=1 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$R_n = \frac{v * 0,7 * L_w}{v} \quad (\text{E.6})$$

6. Calcular el coeficiente de fricción, C_f .

$$C_f = \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2} \quad (\text{E.7})$$

7. Calcular la resistencia por fricción, R_f . Ésta, depende del incremento de λ ($\Delta\lambda$), que a su vez depende del ángulo de astilla muerta y el trimado. Según Larsson y Eliasson, esta relación se obtiene a partir de la siguiente tabla.

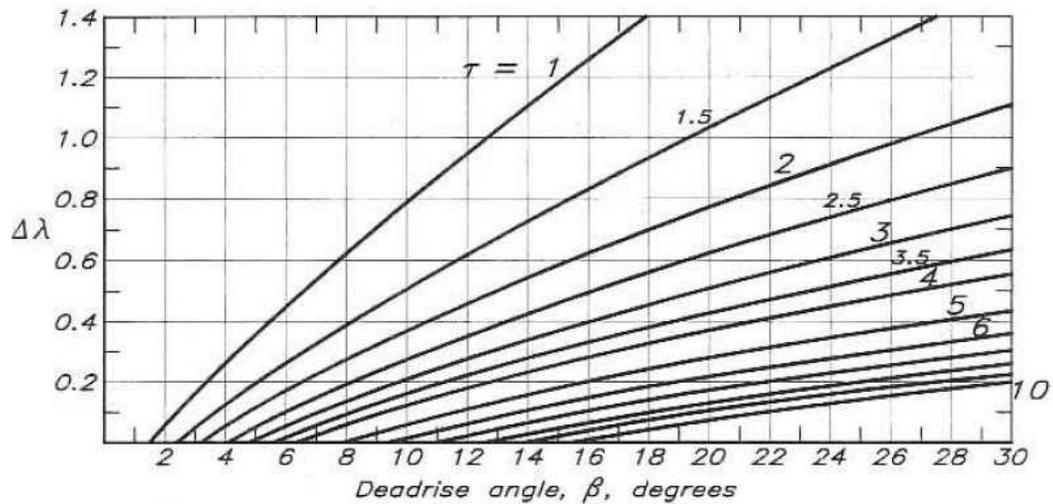


Figura E.2: Relación incremento de la relación eslora-manga mojada, trimado, ángulo de astilla muerta.

Fuente: Tomado de [131]

$$R_f = C_f * 0,5 * \rho * v^2 * \left(\lambda + \Delta\lambda * \frac{b^2}{\cos\beta} \right) \quad (E.8)$$

8. Calcular la distancia vertical entre la dirección de la resistencia friccional y el centro de gravedad, ff .

$$ff = VCG - \frac{b}{4} * \tan\beta \quad (E.9)$$

9. Calcular la distancia longitudinal entre la perpendicular de proa y el punto dónde se producen las presiones, L_{CP} .

$$L_{CP} = L_w * \left(0,75 * \frac{1}{\frac{5,21 * (C_w)^2}{\lambda^2} + 2,39} \right) \quad (E.10)$$

10. Calcular el brazo e , que es la relación entre el LCG y el L_{CP} .

$$e = LCG - L_{CP} \quad (E.11)$$

11. Calcular el momento ejercido por la presión del agua sobre la embarcación, M_h .

$$M_h = g * m * \left[\frac{e * \cos(\tau + \varepsilon)}{\cos\varepsilon} - f * \frac{\sin\tau}{\cos\varepsilon} \right] \quad (\text{E.12})$$

12. Calcular el momento ejercido por la resistencia de fricción, M_f .

$$M_f = R_f * \left[f * e - e * \tan\varepsilon - \frac{f}{\cos\varepsilon} \right] \quad (\text{E.13})$$

