

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
Programa de Doctorado en Ingeniería Energía



**Efectividad de un sistema energético híbrido basado en
recursos renovables en la sostenibilidad energética de la
acuicultura continental peruana.**

**Tesis para optar el grado de
Doctor en Ingeniería en Energía**

Autor:

Mg. Rojas Flores, Amancio Ramiro
Código ORCID: 0000-0003-4897-7585
DNI. N° 32806031

Asesor:

Dr. Saldaña Rojas, Guillermo Belisario
Código ORCID: 0000-0003-4877-1165
DNI. N° 18114311

Línea de investigación
Energía renovable

Nuevo Chimbote - PERÚ
2025

HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

Yo, **Saldaña Rojas, Guillermo Belisario**, mediante la presente doy conformidad de mi asesoramiento de la tesis doctoral titulada: **Efectividad de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana**, elaborado por el **Mg. Rojas Flores, Amancio Ramiro**, de acuerdo con el Reglamento general de grados y títulos, para obtener el grado de **Doctor en Ingeniería en Energía**, en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa

Nuevo Chimbote, junio del 2025



Dr. Saldaña Rojas, Guillermo Belisario
Asesor

Código ORCID: 0000-0003-4877-1165
DNI N.º 18114311

AVAL DEL JURADO EVALUADOR

Tesis doctoral titulada: **Efectividad de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana** elaborado por el Mg. Rojas Flores, Amancio Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:



Dr. Luján Guevara, Gilmer Juan
Presidente
DNI: 32823443
ORCID: 0000-0003-4619-3795



Dr. Gualberto Antenor, Mariños Castillo
Secretario
DNI: 17890841
ORCID 0000-0001-7514-9908



Dr. Saldaña Rojas, Guillermo Belisario
Vocal/Asesor
DNI: 18114311
Código ORCID: 0000-0003-4877-1165



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los diecisiete días del mes de junio del año 2025, siendo las 11:30 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 420-2025-EPG-UNS de fecha 01.04.2025, conformado por los docentes: Dr. Gilmer Juan Lujan Guevara (Presidente), Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo (Secretario) y Dr. Guillermo Belisario Saldaña Rojas (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada: "**EFFECTIVIDAD DE UN SISTEMA ENERGÉTICO HIBRIDO BASADO EN RECURSOS RENOVABLES EN LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA DE LA ACUICULTURA CONTINENTAL PERUANA**"; presentado por el tesista **Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores**, egresado del programa de Doctorado en Ingeniería en Energía.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 552-2025-EPG-UNS de fecha 09 de junio de 2025 y reprogramada con Resolución Directoral N° 574-2025-EPG-UNS de fecha 12 de junio de 2025.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de DIECINUEVE (19)

Siendo las 12:30 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Dr. Gilmer Juan Lujan Guevara
Presidente

Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo
Secretario

Dr. Guillermo Belisario Saldaña Rojas
Vocal/Asesor



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Amancio Rojas
Título del ejercicio:	Informe de tesis
Título de la entrega:	"Efectividad de un sistema energético híbrido basado en recur...
Nombre del archivo:	Cuerpo_TESIS.docx
Tamaño del archivo:	5.01M
Total páginas:	166
Total de palabras:	35,484
Total de caracteres:	205,424
Fecha de entrega:	04-mar.-2025 05:30p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2605409653

INTRODUCCIÓN

La energía puede existir en diferentes formas y pasa por una serie de pasos de conversión entre su fuente y su uso final. La energía primaria se define como la energía que se puede extraer directamente de los recursos naturales e incluye combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), energía nuclear y recursos de energía renovables (Wang & Azam, 2024). La energía primaria se puede convertir en formas más útiles. La energía secundaria es la energía que está lista para el transporte o la transmisión, mientras que la energía final se refiere a la energía que los usuarios finales compran o reciben. La energía útil se define como la energía utilizada como insumo en una aplicación de uso final (Hannah Ritchie, 2022). Los combustibles fósiles dominan actualmente el mercado energético y son causantes de cerca del 80% del suministro energético mundial (Puri et al 2023, p.18). Sin embargo, este tipo de recursos están disponibles en cantidades finitas y su agotamiento es motivo de preocupación. Además, su uso extensivo es responsable de más del 75 por ciento de las emisiones nocivas causadas por el hombre en los últimos 20 años (U.S Department of Energy, 2024).

Las fuentes de energía renovables han atraído cada vez más atención porque ofrecen una solución eficaz para reducir las emisiones de GEI y satisfacer la creciente demanda energética de manera sostenible (Hassan et al. 2024). El uso de energías renovables en lugar de combustibles fósiles presenta ventajas significativas, como una menor contaminación del aire y del agua, un fácil acceso a energía limpia para todos y un sistema energético en general más resiliente (Olabi et al. 2023). A pesar de sus importantes ventajas, los sistemas de energía renovable, como la eólica y la solar, tienen una producción eléctrica variable debido a la naturaleza fluctuante de sus recursos. Esto provoca escasez y excedentes de energía en escalas horarias y diarias, donde el sistema no logra satisfacer la demanda de electricidad o la supera y, por lo tanto, se desperdicia la electricidad adicional. Para equilibrar las cargas, minimizar las pérdidas y cubrir los requisitos de energía de manera eficiente, se requiere almacenar energía. El almacenamiento se refiere a las tecnologías que almacenan energía eléctrica y la liberan cuando más se necesita (Nyamathulla &, Dhananjayulu 2024) .

"Efectividad de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana"

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

riunet.upv.es

Fuente de Internet

1%

2

Submitted to Universidad Nacional del Santa

Trabajo del estudiante

1%

3

Francisco Javier Gómez González. "Diseño y optimización de un sistema híbrido renovable con gestión de la demanda y aplicaciones en península y modo isla", Universitat Politecnica de Valencia, 2020

Publicación

<1%

4

"Report of the Twelfth Session of the Sub-Committee on Aquaculture, Hermosillo, Mexico, 16–19 May 2023/Rapport de la douzième session du sous-Comité de l'Aquaculture, Hermosillo, Mexique, 16-19 mai 2023/Informe de la 12.ª reunión del subcomité de Acuicultura, Hermosillo, México, 16-19 de mayo de 2023", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2023

Publicación

<1%

5

repositorio.umsa.bo

Fuente de Internet

<1%

6

Submitted to Corporación Universitaria Minuto de Dios, UNIMINUTO

Trabajo del estudiante

<1%

7

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

www.fao.org

Fuente de Internet

<1%

repositorio.cepal.org

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con inmensa gratitud.
a la memoria de mis queridos padres
Manuel Rojas, Sabina Flores
y a mi hermano Josué Santiago

***Atentamente,
Amancio Ramiro Rojas Flores***

AGRADECIMIENTOS

.....
Al señor Dios todopoderoso, Fuente
inagotable de energía, luz y vida.
.....

.....
A mis seres queridos: Libertad, mis hijos Ruth y
David, me inspiran y comparten mi vida, mis
sueños y aspiraciones, toleran mi carácter día a
día, a todos ellos..... los amo.
.....

.....
Al Dr. Guillermo Saldaña, por su amistad
sincera y sus sabios consejos.
a mis condiscípulos del programa
Doctoral de mi querida y prospera UNS,
por compartir nuestros sueños.
.....

INDICE

Hoja de conformidad del asesor.....	ii
Aval del Jurado Evaluador.....	iii
Acta de sustentación.....	iv
Recibo Turnitin.....	xi
Reporte porcentual de Turnitin.....	xii
Índice general Índice de tablas.....	xiii
Índice de figuras.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción y formulación del problema.....	7
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo general	
1.2.2 Objetivo específico	
1.3 Formulación de la hipótesis.....	12
1.4. Justificación e importancia	13
1.5. Delimitación del estudio.....	14

II.MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.....	15
2.2 Marco conceptual	
2.2.1 Sistema Energético híbrido	23
2.2.2 Radiación solar	24
2.2.3 Tecnologías de conversión de energía solar.....	31
2.2.4 Energía eólica.	37
2.2.5 Estimaciones de producción de energía de aerogeneradores	41
2.2.6 Energía Hidráulica.....	42
2.2.7 Tecnologías energéticas basadas en recursos energéticos renovables (RER).....	43
2.2.8 Potencial de los recursos renovables en el Perú.....	45
2.2.9 Costo de la energía renovables.....	49
2.2.10 Sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana	50
2.2.11 Indicadores de sostenibilidad energética	52
2.2.12 Análisis de costo de la generación de energía.....	53
2.2.13 Equidad energética.....	56
2.2.14 Sostenibilidad ambiental	59
2.2.15 Sostenibilidad de la acuicultura continental peruana	63

III. METODOLOGÍA

3.1. Método	69
3.2. Diseño de investigación	70
3.3. Población y muestra	71
3.4. Operacionalización de variables	72
3.5. Técnica e instrumento de recolección de datos.....	73
3.6. Técnicas de análisis de resultado.	78

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Zonas de producción acuícola continental y los recursos energéticos renovables ...	79
4.1.1 Regiones de mayor de producción acuícola continental en el Perú	
4.1.2 Recursos energéticos renovables en las regiones de mayor producción acuícola	
4.2 Estado del uso de los energéticos en la producción acuícola	87
4.2.1 Uso de energía en la pesca y la acuicultura	
4.2.2 Estructura y uso de la energía a lo largo de la cadena de valor	
4.2.3 Uso de los recursos renovables en la acuicultura	
4.2.4. Especificaciones y costos de la tecnología	
4.3 Comparación cuantitativa de las energías renovables en sistemas híbridos modelos.	97
4.3.1.- Caracterización de la demanda de energía para granja modelo	
4.3.2.- Análisis de granja acuícola modelo en lugares de mayor producción	
4.3.2.1 Granja acuícola modelo en la región san Martin.	
4.3.2.2 Modelo, granja acuícola en la Región Piura	
4.4. Evaluación de viabilidad económica del sistema hibrido.	121
4.4.1 Análisis económico granja acuícola modelo en la Región san Martin.	
4.4.2 Análisis económico granja acuícola modelo en la Región Piura.	
4.5 Identificación de la efectividad en su componente de eficiencia, de un sistema energético hibrido basado en recursos renovables.....	133
4.5.1 Efectividad en acuícola modelo en la Región San Martin.	
4.5.2 Efectividad en acuícola modelo en la Región Piura	
4.6 Lineamientos para la utilización de un sistema hibrido basado en recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana.....	141

V.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VII.ANEXOS.....

Anexo 1 Potencial de energía en San Martin – Perú

Anexo 2 Potencial energético en Piura - Perú

Anexo 3 Sistemas más óptimos para 120kWh/día-LA San Martin- Perú

Anexo 4 Sistemas más óptimos para 120kWh/día-LI San Martin- Perú

Anexo 5 Sistemas más óptimos para 120kWh/día-LA Piura - Perú

Anexo 6 Sistemas más óptimos para 120kWh/día-LI Piura- Perú

Índice de Tablas

Tabla1 Paneles solares según la tecnología de fabricación	35
Tabla2 Tecnologías de sistemas electroquímicos	37
Tabla3 Potencial de los principales recursos renovables del Perú.....	45
Tabla4 Potencial hidroeléctrico técnico del Perú	48
Tabla5 Empleo Mundial para Piscicultores por región para años, 1995–2020.....	58
Tabla6 Recursos hidrobiológicos, actividad acuicultura-continental.....	64
Tabla7 Operacionalización de variables	72
Tabla8 Cosecha, actividad de acuicultura por ámbito Perú 2013-2022 (TM).....	77
Tabla9 Recursos hidrobiológicos, actividad acuicultura-continental.....	78
Tabla10 Descripción de la tilapia	80
Tabla11 Características de los sistemas productivos para el cultivo de Tilapia	
Tabla12 Potencial eólico (MW) en (100 m).....	81
Tabla13 Radiación solar en las zonas de estudio.	82
Tabla14 Potencial Hidroeléctrico Técnico del Perú	
Tabla15 Propuesta de tecnología renovable para el sistema híbrido.....	82
Tabla16 Sistemas acuícolas y consumos energéticos/tonelada de producción.....	88
Tabla17 Combustible equivalente por regiones/grupos de especies.....	89
Tabla18 Uso global de energía en la acuicultura por tipo de sistemas.....	90
Tabla19 Capacidad energética (kW/tonelada de producción)	
Tabla20 Capacidad de aireación instalada y uso de energía	91
Tabla21 Usos de energías renovables en la acuicultura.....	93
Tabla22 Costos de instalación, O&M para fuentes de energía renovable	94
Tabla23 Costos por tecnología y LCOE 2010 y 2022	
Tabla24 Demanda y energía requerida escenario 1	96
Tabla25 Demanda Energética, escenario 2	97
Tabla26 Parámetros principales del sistema propuesto-San Martin.....	100
Tabla27 Datos técnicos-económicos del HRES con almacenamiento LA.....	101
Tabla28 Resultados para los parámetros establecidos en E-1A	102
Tabla29 Arquitecturas óptimas E-1A	
Tabla30 Resultados para el caso del E-1B.....	102

Tabla31	Mejor arquitectura para el caso E-1B	103
Tabla32	Especificaciones técnicas-económicas HRES con almacenamiento LI	104
Tabla33	Respuesta de sensibilidad para almacenamiento LI	105
Tabla34	Arquitectura óptima usando baterías LI	
Tabla35	<i>Derechos otorgados por GORE PIURA-DRP para producción de Tilapia.</i>	106
Tabla36	Características del HRES propuesto. en la Región Piura.....	111
Tabla37	Especificación técnica-económica sistema HRES con almacenamiento LA .	112
Tabla38	Consecuencia del análisis de sensibilidad para E-1AP.	113
Tabla39	Arquitectura óptima para E-1AP	
Tabla40	Respuesta del análisis para E-1BP	114
Tabla41	Arquitectura de los sistemas E-1BP	
Tabla42	Especificación técnica-económica del HRES E-2P.....	115
Tabla43	Resultados del análisis E-2P	116
Tabla44	Las mejores Arquitecturas con los parámetros analizados para E-2P	
Tabla45	Costos del sistema HRES, E-1	
Tabla46	Arquitecturas óptimas caso analizado E-1	119
Tabla47	Resumen de costos del caso base y el sistema propuesto	120
Tabla48	Costos del sistema HRES, E-2 ^a	121
Tabla49	<i>Arquitecturas para caso analizado E-2A</i>	
Tabla50	Costos del caso base y el sistema propuesto E-2A	
Tabla51	Costos del sistema HRES, E-2B	122
Tabla52	<i>Arquitectura óptima, E-2B y caso base</i>	
Tabla53	Costos del caso base y el sistema propuesto E-2B	
Tabla54	Comparación Métricas económicas, propuestas en el escenario 2, San Martín.	123
Tabla55	Métricas económicas de escenarios analizados en la Región San Martín	
Tabla56	Costos del sistema HRES – E-1P	125
Tabla57	<i>Arquitectura óptima y caso base E-1P</i>	
Tabla58	Costos del caso base y el sistema propuesto E-1P	
Tabla59	Costos del sistema HRES E-2AP.....	126
Tabla60	<i>Arquitectura óptima frente al caso base E-2AP</i>	

Tabla61 Costos del caso base y el sistema propuesto E-2PA	
Tabla62 Costos del sistema HRES, E-2BP	127
Tabla63 <i>Mejor arquitectura del sistema HRES, E-2BP</i>	
Tabla64 Costos del caso base y el sistema propuesto E-2BP	
Tabla65 Comparacion de Metricas economicas propuestas en el escenario 2, Piura...	128
Tabla66 Métricas económicas de escenarios analizados en la Región Piura	129
Tabla67 Estudios recientes de HRES fotovoltaico/eólico.....	130
Tabla68 <i>HRES más eficientes para una demanda de 60kW/día</i>	<i>131</i>
Tabla69 <i>HRES más eficientes, almacenamiento convencional y 120kW/día.....</i>	<i>132</i>
Tabla70 <i>HRES más eficientes, almacenamiento LI y 120kW/día</i>	<i>133</i>
Tabla71 <i>HRES más eficientes para una demanda de 60kW/día, en Región Piura</i>	<i>134</i>
Tabla72 <i>HRES más eficientes, almacenamiento convencional 120kW/ía, Piura.....</i>	<i>135</i>
Tabla73 <i>HRES más eficientes, almacenamiento tipo LI y 120kW/día, Piura.....</i>	<i>136</i>
Tabla74 HRES vs Sistema base tradicional, granja modelo120kWh/día-San Martin .	145
Tabla75 HRES vs Sistema base tradicional, granja modelo120kWh/día-Piura	146

Índice de figuras

Figura1	<i>Sistema de energía híbrido,</i>	23
Figura2	<i>Geometría de las relaciones Sol-Tierra.</i>	24
Figura3	<i>Masa de aire M para varios ángulos cenitales</i>	25
Figura4	<i>Espectros de irradiancia solar según ASTM G173-03.</i>	26
Figura5	<i>Tipos de radiacion sobre la superficie terrestre.</i>	27
Figura6	<i>Variación de radiación solar extraterrestre durante un año</i>	28
Figura7	<i>Relaciones, radiación solar entrante y plano de orientación respecto a la tierra</i>	29
Figura8	<i>Efecto fotovoltaico</i>	31
Figura9	<i>Conexión serie, paralelo y mixta de paneles fotovoltaicos.</i>	32
Figura10	<i>Configuraciones de sistemas fotovoltaicos.</i>	33
Figura11	<i>Principales componentes de instalación fotovoltaica</i>	34
Figura12	<i>Tipos de paneles fotovoltaicos según la tecnología de fabricación.</i>	35
Figura13	<i>Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica.</i>	36
Figura 14	<i>Baterías de plomo acido-frente a baterías de litio.</i>	37
Figura15	<i>Curva característica de potencia típica de generador de turbina eólica</i>	39
Figura16	<i>Producción con RER según fuente (2018)</i>	44
Figura17	<i>Mapa de irradiación horizontal global (2019)</i>	46
Figura18	<i>Velocidad media anual del viento a 10 m, Perú</i>	47
Figura19	<i>Mapa de potencial técnico del Perú por cuenca hidrográfica</i>	48
Figura20	<i>Inversión en la transición energética mundial por sectores</i>	49
Figura21	<i>Evolución de la PEA Ocupada en acuicultura</i>	58
Figura22	<i>Emisiones evitadas tCO₂eq por Centrales Solares.</i>	60
Figura23	<i>Emisiones evitadas tCO₂eq por Centrales Eólicas, Perú.</i>	61
Figura24	<i>Costo de emisiones Evitadas de tCO₂eq por Centrales RER – NC</i>	
Figura25	<i>Eficiencia energética como componente de sostenibilidad.</i>	62
Figura26	<i>Perú: cosecha de recursos hidrobiológicos de acuicultura según especie, 2020</i>	
Figura27	<i>Produccion de tilapia en el Peru entre los años 2016-2022</i>	
Figura28	<i>Cosecha de tilapia en principales regiones.</i>	65
Figura29	<i>Dinámica de crecimiento de la actividad acuícola del Perú y el Mundo,</i>	66
Figura30	<i>Esquema del diseño correlacional-causal.</i>	70

Figura31 Alternativas de sistemas hibrido	74
Figura32 <i>Análisis de una granja modelo</i>	75
Figura 33 <i>Evaluación de viabilidad económica del sistema hibrido</i>	76
Figura 34 <i>Identificación de la efectividad en su componente de eficiencia de HRES</i>	77
Figura35 <i>Producción acuícola continental y marítimo Perú 2011-2022</i>	79
Figura36 <i>Cosecha anual de tilapias Perú, años 2013 a 2022 en (TM)</i>	
Figura37 <i>Tilapia cosechada en el Perú, principales regiones en el año 2021</i>	81
Figura38 <i>Velocidad media anual del viento a 10 m</i>	83
Figura39 <i>Descripción simple de una cadena de valor del pescado en pequeña escala</i> ...	88
Figura40 <i>Energía en cada etapa de la cadena de valor de acuicultura en pequeña escala</i>	
Figura41 <i>Diagrama de carga para un consumo energético de 60kW/día</i>	98
Figura42 <i>Diagrama de carga para consumo 120kW/día</i>	99
Figura43 <i>Plataforma POWER para la estimación de los recursos renovables</i>	100
Figura44 <i>Irradiación Distrito Calzada, Moyobamba-San Martin, años 2013-2022</i>	101
Figura45 <i>Potencial eólico anual disponible en Distrito Calzada, Provincia Moyobamba.</i>	
Figura46 <i>Arquitectura propuesta para HRES San Martin</i>	102
Figura47 <i>Mapa de catastro acuícola indicando las zonas acuícolas en la región Piura</i> ..	109
Figura48 <i>Plataforma POWER para estimación de los recursos renovables región Piura</i>	
Figura49 <i>Irradiación anual incidente sobre la región bajo estudio en Piura</i>	111
Figura50 <i>Potencial eólico anual disponible en la región en Piura</i>	
Figura51 <i>Curva de velocidad para la zona bajo estudio en Piura</i>	112
Figura52 <i>Arquitectura para el HRES en la Región Piura.</i>	113
Figura53 <i>Producción eléctrica del sistema hibrido de 60kWh/día y $TdN=6\%$</i>	133
Figura54 <i>Producción del HRES, 120 kWh/día, almacenamiento LA y $TdN=6\%$</i>	134
Figura55 <i>Producción del HRES 120 kWh/día, LI y $TdN=6\%$</i>	135
Figura56 <i>Producción eléctrica del sistema hibrido de 60kWh/día y $V=3m/s$</i>	136
Figura57 <i>Producción del HRES de 120 kWh/día y $V=3m/s$, almacenamiento LA</i>	137
Figura58 <i>Producción del HRES de 120 kWh/día y $V=3m/s$, LI</i>	138
Figura59 <i>Estrategia para modelar modelos para el análisis de HRES en áreas rurales.</i> ..	143

RESUMEN

La presente investigación evalúa la efectividad de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables. Previamente se determinó las zonas de producción acuícola continental y los recursos energéticos renovables para su aprovechamiento, realizando una evaluación integral de diferentes configuraciones posibles del sistema desde el punto de viabilidad económica y eficiencia. El análisis se centra en centros acuícolas modelos de los lugares de mayor producción considerando demandas energéticas para dos escenarios, de 60kW/día y 120kW/día en las regiones de San Martín y Piura. Los resultados de la investigación revelan que para la demanda de 120kW/día, se suministra energía con Grupo Diésel de 17 kW, costos operativos \$29,450/año. Se propone HRES: San Martín; E2A: 19 kW PV y 75 kWh-LA, reduce costos a \$15,059/año, TIR del 18.0%. E-2B: 19 kW PV y 40 kWh-LI, reduce costos a \$12,654/año, TIR del 20.6%. Piura; E-2AP: 22 kW PV, 79 kWh-LA reduciría costos a \$12,129/año, TIR del 19.5%. E-2BP: 18 kW PV y 40 kWh-LI. Reduciría costos a \$12,654/año, TIR del 20.6%. La efectividad del HRES, reporta: San Martín; E2A: 50 563 kWh/año, 37% renovable, PV 23 091 kWh/año; E2B: 1930 kWh/año, 35% renovable, PV 23 544 kWh/año. Piura: E2A; 53 010 kWh/año; 60% renovable, PV 35 489 kWh/año. E2B: 49 530 kWh/año, 48% renovable, PV 26 566 kWh/año. El suministro de electricidad basado en tecnologías híbridas de energía renovable se considera una de las mejores soluciones para su aplicación de la acuicultura continental. Sus beneficios están científicamente resaltados e incluyen asegurar un suministro de energía estable, confiable y continua, planteando el uso de energía solar fotovoltaica y eólica en sustitución o complementado con combustibles fósiles, contribuyendo a mitigar el cambio climático y reduce la huella de carbono de la acuicultura continental.

Palabras clave: Sistema energético híbrido, recursos renovables, sostenibilidad energética

ABSTRACT

This research evaluates the effectiveness of a hybrid energy system based on renewable resources. The continental aquaculture production areas and the renewable energy resources for their utilization were previously determined, conducting a comprehensive assessment of different possible system configurations from the perspective of economic viability and efficiency. The analysis focuses on model aquaculture farms in the highest production locations, considering energy demands for two scenarios: 60 kW/day and 120 kW/day in the regions of San Martin and Piura. The research results reveal that for the demand of 120 kW/day, energy is supplied with a 17 kW Diesel Generator, with operating costs of \$29,450/year. The proposed HRES: San Martin; E2A: 19 kW PV and 75 kWh-LA, reducing costs to \$15,059/year, with an IRR of 18.0%. E-2B: 19 kW PV and 40 kWh-LI, reduces costs to \$12,654/year, IRR of 20.6%. Piura; E-2AP: 22 kW PV, 79 kWh-LA would reduce costs to \$12,129/year, IRR of 19.5%. E-2BP: 18 kW PV and 40 kWh-LI. Would reduce costs to \$12,654/year, IRR of 20.6%. The effectiveness of the HRES is reported by: San Martin; E2A: 50,563 kWh/year, 37% renewable, PV 23,091 kWh/year; E2B: 1,930 kWh/year, 35% renewable, PV 23,544 kWh/year. Piura: E2A; 53,010 kWh/year; 60% renewable, PV 35,489 kWh/year. E2B: 49,530 kWh/year, 48% renewable, PV 26,566 kWh/year. Electricity supply based on hybrid renewable energy technologies is considered one of the best solutions for inland aquaculture. Its benefits are scientifically highlighted and include ensuring a stable, reliable, and continuous energy supply, proposing the use of solar photovoltaic and wind energy to replace or complement fossil fuels, contributing to mitigating climate change and reducing the carbon footprint of inland aquaculture.

Keywords: Hybrid energy system, renewable resources, energy sustainability

I.INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energía renovables han atraído cada vez más atención porque ofrecen una solución eficaz para reducir las emisiones de GEI y satisfacer la creciente demanda energética de manera sostenible (Hassan et al. 2024). El uso de energías renovables en lugar de combustibles fósiles presenta ventajas significativas, como una menor contaminación del aire y del agua, un fácil acceso a energía limpia para todos y un sistema energético en general más resiliente (Olabi et al. 2023). A pesar de sus importantes ventajas, los sistemas de energía renovable, como la eólica y la solar, tienen una producción eléctrica variable debido a la naturaleza fluctuante de sus recursos. Esto provoca escasez y excedentes de energía en escalas horarias y diarias, donde el sistema no logra satisfacer la demanda de electricidad o la supera y, por lo tanto, se desperdicia la electricidad adicional. Para equilibrar las cargas, minimizar las pérdidas y cubrir los requisitos de energía de manera eficiente, se requiere almacenar energía. El almacenamiento se refiere a las tecnologías que almacenan energía eléctrica y la liberan cuando más se necesita (Nyamathulla &, Dhanamjayulu 2024).

Los sistemas de energía híbridos que combinan múltiples fuentes renovables como la eólica-solar fotovoltaica (PV) ofrece ventajas con respecto a su forma energética por separado (Coban et al 2024). Muchos de ellos son sistemas autónomos "fuera de la red". Para momentos en que ni el sistema eólico ni el solar producen energía, los sistemas híbridos proporcionan energía a través de baterías o un generador alimentado por combustibles convencionales. (U.S. Department of Energy, 2024).

Las tecnologías híbridas de conversión de energía renovable se están considerando cada vez más como una opción viable para la generación de energía sostenible (Singh et al., 2016). Varias combinaciones, como la energía solar fotovoltaica (PV) interactiva con la red, la energía solar fotovoltaica integrada y eólica, la energía solar fotovoltaica y diésel, la energía solar fotovoltaica y la energía solar concentrada (CSP), y modelos más avanzados, como la energía solar fotovoltaica/eólica/diésel o la energía solar fotovoltaica/eólica con almacenamiento en baterías, son especialmente adecuadas para zonas rurales e inaccesibles (Nassar et al., 2024a). Los sistemas integrados como SPV, energía eólica con almacenamiento hidroeléctrico bombeado (PHS) son muy eficaces para equilibrar la generación de energía intermitente con la demanda de carga variable, ya que PHS proporciona almacenamiento a largo plazo y mejora la confiabilidad del sistema. Esto es evidente a partir de un estudio de caso realizado en un sistema integrado en Libia, que demuestra que la incorporación de energía eólica y solar con PHS podría satisfacer el 100% de la demanda de energía con una interrupción marginal de la carga durante todo el año (Nassar et al., 2024b). De manera similar, los sistemas SPV/eólico/diésel han demostrado ser confiables en lugares con mala conectividad a la red, ofreciendo respaldo a través de generadores diésel mientras reducen la dependencia de los combustibles convencionales. En uno de los centros de cuarentena de COVID-19, una configuración de generación de energía híbrida de este tipo aseguró un suministro de energía ininterrumpido para sostener la demanda de carga completa durante un período de tiempo determinado (Awad et al., 2023).

Las fuentes de energía son un desafío importante en países en desarrollo, particularmente en zonas rurales. Existen numerosas comunidades en desarrollo donde se encuentran disponibles recursos de energía renovable; su explotación puede fomentar el desarrollo económico y ventajas sociales y de salud, a la vez que se disminuyen los impactos a la variación del clima.

El proceso de almacenamiento a menudo implica la conversión de electricidad en otras formas de energía y viceversa. El uso de baterías para almacenamiento, con sistemas de energía renovable es una de las soluciones más prometedoras y de rápido crecimiento para proporcionar electricidad confiable en redes aisladas y comunidades fuera de la red, así como para garantizar la integración de energías renovables en la combinación energética dentro de una red resiliente y flexible (Nymathuya & Dhanamjayulu 2024). Actualmente, las baterías de ion-litio son la tecnología dominante porque ofrecen una serie de ventajas. Presentan un tiempo de carga corto y una alta eficiencia, mientras que su vida útil varía de 5 a 10 años (Smith et al., 2017). El precio de baterías Ion-Litio se redujo a 139 dólares estadounidenses por kilovatio-hora en 2023, frente a los más de 160 dólares por kilovatio-hora del año anterior. Esto demuestra una asombrosa demanda de almacenamiento de energía en todo el mundo y podría atribuirse al hecho de que el mundo está avanzando hacia una economía basada en energías renovables (Statista,2024)

Según la FAO (2022), el coste energía procedente de la solar fotovoltaica (PV) disminuyó en 82 por ciento entre 2010- 2019, en tanto la energía eólica onshore cayó en 40 por ciento. En diversos países, la energía renovable está ahora a la par o, en ciertos casos, es la opción de menor costo de generación de electricidad. Hay un margen cada vez mayor para la energía renovable y la necesidad de promoverla para aplicaciones en todas las etapas de la acuicultura a pequeña escala. Lamentablemente el desarrollo de la tecnología se posiciona en diferentes etapas de madurez y no todas las tecnologías son igualmente de aplicación inmediata y viables económicamente en todos los países (p.141). La pesca es uno de los métodos de dotación de alimentos que más energía consumen, y depende casi por completo de combustibles fósiles. El uso de energía en la pesca y la acuicultura contribuyó con alrededor de 1 gigatonelada de emisiones equivalentes de dióxido de carbono (CO₂) en 2020 (REN21, 2023 p.51).

El contexto que se enmarca la presente investigación es evaluar la efectividad de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables en el desarrollo de la acuicultura continental peruana desde una perspectiva sostenible, eficiente y competitiva. “El crecimiento de la acuicultura en las últimas décadas ha promovido el avance de producción de especies acuáticas en aguas continentales” (FAO, 2022, p.20). El incremento de costos de energía y huella de carbono asociada en el sector es motivo de creciente preocupación (FAO, 2020). Se utiliza una enorme cantidad de energía para los procesos de la cadena de valor de la acuicultura. (Murali et al., 2021). Las energías renovables se consideran como un enfoque para volverse menos dependiente de los combustibles fósiles (Rahman et al., 2022).

El sector pesquero y acuícola continúan considerándoles importantes fuentes de alimentos, e ingreso y forma de vida muchos millones de personas en el mundo (FAO, 2020). Según informes últimos elaborados por expertos y organizaciones internacionales coinciden en destacar el enorme potencial que tienen las aguas continentales y los océanos de “contribuir notablemente a asegurar la alimentación y adecuada nutrición de la población que se estima superará los 9 000 millones para el año 2050” (FAO,2020, p.102). Esto representa un gran desafío para garantizar que el aumento de la producción pesquera se logre de una manera que no aumente las emisiones de GEI.

La acuicultura a pequeña escala es parte integral del sector pesca y acuicultura. Sin embargo, los pescadores en pequeña escala enfrentan varios desafíos relacionados con el acceso a la tecnología (García-Lorenzo et al 2024). La energía es un insumo clave necesario a lo largo de toda la cadena de valor del pescado; permite el almacenamiento, procesamiento, transporte y comercialización adecuados de los productos pesqueros (Puri et al. 2023). Dado que la mayoría de países en desarrollo tienen como objetivo mejorar la productividad y el acceso a los mercados para las cadenas de valor del pescado en pequeña escala, hay algunos desafíos clave que deben superarse para garantizar que la mejora en las cadenas de valor sea ambientalmente sostenible. El sector pesquero mundial contribuye al cambio climático y se ve afectado por él. Se estima que el sector pesquero consumió 40 mil millones de litros de combustible en 2011 y generó un total de 179 millones de toneladas de GEI equivalentes a CO₂ (Parker et al., 2018)

En el Perú, la acuicultura continental se desarrolla por individuos, que presentan diferentes carencias técnicas, poco nivel de integración y asociatividad, limitada visión empresarial que se caracteriza por su informalidad. Estas características hacen que la actividad acuícola no sea sostenible en la amplitud de sus tres ejes: económico, social y ambiental (Produce,2022, p.4). La interrogante que se presenta es, que tan efectivos son estos sistemas usando energías renovables que actualmente se está aplicando. Existe una falta de comprensión sobre los desafíos y oportunidades asociados con el uso de energía como sistemas integrados usando energía renovable en ellos. Además, se analiza la aplicación de modelos de optimización para el diseño y control de sistemas de energía en acuicultura y sugiere futuras aplicaciones de optimización luego de una revisión bibliográfica sólida.

Por tal motivo basado en el propósito principal de la presente investigación de realizar una evaluación exhaustiva de los componentes de consumo de energía y las tecnologías de generación de energía renovable local con el objetivo de promover la integración de las energías renovables para mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad ambiental de la tecnología; se ha organizado el estudio considerando una secuencia metodológica. Se empezó por establecer un marco referencial consistente en antecedentes de estudios afines al tema de investigación, fundamentos teóricos, datos de organizaciones especializadas en el tema energético y desarrollo acuícola. Lo cual nos sirvió de base para el desarrollo de actividades específicas que contribuyeron para cumplir el objetivo del estudio,

Como primera actividad se determinó las Regiones de mayor de producción acuícola continental en el Perú usando para ello el catastro acuícola administrado por Produce, una vez determinados estas regiones se procedió a determinar los recursos energéticos renovables disponibles de esos lugares que pueden usarse de una manera sostenible. Como segunda actividad, se analizó el estado del uso de los energéticos convencionales en la producción acuícola y los avances a nivel global del aprovechamiento de los recursos energético renovables en los procesos de la producción acuícola. se empezó determinando el uso en general de la energía en la pesca y la acuicultura y la estructura y uso de la energía a lo largo de la cadena de valor de la acuicultura continental, enseguida se revisaron casos de uso de energía renovable y los costos y tecnología aplicada.

Se consideran sistemas híbridos modelos para realizar un análisis cuantitativo del uso de las energías renovables; usando información especializada para estimar la cantidad de energía requerida se caracterizó la demanda energética para granjas modelos en los lugares de mayor producción acuícola continental, Se realizó análisis de sensibilidad y optimización para tomar la decisión sobre el sistema a usar: tipo de componentes, tamaño y tecnología es apropiado para el diseño del sistema.

Se realizó la evaluación de viabilidad económica del sistema híbrido basado en energías renovables propuesto para la granja acuícola modelo para la región San Martín y para la Región Piura; este análisis permitió elegir entre la gran cantidad de opciones tecnológicas y poder determinar el costo de kWh generado. Basado en resultados hallados se pudo determinar la efectividad de sistemas, basados en estudios de análisis de sensibilidad considerando la variación de algunas variables que intervienen en los modelos analizados y considerando como base las energías renovables y respaldados con pequeños sistemas de energía convencional y respaldo de almacenamiento energético.

Finalmente se proponen lineamientos para implementar un sistema energético híbrido basado en recursos renovables en la acuicultura continental peruana como estrategia para reducir el impacto ambiental en el desarrollo de esta actividad productiva. Considerando que ello implica, evaluar y gestionar el uso eficiente de la energía en toda la cadena de producción, para reducir las emisiones de (GEI), planteando el uso de energía solar fotovoltaica y energía PV/eólica en sustitución o complementado con combustibles fósiles, para de esta manera, encaminar esta actividad productiva a un desarrollo sostenible.

1.1. Descripción y formulación del problema

El contexto el cual rige la investigación se encuentra circunscrito a la realidad de la dependencia de la energía en el avance de la acuicultura para que alcance su desarrollo sostenible. Según la FAO, “El ámbito de pesca y acuicultura, el procesamiento postcosecha, la comercialización-distribución, pende del uso de energía, particularmente de combustibles fósiles” (Puri et al., 2023). La acuicultura en pequeña escala es una parte integral del sector pesquero y acuícola mundial. Sin embargo, enfrentan varios desafíos relacionados con el acceso a la tecnología, la energía, la infraestructura y la conexión a los mercados. “La energía es un insumo clave necesario a lo largo de la cadena de valor del pescado; Permite el almacenamiento, procesamiento, transporte y comercialización adecuados de los productos pesqueros (Puri et al., 2023, p.5).

La pesca y la acuicultura deben realizar una transición hacia la energía renovable para reducir las emisiones de carbono y cumplir con los objetivos globales de salud planetaria (Scroggins et al., 2022). El desafío consiste en transformar los sectores alimentario y energético de una manera equitativa y ambientalmente sostenible, manteniendo al mismo tiempo la seguridad alimentaria (IRENA y FAO, 2021). Reemplazar los combustibles fósiles por fuentes de energía renovables es una de las opciones más prometedoras para mejorar la sostenibilidad del sistema alimentario y abordar el cambio climático (IRENA, 2017).

Con el rápido crecimiento de la población mundial y la mejora continua del nivel de vida de las personas, la demanda de pescado, y otros productos acuáticos con proteína animal de alta calidad ha aumentado drásticamente, lo que ha llevado al rápido desarrollo de la industria de la acuicultura (MacLeod et al., 2020; Xu et al., 2022). Si bien la acuicultura mitiga la crisis mundial de seguridad alimentaria, también ha causado muchos problemas ecológicos y ambientales, como la eutrofización, la contaminación por antibióticos y las emisiones de GEI (es decir, CH₄, CO₂ y N₂O) (Yang et al., 2021b; Zhang et al., 2022); en particular, las altas emisiones de GEI causadas por la acuicultura han agravado el calentamiento global. Numerosos estudios se han centrado en las emisiones de GEI, y han demostrado que las diferencias en la ubicación, las especies y los factores ambientales de la acuicultura conducen a diferencias significativas en los procesos, la intensidad y las características de las emisiones de GEI (Zhang et al., 2022).

Xu et al. (2023) Evaluaron los beneficios sociales y los impactos ambientales de la acuicultura en China en nueve indicadores que incluyen los beneficios de la acuicultura (nutrientes, economía y empleo) y los costos de la acuicultura (agua dulce, energía y uso de la tierra, gases de efecto invernadero, nitrógeno y emisiones de fósforo). Además de sus beneficios sociales, destacaron la necesidad de producir especies más sostenibles, utilizar energía más limpia. Scroggins et al. (2022) investigaron el uso de fuentes de energía renovables en aplicaciones acuícolas en los EE. UU. concluyendo que la disponibilidad fluctuante de energías renovables afecta la productividad de las piscifactorías, especialmente en ubicaciones remotas. Lucas et al. (2021) concluyen que la disponibilidad fluctuante de energías renovables afecta la productividad de las granjas piscícolas, especialmente en ubicaciones remotas. Por lo tanto, es imperativo incluir soluciones específicas para el contexto, así como políticas e incentivos para cambiar las fuentes de energía en estos sectores con el fin de cumplir con los objetivos nacionales e internacionales de cambio climático.

La gestión energética en las instalaciones de acuicultura se considera una tarea esencial para que el sistema funcione de forma económicamente viable y respetuosa con el medio ambiente. Un factor clave para reducir el impacto ambiental será la integración de energías renovables y biocombustibles para satisfacer las demandas de energía en la granja (Rasooli et al. 2023) evalúan las diferentes acuiculturas utilizando técnicas de evaluación del ciclo de vida en términos de impactos energéticos, económicos y ambientales. Midilli et al. (2012) presentan los diferentes índices de evaluación basados en la energía para el sistema de recirculación de acuicultura con el fin de operar la instalación de manera energéticamente eficiente. Dado que la alimentación con oxígeno se considera una parte crucial de la piscicultura, muchos expertos la han investigado para optimizar el rendimiento del sistema y las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua. Ridwan et al. (2023) indagaron el uso de diferentes aireadores que tienen diferente número de agujeros y aspas para mantener la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Mohammadpour et al. (2021) estudiaron el uso de la electrólisis del agua para la generación de oxígeno para granjas de peces y fines de tratamiento de aguas residuales. Han indicado que reemplazar el aire con oxígeno en la acuicultura proporciona una eficiencia energética 14 veces mayor (Siddiqui et al., 2021).

Las fuentes de energía renovables están avanzando a pasos firmes. Los sistemas solares fotovoltaicos pueden ser usados alimentar equipamiento de acuicultura (bombas, aireadores, etc.) y hacer funcionar maquinaria de procesamiento, refrigeración y almacenaje en frío (Vo, T. et al., 2021). La energía cinética del viento proporciona potencia mecánica a un aerogenerador, que a su vez la transforma en electricidad a través de un generador. Esta potencia mecánica también se puede utilizar directamente para tareas específicas, como bombeo de agua o fines de aireación. Al respecto el MEM (agosto,2023), afirma; La energía eólica es la tecnología más relevante en el mix de generación renovable no convencional, representando el 3,46% de la producción nacional, seguido de la participación de la generación por energía solar fotovoltaica, 1,69% (p.4) Las soluciones de energía renovable podrían brindar mayores oportunidades de valor a las comunidades acuícolas rurales que luchan por el acceso a fuentes energéticas confiables (Majeed et al., 2023)

Con el desarrollo de la acuicultura, los piscicultores adoptaron gradualmente métodos de acuicultura semi-intensiva e intensiva para cultivar especies acuáticas de alto valor económico (Galappaththi et al.,2020). Entre estos métodos, los sistemas de recirculación de la acuicultura (RAS) son populares. Los RAS se caracterizan por una eficiencia de reutilización de agua de hasta el 90-99%, y los RAS diseñados adecuadamente no experimentan pérdidas de agua significativas (Ahmed y Turchini, 2021). En la actualidad, en muchos países, las combinaciones de generación de electricidad para uso industrial y acuícola se basan predominantemente en combustibles fósiles. El aumento de los costos de la energía y la consiguiente huella de carbono en el sector (Gephart et al., 2021). La explotación de energía renovable in situ se considera una posible solución para reducir la dependencia de los combustibles fósiles (Rahman et al., 2022). En este marco, los RAS integrados con las fuentes de energía renovables desempeñan un papel fundamental. Este enfoque se alinea con los principios de la economía circular, con el objetivo de establecer prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en la producción acuícola. Sin embargo, en la literatura relacionada con los RAS hay pocas contribuciones sobre el uso de fuentes de energía renovables, ventajas y/o desventajas y comparaciones entre ellas, ni tampoco modelos de optimización relacionados con el diseño y los costos operativos y el uso de energía (Zhang et al., 2023b).