13. Suma de momentos, M .

$$M = M_h + M_f \quad (\text{E.14})$$

14. Calcular la resistencia, R , mediante las siguientes interpolaciones para obtener el valor de τ_0 y R_{fo}

$$\tau_0 = \tau_1 - \frac{M_1 * (\tau_1 - \tau_2)}{M_2 - M_1} \quad (\text{E.15})$$

$$R_{fo} = R_{f1} + \frac{R_{f2} - R_{f1}}{\tau_2 - \tau_1} * (\tau_0 - \tau_1) \quad (\text{E.16})$$

$$R = [g * m * \sin\tau_0 + R_{fo}] * \frac{\cos(\tau_0 - \varepsilon)}{\cos\varepsilon} \quad (\text{E.17})$$

15. Calcular la potencia necesaria estimada, P_E .

$$P_E = V * R \quad (\text{E.18})$$

E.2. Método de Holtrop

Según Hughes, la resistencia al avance se calcula mediante la ITCC-57.

$$R_T = R_V + R_{AP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (\text{E.19})$$

donde:

- R_T = Resistencia total.
- R_V = Resistencia viscosa.
- R_{AP} = Resistencia de los apéndices.
- R_W = Resistencia por formación de olas.
- R_B = Resistencia de presión producida por el bulbo.

- R_{TR} = Resistencia de presión de las popas de estampa cuando están sumergidas.
- R_A = Resistencia debida al coeficiente de correlación modelo-buque, C_A .

Resistencia viscosa, R_V :

$$R_V = \frac{1}{2}\rho SV^2 C_F(1 + K_1) \quad (\text{E.20})$$

donde C_F es el coeficiente de resistencia de fricción del buque según la ITTC-57.

$$C_F = \frac{0,075}{(\log(R_n) - 2)^2} \quad (\text{E.21})$$

El valor de $(1+K_1)$ se obtiene con la siguiente expresión obtenida estadísticamente:

$$(1 + K_1) = 0,93 + 0,487118 \left(\frac{B}{L_F}\right)^{1,06806} \left(\frac{T}{L_F}\right)^{0,46106} \left(\frac{L_F}{L_R}\right)^{0,121563} \left(\frac{L_F^3}{\nabla}\right)^{1,06806} (1 - C_P)^{-0,604247} \quad (\text{E.22})$$

donde:

$$\frac{L_F}{L_R} = 1 - C_P + \frac{0,06C_P lcb}{4C_P - 1} \quad (\text{E.23})$$

El valor de C_P es el coeficiente prismático correspondiente a la eslora en la flotación, y el valor de lcb es la posición longitudinal del centro de carena a partir de la sección media como un porcentaje de L_F , y su valor será positivo a proa de la sección media.

En cuanto a las formas de la popa, éstas se incluyen mediante el coeficiente C_{14} :

$$C_{14} = 1 + 0,011C_{STERN} \quad (\text{E.24})$$

donde C_{STERN} puede tener los valores que se muestran en la siguiente tabla:

C_{STERN}	Tipo de popa
25	Popas tipo góndola
-10	Cuadernas en V
0	Cuadernas normales
10	Cuadernas en U con popa Hogner

Tabla E.1: Valor de C_{STERN}
Fuente: Tomado de [135]

El valor de la superficie mojada se puede estimar si éste no se conoce mediante la siguiente expresión:

$$S = L(2T + B)C_M^{0,5}8(0,453 + 0,4425C_B - 02862C_M - 0,00367\frac{B}{T}0,3696C_F) + 2,38\frac{A_{BT}}{C_B} \quad (\text{E.25})$$

Resistencia de los apéndices, R_{AP} :

$$R_{AP} = \frac{1}{2}\rho S_{AP}V^2C_F(1 + K_2)_{eq} \quad (\text{E.26})$$

El valor de $(1 + K_2)_{eq}$ se obtiene de la siguiente expresión:

$$(1 + K_2)_{eq} = \frac{\sum s_i(1 + K_2)_i}{\sum S_i} \quad (\text{E.27})$$

donde: S_i es la superficie mojada de cada apéndice. $(1 + k_2)_i$ es el valor de $(1 + k_2)$ de cada apéndice.

Los valores típicos de $(1 + k_2)$ para varios tipos de apéndices, se pueden mostrar en la tabla E.2.