Formulación del problema

Este problema, forma parte del contexto que afecta energética y medioambientalmente la producción acuícola. Para el presente estudio, hemos considerando los siguientes criterios de priorización- selección:

- Este problema reviste gran importancia ya que actualmente se usan energéticos convencionales en la producción acuícola.
- La Universidad del Santa a través de la Escuela Profesional de Biología en Acuicultura considera de interés investigar la aplicación de energías renovables para la producción acuícola.

El papel de los combustibles y la energía en el campo de la pesca es una temática de importancia, aunque poco conocida, en las políticas sobre recursos naturales, alimentos y comercio (Puri et al., 2023). Si bien algunos aspectos específicos del uso y el costo de los combustibles han preocupado periódicamente a la industria pesquera, hasta hace poco no se habían debatido las cuestiones estratégicas de estos aspectos. Sin embargo, en medio de una creciente preocupación por la racionalización en el sector, por los vínculos entre la energía y los gases de efecto invernadero, por las opciones competitivas para los productores en pequeña escala y por la apreciación por parte de los consumidores de la huella ambiental de las opciones alimentarias, merecen un estudio más profundo (Muir, J.,2015)

Actualmente muchas de las instalaciones acuícolas, por su ubicación alejada de los centros urbanos no tienen facilidad de conexión eléctrica a red con lo que la producción energética es efectuada habitualmente a través de combustibles fósiles mediante grupos electrógenos, altamente contaminantes e ineficientes (Zang et al.,2023). Dependiendo de la planificación de cada instalación acuícola, se observa gran variabilidad en los consumos energéticos. Muchos de estos consumos pueden ser evitados mediante la correcta planificación de la actividad o reducidos mediante la aplicación de fuentes de energía renovable e implementación de tecnologías eficientes. La característica no despachable de las fuentes de energía renovables y sus capacidades inadecuadas de seguimiento de la carga ejercen presión sobre los sistemas actuales de gestión de la energía para garantizar un suministro de energía estable y eficiente (De Mel et al., 2024).

Según la Política Nacional de Acuicultura al 2030, La acuicultura en el Perú está distribuida, en sitios estratégicos para ciertas especies por sus características ambientales:

Tumbes presenta mayor actividad acuícola para la especie langostino; Piura y Áncash para la concha de abanico; San Martín y Piura para la Tilapia; Junín, Huancavelica, Pasco y Puno para la producción de Trucha; y San Martín, Loreto, Ucayali y Madre de Dios para las diversas especies amazónicas (p.32)

El Ministerio de la Producción refiriéndose al tema “Uso de energías renovables en la acuicultura” anota:

El uso de energías renovables como la eólica, solar, térmica y fotovoltaica, están captando mayor atención a nivel de políticas públicas y en la sociedad en general, en torno a las dificultades que implica no solamente el cambio climático en sí, sino por la creciente escasez energética, y ante un constante aumento de la población global y de sectores productivos como la acuicultura, que demanda vías alternativas de energía, cuya obtención no signifique un mayor deterioro del medio ambiente. (vigilancia tecnológica, 2017)

.

Formulación del problema de investigación

¿Cuál es efectividad de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la efectividad de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana

1.2.2 Objetivos específicos

- identificar, las zonas de producción acuícola continental en el Perú en relación al potencial uso de los recursos energéticos renovables para su aprovechamiento sostenible.
- Describir el actual uso de las energías convencionales a partir del aprovechamiento de los recursos renovables en la producción acuícola
- Comparar técnica y cuantitativamente las energías renovables en sistemas híbridos modelos
- Evaluar la viabilidad económica de una instalación basada en energías renovables en un sistema híbrido para su aplicación a la acuicultura
- Identificar la efectividad en su componente de eficiencia, de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables, en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana
- Proponer lineamientos para la utilización de un sistema híbrido basado en recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana.

1.3 Formulación de la hipótesis

Un sistema energético híbrido basado en recursos renovables es efectivo en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana

1.4. Justificación e importancia de la investigación

Se justifica teóricamente ya que busca generar reflexión y debate académico sobre el cumplimiento de objetivos mundiales, que, a pedido del secretario de la ONU en el 2019, solicitó:

Un decenio de acción ambicioso destinado a lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030, por lo cual se debe acelerar las medidas para abordar la seguridad alimentaria conservando al mismo tiempo los recursos naturales. Los alimentos acuáticos pueden satisfacer un porcentaje mayor de las necesidades de alimentos nutritivos de la humanidad. La transformación azul es una visión para transformar de manera sostenible los sistemas alimentarios acuáticos, una solución reconocida para la seguridad alimentaria y nutricional y el bienestar medioambiental y social mediante la conservación de la salud de los ecosistemas acuáticos, la reducción de la contaminación, la protección de la biodiversidad y la promoción de la igualdad social. (FAO,2022, p.21)

El incremento del calentamiento global ha generado alteraciones que demandan acciones inmediatas para consolidar y viabilizar las acciones ante la variabilidad del clima y mitigar así impactos, lo cual incrementa la urgencia de adaptar la acuicultura mediante la articulación de planes y medidas de desarrollo sostenibles. (FAO,2022, p.28)

La *justificación metodológica* del estudio es con respecto al cambio climático el cual puede entenderse como el desafío ambiental de vital importancia para las generaciones presentes y futuras. Por ello, la necesidad de impulsar la eficiencia y responsabilidad en el consumo energético, además de concienciar al productor para que adopte medidas compensatorias del gasto energético minimizando la huella de carbono, mediante el uso de energías limpias finitas (eólica, solar, hidráulica, etc.) consideradas renovables; estas energías contribuyen a la sostenibilidad en las tres aristas para desarrollo sostenible: económico, social y ambiental. “Una de las contribuciones es el hecho de que el costo de generación es menor que el de las energías basadas en combustibles fósiles” (Barcena et al. 2020, p.303)

La *justificación práctica* se orienta a contribuir a resolver el problema del uso de energéticos basados en combustible fósiles por el uso de energías renovables o, por lo menos, propone estrategias que al aplicarse contribuirían a resolverlo. La evaluación del uso de energía a escala pequeña señala las etapas dentro de la cadena de valor en las que se pueden utilizar intervenciones de energía renovable para aumentar la eficiencia y reducir las pérdidas (Puri et al.,2023). La evaluación también identifica las tecnologías que están actualmente disponibles y que se pueden para mejorar el acceso a la energía y el uso de estas tecnologías puede tener varios beneficios ambientales y socioeconómicos.

La investigación es importante ya que, el Perú cuenta con una industria acuícola que ha crecido en los últimos años (Dolores-Salinas & Miret-Pastor,2024). Según la FAO (2024), en 2022, la producción de especies animales por la acuicultura (51%) superó por primera vez a la pesca y captura, y la acuicultura continental produjo el 62,6 por ciento del total de animales acuáticos cultivados. Chen y Gao (2023) destacan la importancia de la sostenibilidad económica y cómo el sector acuícola se ve recompensado por el mercado por sus esfuerzos en la mejora de la sostenibilidad ambiental.

La acuicultura resulta fundamental para la sostenibilidad.

Se estima que 58,5 millones de personas participaban en el sector de la producción primaria en calidad de trabajadores a tiempo completo o parcial. En torno al 35 % trabajaba en la acuicultura, una cifra que se ha mantenido en los últimos años. En 2020, el 84 % de todos los pescadores y acuicultores se situaba en Asia. Al considerar los datos disponibles solo para el sector de la elaboración, resultó que las mujeres representaban algo más del 50 % del empleo a tiempo completo y el 71 % del empleo a tiempo parcial. (FAO,2022, p.16)

1.5. Delimitación del estudio

La investigación evalúa la efectividad de un sistema híbrido basado en recursos renovables en la acuicultura continental en regiones de mayor desarrollo acuícola desde el ámbito disciplinar de la ingeniería en energía y su aplicación actual, orientado al desarrollo sostenible de la acuicultura a pequeña escala.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Las tecnologías de las diferentes formas de energía renovable existen. Las fuentes de energía renovables se utilizan en aplicaciones en las cadenas de valor alimentarias (Puri et al., 2023). La energía renovable puede proporcionar soluciones energéticas en situaciones en las que existen desafíos con los suministros de energía tradicionales (Ang,T. et al.,2022). La energía renovable también tiene la capacidad de reducir la huella de carbono de las cadenas de valor alimentarias y ayudar a mitigar el cambio climático. Existe muchas experiencias, en torno de la utilización de recursos renovables en acuicultura, esta experiencia señala énfasis en solar y eólica, principalmente (Majeed et al., 2023).

Xu et al. (2023) han evaluado los beneficios y los impactos ambientales de la acuicultura en China en nueve indicadores que incluyen costos de la acuicultura (agua dulce, energía y uso de la tierra, gases de efecto invernadero, nitrógeno y emisiones de fósforo). Además de sus beneficios sociales, han destacado la necesidad de producir especies más sostenibles, utilizar energía más limpia como la hidroeléctrica. Bujas et al. (2022) analizaron cómo las fuentes de energía renovables pueden mejorar el respeto por el medio ambiente de este sector. Un factor clave para reducir el impacto ambiental será la integración de energías renovables y biocombustibles para satisfacer las demandas de energía en la granja. Rasooli et al. (2023) evaluaron las diferentes acuiculturas utilizando técnicas del ciclo de vida en términos de impactos energéticos, económicos y ambientales.

La producción acuícola, como toda actividad humana, genera modificaciones en el ambiente natural, por lo que es importante buscar formas de hacerla más sustentable. Una de las formas para mitigar estos impactos es mediante el uso de energía limpia. La innovación es un parámetro clave para el desarrollo de la energía limpia y la sustentabilidad en el uso de nuevas tecnologías puede ayudar a reducir el impacto ambiental de esta actividad económica y hacerla más sostenible a largo plazo. Estudios sobre la aplicación de las energías renovables en la acuicultura, ya sea en su forma aislada o en red, son motivo aun de investigación continua; describimos algunas de ellas:

Zhang et al. (2024) en su estudio “Un enfoque de optimización para el diseño y operación de sistemas de recirculación acuícola (RAS), integrados con sistemas de energía híbridos sostenibles” plantearon el diseño sistemas de energía sostenibles para la acuicultura, abordando las demandas energéticas específicas del sector. Desarrollaron un modelo de optimización para el diseño de sistemas de energía en RAS. El modelo en consideración incorpora restricciones relacionadas con el crecimiento saludable de los peces y restricciones dentro del sistema de energía, todo ello con el propósito de lograr el objetivo de un costo mínimo anualizado del ciclo de vida. La adopción de este modelo puede suponer una reducción de costes del 35% y un periodo de amortización de unos 7 años. Los resultados también demostraron que las estrategias de instalación a medida son esenciales para situaciones como la cría de peces de aguas cálidas en entornos de aguas frías y viceversa. El modelo permite el análisis sistemático de la sinergia entre la acuicultura, la energía y el medio ambiente y se demuestra por los beneficios anuales de reducción de carbono atribuidos a la generación de energía renovable.

Liu et al. (2024). En el trabajo “Optimización de la operación colaborativa de agua y electricidad de un sistema de energía acuícola basado en almacenamiento por bombeo y fotovoltaico considerando los efectos de la evaporación del agua” proponen una operación colaborativa de agua y electricidad de un sistema de energía acuícola basado en almacenamiento por bombeo fotovoltaico (PV), considerando los efectos de la evaporación del agua. Este método de optimización tiene en cuenta la evaporación reducida del agua debido al sombreado del panel fotovoltaico. La energía fotovoltaica de la superficie del agua y el almacenamiento por bombeo se integran en el sistema para satisfacer las necesidades de electricidad, y el almacenamiento por bombeo sirve como un dispositivo de doble propósito para el suministro de agua y electricidad. Se establecen los requisitos del sistema de energía acuícola y de generación de agua y electricidad ambientalmente sostenibles. La generación de electricidad fotovoltaica de la superficie del agua se modela en función de las condiciones climáticas y de ingeniería, mientras que los requisitos de electricidad del estanque de acuicultura incluyen oxigenación, alimentación y reposición de agua. Finalmente, se presenta un modelo de operación colaborativa de agua y electricidad para optimizar las estrategias de operación de varios dispositivos.

Chen & Gau (2023), revisan el estado actual de la acuicultura industrializada en China. En el análisis identificaron problemas existentes, además de proponer posibles soluciones para el desarrollo de su acuicultura. En este campo se encuentra en una etapa temprana de desarrollo y se distribuye principalmente en las regiones costeras. Las principales limitaciones de la acuicultura industrializada incluyen los altos costos operativos y de capital, el precio de mercado no competitivo de los productos acuáticos, la distribución desigual de las áreas de producción y cultivo, la falta de administradores y operadores con la experiencia adecuada para los sistemas de recirculación de la acuicultura. Las posibles soluciones a estos problemas plantean, incluyen innovaciones tecnológicas en la optimización de sistemas, el uso de fuentes de energía renovables y tecnología biofoc, la certificación libre de contaminación de los productos de la acuicultura industrial, un mayor número de profesionales en el control de la calidad del agua y la gestión de residuos, y la asistencia financiera a las empresas. y agricultores a lo largo de la cadena industrial de la acuicultura.

Matulić et al. (2023). Plantean los beneficios y desafíos de la agrovoltaica y la acuavoltaica, centrándose en su potencial para la agricultura y la acuicultura de agua dulce de Croacia. Los beneficios incluyen el uso dual de la tierra, que permite a los agricultores producir energía limpia mientras mantienen las prácticas agrícolas. Diversifican las fuentes de energía renovable y reducen la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. Los paneles solares en la agrovoltaica brindan sombra, protegen los cultivos, reducen las necesidades de agua y aumentan los rendimientos. Gracias a esta investigación, sea puede aprovechar la sinergia entre la producción de energía renovable y las prácticas agrícolas y acuícolas sostenibles, promoviendo un futuro más verde y resiliente.

Bergman et al. (2022), demuestran que la acuicultura con recirculación es posible sin una importante compensación energética, Este estudio utiliza la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) para investigar el desempeño ambiental y los potenciales de mejora de una granja comercial RAS de tilapia y Clarias en Suecia. Las categorías e indicadores de impacto ambiental considerados fueron la eutrofización de agua dulce, la demanda de energía, el uso de la tierra y la dependencia de insumos de alimentos de origen animal por kg de filete. Descubrieron que la producción de piensos contribuyó más a todos los impactos ambientales (entre 67 y 98%), excepto a la demanda de energía para la tilapia, lo que contradice hallazgos anteriores de que el uso de energía a nivel de granja es un impulsor de las presiones ambientales. Los principales potenciales de mejora incluyen una mejor utilización del producto y el uso de una mayor proporción de ingredientes alimentarios de origen vegetal. Junto con un potencial de mejora aún menor identificado, esto sugiere que los RAS pueden desempeñar un papel más importante en un futuro sistema alimentario ambientalmente sostenible.

Jamroen (2022), determina el dimensionamiento técnico económico óptimo de un sistema solar fotovoltaico flotante (PV)/almacenamiento de energía en batería (BES) independiente para alimentar un sistema de monitoreo y aireación de acuicultura considerando una restricción en los pesos del módulo fotovoltaico y BES, en Tailandia. Desarrolla un método de optimización técnica económica para optimizar el tamaño del sistema fotovoltaico/BES variando las capacidades de los módulos fotovoltaicos y BES. Calculó un índice de confiabilidad (RI) para evaluar la capacidad de suministro de energía del sistema de energía para asegurar su operación continua. Además, evaluó el costo nivelado de energía (LCOE) para configurar la rentabilidad de las configuraciones del sistema energético. Luego realizó un análisis comparativo para evaluar el rendimiento del sistema propuesto en comparación con el de un generador diésel (GD) y un sistema fotovoltaico/GD en dos escenarios de aireación (aireación diurna y aireación nocturna). Los resultados indicaron que el sistema PV/BES es la opción más viable técnica y económicamente entre las otras configuraciones para escenarios de aireación diurna y nocturna.

Nallolla & Perumal (2022), destacan el uso de un sistema híbrido óptimo utilizando un sistema solar fotovoltaico, una turbina eólica, un generador diésel, un sistema de almacenamiento de batería, un convertidor, un electrolizador y un tanque de hidrógeno. El objetivo fue proporcionar energía ininterrumpida y satisfacer las diferentes demandas de carga de diferentes comunidades en la aldea de Doddipalli, Chittoor, Andhra Pradesh., India. Realizaron optimización y análisis tecno económico para diseñar el sistema propuesto utilizando el Software Homer. Se obtuvieron diversas configuraciones entre las cuales se consideran las cuatro mejores combinaciones para los casos de estudio. El diseño consta de PV/BS (1476 kW-solar PV, 417 baterías, electrolizador-200 kW, tanque de hidrógeno-20 kg y convertidor de 59,6 kW) comparando el coste actual neto mínimo (NPC: 7,01 M\$), el coste nivelado de la energía (LCOE: 0,244 \$/kWh) y la alta fracción renovable (RF: 84,1%). En esta investigación, el sistema propuesto sería más económico cuando la energía solar se convierta en la fuente primaria y se integre con la batería. Esta investigación también presenta un análisis de sensibilidad del sistema HRES fuera de la red con diversas demandas de carga eléctrica, vida útil del proyecto y factores de reducción.

Tarife et al. (2022), analizaron los principales problemas al diseñar y evaluar el rendimiento de una microrred híbrida de energía renovable (HREM) fuera de la red. Este artículo presenta un método integrado para el dimensionamiento y operación óptimos de un HREM para comunidades agrícolas rurales en el sur de Filipinas compuesto por energía hidroeléctrica de pasada, energía fotovoltaica (PV), generador diésel y un sistema de almacenamiento de energía en batería (BESS). utilizando optimización de enjambre de partículas multiobjetivo (MOPSO) y una estrategia propuesta de gestión de energía de múltiples casos. Las tres funciones objetivo en conflicto que se minimizaron simultáneamente fueron: pérdida de probabilidad de suministro de energía (LPSP), costo nivelado de energía (LCOE) y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), sujetas a varias restricciones. La optimización generó 200 soluciones alternativas no dominadas o óptimas de Pareto, 4 de las cuales fueron seleccionadas como soluciones de interés. Según los resultados, los tamaños óptimos de los componentes principales para el funcionamiento confiable del sistema son 100 paneles con una potencia de 0,25 kW para fotovoltaica, 100 kWh para BESS y 13 kW para el generador diésel, con sus correspondientes LCOE, LPSP, y valores de emisión de GEI de 0,1795 USD/kWh, 0,05% y 7874 kg, respectivamente, durante 1 año. También se analizó la efectividad del diseño HREM propuesto.

Vo et al. (2021), acerca del rápido crecimiento de la producción acuícola la cual ha requerido una enorme demanda de energía, que se estima en alrededor del 40% del costo total de la energía. El estudio tuvo como objetivo, describir el uso de fuentes de energía renovables y no renovables para la acuicultura mediante la revisión de varios artículos y aplicaciones de la energía solar en muchas empresas del mundo. Como resultado de este análisis ellos concluyen que la energía solar para la acuicultura es una posible fuente de energía renovable del futuro, en particular tecnologías solares fotovoltaicas. La electricidad, que se genera a partir de un panel solar fotovoltaico, se puede suministrar para peces, granjas de camarones, actividades flotantes y en jaulas, incluidos aireadores, bombas de agua y otros dispositivos (luz, refrigerador y ventilador). Esta es una solución eficaz y sostenible para disminuir el costo de producción en acuicultura en diferentes países del mundo como China, Taiwán, Indonesia, Malasia, Canadá, Bangladesh y Vietnam. Por otro lado, el sitio de acuicultura a menudo está fuera de la red nacional, por ejemplo, para sistemas de jaulas en alta mar o a gran distancia de la red nacional. Por tanto, es necesario utilizar energía solar fotovoltaica en la acuicultura. En el futuro, los precios de la energía seguirán disminuyendo gracias al aumento de la producción de componentes de energía renovable a escala.

Wambua et al. (2021), Sobre los sistemas de recirculación de acuicultura (RAS), con el objetivo de evaluar los requisitos ambientales y energéticos para diferentes biomásas de producción de tilapia del Nilo en un RAS establecido en un ambiente controlado en Kenia. Se variaron tanto las densidades de producción como los caudales de agua y, al mismo tiempo, se monitorearon los parámetros de calidad del agua (oxígeno disuelto, amoníaco, pH, conductividad eléctrica y temperatura). También se controló la energía consumida para el bombeo y la aireación. La biomasa de población de tilapia varió de 2,3 kg/m³ a 10 kg/m³, mientras que el caudal varió de 2,0 L/min y aumentó a intervalos de 1,0 L/min hasta el caudal máximo alcanzable de 10,0 L/min. La eliminación de amoníaco se redujo al aumentar el caudal con tasas de eliminación del 75 % a 2,0–3,0 L/min al 9 % a 8,0–10,0 L/min. El pH del agua aumentó al aumentar el caudal con un R₂ que oscilaba entre 0,4 y 0,9. La conductividad eléctrica aumentó con el caudal desde 112 mg/L hasta 209 mg/L. El oxígeno disuelto aumentó con el caudal y osciló entre 1,0 mg/l y 7,0 mg/l. El consumo de energía aumentó con el caudal y osciló desde 0,4 kW·h con 2,3 kg/m³ de biomasa de almacenamiento hasta 2,4 kW·h con 10 kg/m³ de biomasa de almacenamiento.