Tipo de apéndice	$(1 + k_2)$
Timón buque 1 hélice	1,3 a 1,5
Timón buque 2 hélices	2,8
Timón y quillote	1,5 a 2,0
Quillote solo	1,5 a 2,0
Arbotantes	3,0
Henchimientos protectores	3,0
Henchimientos integrados	2,0
Ejes	2,0 a 4,0
Aletas Estabilizadoras	2,8
Domo	2,7
Quillas de balance	1,4

Tabla E.2: Valores de $(1 + k_2)$ para los diferentes apéndices
Fuente: Tomado de [135]

Resistencia por formación de olas, R_W :

Para $Fn \leq 0,4$:

$$R_W = \rho g \nabla C_1 C_2 C_5^{m_1 Fn^d + m_2 \cos(\lambda Fn^{-2})} \quad (\text{E.28})$$

$$C_1 = 2223105 C_7^{3,78613} \left(\frac{T}{B}\right)^{1,07961} (90 - i_E)^{-1,37565} \quad (\text{E.29})$$

donde i_E es el semi ángulo de entrada en la flotación, en grados. Se puede utilizar la siguiente fórmula estimativa, si se desconoce este dato:

$$i_E = 1 + 89e^{(-\frac{L_F}{B})^{0,80856}(1-C_F)^{0,30484}(1-C_P-0,0225lcb)^{0,6367}(\frac{L_B}{B})^{0,34574}(\frac{100\nabla}{L_F^3})^{0,16302}} \quad (\text{E.30})$$

C_7 se obtiene con una de las siguientes expresiones:

- Para $\frac{B}{L_F} < 0,11$

$$C_7 = 0,229577\left(\frac{B}{L_F}\right)^{0,33333} \quad (\text{E.31})$$

- Para $0,11 \leq \frac{B}{L_F} \leq 0,25$

$$C_7 = \frac{B}{L_F} \quad (\text{E.32})$$

- Para $\frac{B}{L_F} > 0,25$

$$C_7 = 0,5 - 0,0625\frac{L_F}{B} \quad (\text{E.33})$$

$$d = -0,9 \quad (\text{E.34})$$

$$C_2 = e^{-1,89\sqrt{c_3}} \quad (\text{E.35})$$

$$C_3 = \frac{0,56A_{BT}^{1,5}}{BT(0,31\sqrt{A_{BT}} + T_{PR} - h_B)} \quad (\text{E.36})$$

$$C_5 = 1 - \frac{0,8A_{TR}}{BT_m C_M} \quad (\text{E.37})$$

$$m_1 = 0,014047\frac{L_F}{T} - \frac{1,75254\nabla^{\frac{1}{3}}}{L_F} - 4,79323\frac{B}{L_F} - C_{16} \quad (\text{E.38})$$

donde C_{16} y C_{15} se calculan de la siguiente manera:

- Para $C_P \leq 0,8$

$$C_{16} = 8,07981C_P - 13,673C_P^2 + 6,984388C_P^3 \quad (\text{E.39})$$

- Para $C_P > 0,8$

$$C_{16} = 1,73014 - 0,7067C_P \quad (\text{E.40})$$

$$m_2 = C_{15}C_P 0,4e^{-0,1Fn^2} \quad (\text{E.41})$$

- Para $L_F^3 \leq 512$

$$C_{15} = -1,69385 \quad (\text{E.42})$$

- Para $512 \leq L_F^3 \leq 1727$

$$C_{15} = -1,69385 + (L_F \nabla^{\frac{1}{3}} - 8/2, 36) \quad (\text{E.43})$$

- Para $L_F^3 > 1727$

$$C_{15} = 0 \quad (\text{E.44})$$

- Para $\frac{L_F}{B} \leq 12$

$$\lambda = 1,446C_P - \frac{0,03L_F}{B} \quad (\text{E.45})$$

- Para $\frac{L_F}{B} > 12$

$$\lambda = 1,446C_P - 0,36 \quad (\text{E.46})$$

Para $Fn > 0,55$:

$$R_W = \rho g \nabla C_{17}C_2C_5^{m_3Fn^d+m_4 \cos(\lambda Fn^{-2})} \quad (\text{E.47})$$

$$C_{17} = 6919,3C_M^{-1,3346} \left(\frac{\nabla}{L_F^3}\right)^{2,00977} \left(\frac{L_F}{B} - 2\right)^{1,40692} \quad (\text{E.48})$$

$$m_3 = -7,2035 \left(\frac{B}{L_F}\right)^{0,326869} \left(\frac{T}{B}\right)^{0,605375} \quad (\text{E.49})$$

$$m_4 = C_{15} 0,4e^{-0,034Fn^{-3,29}} \quad (\text{E.50})$$

Para $0,4 < Fn > 0,55$:

$$R_W = R_{W-04} + (10Fn - 4) \frac{R_{W-055} - R_{W-044}}{1,5} \quad (\text{E.51})$$

Resistencia de presión producida por el bulbo cerca de la flotación, R_B :

Esta resistencia se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_B = 0,11e^{-3P_B^{-2}} \frac{Fn_i^{-2} A_{BT}^{1,5} \rho g}{1 + Fn_i^2} \quad (\text{E.52})$$

donde P_B es un coeficiente que corresponde a la parte que emerge de la proa y Fn_i es el número de Froude referido a la inmersión:

$$P_B = \frac{0,56\sqrt{A_{BT}}}{TT_{PR} - 1,5h_B} \quad (\text{E.53})$$

$$Fn_i = \frac{V}{\sqrt{g(T_{PR} - h_B - 0,25\sqrt{A_{BT}}) + 0,15V^2}} \quad (\text{E.54})$$

Resistencia adicional debida a la inmersión del espejo, R_{TR} :

De la misma forma, la presión debida a la parte sumergida de la estampa, se calcula mediante:

$$R_{TR} = \frac{1}{2}\rho V^2 A_{TR} C_6 \quad (\text{E.55})$$

donde C_6 está relacionado con el número de Froude referido al área sumergida de la estampa:

- Para $Fn_{NT} < 5$

$$C_6 = 0,2(1 - 0,2Fn_{NT}) \quad (\text{E.56})$$

- Para $Fn_{NT} \geq 5$

$$C_6 = 0 \quad (\text{E.57})$$

$$Fn_{NT} = \frac{V}{\sqrt{\frac{2gA_{TR}}{B+BC_F}}} \quad (\text{E.58})$$

Resistencia debida a la correlación modelo-buque, R_A

Este valor tiene en cuenta la diferencia de comportamiento entre el buque real en la mar y el modelo en el canal, además de la rugosidad del casco y la resistencia del aire.

$$R_A = \frac{1}{2}\rho SV^2 C_A \quad (\text{E.59})$$

C_A es, por lo tanto, el coeficiente de correlación modelo buque, el cual, para condiciones ideales de pruebas y una rugosidad del casco de $150 \mu m$, este se puede estimar mediante:

$$C_A = 0,006(L_F + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003\left(\frac{L_F}{7,5}\right)^{0,5} C_B^4 C_2(0,04 - C_4) \quad (\text{E.60})$$

$$C_2 = e^{-1,89} \sqrt{C_3} \quad (\text{E.61})$$

$$C_3 = 1 - \frac{0,8A_{TR}}{BT_m C_M} \quad (\text{E.62})$$

- Para $C_4 = \frac{T_{PR}}{L_F} \leq 0,04$

$$C_4 = \frac{T_{PR}}{L_F} \quad (\text{E.63})$$

- Para $C_4 = \frac{T_{PR}}{L_F} > 0,04$

$$C_4 = 0,04 \quad (\text{E.64})$$

Para rugosidades mayores de $150\mu m$, se utilizará la fórmula:

$$\Delta C_A = \frac{0,105(K_S)^{1/3} - 0,05579}{L_F^{1/3}} \quad (\text{E.65})$$

Anexo F: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Universidad
del Cauca

ECONAVIPESCA DEL PACIFICO: ECOSISTEMA PARA LA NAVEGACIÓN
PESQUERA SOSTENIBLE EN EL MUNICIPIO DE GUAPI, CAUCA

Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas

"Este proyecto es financiado por la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo, en co-creación con tres organizaciones de pescadores locales, la Universidad del Cauca, la Universidad Nacional de Colombia (sedes Medellín y Palmira) y las universidades Lund y KTH de Suecia."