Debastiani et al. (2020) en su trabajo sobre la “Evaluación de la eficiencia energética de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para Cascavel, PR” en la Escuela de Ingeniería Assis Gurgaz (FAG). Se instalaron tres paneles fotovoltaicos de 140 W para evaluar la generación de energía fotovoltaica y la eficiencia de su participación en el sistema híbrido. Se utilizó un pequeño aerogenerador de 2000 W para evaluar la producción de energía eólica local, estableciendo el aporte eólico en el sistema híbrido. El sistema mostró una eficiencia del 12,5% para la generación de energía por la fuente solar fotovoltaica, del 18,7% para la generación eólica y del 11,9% para todo el sistema híbrido. La participación de la matriz fotovoltaica aportó el 75,2% de toda la energía generada, mientras que la matriz eólica presentó un aporte del 24,8%.

Maulana *et al.* (2020), investigaron respecto al uso de la energía hidroeléctrica como energía renovable estos investigadores se plantearon como objetivo modelar una planta pico hidroeléctrica de vórtice de agua gravitacional (GWVPHP). Este sistema se realizó para una de altura de 2 metros y para flujo de agua pequeño, que es adecuado para usar en ubicaciones de estanques de pesca que no tienen una altura alta y agua limitada. Se sabe que la velocidad del flujo de agua es de 0,4 m / s, y la altura es de 1,6 metros con el nivel de altura del agua que varía cada 5 centímetros de aumento en el rango de 5 a 50 centímetros. Como resultado, obtuvieron la potencia potencial mínima de 111,9 Watt y una máxima de 1,558,2 Watt. En el modelado, se asumió una turbina con 80 por ciento de eficiencia, por lo que se obtuvo una potencia de generación de turbina de 89.6 Watt y un máximo de 1.246.6 Watt. Por lo tanto, la energía que había generado la planta pico hidroeléctrica de vórtice de agua gravitacional puede implementarse en la acuicultura.

Nguyen et al. (2020), plantean diseñar un sistema energético híbrido sostenible mediante optimización multiobjetivo para la industria acuícola. Emplearon una metodología de simulación matemática para evaluar el desempeño del sistema en aspectos técnicos, económicos y ambientales como funciones multiobjetivo tanto en modo autónomo como en modo en red. Los resultados óptimos y su análisis de sensibilidad mostraron que el sistema de energía híbrida sostenible que opera en modo conectado a la red, que posee características tan atractivas como producir oxígeno puro en el sitio para la oxigenación y utilizar el subproducto de hidrógeno para generar energía de respaldo, podría traer importantes beneficios para los agricultores gracias a una notable reducción en el costo anualizado del sistema, así como en la emisión de CO₂ en comparación con el sistema convencional, que funciona con la red nacional para operar aireadores de ruedas de paletas para la oxigenación.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Sistema Energético híbrido

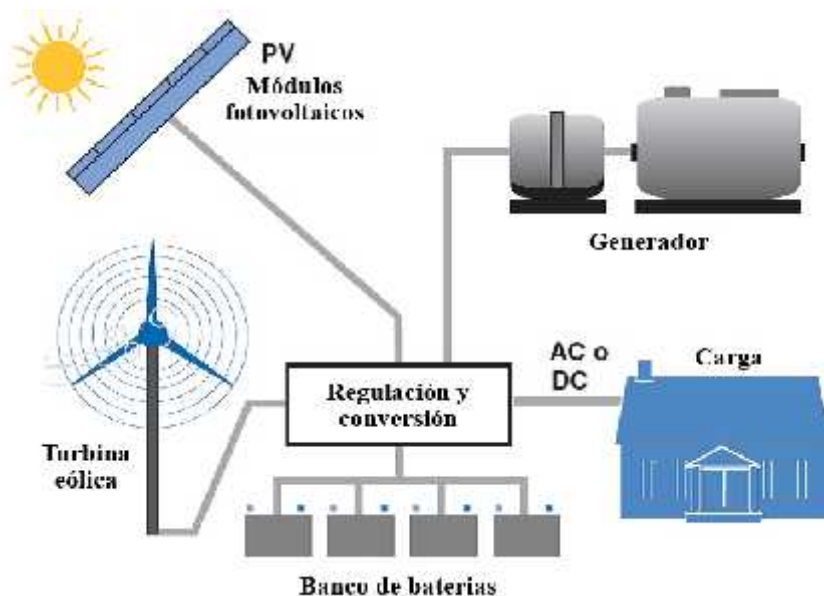
El término “híbrido” se emplea en muchas disciplinas para referirse a un sistema que comprende múltiples partes constituyentes distintas que se combinan e integran para aprovechar las características únicas de cada una y las sinergias entre ellas. U.S. Department of Energy (DOE). 2021 lo define como:

Múltiples tecnologías de generación, almacenamiento y/o conversión de energía que se integran a través de un marco de control general o físicamente (Figura 1) para lograr ahorros de costos y mejoras en las capacidades, el valor, la eficiencia o el desempeño ambiental en comparación con las alternativas independientes.

Los sistemas de energía renovable híbrida combinan múltiples fuentes, que a menudo incluyen energía solar, eólica, hidroeléctrica o incluso energía de respaldo basada en combustibles fósiles, para aprovechar las fortalezas de cada una y mitigar sus debilidades (Hasan et al.,2023).

Figura1

Sistema de energía híbrido



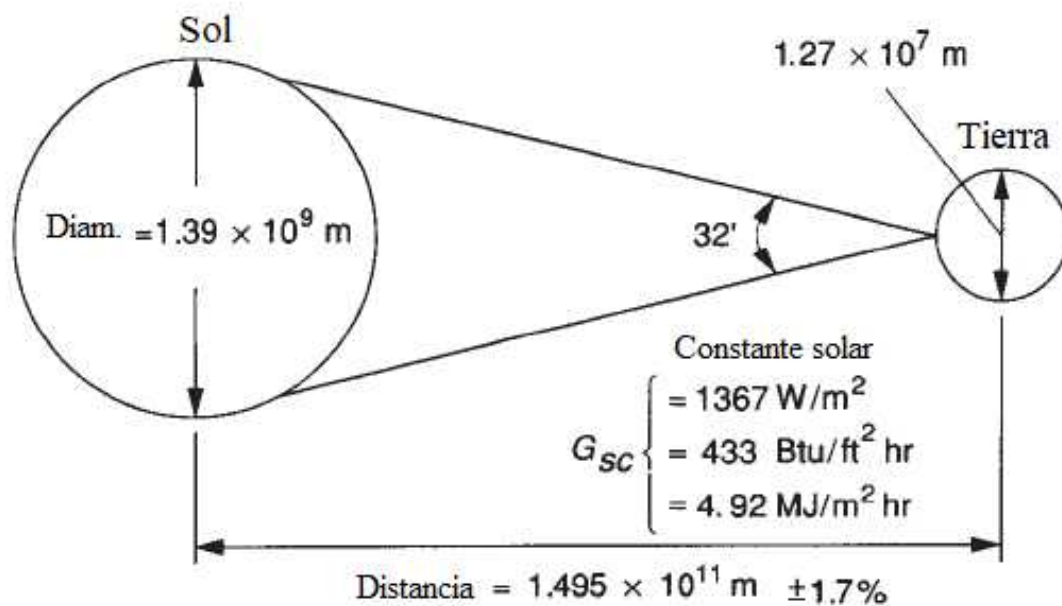
Nota. Combina múltiples fuentes para suministrar energía eléctrica no intermitente
Fuente: Elaboración basada en (U.S. department of energy).

2.2.2 Radiación solar

El Sol es la estrella central del sistema solar. Su composición principal es hidrógeno y helio. Su masa es tan grande, representando 99,68% respecto a la del sistema solar (Jäger et al.,2016). En el centro del Sol, las condiciones de presión y temperatura son tales que puede producirse la fusión nuclear. La superficie del Sol se llama fotosfera. Tiene una temperatura de unos 6000 °K. La densidad de potencia total de la radiación a la distancia media Tierra-Sol en un plano perpendicular a la dirección del Sol (Figura 2) se denomina constante solar (**G_{sc}**). Su valor es de aproximadamente 1367 W/m²(Perpiñan, 2023). **G_{sc}** es energía por tiempo recibida en una de área de superficie perpendicular a la dirección de propagación de radiación a la distancia media Tierra-Sol fuera de la atmósfera (Duffie,2020, p.5).

Figura 2

Geometría de las relaciones Sol-Tierra



Fuente; (Duffie,2020)

Efecto de la atmosfera sobre la radiación

Antes de llegar a la superficie terrestre, la radiación solar atraviesa la atmosfera y se ve modificada por el aire, la suciedad, el vapor de agua, y otros elementos de la atmosfera. “En promedio, la radiación que llega a la superficie terrestre es 1000 W/m^2 bajo cielos despejados en el ecuador al nivel del mar” (Kumar et al.,2024). Esta secuela varía según la atmosfera a atravesar. Para detallar esta distancia se usa el termino masa de aire(m),(Figura3) (Duffe,2020).

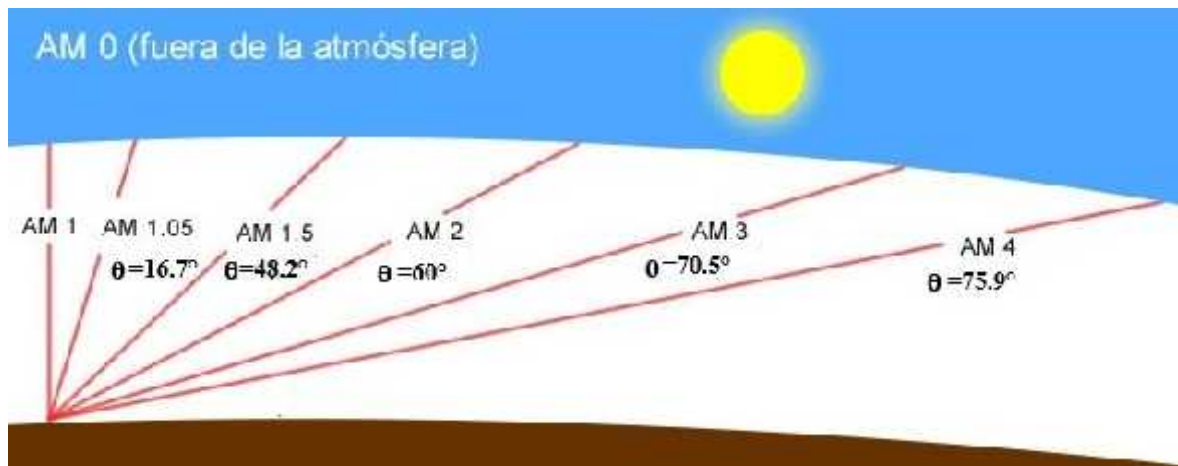
Por tanto, a nivel del mar, $M = 1$ (sol en el cenit) y $M = 2$ (ángulo cenital $\theta_z = 60^\circ$), lo cual se muestra en la figura 3. La aproximación cercana,

$$M = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad \dots 2.1$$

“Cuando se especifica la potencia máxima de un módulo fotovoltaico se indica para un valor de $m=1,5$ que corresponde a un ángulo cenital θ de $48, 2^\circ$ ”.

Figura 3

Masa de aire M para varios ángulos cenitales



Fuente: Adaptado en base a la teoría descrita

En este sentido, el espectro solar se describe por el coeficiente de masa de aire (m), tanto antes como después de que la radiación haya viajado a través de la atmósfera. $m 1.5$ se utiliza para representar paneles de generación de energía terrestre. Los espectros de referencia ASTM G173-03 se muestran en la Fig. 3 (ASTM,2020). La radiación en la superficie de la Tierra se compone de radiación ultravioleta (UV) en un 4-5% aproximadamente, radiación visible en un 45% aproximadamente y el resto de radiación infrarroja (IR) (Kumar et al.,2024).

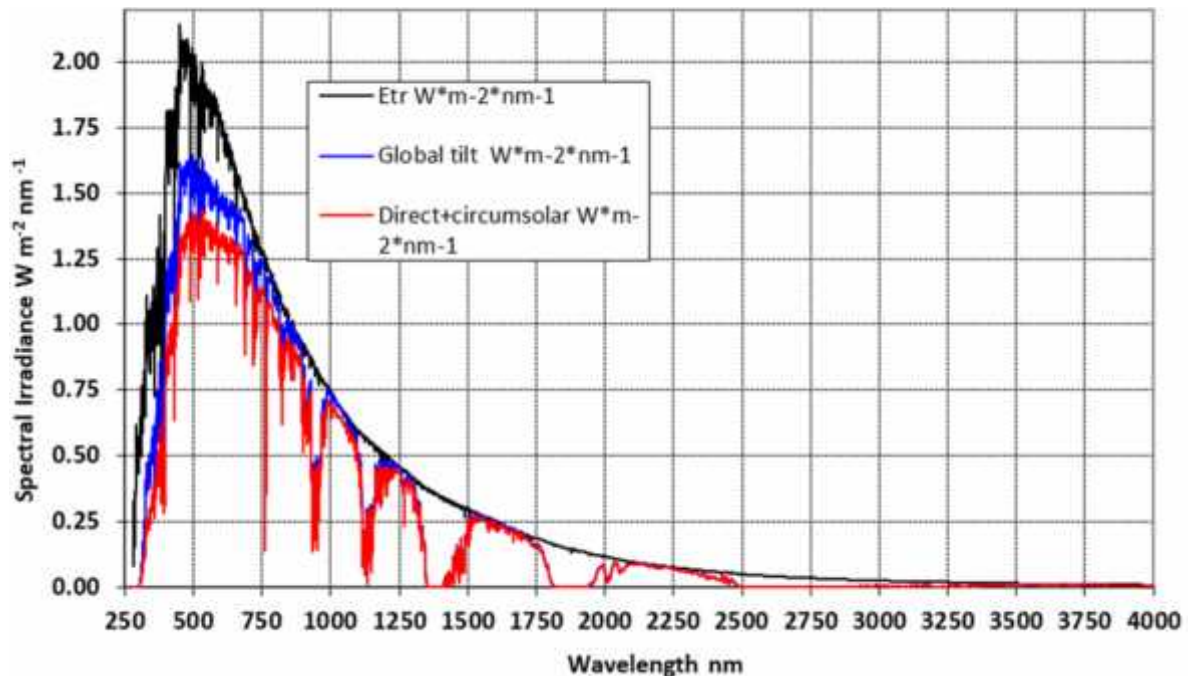
Según (Kumar,2024) la radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra se clasifica en:

- irradiancia normal directa (DNI)
- irradiancia horizontal difusa (DHI).

La GHI es la cantidad total de radiación solar que una superficie horizontal al suelo recibe desde arriba. La GHI incluye DNI y DHI, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4.

Espectros de irradiancia solar según ASTM G173-03



Fuente: NREL, citado por Kumar,2024

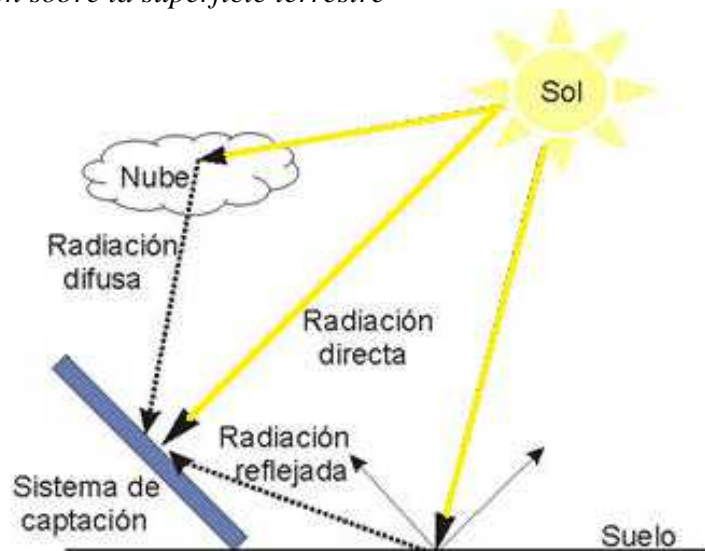
La DNI es la radiación solar que emana directamente de la dirección del Sol en su ubicación actual en el cielo (Figura 5). La DHI es la radiación solar que, en lugar de viajar directamente desde el Sol, viaja a través de la atmósfera, dispersada por moléculas y partículas, y llega desde todas las direcciones. Estos diferentes componentes de la irradiancia están relacionados de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$G = D + D * c(\theta_z) \quad \dots 2.2$$

Donde “ θ_z ” es el ángulo cenital de la posición del Sol.

Figura 5

Tipos de radiación sobre la superficie terrestre



Nota : Elaborado según los conceptos mencionados

Irradiancia e irradiación

Para determinar la radiación solar que llegan a una unidad de superficie se emplean dos magnitudes:

Irradiancia: Potencia o radiación incidente por unidad de superficie (W/m^2).

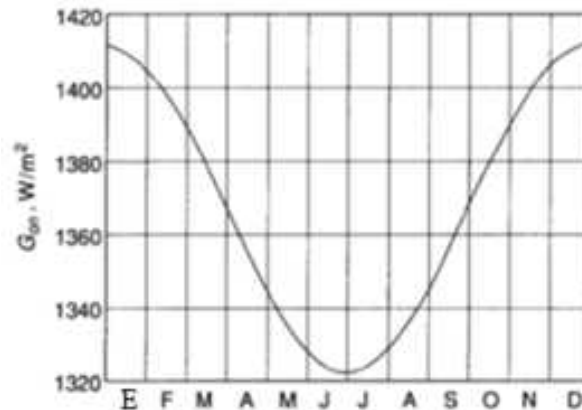
Irradiación: Energía percibida Wh/m^2 como unidad y sus múltiplos kW/m^2 y MWh/m^2 (Perpiñán, 2020 p.26).

Transformación de la radiación extraterrestre

Duffie (2020) afirma, “la variación de la distancia Tierra-Sol conduce a una alteración del flujo de radiación extraterrestre en el rango de $\pm 3,3\%$ ” (p.9). Se muestra en la Figura 6. La ecuación 2.1 proporciona una relación simple para muchos cálculos de ingeniería

Figura 6

Variación de radiación solar extraterrestre durante un año



Fuente: (Duffie,2020 p.9)

$$G_0 = G_S \left(1 + 0.033 \cos \frac{3}{3} n \right) \quad \dots 2.3$$

Donde.

G_S : Constante solar [1,367 kW/m²]

n : día del año [un número entre 1 y 365]

La ecuación anterior da la radiación extraterrestre en una superficie normal a los rayos del sol. Para calcularlo, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$G_U = G_0 = \cos \theta_z \quad \dots 2.4$$

Donde:

θ_z : es el ángulo cenital

En superficies horizontales, el ángulo de incidencia es el cenital del sol, θ_z . Su valor se encuentra entre 0° a 90° si el sol se encuentra sobre el horizonte. Se calcula como;

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad \dots 2.5$$

Donde:

ϕ : latitud

δ : declinación solar

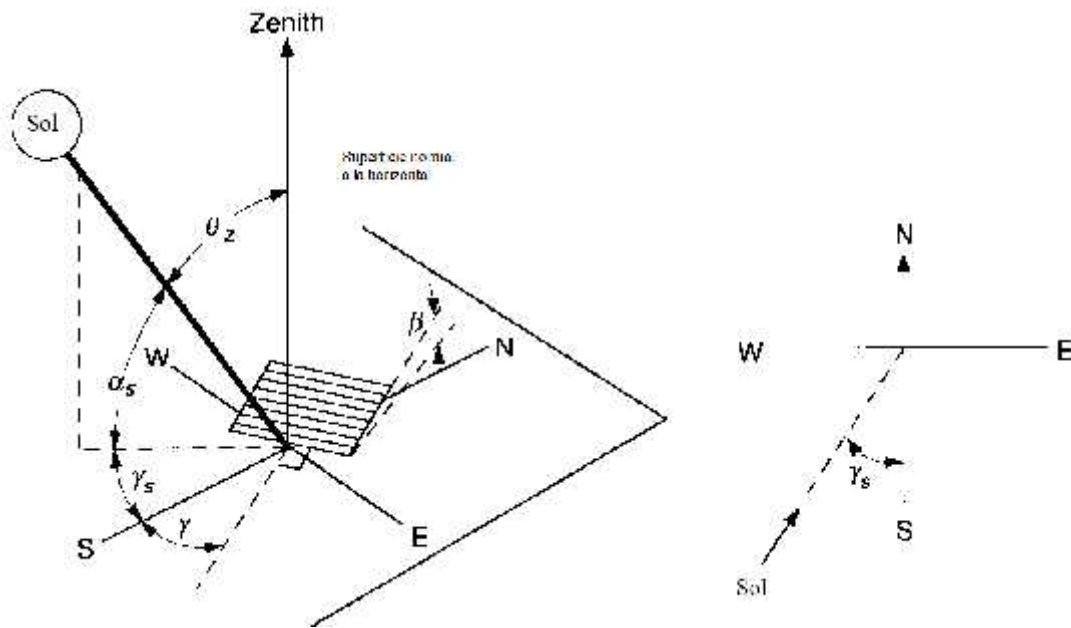
ω : ángulo horario

Dirección de la radiación del haz

La posición del Sol con respecto a un plano, puede describirse en ángulos (Duffie,2020). Algunos se indican en la Figura7

Figura 7

Relaciones, radiación solar entrante y plano de orientación respecto a la tierra



Fuente: (Duffie,2020 p.13)

Principales ángulos

w: Latitud, ubicación norte o sur del ecuador, $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$.

u: Declinación, posición del sol al mediodía solar respecto al ecuador; $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$.