EMBASSY OF SWEDEN

1

Figura F.1: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-1.
Fuente: Elaboración propia

Presentación

Este proyecto propone el diseño e implementación de un modelo sustentable asociado a la cadena de valor de la pesca artesanal en Guapi, que incluye el diseño tanto de una embarcación híbrida como de la cadena de valor y modelo de gestión socio-empresarial. Se propone el sistema de propulsión de la embarcación mediante el uso de fuentes de energía renovables con el objetivo de mejorar la rentabilidad de el negocio pesquero y la reducción del impacto ambiental generado por el actual sistema de combustibles fósiles, y la implementación de un sistema de telecomunicaciones para mejorar la seguridad durante las travesías de pesca de altura. Paralelamente, es igualmente importante en esta propuesta para generar estrategias de empoderamiento de las organizaciones de pescadores artesanales participantes con respecto al modelo y gestión del negocio pesquero, desarrollando una mentalidad de autoeficacia y productividad emprendimiento en la comunidad local. Como parte de la solución sostenible, se diseñó y elaboró esta cartilla que facilita la comprensión y recordación a la comunidad para que la solución energética sea técnica, ambiental y socialmente sostenible.

Figura F.2: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-2.
Fuente: Elaboración propia

Contenido

La Energía	1
De donde se obtiene la energía	2
Qué podemos hacer con la energía	3
Cómo debemos manejar la energía	4
Qué cuidados debemos tener	5

Figura F.3: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-3.
Fuente: Elaboración propia

La Energía

La energía no se crea, ni se destruye, se Transforma, por eso tiene la capacidad de hacer muchos trabajos, desde obtener luz hasta mover grandes cantidades de tierra. La energía esta en todas partes, en el cuerpo, en donde los alimentos se transforman para realizar muchas actividades; en el sol, el cual nos da calor y hacer posible que las plantas crezcan; en el viento, que es capaz de mover las velas de los barcos; en las plantas, que transformadas nos dan biocombustibles capaces de mover máquinas o dar calor; en el mar, que además de alimento tiene la fuerza para mover grandes máquinas; y en el agua, con la que se obtiene la fuerza necesaria para mover las turbinas y con estas tener energía eléctrica; además de otras que provienen del petróleo como el diésel, la gasolina y el kerosene, y otras no tan conocidas, todas estas nos permiten obtener luz, calor, y fuerza.

Cuando se habla del sol, el viento, el agua, se habla de fuentes energéticas renovables, y se llaman así porque la naturaleza las renueva constantemente, pero hay otras fuentes conocidas como no renovables, que no renueva la naturaleza, como el petróleo, el carbón, o el gas natural, estas se agotan y en muchos casos afectan negativamente los suelos, el agua, los animales, y a nosotros mismos.

4

Figura F.4: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-4.
Fuente: Elaboración propia

De donde se obtiene la energía

La energía se obtiene de las fuentes, las cuales como ya se dio, pueden ser renovables o no renovables, a continuación se mostraran las fuentes de energía disponibles en nuestro planeta:

Fuentes Renovables

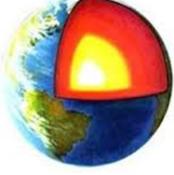
		
<p style="text-align: center;">El Sol</p> <p>Es la principal fuente energética renovable, pues es muy abundante y no tiene costo, ampliamente usada por el hombre, pues sirve para iluminar, calentar, y ahora para generar electricidad.</p>	<p style="text-align: center;">El Viento</p> <p>La fuerza del viento se ha empleado hace siglos, ya que ésta permite realizar acciones mecánicas que requieren mucha fuerza, como el movimiento de barcos o de molinos para bombeo de agua o molienda de granos. La energía del viento se llama <i>Eólica</i>.</p>	<p style="text-align: center;">La Biomasa</p> <p>Muy abundante en la naturaleza, pues la biomasa proviene de las plantas, los residuos animales y de cultivos, residuos orgánicos o de procesos. La biomasa permite obtener <i>biocombustibles</i> líquidos, como el biodiesel; sólidos, como la leña; o gaseosos como el biogás.</p>