S: Pendiente, entre la superficie y la horizontal; $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$. ($\beta > 90^\circ$

x: Acimut de superficie, desviación de proyección; $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.

Ŝ: horario, desplazamiento del sol al este u oeste del meridiano.

θ: incidencia, entre la radiación del haz sobre una superficie y la normal

θ_z: cenital, entre la vertical y la línea hacia el sol.

α_s: Altitud solar, entre la horizontal y la línea hacia el sol,

α_s: Azimut solar, desplazamiento angular desde el sur de la proyección de la radiación

La declinación u solar se determina;

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{2 + n}{3} \right) \quad \dots 2.6$$

Donde:

n es el día del año [un número entre 1 y 365]

Existe relaciones de utilidad entre estos ángulos. Así, θ , es:

$$\cos \theta = \sin \beta \cos \delta \sin \gamma + \cos \beta \sin \delta \sin \gamma + \sin \beta \cos \delta \cos \gamma + \cos \beta \sin \delta \cos \gamma \quad \dots 2.7$$

y

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \sin \gamma \quad \dots 2.8$$

Se puede simplificar la Ecuación 2.7. Para superficies verticales, $\beta = 90^\circ$, la ecuación se convierte en:

$$\cos \theta = -\sin \delta \sin \gamma + \cos \delta \sin \gamma \cos \omega + \sin \delta \cos \gamma \quad \dots 2.9$$

Para superficies horizontales, cuando el sol está sobre el horizonte. Para $\beta = 0$, [2.8] se convierte en

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \omega + \sin \delta \sin \omega \quad \dots 2.10$$

La ecuación 2.8 se puede resolver para el ángulo horario del atardecer ω_s , cuando $\theta_z = 90^\circ$

$$\cos \omega_s = -\tan \delta \tan \beta \quad \dots 2.11$$

El factor geométrico **R_b**, relaciona la radiación del haz en la superficie inclinada y la de una superficie horizontal, se puede calcular exactamente mediante el uso apropiado de la Ecuación 2.5.

$$R_D = \frac{G_{E,T}}{G_E} = \frac{G_{D,n} \cos \theta}{G_{E,n} \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad \dots 2.12$$

y $\cos \theta$ y $\cos \theta_z$ se determinan a partir de la Ecuación 2.5 (o de ecuaciones derivadas)

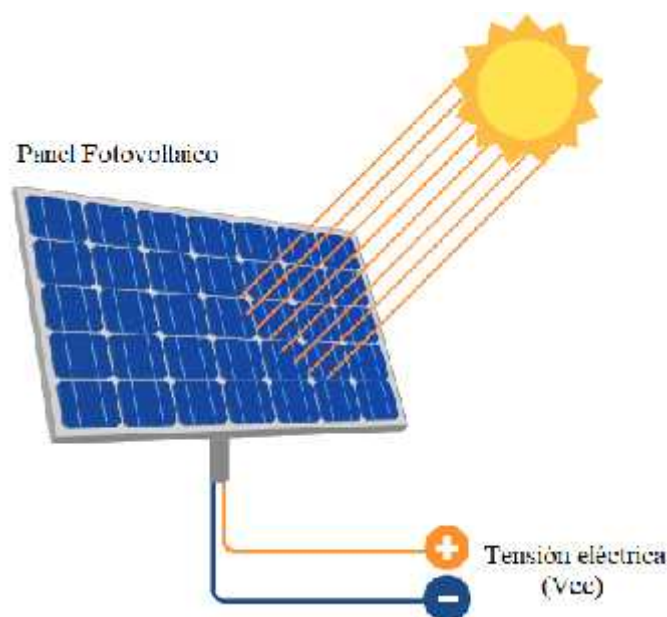
2.2.3 Tecnologías de conversión de energía solar

La energía solar es aprovechada principalmente por tres técnicas: i) fotovoltaica, ii) procesos fotoquímicos y iii) sistemas solares térmicos. Estas tecnologías tienen un enorme potencial para formar parte del sector energético del futuro (Ajarostaghi & Mousavi,2022)

Energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica funciona según el principio del efecto fotoeléctrico (Figura 8), en el que la radiación solar se convierte en electricidad. Los científicos de los Laboratorios Bell desarrollaron el primer modelo funcional de células fotovoltaicas (PV) en 1954. Generaron la corriente eléctrica exponiendo la célula desarrollada a la luz solar (Kumar,2024). Después de eso, se desarrollaron varios tipos de células solares para reducir el coste y mejorar la eficiencia. En la actualidad, las células solares de silicio c-Si representan más del 95 % de la producción total de células, seguidas del silicio amorfo (aSi: H, 1 %), seleniuro de cobre, indio y galio (CuInGaSe₂ o CIGS) y el telururo de cadmio (CdTe, 5 % (International Energy Agency 2024)). La célula fotoeléctrica fue creada usando materiales semiconductores y es la unidad básica de la generación fotovoltaica. Las células fotoeléctricas se conectan en un gabinete, llamado “**panel fotovoltaico**”, con lo que se genera más energía de manera más confiable.

Figura 8
Efecto fotovoltaico



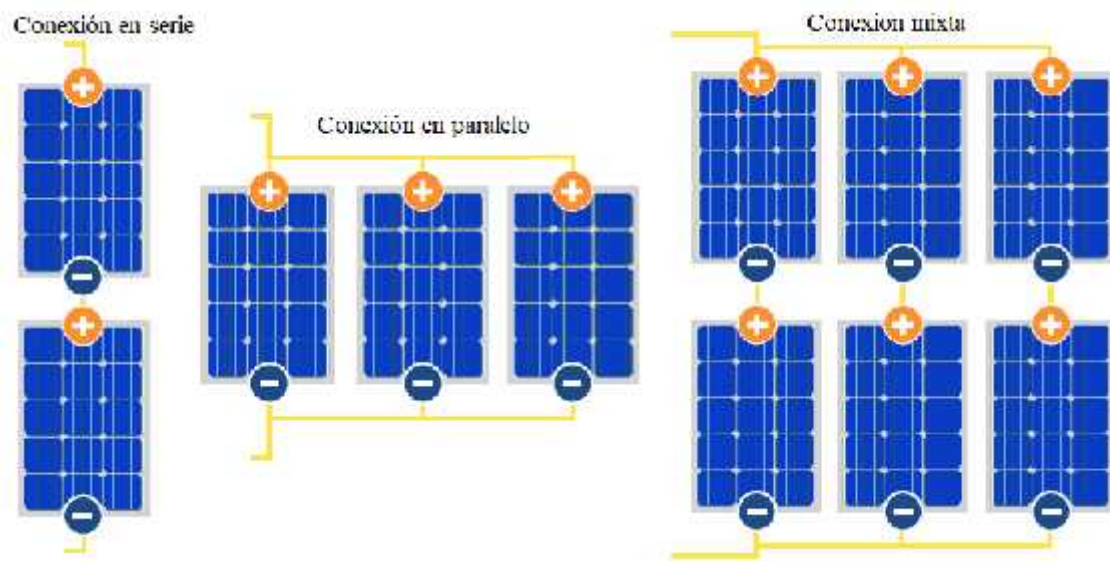
Fuente. Pasos et al. (2018)

Sistemas fotovoltaicos

Los sistemas de energía solar fotovoltaica convierten la luz solar en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico. Este proceso se lleva a cabo en paneles solares compuestos por células solares interconectadas, generalmente hechas de silicio (Kannan, et al.,2016). Los paneles también se pueden conectar entre sí, para crear un arreglo de paneles” (Passos, et al. 2018, p.18). Los arreglos de paneles se pueden formar con conexiones de paneles en serie, paralelas, o ambas, como se aprecia en la Figura 9.

Figura 9

Conexión serie, paralelo y mixta de paneles fotovoltaicos



Fuente: Pasos et al. BID (2018)

Podemos enunciar que el conjunto de paneles fotovoltaicos junto con otros dispositivos electrónicos necesarios para poder adecuar la electricidad para su uso; conforman lo que se conoce como un **Sistema Fotovoltaico (SF)**, el cual puede tener diferentes configuraciones, aunque básicamente existen dos tipos:

SF conectados a la red eléctrica (*on-grid*);

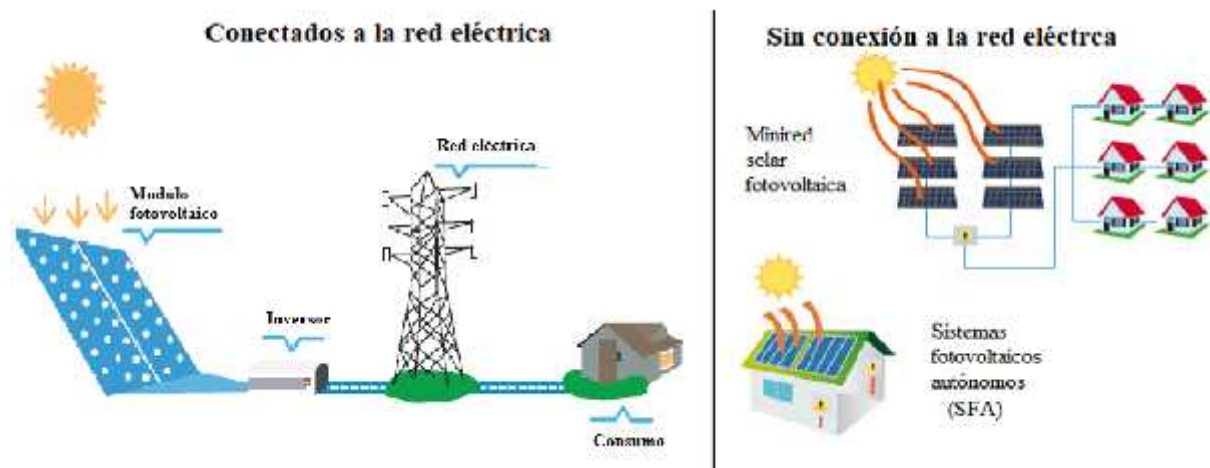
Están conectados a la red a través de inversores, que convierten la energía de CC en electricidad de CA. Estos sistemas no requieren baterías, la red suministra electricidad en momentos en que la generación de energía fotovoltaica es insuficiente (Jager ,2016).

SF sin conexión a la red eléctrica (*off-grid*)

La energía producida normalmente se almacena en baterías. Un sistema típico constaría de un módulo o módulos fotovoltaicos, baterías y un controlador de carga (Figura 10). Se puede incluir un inversor en el sistema para convertir la corriente directa generada por los módulos fotovoltaicos en alterna (Kalogirou, 2014)

Figura 10

Configuraciones de sistemas fotovoltaicos



Fuente: adaptación del autor

Módulos fotovoltaicos

La potencia generada por un sistema fotovoltaico se puede expresar de la siguiente manera Das et al., (2017):

$$P_P = Y_P f_P \left(\frac{G_T}{G_{T,S}} \right) [1 + \alpha_p (T - T_0)] \quad \dots 2.13$$

Donde

P_P Potencia de salida del panel fotovoltaico en kilovatios (kW),

f_P factor de reducción (%),

Y_P capacidad nominal total del conjunto fotovoltaico, que indica su potencia de salida en condiciones STC (kW),

G_T radiación solar incidente en el conjunto fotovoltaico en el intervalo de tiempo actual (kW/m²)

$G_{T,S}$ valor de radiación solar estándar por unidad de área del panel fotovoltaico (1 kW/m²).

Además, α_p , T y T_0 son el coeficiente de potencia y temperatura (%/°C), las temperaturas real y estándar, establecidas en 25 °C, respectivamente.

Componentes del sistema fotovoltaico

La Norma MEM-DGE (2015) al respecto establece; Según la configuración, el SFV (Figura 11) están compuestos por:

- Generador fotovoltaico, uno o más módulos.
- Banco de baterías.
- Unidad de Control; controlador de carga, convertidor de tensión, inversor
- Accesorios (Soporte, gabinete de control y sistemas de distribución eléctrica).

Figura 11

Principales componentes de instalación fotovoltaica



Nota. En caso del uso para consumo de corriente alterna, hay que añadir un inversor, el cual convierte la (CC) en (CA). Fuente: adaptaciones hechas por el autor

Componentes principales

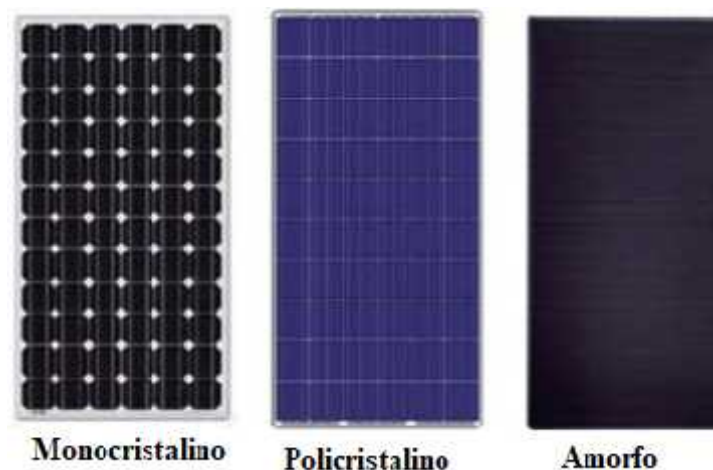
Paneles Fotovoltaicos

Dispositivos planos de células fotovoltaicas conectadas eléctricamente, con células individuales. “Los paneles, por lo general, están compuestos por grupos de 36 o 72 células, para producir los voltajes de 12 y 24V respectivamente” (Passos, et al. 2018). Existen varios tipos de paneles fotovoltaicos (Figura 12) , los que se pueden diferenciar por el tipo o arreglo que puede realizarse. Actualmente, los paneles de células de silicio son los comercializados debido a su gran eficiencia (Kalogirou,2014)

La potencia nominal se da en Wp (*Watt-peak*, pico de vatios) y significa la salida de potencia máxima del panel en condiciones de pico (estimadas a cierta temperatura y radiación solar). La potencia de todo el Sistema Fotovoltaico también se expresará en Wp, asumiendo que cada panel esté funcionando en condiciones de pico. El material más utilizado para construir las células fotovoltaicas es el silicio (Tabla N°1). Si bien se utilizan otros materiales para fabricarlos, el rendimiento de los mismos depende más de su estructura interna que por su composición y se clasifican en tipos: **Mono cristalino, Policristalino o Amorfo**.

Figura 12

Tipos de paneles fotovoltaicos según la tecnología de fabricación



Fuente: gráficos tomados de Panel solar Perú. <https://www.panelsolarperu.com/>

Tabla 1

Paneles solares según la tecnología de fabricación.

Silicio	Rendimiento	Características	Fabricación
Monocristalino	$\geq 21\%$	Son celdas solares con mayor calidad y rendimiento. Su Proceso de fabricación es complejo	Se obtiene de silicio puro dopado con Boro
Policristalino	(11- 15)%	Tienen gran resistencia a las altas temperaturas	Se fabrica a través de silicio puro con múltiples cristales
Amorfo	(6- 11)%	Se caracteriza por su flexibilidad y emplean solo un 1% del silicio que contiene una celda solar	Es semiflexible y puede depositarse en forma de lamina delgada

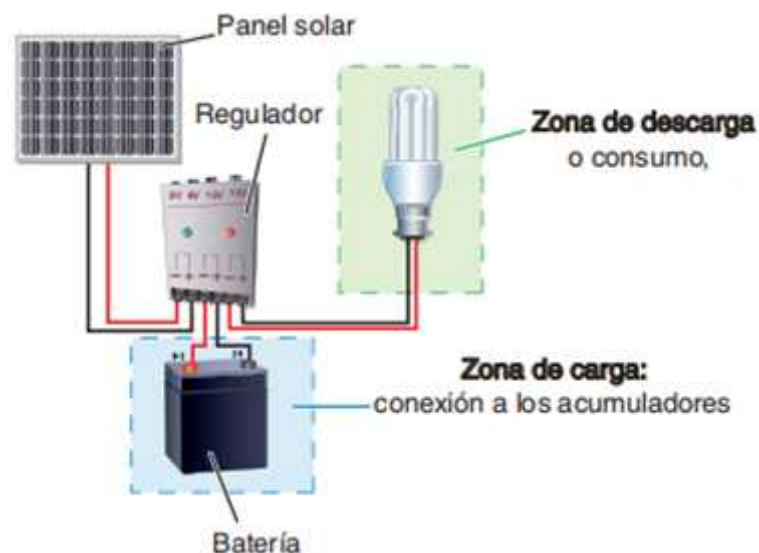
Nota. Las eficiencias han sido tomadas de la pagina web de “autosolar”:

Regulador de carga

Regula la carga de la batería, el regulador, apagan los módulos fotovoltaicos cuando las baterías están completamente cargadas y pueden apagar la carga para evitar que las baterías se descarguen por debajo de un determinado límite (Figura 13). (Jager 2016, p.221).

Figura 13

Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica.



Fuente: adaptación basada en Jager,2016

Baterías

Almacenan la energía eléctrica generada.

Los sistemas de baterías disponibles (Tabla N°2) son los siguientes: plomo-ácido (Pb); alcalinas: níquel-cadmio (Ni-Cd), níquel-zinc (alcalinas) y níquel-hidruros metálicos (Ni-MH); sodio-azufre (Na-S) y sodio-cloruro de níquel (Na-NiCl₂); litio: ion-litio entre otras. Considerando las aplicaciones en las redes eléctricas, estas tecnologías se encuentran en diferentes fases de comercialización (Schmerler et al.,2019, p.215).

Tabla 2
tecnologías de sistemas electroquímicos

Fase de desarrollo	Fase prueba/demostración	Fase de consolidación
	• Alcalinas	
	• Sodio-cloruro de níquel	
• Metal-aire	(Na-NiCl ₂ , Zebra)	• Plomo-ácido (Pb)
• Ion-litio	• Litio-polímero	• Sodio-azufre (Na-S)
	• Vanadio (VFR)	
	• Zinc-bromo (Zn-Br)	
	• Capacidades electroquímicas	

Nota. Tomado de Schmerler et al.,2019: Elaboración; GPAE-Osinergmin (2019)

Batería de plomo-ácido: es una tecnología comprobada que cuesta menos, pero requiere un mantenimiento regular y su duración no suele ser muy extensa.

Batería de litio. - Es una tecnología de batería con una vida útil más larga y una mayor eficiencia, pero más costosa por el aumento del rendimiento. Las baterías de litio que se emplean en las instalaciones fotovoltaicas son de fosfato de hierro y litio (LiFePO₄) que tienen una gran estabilidad térmica. El principal inconveniente de las baterías de litio es su precio más alto en comparación con las baterías de plomo-ácido, en la Figura 14 se muestran los tipos de baterías.

Figura 14
Baterías de plomo ácido-frente a baterías de litio



Fuente: Tomado de: <https://www.redwaypower.com/>

2.2.4 Energía eólica.

Según la Oficina de Tecnologías de Energía Eólica del Departamento de Energía de EE. UU.

Las turbinas eólicas aprovechan el viento (una fuente de energía renovable limpia, gratuita y ampliamente disponible) para generar energía eléctrica. Una turbina eólica convierte la energía eólica en electricidad utilizando la fuerza aerodinámica de las palas del rotor. Cuando el viento fluye a través de la pala, la presión del aire en un lado de la pala disminuye. La diferencia en la presión del aire a través de los dos lados de la pala crea tanto sustentación como resistencia. La fuerza de elevación es más fuerte que la de arrastre y esto hace que el rotor gire. El rotor se conecta al generador, ya sea directamente (si es una turbina de accionamiento directo) o a través de un eje y una serie de engranajes (una caja de cambios). Esta traducción de la fuerza aerodinámica a la rotación de un generador crea electricidad. (U.S. Department of Energy, 2023)

Fundamentos teóricos del aprovechamiento eólico

Investigadores de muchos países han estudiado el potencial de energía eólica de una región utilizando diversos enfoques. (Rao, 2019).

Potencia disponible

Se determina a partir de:

$$P_d = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad [\text{W}] \quad \dots 2.14$$

Coefficiente de potencia C_p

Relaciona potencia extraída y disponible del viento:

$$C_{p.m} = \frac{1}{2} \quad \dots 2.15$$

Se le conoce, como "*Límite de Betz*" y hace mención al siguiente concepto fundamental "*La máxima potencia teórica extraíble de una corriente de aire con un aerogenerador ideal no puede superar el 59% de la potencia disponible del viento incidente*".