5

Figura F.5: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-5.
Fuente: Elaboración propia

De donde se obtiene la energía

Fuentes Renovables

		
<p>La Tierra</p> <p>Nuestro planeta, en sus capas internas, tiene almacenada energía térmica, la cual es conocida como Geotermia. Esta energía aprovecha aguas subterráneas y cámaras de vapor, cuya temperatura depende de la profundidad. Se usa para calefacción de edificios, casas, y otros, así como para generar energía eléctrica.</p>	<p>El Océano</p> <p>El planeta está cubierto por 3/4 de agua, siendo la de mayor cantidad la encontrada en los mares y océanos. La fuerza del océano recibe diferentes nombres dependiendo de lo que se aproveche, si se aprovechan la fuerza de las olas se llama Undimotriz; si se aprovechan las mareas se nombra como Mareomotriz; cuando se usa la diferencia de temperatura de la superficie y el fondo del océano se llama Gradiente Térmica, y si se usa la cantidad de sal que tiene se conoce como Gradiente Salino.</p>	<p>Los Ríos</p> <p>El agua dulce de los ríos se aprovecha para obtener electricidad o acciones mecánicas. La caída de los ríos y su caudal permiten generar grandes cantidades de electricidad, pero también hay cantidades menores que se obtienen con bajos caudales y bajas caídas, a estas se les conoce como Pequeñas Centrales Eléctricas o PCH, y se instalan en localidades pequeñas.</p>

6

Figura F.6: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-6.
Fuente: Elaboración propia

De donde se obtiene la energía

Fuentes No Renovables

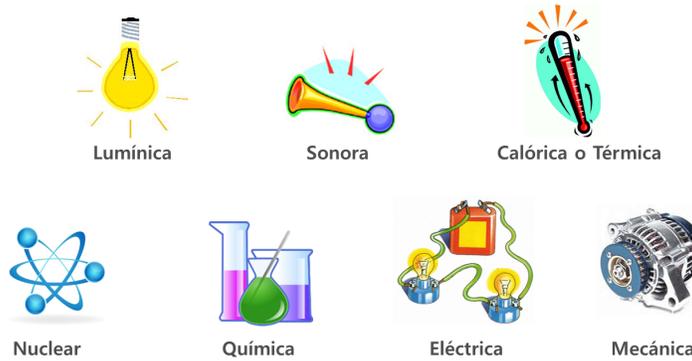
		
<p>El Carbón Mineral</p> <p>Fuente no renovable con excelente capacidad térmica, por lo cual es muy usado en procesos de combustión para procesos industriales, y obtención de electricidad. Con altas emisiones es una fuente que requiere de tecnologías limpias que reduzcan la producción de dióxido de carbono.</p>	<p>El Petróleo</p> <p>El petróleo tiene muchísimas aplicaciones industriales y químicas, produciendo plásticos, gasolina, diésel, y otros combustibles que son conocidos como combustibles fósil. Los derivados del petróleo más usados para obtener electricidad son gasolina, diésel, y fuel oil. Presenta los mismos problemas ambientales del carbón, además de afectaciones en agua y suelos cuando hay derrames.</p>	<p>El Gas Natural</p> <p>Este recurso energético es extraído de la tierra, igual que el petróleo, su mayor eficiencia como fuente está en el uso térmico de allí que sea muy empleado en cocción, para lo cual se transporta en cilindros especiales. Desde hace unos años este gas se usa para mover vehículos de transporte, debido a que de los energéticos no renovables es el que menor afectaciones ambientales presenta.</p>

7

Figura F.7: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-7.
Fuente: Elaboración propia

Qué podemos hacer con la energía

La energía puede ser aprovechada de diferentes formas, siendo las más conocidas las siguientes:



8

Figura F.8: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-8.
Fuente: Elaboración propia

Qué podemos hacer con la energía

A partir de esos usos, nosotros podemos aprovechar la energía para:

<p>Cocción</p> <p>Uno de los usos principales y básicos para la subsistencia humana, este proceso permite cocer alimentos y purificar agua. La cocción es altamente eficiente dado que su aprovechamiento es netamente térmico, de allí que el gas natural, la leña, y el biogás sean ampliamente empleados</p>	<p>Refrigeración</p> <p>Complementario a la cocción de alimentos esta la refrigeración y congelación de alimentos, con este proceso térmico se busca conservar por mayor tiempo los alimentos perecederos, como la carne, frutas, o alimentos procesados. La energía que se usa ampliamente para este proceso es la eléctrica, sin embargo desde hace algunos años se encuentran refrigeradores que funcionan con gas natural.</p>	<p>Iluminación</p> <p>Una de las necesidades humanas más importantes, ya que ofrece seguridad y permite realizar tareas nocturnas. La iluminación ha cambiado desde sus orígenes como aprovechamiento, pues ha pasado de las antorchas a los LED. En la actualidad es uno de los consumos eléctricos de mayor importancia ya que además de iluminación, en algunos casos se usa para aumentar el calor, como el caso de la incubación de animales.</p>

9

Figura F.9: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-9.
Fuente: Elaboración propia

Qué podemos hacer con la energía

		
<p style="text-align: center;">Ventilación</p> <p>En regiones cálidas, este proceso es ampliamente usado, ya que permite reducir la temperatura y generar comodidad en los diferentes lugares donde se instala. Los sistemas de refrigeración ha evolucionado en las últimas década, encontrándose desde ventiladores eléctricos hasta sistemas de aire sistemáticos que enfrían el aire de forma controlada y de acuerdo a las áreas de servicio. La energía eléctrica es la más usada en estos dispositivos.</p>	<p style="text-align: center;">Electrodomésticos</p> <p>En la actualidad se encuentra una amplia gama de dispositivos eléctricos que dan comodidad y mejoran las actividades cotidianas, así como ofrecer entretenimiento, como el televisor, el radio, la lavadora, la licuadora, la plancha, y otros, que facilitan muchas actividades que se realizan manualmente. Dado el nombre, su principal energía es la eléctrica, sin embargo, se encuentran algunos electrodomésticos con gas natural, como lavadoras y secadoras.</p>	<p style="text-align: center;">Fuerza</p> <p>Gracias a los descubrimientos termodinámicos y electromagnéticos, la energía térmica o eléctrica se puede convertir en fuerza, a los dispositivos que hacen esto posible se conocen como motores, los cuales son muy usados para mover o transportar pesos grandes, para transportarse como los motores fuera de borda y los vehículos. Estos equipos facilitan el trabajo pesado y han contribuido al desarrollo de industrias, construcción, y transporte, entre otros.</p>

10

Figura F.10: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-10.
Fuente: Elaboración propia

Cómo debemos manejar la energía

El Uso Racional y Eficiente de la Energía conocido como URE, son todas esas acciones que hacen posible un mejor uso de la energía, optimizándola y sin desperdiciarla, empleando la menor la cantidad posible.

Cuando se ahorra energía, se contribuye a:



- Reducir los consumos energéticos, por lo cual se puede aprovechar mejor las fuentes energéticas.
- Disminuir la contaminación ambiental, ya que se disminuyen las emisiones de dióxido de carbono.
- Hacer un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos naturales reduciendo el uso de los recursos no renovables.
- Lograr una mejor prestación del servicio de energía, ya que permite que quien suministra el servicio lo haga de forma confiable y con calidad.

11

Figura F.11: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-11.
Fuente: Elaboración propia

Cómo debemos manejar la energía

Cuando refrigeramos o congelamos:



Cubrir los alimentos sólidos y líquidos, los alimentos descubiertos liberan humedad, lo que produce que el refrigerador utilice más energía.

Mantener el congelador lo más lleno posible, ya que los alimentos que ya están congelados ayudan a conservar el frío reduciéndose el consumo de energía.