Captura de energía eólica:

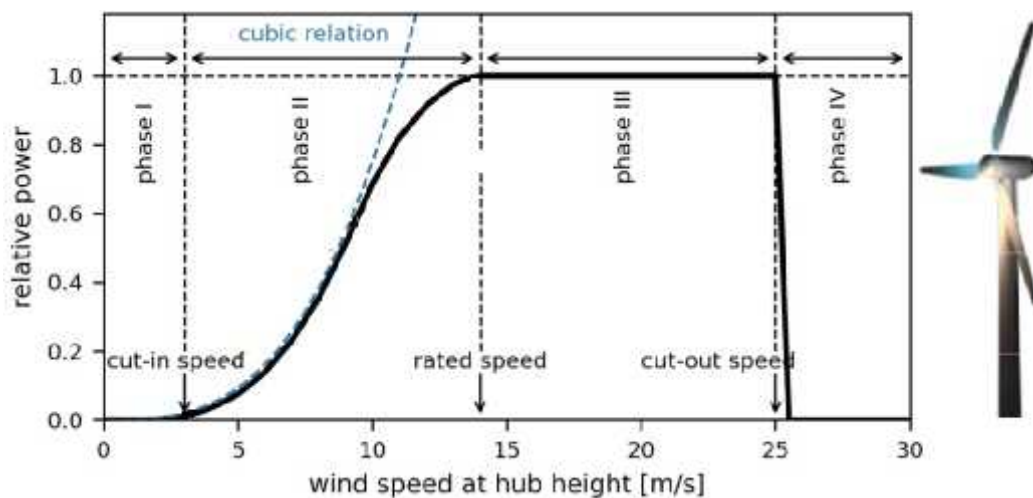
La captura de potencia de la turbina viene dada por

$$P_T = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad \dots 2.16$$

La característica de salida de energía, es decir, la curva de rendimiento (Figura 15) de un aerogenerador describe la relación entre la velocidad a la altura del buje y la potencia eléctrica suministrada por el generador. La curva de rendimiento de la energía eólica se puede dividir en cuatro fases según sus características operativas (Wang et al., 2019).

Figura 15

Curva característica de potencia típica de generador de turbina eólica



En la fase I, la velocidad es inferior a la mínima de arranque de un aerogenerador. Para permitir el funcionamiento del aerogenerador, se requiere una energía eólica mínima para compensar la fricción y las fuerzas de inercia del aerogenerador. Por lo tanto, no se genera energía eléctrica en la fase I y el aerogenerador no arranca.

En la fase II, a una velocidad de arranque del viento de aproximadamente 2–4 m/s, se enciende la turbina eólica. La potencia de salida aumenta con la velocidad del viento. La potencia eólica nominal se alcanza a la velocidad nominal específica de la turbina, normalmente alrededor de 12–15 m/s.

La curva de potencia se describe teóricamente por la tercera potencia (función cúbica) de la velocidad a la altura del buje. La potencia máxima que se puede extraer de la energía eólica se deriva de la ley de Betz (Xiao et al.,2020). Se puede describir en la siguiente ecuación:

$$P_W = \frac{1}{2} * C_p * \rho_a * A_r * v_h^3 \quad \dots 2.17$$

Donde

P_{wt} : es la potencia de salida del generador de turbina eólica,

C_p : coeficiente de potencia,

ρ_a : densidad del aire,

A_{rotor} : área barrida del rotor,

v_h ; velocidad del viento a altura de buje.

Después de alcanzar la velocidad nominal, la potencia eléctrica de salida permanece en su potencia nominal en la fase III. Las velocidades altas y sostenidas del viento pueden provocar fatiga intensa y cargas extremas para el sistema de generador de turbina eólica. Por lo tanto, las palas del rotor se ajustan automáticamente a la velocidad del viento respectiva, cuando la velocidad alcanza o supera la velocidad nominal. Este ajuste tiene como objetivo limitar la potencia de salida mediante diferentes estrategias apropiadas, que normalmente incluyen controles de regulación de pérdida y paso (Apata & Oyedokun (2020), con el fin de evitar superar la potencia nominal del generador.

Perfil de ley de potencia

Representa un modelo simple para el perfil de velocidad del viento vertical. Se le expresa como:

$$\frac{U(z)}{U(z_r)} = \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha \quad \dots 2.18$$

Donde

$U(z)$: velocidad a la altura z ,

$U(z_r)$; velocidad a altura z_r ,

α : exponente de potencia.

2.2.5 Estimaciones de producción de energía de aerogeneradores

Para una determinada función de densidad de probabilidad del régimen del viento, $p(V)$, y una curva de potencia de turbina conocida, $P_w(V)$, la potencia promedio de la turbina eólica, $\overline{P_w}$, viene dada por:

$$\overline{P_w} = \int_0^+ P_w(V) p(V) dV \quad \dots 2.19$$

Factor de capacidad, definida como la relación entre la energía realmente producida y la que podría haberse producido si la máquina funcionara a su potencia nominal, P_R ,

$$C = \overline{P_w} / P_R \quad \dots 2.20$$

es posible determinar una curva de potencia de turbina basada en la potencia disponible en el viento y, CP. El resultado es la siguiente expresión para $P_w(V)$:

$$P_w(V) = \frac{1}{2} \rho C_p \eta V^3 \quad \dots 2.21$$

donde: η es la eficiencia del tren de transmisión (potencia del generador/potencia del rotor) y A y ρ se han definido previamente.

El coeficiente de potencia del rotor está definido por:

$$C_p = \frac{\text{Potencia del rotor}}{\text{Potencia en el viento}} = \frac{P_{\text{rotor}}}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \quad \dots 2.22$$

CP generalmente se puede expresar como una función de la relación de velocidad punta, λ , definida por:

$$\lambda = \frac{\text{Velocidad de la punta de la pala}}{\text{Velocidad del viento}} = \frac{\Omega R}{V} \quad \dots 2.23$$

donde: Ω es la velocidad angular (en radianes/seg) del rotor del aerogenerador y R es el radio del rotor eólico.

Por lo tanto, suponiendo un valor constante para la eficiencia del tren de transmisión, otra expresión para la potencia promedio de la máquina eólica viene dada por:

$$\overline{P_w} = \frac{1}{2} \rho R^2 \eta \int_0^+ C_p(\lambda) V^3 p(V) dV \quad \dots 2.24$$

2.2.6 Energía Hidráulica

“Es la energía cinética del movimiento de masas de agua y la energía potencial del agua disponible a una cierta altura. Las centrales que aprovechan los cauces y caídas de agua para generar electricidad se denominan centrales hidroeléctricas” (Schmerler et al,2019, p.27).

Potencia teórica de un salto de agua

Se estima mediante:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_b \quad (k) \quad \dots 2.25$$

Siendo

ρ : del agua (1000 kg/m³)

G: (9,81m/s²)

Q: caudal (m³/s)

H_b: salto (m)

El producto de ρg es el peso específico del agua γ (N/m³). Su valor depende de la temperatura del agua, es decir, a 4°C vale $\gamma = 9,81$ (kN/m³).

Potencia instalada y producción

La potencia disponible varía con el valor del caudal para ser turbinado y el salto existente. Descontando las pérdidas de carga al valor del salto bruto, la expresión de la potencia quedaría en función del salto neto:

$$P = 9,81 \times H_n \times Q_e \quad (K) \quad \dots 2.26$$

Teniendo en cuenta ahora un factor de eficiencia global de la central (η) quedaría

$$P = 9,81 \times H_n \times Q_e \times \eta \quad (K) \quad \dots 2.27$$

La eficiencia global de la central η , depende de rendimientos de los equipos que intervienen en la producción de la energía más el autoconsumo:

$$\eta = \eta_{tub} \cdot \eta_{tur} \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_L \quad \dots 2.28$$

Donde:

η_{tub} = tubería (0,90 a 0,95)

η_{tur} = turbina hidráulica (0,88 a 0,94)

η_m = caja multiplicadora (0,96 a 0,98)

η_g = generador eléctrico (0,91 a 0,95)

η_T = transformador (0,96 a 0,98)

η_L = línea de transmisión (0,95 a 0,96)

2.2.7. Tecnologías energéticas basadas en recursos energéticos renovables (RER)

El desarrollo tecnológico y las características de generación con renovables RER han madurado técnicamente. En el escenario de la experiencia de otros países respecto a la difusión de los RER.

En los últimos años el estado peruano ha fomentado el desarrollo de los proyectos de generación con RER, dando inicio en 2008, con la emisión de un marco normativo para la promoción de inversiones privadas y la adjudicación de proyectos de RER. La promoción de estas tecnologías ha permitido el inicio de operaciones de centrales eólicas y solares (Vásquez y Tamayo, 2017, p.267)

El uso de RER, está respaldado por la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación (D.L N° 1002) y su reglamento, D.S., N° 012-2011-EM2), y su Reglamento (D.S. N° 020-2013-EM). Estas reglamentaciones, progresivamente han madurado para integrar la energía renovable al sistema energético eléctrico del país (D.S. N.º 036-2014-EM)

Según Vásquez y Tamayo (2017), en referencia a la Evolución de RER en la matriz energética afirman:

Perú, tradicionalmente un país hidroeléctrico. Hasta 2002, representando el 85% del total generada en el país. En 2008, la producción con RER era menor al 0.01% del SEIN. Empero, debido a la adjudicación de nuevos proyectos de RER, este porcentaje se ha incrementado desde entonces hasta alcanzar, en diciembre de 2016, al 5.3% (p.111)

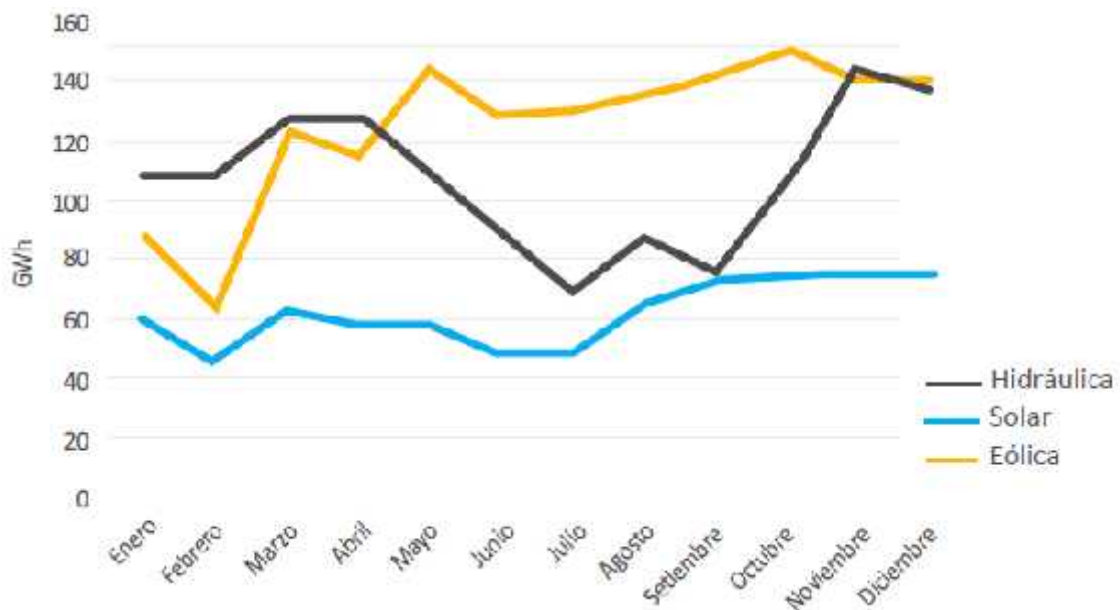
En 2022, “Las inversiones globales en energía renovable aumentaron un 19% con respecto a los niveles de 2021 y casi un 70% con respecto a 2019. Esta tendencia demuestra un reconocimiento cada vez mayor de la crisis climática” (IRENA y CPI, 2023, p.10)

Schmerler, et al. (2019), referente a la producción de energía RER según fuente energética afirman:

La Figura 16 confirma la existencia de sinergias climáticas ante las variaciones a lo largo del año de la cantidad producida por cada tipo de fuente, ya que mientras la generación de energía a partir de fuentes hidráulicas se reduce entre abril y setiembre, la producción eléctrica mediante energía eólica se incrementa durante el mismo periodo. (p. 41)

Figura 16

Producción con RER según fuente (2018)



Fuente: COES (2019). Elaboración: GPAE-Osinergmin

2.2.8 Potencial de los recursos renovables en el Perú

“El principal recurso energético renovable del país es el hidroeléctrico”, seguido del solar y eólico (Tabla N°3), con una potencia total de 69 445 MW, 25 000MW y 20 MW, respectivamente” (Schmerler, et al. 2019, p. 106)

Tabla 3

Potencial de los principales recursos renovables del Perú

Tipo de recurso Renovable	Potencia técnica aprovechable (MW)	Potencia instalada SEIN	(%)
Hidráulico	69445	4942.4	7.12
Solar	25000	285.02	1.14
Eólico	20493	375.46	1.83

Fuentes; Consorcio Halcrow Group y OIST (2011), Consorcio Barlovento y Vortex (2016), Minem (2016), Villicaña (2018), COES (2019) y Elliot (2019). Elaboración: GPAE-Osinergmin.

Potencial de energía solar

Según la publicación del Banco Mundial ESMAP (2020):

El mayor potencial se observa en la región de los Andes en América del Sur. Siendo, estando la energía fotovoltaica es entre un 15 % y un 20 % superior en comparación con otras regiones climáticas similares del mundo.

Por lo tanto, los valores más altos del recurso se encuentran al noroeste de Argentina, Bolivia, el norte de Chile y el sur de Perú. Además, afirma que alrededor del 20% de la población mundial radican en 70 países que presentan excelentes condiciones, donde los promedios diarios a largo plazo superan los 4,5 kWh/kWp. (pag.32)

Tal como sostiene el Banco Mundial (2019):

Los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna son los que presentan mejores condiciones para el desarrollo de tecnologías fotovoltaicas y solar térmica. En estas tres regiones al sur del país (Figura17), la irradiación horizontal global pertenece al intervalo 6.8 kWh/ m² y 7 kWh/ m², y para la irradiación directa normal se encuentra en el intervalo 7.5 kWh/ m² y 8.5 kWh/ m².

Figura 17

Mapa de irradiación horizontal global del Perú (2019)



Fuente y elaboración: Banco Mundial (2019). <https://globalsolaratlas.info/download/peru>

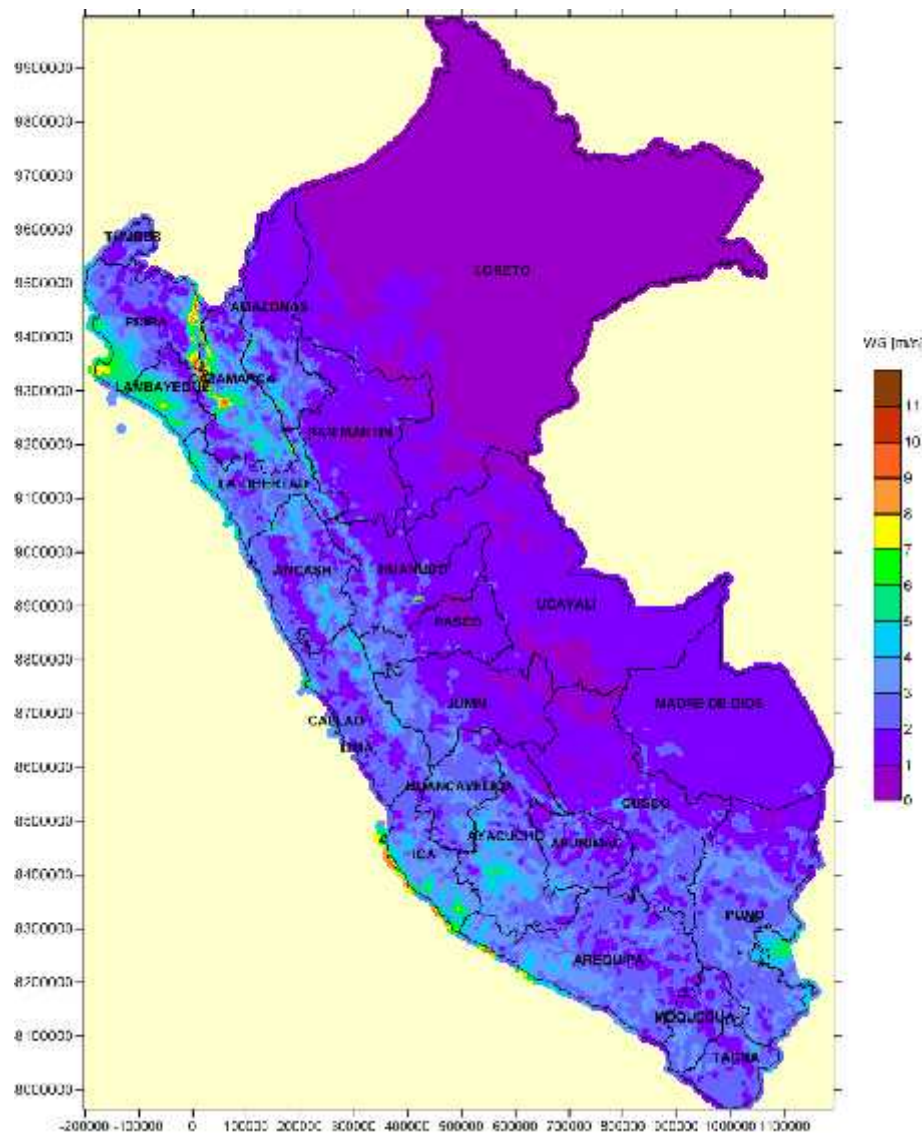
Potencial de la energía eólica

Con respecto al recurso viento el Atlas Eólico del Perú de (2016), afirma:

Se encuentra en la costa, especialmente en las regiones de Piura, Lambayeque, La Libertad, Áncash, Ica y Arequipa, con velocidades de viento promedio de 5 y 8 m/s (a una altura promedio de aerogenerador de 10 m). En la sierra, la velocidad del viento se encuentra entre los 4 y 7 m/s, siendo Cajamarca la más destacada porque tiene un potencial similar a las regiones costeras. La selva tiene un menor potencial en comparación con las dos regiones mencionadas (Figura18).

Figura 18

Velocidad media anual del viento a 10 m, Perú



Fuente; Atlas Eólico (Perú, 2016)

Potencial de la energía mini hidráulica

En el Perú existen regiones hidrológicas, cuyas cuencas pueden ser utilizadas para la generación de energía (Tabla N°4 y Figura 19).

Tabla 4

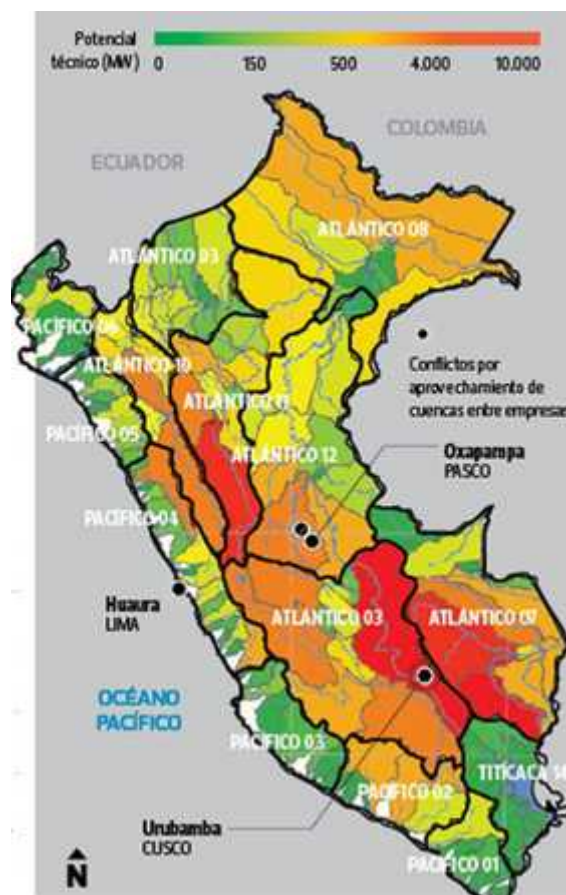
Potencial hidroeléctrico técnico-Perú

Vertiente	Total (MW)	Excluido (MW)	Aprovechable (MW)
Pacífico	11 402	2 671	8 731
Atlántico	86 971	26 345	6 027
Titicaca	87	0	87
Total	98 460	29 016	69 445

Fuente: Consorcio Halcrow Group y OIST (2011).

Figura19

Potencial técnico del Perú por cuenca hidrográfica



Nota: Fuente, Ministerio de Energía y Minas documento promotor 2012

2.2.9 Costo de la energía renovables

Según el informe de Bloomberg NEF (2021) El sector más grande en 2020 fue el de la energía renovable, que atrajo 303.500 millones de dólares para nuevos proyectos y sistemas a pequeña escala. Esto fue un aumento del 2% con respecto a 2019, a pesar de los retrasos relacionados con Covid en algunos acuerdos. En 2022, “Las inversiones globales en energía renovable aumentaron un 19% con respecto a los niveles de 2021 y casi un 70% con respecto a 2019” (IRENA y CPI,2023, p.10) (Figura 20)

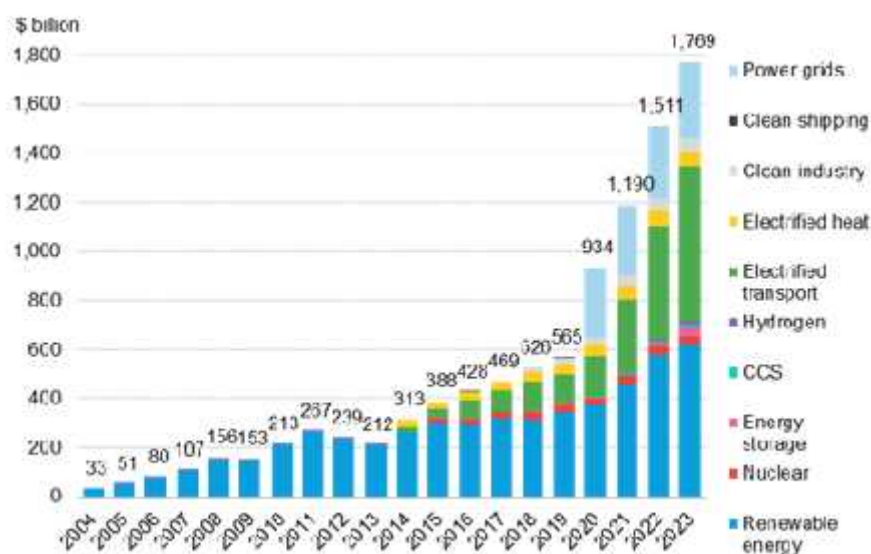
INRENA (2023), escribe que, entre 2010 y 2022, “El coste nivelado medio ponderado de la electricidad (LCOE) global de la energía eólica terrestre cayó un 69%, de 0,107 dólares/kilovatio hora (kWh) a 0,033 dólares/kWh. En 2022, el LCOE cayó un 5% interanual” (p.69). Además, con respecto a los “Costos de generación de energía renovable en 2022”, afirma: El coste nivelado medio ponderado mundial de la electricidad (LCOE) de fotovoltaicas (PV) a escala macro disminuyó un 89 % en los periodos 2010- 2022, de 0,445 USD/kWh a 0,049 USD/kWh (p.35).

El informe “Tendencias de Inversión en la Transición Energética 2024” afirma:

Las energías renovables, es uno de los factores de impulso del crecimiento de la inversión año tras año, tal es así que “La Inversión en energías limpias se despunto a un 17% y alcanzó los 1.8 billones de dólares en 2023” (BloombergNEF)

Figura 20

Inversión en la transición energética mundial por sectores



Nota: Fuente: Bloomberg NEF 2023

2.2.10 Sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana

Según el Consejo Mundial de la Energía, “La sostenibilidad energética se basa en tres dimensiones centrales: seguridad energética, equidad energética y sostenibilidad ambiental de los sistemas energéticos. Equilibrar estos tres objetivos constituye un “trilema” que permiten la prosperidad y la competitividad de los países individuales” (World Energy Council, 2019, p.11)

Por su parte la Secretaría Distrital de Ambiente (2022), sobre el mismo tema enuncia:

Es una estrategia que busca promover la eficiencia energética y la inclusión de las fuentes no convencionales de energía renovable en las organizaciones, con el propósito de asegurar la optimización de los recursos, así como el aprovechamiento de nuevas fuentes energéticas en el marco de la Política de Crecimiento Verde y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (p8).

La agencia internacional de energía (IEA) (2023), respecto a la eficiencia energética declara:

Es una opción orientada a suprimir el uso innecesario de la energía, sin disminuir la calidad y cantidad de los bienes de producción o servicios. También viene a ser la relación que existe entre lo que se aprovecha y lo que se utiliza en cualquier proceso de la cadena energética y que busca ser maximizada, bien sea a partir del uso de una forma primaria o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución o consumo de la misma (p.9).

Los sistemas alimentarios dependen de grandes cantidades de energía, en particular de combustibles fósiles, para su productividad (Namany et al., 2019) y son responsables de un tercio de emisiones antropogénicas de (GEI) (Crippa et al., 2021). No es posible alcanzar los objetivos climáticos nacionales e internacionales sin reducir las emisiones de los sectores alimentario y agrícola (Clark et al., 2020). El desafío radica en transformar los sectores alimentario y energético de una manera equitativa y ambientalmente sostenible, manteniendo al mismo tiempo la seguridad alimentaria (IRENA y FAO, 2021). Reemplazar la forma de energía tradicional es una de las opciones más prometedoras para mejorar la sostenibilidad del sistema alimentario y abordar el cambio climático (IRENA, 2017).

La acuicultura utiliza energía durante las fases de engorde y para producir insumos (es decir, piensos, criaderos), lo que contribuyó con 245 millones de toneladas de GEI en 2017 (MacLeod et al., 2020). El incremento de costos energéticos y la huella de carbono asociada en el sector de los productos del mar es motivo de creciente preocupación (Gephart et al., 2021) e incluye tanto la producción como las etapas posteriores de la cadena de suministro, incluido el procesamiento, la distribución y la venta minorista (Murali et al., 2021). Las energías renovables in situ se están considerando como un enfoque para volverse menos dependiente de los combustibles fósiles (Rahman et al., 2022). En el mismo sentido, la sostenibilidad energética de la acuicultura continental se ve beneficiada debido a que, “las tecnologías de energía renovable se han expandido rápidamente en los últimos años debido a fuertes reducciones de costos, innovación y apoyo político” (IRENA, 2020 p.13).

Asimismo, **VTiC** Acuicultura. (2017), en referencia a la “Eficiencia de los equipos fotovoltaicos como fuente energética para la Acuicultura en la Amazonía Peruana”, afirma:

El uso de la energía solar se presenta como una opción para reducir costos en el sector industrial. Esto se da en la Amazonía Peruana, específicamente en la acuicultura intensiva donde los costos eléctricos pueden representar la tercera parte del costo de producción, debido a que en este tipo de acuicultura se incrementa la densidad de siembra, implicando la utilización de equipos de bombeo y recirculación continua que ayudan a mejorar la oxigenación del sistema, pero también aumentan el costo de fluido eléctrico. (p.4)

2.2.11 Indicadores de sostenibilidad energética

El término “sostenibilidad” fue introducido en (1980), expresándose generalmente en términos del desarrollo sostenible de una nación (Vargas-Santander et al 2023). Si bien se ha hecho un gran esfuerzo por medir la sostenibilidad a nivel de país –evidenciado en las últimas décadas a través de la construcción de indicadores de sostenibilidad (Borghi, 2017)–, hasta la fecha no se ha construido un indicador único que refleje la sostenibilidad nacional en todas sus dimensiones (Hickel, 2020). Por lo que es necesario crear medidas de sostenibilidad a nivel de país que puedan proporcionar un cálculo replicable y comprensible.

Sostenibilidad energética

Busca propulsar la eficiencia energética y la inclusión de fuentes de energía renovable. El propósito es renovar la competitividad de las empresas y la economía. Su aplicación, “contribuye frenar el crecimiento insostenible de la demanda de energía, al tiempo que libera capital para invertir en infraestructura necesaria para sostener la expansión de la oferta de energía eólica y solar” (World Energy Council, 2019 p.60)

El análisis técnico y financiero de un sistema híbrido con energía renovable en sostenibilidad energética, indica si el proyecto es rentable con base en la inversión inicial, referido al monto total de inversión necesario para adquirir e implementar dicho sistema. Los componentes principales que contribuyen al capital inicial del sistema; pudiendo incluir los siguientes costos:

Equipamiento: comprende el costo de adquisición de todos los componentes del sistema, como paneles solares, turbinas eólicas, sistemas de almacenamiento de energía, inversores, etc.

Instalación: Son gastos relacionados con la instalación del sistema, entre estos tenemos; mano de obra, permisos, transporte y herramientas.

Ingeniería y diseño: honorarios de ingenieros y diseñadores y costos asociados con la elaboración de planos e ingeniería del proyecto.

2.2.12 Análisis de costo de la generación de energía

Se centra en estimar los costos de las energías renovables desde la perspectiva de los inversores privados, ya sean una empresa de generación de electricidad de propiedad estatal, un productor de energía independiente o una comunidad que busca invertir en energías renovables. El costo se puede medir de diferentes maneras, y cada forma de contabilizar el costo de generar energía aporta sus propios conocimientos. Los costos que pueden examinarse incluyen costos de equipos (por ejemplo, módulos fotovoltaicos [PV] o aerogeneradores), costos de financiamiento, instalación, operación y mantenimiento (O&M) fijos y variables, costos de combustible (si los hubiera) y el (LCOE).

El (LCOE), definido como coste por kWh de electricidad producida por una instalación de generación de energía. Suele utilizarse para comparar los costes d de electricidad (Jager,2016). Para predecir el precio efectivo por kWh, se suele asignar los costes de una planta de energía a lo largo de todo su ciclo de vida. El LCOE se calcula considerando primero el valor presente neto del costo de construcción y operación de la planta de energía y luego dividiendo por la generación total de electricidad durante su vida útil, donde los diversos elementos del total utilizados se enumeran a continuación (INRENA,2018)

La relación para calcular el LCOE de las tecnologías de energía renovable es:

$$L = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad \dots 2.29$$

Donde:

LCOE = el coste medio nivelado de la generación de electricidad durante toda su vida útil

I_t = inversión

M_t = O&M año t (\$)

F_t = combustible año t (\$)

E_t = kWh

r = tasa de descuento

n = vida económica

Métricas económicas Financieras

El cálculo de indicadores económicos se considera muy importante para demostrar la eficacia de los proyectos a los inversores. Entre estos importantes indicadores se encuentran: el coste unitario de energía generada (LCOE) y el tiempo de recuperación de la inversión (Patil,2024).

VALOR ACTUAL NETO (VAN),

Valor presente neto, o (NPC), por sus siglas en ingles. evalúa la rentabilidad de una inversión, pues calcula. Para calcular el VAN, hay que estimar los flujos efectivos futuros asociados con el proyecto y descontarlos al valor presente utilizando una tasa de descuento apropiada (Sapag,2014, p.253).La fórmula básica para calcular el VAN es:

$$V = \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C \quad \dots 2.30$$

Donde:

CF_t : flujos de efectivo netos del proyecto en el período t.

n : número de periodos

r : tasa de descuento

TIR

La tasa interna de rendimiento (IRR) "Internal Return Rate" o (TIR), determina el rendimiento de la inversión indispensable para convertir el flujo de efectivo futuro de un proyecto en igual a la inversión inicial. Si el gasto se considera un flujo de caja negativo, entonces la (Cevallos,2022, p. 131)

$$0 = \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C \quad \dots 2.31$$

Donde

CF_n ; flujo de caja neto en el año n,

CI: capital inicial

N: años de vida del proyecto.

Los inversionistas utilizan la TIR para comparar su inversión potencial, por ejemplo, de energía solar con la misma inversión en otro proyecto para determinar si la inversión en solar es mejor. Para proyectos grandes, normalmente financian en parte con su inversión de capital y el resto con deuda. En tales casos, los pagos periódicos de la deuda incluyendo el capital y los intereses se consideran parte de los gastos durante ese año (Goswami,2015).

Retorno de la Inversión (ROI)

Por sus siglas en inglés (Return on Investment) es un cálculo de la tasa de rendimiento determinada durante un período de tiempo determinado (Baker,2011, p.116)).

El retorno de la inversión (ROI) es el ahorro anual de costos en relación con la inversión inicial y se puede determinar cómo:

$$R = \frac{\sum_{t=0}^{R_p} C_{t,r} - C_t}{R_p (C_c - C_{c,r})} \quad \dots 2.32$$

Donde.

$C_{t,r}$ =Flujo de caja anual nominal para el sistema base (de referencia)

C_t = Flujo de caja anual nominal para el sistema actual

R_p = Duración del proyecto en años

C_c = Costo de capital del sistema actual

$C_{c,r}$ = Costo de capital del sistema base (de referencia)

Independientemente de cómo se calculen, el objetivo suele ser comparar el retorno de inversión del proyecto con la tasa de rendimiento disponible a través de inversiones alternativas. Un proyecto con un retorno de la inversión de sólo el 2% es muy poco atractivo si los mercados financieros pagaran una tasa de rendimiento del 3% por una inversión de bajo riesgo como un bono corporativo o gubernamental. Los proyectos suelen conllevar riesgos adicionales y el ROI es una forma de comparar la inversión del proyecto con otros riesgos bien comprendidos disponibles en los mercados financieros. (Sapag,2014 p. 260)

Periodo de recuperación de la inversión

Determina los, usualmente años, necesarios para recuperar la inversión inicial emitida, (Virreira,2020, p.45). Para calcular el retorno de la inversión de una alternativa, debemos compararla con otra alternativa. Un diseñador de sistemas de energía renovable a menudo utiliza un sistema de energía no renovable como caso base.

Puede comparar un sistema con dos turbinas eólicas para calcular la recuperación de la inversión de la segunda turbina eólica. O puede comparar un sistema de almacenamiento de diésel fotovoltaico con un sistema de diésel fotovoltaico para calcular la recuperación de la inversión del almacenamiento.

El análisis de sensibilidad

Según (Ahmad et al.,2018), se utiliza ahora para optimizar el sistema híbrido para valores óptimos de las variables de decisión del sistema. Nos presenta en forma precisa el valor que variará el rendimiento ante un cambio de una variable si se mantienen constante las demás.

El rendimiento puede ser medido según el VAN (valor actual neto) o la TIR (tasa interna de rendimiento). El *análisis de sensibilidad* mide el cambio en el VAN o TIR cuando se modifica alguno de los factores que determinan la utilidad de la operación del proyecto de inversión. Para realizar el análisis de sensibilidad es preciso identificar los factores que tienen más probabilidad de oscilar con respecto a su valor esperado.

2.2.13 Equidad energética

Tiene como objetivo reflejar el desempeño en el acceso, la abundancia y la asequibilidad de la energía de calidad para todos. “El acceso a fuentes modernas de energía es un requisito esencial para mitigar la pobreza, promover el crecimiento económico, crear oportunidades en general, promover el desarrollo humano” (OLADE,2019, p.6)

Según CEPAL (2019):

La Agenda 2030, aprobada el 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental. En consonancia con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 (ODS7), la dimensión depende [en gran medida de los](#) indicadores de acceso a la energía (p.13)

Factor de capacidad

Capacity factor, en inglés, Se refiere a la capacidad de una planta de energía (solar fotovoltaica, eólica, hidroeléctrica) para generar energía en relación con su capacidad máxima teórica. Relaciona la energía eléctrica producida por una unidad generadora durante un período considerado y la que podría haberse producido en funcionamiento continuo a plena potencia. Es una medida importante para evaluar la eficiencia y la confiabilidad de una planta de energía (U.S. Energy Information Administration)

$$F d c = \left(\frac{E_{\text{íu gí}}}{E_{\text{íu máxi p}}} \right) \times 100\% \quad \dots 2.33$$

El índice de rendimiento energético se define como la relación entre el rendimiento energético total de un módulo o sistema fotovoltaico a lo largo de su vida útil y toda la energía que debe invertirse en el sistema fotovoltaico durante ese tiempo. Esta energía invertida no solo contiene la energía para producir los componentes, transportarlos al lugar e instalarlos, sino también la energía que se requiere para reciclar los diferentes componentes al final de su ciclo de vida (Jager,2016).

Sostenibilidad social

En la Agenda 2030 se declara también que: “se pretende hacer realidad los derechos humanos de todas las personas, busca promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos”.

De esta manera llevamos adelante un razonamiento similar del (Ministerio del Ambiente (2016), quienes sostienen:

Para conseguir el desarrollo económico sostenible, las sociedades deberán crear las condiciones necesarias para que las personas accedan a empleos de calidad, estimulando la economía sin dañar el medio ambiente. También tendrá que haber oportunidades laborales para toda la población en edad de trabajar, con condiciones de trabajo decentes (p.27)

Empleo en acuicultura

Según la FAO. (2022) en su publicación “El estado mundial de la pesca y la acuicultura”

En el 2020 valora que 58,5 millones se comprometieron como trabajadores a tiempo completo, a tiempo parcial, ocasionales o no especificados en pesca y acuicultura, de estos, 21 % eran mujeres. Por sector, 35 % estaba empleado en la acuicultura (p.66) (Tabla N°5).

En 2020, 84 % de los pescadores y piscicultores estaban en Asia, África (10 %) y LAC (4 %). Más de 20 millones se dedicaban a la acuicultura, concentrados principalmente en Asia (93,5 %), África (3,1 %) y LAC (casi el 3 %). (FAO,2022, p. 68).

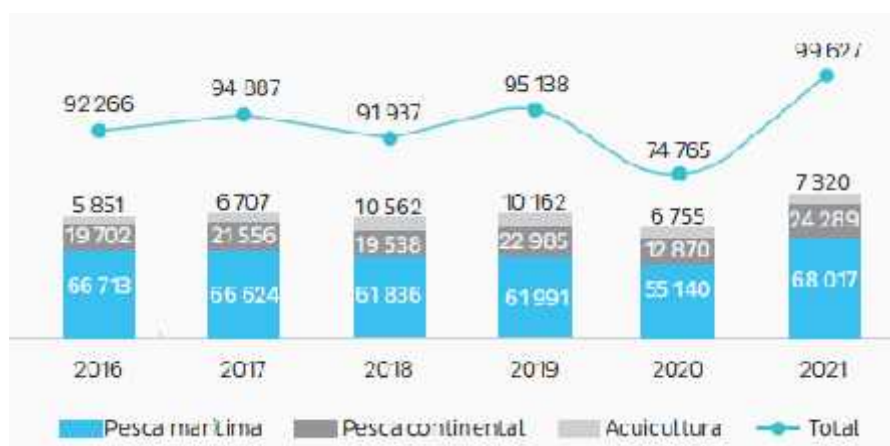
Tabla 5*Empleo Mundial para Piscultores por región para años, 1995–2020*

Región/año	1995	2000	2005	2010	2015	2020
África	60	194	252	361	505	634
Américas	279	301	299	340	345	606
Asia	7 426	12 930	15 217	18 407	20 246	19 323
Europa	98	96	83	93	89	94
Oceanía	6	9	9	9	10	10
Total	7 878	13 529	15 861	19 211	21 195	20 667

Los datos han sido adaptados de FAO,2022

Según el anuario estadístico de pesca y acuicultura (2021),

El Sector Pesca contribuyo con el 0,58% de la PEA, equivalente a 99 627 puestos de trabajo, representando un crecimiento de 33,3% respecto al año 2020. En la misma tendencia, el nivel de empleo del ámbito de la pesca continental aumentó en (+88,7%) y la acuicultura en (+8,4%). En composición (Figura 21), se observa que el 68,3% del total de empleo generado por el sector lo conforman los pescadores del ámbito marítimo con 68 017 puestos de trabajo. Seguido en menor proporción por el 24,4% pertenecientes a la pesca continental con 24 289 empleos y el 7,3% de la acuicultura con 7 320 empleos (Ministerio de produccion,2022, p.28).

Figura 21*Evolución de la PEA Ocupada en acuicultura (No puestos de trabajo)*

Fuente: INEI-ENAH0, 2016-2021

2.2.14 Sostenibilidad ambiental

El sólido desempeño de ciertos países en la dimensión de Sostenibilidad Ambiental refleja sus ambiciosos objetivos para mejorar la productividad y eficiencia de generación; avanzar hacia una economía baja en carbono mediante el uso cada vez mayor de energías renovables en su suministro energético.

Según el ministerio de energía y minas (MEM). El crecimiento de las energías renovables en el parque generador del SEIN y Sistemas Aislados presenta sostenibilidad desde el año 2010, a partir de las subastas de energía en el marco del DL 1002.

La producción de energía eléctrica con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales (RER-NC) ascendió a 419,03 GWh y representó el 7,83 % de la producción nacional del parque generador. Esto último ascendió a 5 349,40 GWh en diciembre 2023. La energía eólica es la tecnología más relevante en el mix de generación renovable no convencional, representando el 4,73% de la producción nacional, seguido de la participación de la generación por energía solar fotovoltaica, con 2,10%. (Boletín diciembre 2023, p4).

El Potencial de Calentamiento Global (GWP)

Según EPA (2024):

Se desarrolló para permitir comparaciones de los impactos de diferentes gases en el calentamiento global. Específicamente, es una medida de cuánta energía absorberán las emisiones de 1 tonelada de gas durante un período de tiempo determinado, en relación con las emisiones de 1 tonelada de dióxido de carbono (CO₂). Cuanto mayor es el GWP, más calienta la Tierra un gas determinado en comparación con el CO₂ durante ese período de tiempo. El período de tiempo habitualmente utilizado para los PCA es de 100 años.

En el Perú, para estimar la reducción de emisiones por el uso de la tecnología RER NC, se considera emisiones de metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y dióxido de carbono (CO₂), llevadas a (CO₂eq) “Uno de los pasos metodológicos es la determinación del factor de reducción de gases de efecto invernadero (GEI), que es estimado para el 2016 de 0.4465 tCO₂eq/MWh” (MEM, 2023).

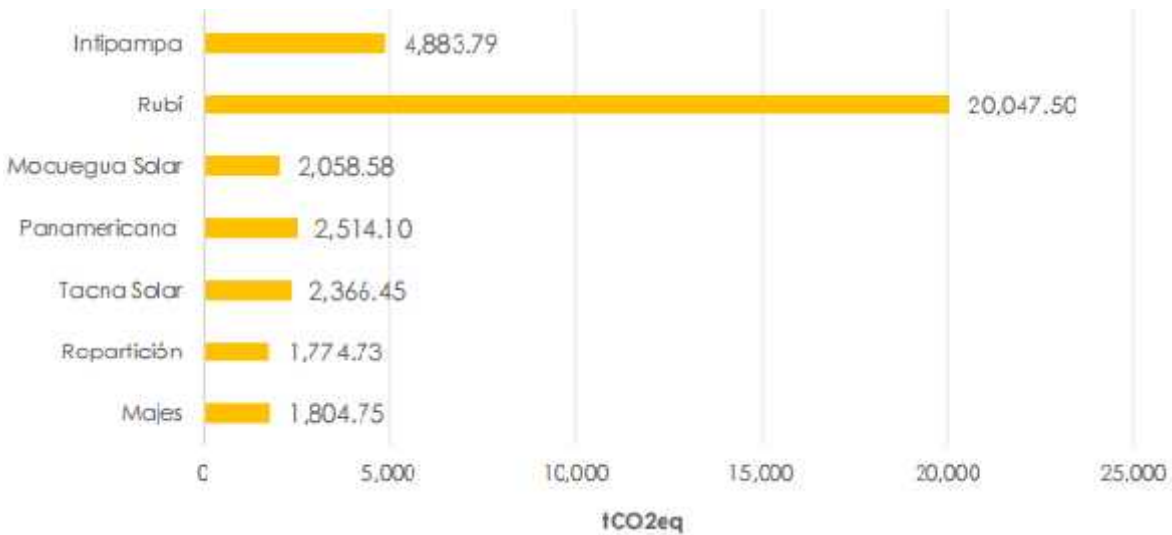
Emisiones evitadas CO₂ centrales RER-Perú

Centrales Solares

La producción mensual de las Centrales Solares ascendió a 112,48 GWh, lo que determinó un total de **35 499,89 tCO₂eq** de emisiones evitadas correspondientes a diciembre del 2023(Figura 22).