Cuando se forme escarcha en el congelador, descongélelo. Revise las indicaciones del fabricante para ejecutar este procedimiento.

Nunca llevar al refrigerador o congelador las comidas calientes, se debe esperar a que se hayan enfriado y estén a temperatura ambiente para llevarlo a refrigeración o congelación.

Mantener cerrada la puerta de la nevera o congelador, solo abrir cuando sea necesario, evite realizar aperturas y cierres permanentes pues se pierde la temperatura de conservación y con esta energía.

12

Figura F.12: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-12.
Fuente: Elaboración propia

Cómo debemos manejar la energía

Cuando refrigeramos o congelamos:



Regular la temperatura de la nevera según las instrucciones del fabricante.

Mantener la parte trasera de las neveras y congeladores limpia, ventilada y lejos de fuentes de calor o de humedad.

Seguir las instrucciones del fabricante para el mantenimiento de los refrigeradores y congeladores.

Evitar sobrecargar los refrigeradores o congeladores debido a que el aire no pueda circular alrededor de la comida y no cumplen su función de mantener los alimentos adecuadamente.

Revisar los imanes de las puertas ya que con el tiempo estos se pueden deteriorar. Se recomienda verificar el desgaste de los imanes colocando un papel entre la puerta y el refrigerador, es decir que al cerrar la puerta del refrigerador saldrá una parte del papel, si puede mover con facilidad el papel, entonces el imán no está sellando de forma adecuada.

13

Figura F.13: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-13.
Fuente: Elaboración propia

Cómo debemos manejar la energía

Cuando iluminamos:



Abrir las ventanas para aprovechar la luz natural siempre que pueda.

Utilizar sólo la energía necesaria, cuando no haya nadie en una habitación o recinto se debe apagar las luces.

Encender sólo las luces que realmente se necesitan.

Limpiar con cierta frecuencia las lámparas y bombillos, eso ayuda a alargar su vida útil.

Cuando usamos equipos eléctricos o electrónicos:



Mantener los equipos desconectados, conectar únicamente cuando se van a usar.

Revisar periódicamente el estado de estos equipos, evitando que los enchufes se oxiden o los cables estén sueltos, ya que provocaría un corto.

14

Figura F.14: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-14.
Fuente: Elaboración propia

Qué cuidados debemos tener



Por ningún motivo se suba a los paneles solares, elementos o equipos eléctricos, ni permita que sus hijos lo hagan.

Bajo ninguna circunstancia toque cables de energía que estén caídos.

No realice trabajos cerca como pintar paredes, podar los árboles, etc, de los paneles solares, tableros, o redes eléctricas expuestas.

No corte árboles que puedan caer sobre los paneles solares. Esta labor la deben realizar personas autorizadas y capacitadas.

Revise periódicamente el estado de las instalaciones internas y los aparatos eléctricos.

Nunca manipule un aparato eléctrico que esté conectado o que vaya a conectar, cuando su cuerpo está húmedo, mojado o tenga contacto con el agua.

15

Figura F.15: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-15.
Fuente: Elaboración propia

Qué cuidados debemos tener



Algunos aparatos eléctricos, como los televisores, almacenan energía cuando se desconectan, lo que puede ser peligroso manipularlos internamente, deje que un técnico lo haga.

Siempre que vaya a realizar trabajos con las redes eléctricas interna suspenda el servicio de energía eléctrica desconectando los interruptores automáticos o fusibles que están en los tableros.

No haga nunca instalaciones provisionales, ni recargue las tomas eléctricas, tampoco hale los cables para desconectarlos.



Si requiere de una reparación eléctrica asesórese y deje que la persona capacitada la realice, no la usted mismo.

En caso de presentarse un accidente eléctrico, procure no tocar a la víctima hasta no aislar la fuente eléctrica o falla eléctrica que causó el accidente. Luego verifique signos vitales y diríjase al centro de salud mas cercano.

16

Figura F.16: Cartilla para uso racional de energía en zonas aisladas. pg-16.
Fuente: Elaboración propia