Figura 22

Emisiones evitadas tCO₂eq por Centrales Solares



Fuente; Boletín diciembre 2023 energías renovables MEM

Centrales Eólicas

Para las centrales eólicas, la producción mensual de diciembre de 2023 es 253,29 GWh, lo que determinó un total de 66278,22 tCO₂eq de emisiones evitadas (Figura 23).

Figura 23

Emisiones evitadas tCO₂eq por Centrales Eólicas, Perú

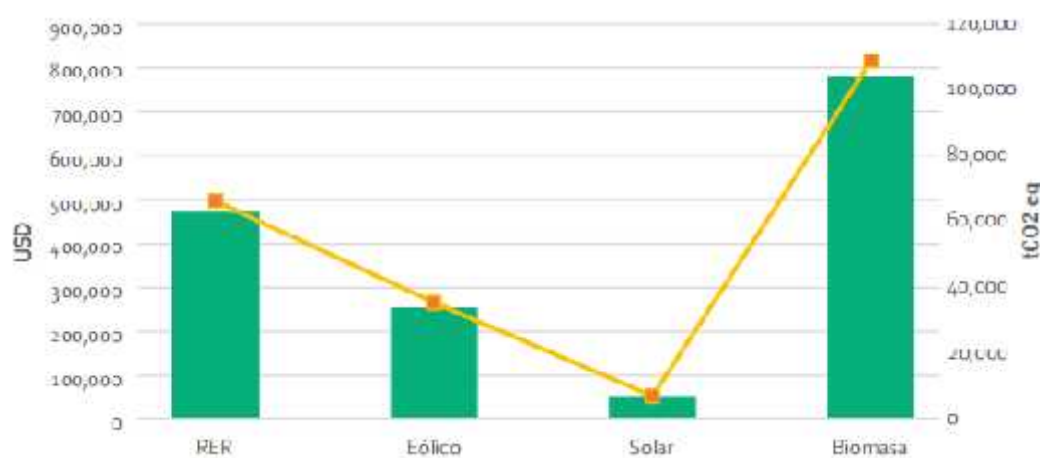


Fuente; Boletín diciembre 2023 energías renovables MEM

Con la finalidad de estimar el costo evitado por tCO₂eq, se considera un costo social del carbono del Perú, el cual es: USD 7,17/tCO₂eq (Perú – MEF). En la Figura 24 se presenta el costo de emisiones evitadas.

Figura 24

Costo de emisiones Evitadas de tCO₂eq por Centrales RER – NC



Fuente; Boletín diciembre 2023 energías renovables MEM

Eficiencia energética (EE)

A medida que las sociedades trabajan para reducir los efectos del cambio climático y avanzan hacia soluciones energéticas sostenibles, maximizar la eficiencia energética desempeña un papel clave para lograr estos objetivos (Olatunde et al., 2024). La eficiencia energética (Figura 25) es un pilar fundamental del desarrollo sostenible, ya que ofrece una vía crucial para reducir el consumo de energía, minimizar GEI e impulsar la productividad económica. En última instancia, la eficiencia energética no es sólo un imperativo ambiental o económico, sino una estrategia fundamental para construir sociedades resilientes y preparadas para el futuro. (Yan et. al., 2024).

Figura 25

Eficiencia energética como componente de sostenibilidad.



Consumo de energía renovable y sostenibilidad ambiental

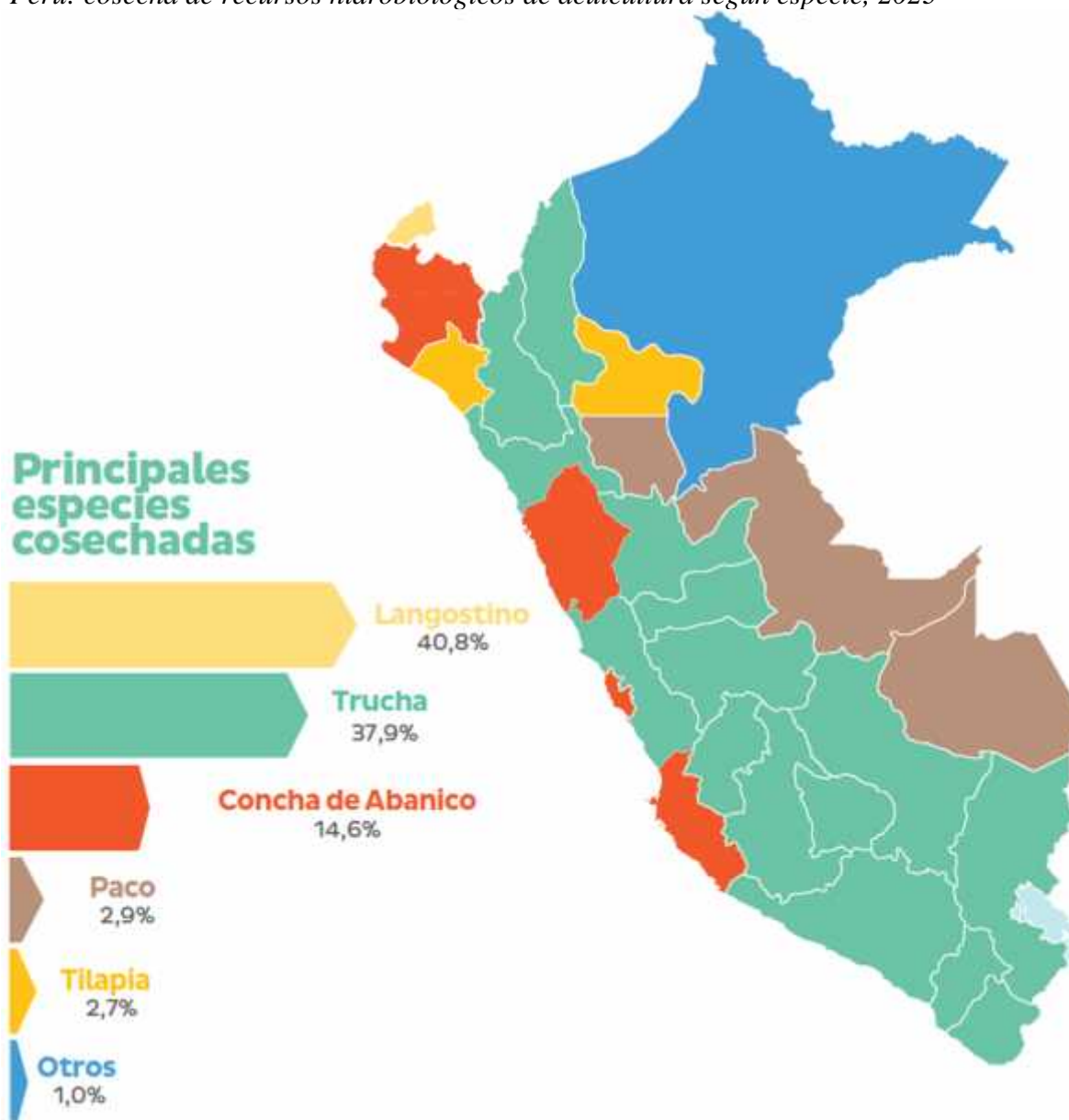
Sharma et al. (2021) utilizaron una muestra de ocho países en desarrollo del sur y sudeste de Asia para examinar los efectos de la adopción de energía renovable en la huella ecológica entre 1990 y 2015. Analizaron empíricamente los datos para este período de tiempo y encontraron que, en los períodos corto y largo, la adopción de energía renovable impulsó significativamente la sostenibilidad ambiental. La huella ecológica disminuyó un 0,216 % en el largo plazo y un 0,318 % en el corto plazo por cada 1 % de aumento en el REC. En una línea similar, los estudios de Usman et al. (2020), Ike et al. (2020) demostraron que el uso de energía renovable es comparativamente más amigable biológicamente y reduce la degradación ambiental a lo largo del tiempo.

2.2.15 Sostenibilidad de la acuicultura continental peruana

El Perú, no ha sido ajeno a emprendimientos acuícolas en distintas modalidades y magnitudes, los que últimamente han logrado un rápido crecimiento, según el anuario estadístico de la pesca y la acuicultura en el año 2023 se cosecharon 105091 TM, correspondiendo el 44.5 a la acuicultura continental (Figura 26).

Figura 26

Perú: cosecha de recursos hidrobiológicos de acuicultura según especie, 2023



Fuente de datos; Ministerio de la Producción

El Perú presenta alto potencial acuícola, basado en sus condiciones climáticas e hidrológicas, así como una variedad de especies (Tabla N°6), ya que “nuestro país es el principal productor de harina y aceite de pescado, productos considerados los ingredientes más nutritivos de los piensos (alimento) para peces cultivados” (Moneda,2017 p.37). Las expectativas para un desarrollo, sostenido y competitivo son firmes dadas las ventajas que el país ofrece para acuicultura continental como marina son grandes. Se presenta la evolución de la acuicultura continental en los 7 últimos años.

Tabla 6

Recursos hidrobiológicos, actividad acuicultura-continental.

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Boquichico	32	58	29	6	48	259	136
Camarón gig.de Malasia	34	26	29	27	27	25	25
Carachama	9	6	3	1	2	3	3
Carpa	4	5	4	0	...		0
Gamitana	1863	1047	952	787	881	852	844
Paco	1390	1624	2184	1871	2165	2695	3104
Pacotana/Gamipaco	11	35	14	...	...	2	..
Paiche	142	218	295	86	99	81	85
Tilapia	2950	3042	2164	3196	3099	3463	3146
Trucha	52245	54878	64372	50793	54188	51582	61573
Sábalo	87	84	113	148	494	420	309
Otros	4	6	4	1	0	2	0
Total	58771	61028	70164	56916	61003	59384	69225

Fuente:Ministerio de produccion,2022

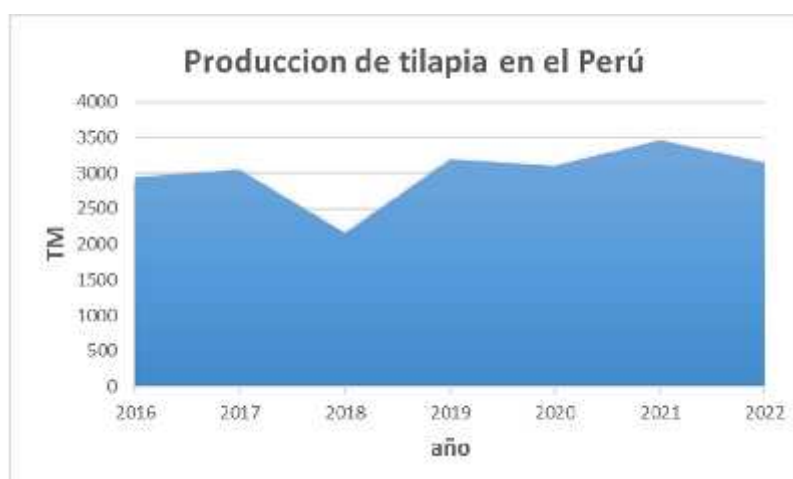
En territorio nacional para acceder a actividades acuícolas es por concesión (terrenos públicos, aguas marinas y continentales) o autorizaciones (predios de propiedad privada). A decir del Plan Nacional de Desarrollo Acuícola 2010-2021, “casi todo el litoral presenta condiciones para realizar maricultura, mientras que en las diversas regiones geográficas del país existe posibilidad de realizar acuicultura continental a través del cultivo de tilapia (Figuras 27 y28), trucha o peces amazónicos” (BCR,2017, p. 4)

El D.S. N° 001-2023-Produce (2023) referente a la producción de tilapia, manifiesta:

El cultivo extensivo, o repoblamiento, se realiza en represas y lagunas. Existen también numerosas piscigranjas de subsistencia. A nivel semi intensivo se utilizan estanques semi naturales, con superficie menor a 1 ha, manejados en derivación. El cultivo súper intensivo se desarrolla en estanques de concreto o de geomembrana. La forma más intensiva de producción de alevines y que a su vez es la más practicada en Perú, es el uso de estanques de reproducción rectangular. (p.20)

Figura 27

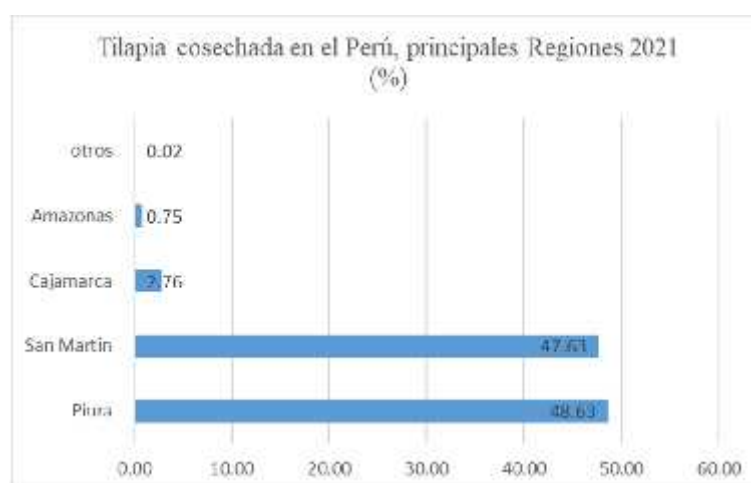
Produccion de tilapia en el Peru entre los años 2016-2022



Elaborado en base de los datos del anuario estadístico de pesca y acuicultura 2022

Figura 28

Cosecha de tilapia en principales regiones.



Los datos han sido tomados del anuario estadístico de pesca y acuicultura 2022

Contexto global de la acuicultura

a) Producción acuícola mundial

Según la FAO (2022).

La producción acuícola total comprendió 87,5 millones de toneladas de animales acuáticos principalmente para uso como alimento humano. La producción de especies animales creció un 2,7 por ciento en 2020 en comparación con 2019, una tasa de crecimiento anual baja sin precedentes en más de 40 años. La cría de peces se mantuvo estable con una fluctuación mínima de alrededor del 66 por ciento y representó la mayor proporción de la acuicultura mundial durante décadas. En 2020, los peces de aleta cultivados alcanzaron los 57,5 millones de toneladas (146 100 millones de dólares), incluidos 49,1 millones de toneladas (109 800 millones de dólares) de la acuicultura continental. (p26)

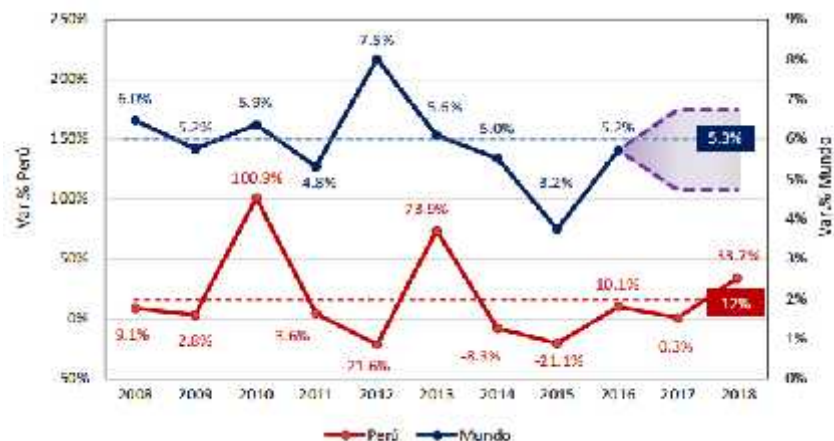
b) Perú, respecto de otros países

Según Política Nacional de Acuicultura al 2030:

En la última década la tasa de crecimiento promedio anual ha sido 12% en producción acuícola año, no obstante, aún su volumen es muy pequeño (134 mil toneladas) respecto a otros países de la región, participando con el 0.125% con respecto a la acuícola a nivel mundial, esto evidencia un limitado nivel de competitividad, a la vez que impone el desafío, de potenciar sus tasas de crecimiento (p.34) (Figura 29)

Figura 29

Dinámica de crecimiento de la actividad acuícola del Perú y el Mundo



Nota; Fuente. Produce y FAO

La acuicultura actividad generadora de empleo

Como bien sostiene, la Organización internacional del Trabajo (OIT). 2021:

La actividad acuícola es una fuente importante de empleo, ingresos y medios de vida, especialmente para las comunidades rurales. A nivel mundial, la acuicultura proporciona hoy trabajo directo a unos 20,5 millones de persona. Aunque no se dispone de datos actualizados sobre el empleo indirecto que generan las actividades relacionadas con la acuicultura, se estima que, por cada persona empleada en la producción primaria de los sectores de la acuicultura y la pesca de captura, pueden contabilizarse entre tres o cuatro personas empleadas en actividades secundarias conexas, particularmente en tareas relacionadas con la transformación, la comercialización y los servicios. Aunque las tendencias del empleo varían de una región a otra, cabe señalar que Asia, considerada como región que concentra la mayor parte de la producción, estimada en más de 105 millones de toneladas en 2018, es también donde habita la inmensa mayoría, 98% de las personas que trabajan en este sector (p.10)

Conceptos relacionados

Acuicultura

Según la ley general de la acuicultura, se define como:

El cultivo de organismos acuáticos que implica la intervención en el proceso de cría para aumentar la producción, como fuente de alimentación, empleo o ingresos, optimizando los beneficios económicos en armonía con la preservación del ambiente y la conservación de la biodiversidad, el uso óptimo de los recursos naturales y del territorio; garantizando la propiedad individual o colectiva del recurso cultivado. (Ley N° 1195,2015, p2)

Eficiencia energética

“Proporción u otra relación cuantitativa entre un resultado del desempeño, del servicio, de los bienes, de las materias prima, o de la energía, y una entrada de energía” (ISO,2018)

Energía renovable

Las fuentes de energía renovables, como la luz solar, el agua, el viento y la biomasa, son recursos naturales que pueden convertirse en varios tipos de energía limpia y utilizable. Estas fuentes pueden utilizarse para generar electricidad, calefacción y refrigeración, transporte y más, y proporcionar numerosos beneficios económicos, sanitarios, ambientales y sociales (U.S. Department of Energy, 2024).

Energía solar

El sol emite radiación solar en forma de luz. Las tecnologías de energía solar capturan esta radiación y la convierten en formas útiles de energía. Existen dos tipos principales de tecnologías de energía solar: la energía fotovoltaica (PV) y la energía solar térmica de concentración (CSP).

Energía eólica

La energía eólica es una forma de energía renovable que aprovecha la fuerza del viento para generar electricidad. Implica el uso de turbinas eólicas para convertir el movimiento giratorio de las aspas, impulsadas por el aire en movimiento (energía cinética), en energía eléctrica (electricidad). Las turbinas eólicas modernas se clasifican según el lugar donde se instalan y cómo se conectan a la red. Los tres tipos de sistemas de energía eólica son los terrestres, los marinos y los distribuidos.

Energía hidroeléctrica

Las centrales hidroeléctricas, grandes y pequeñas, producen electricidad utilizando la diferencia de elevación creada por una presa o una estructura de desviación. El agua fluye por un lado y sale por un punto más bajo, haciendo girar una turbina, que hace funcionar un generador que produce electricidad.

Sistema energético híbrido

Generan energía mediante fuentes renovables, tales como el sol o el viento. “un pequeño sistema eléctrico híbrido que combina las tecnologías domésticas de energía eólica y solar doméstica (fotovoltaica) ofrece varias ventajas sobre cualquiera de los dos sistemas” (Vasquez,2017, p35).

III.METODOLÓGÍA

3.1 Método

En el presente estudio se emplearon los siguientes métodos:

Método deductivo. Se identifico los principios fundamentales relacionados con sistemas híbridos de energía, su aplicación en la acuicultura continental; las potenciales energías renovables que se podrían combinar según los lugares de estudio y como podrían complementarse. Se colectó datos relevantes sobre el sistema híbrido, condiciones de operación y se analizó su comportamiento.

Método inductivo. Partiendo conocimiento de la energía solar, eólica y la mini hidráulica, se sintetizo y se llegó a un enunciado general; un sistema hibrido basado en energías renovables. Se recopilo datos detallados sobre el sistema híbrido de energía. Información sobre su arquitectura, rendimiento, eficiencia, costos y fracción de energía renovable usada impacto ambiental, etc. Su potencial funcionamiento en las regiones de mayor desarrollo acuícola continental. El análisis sirvió para generalizar conclusiones para aplicarlas a un contexto más amplios:

Método descriptivo. Buscando argumentar cómo es una determinada parte de la realidad, en este caso los tipos de energías renovables, y su aplicación en la acuicultura.

Método correlacional. Determinándose la relación de las diversas formas de energía renovable. primero se midió cada una de los tipos de formas de energía sea convencional o renovable, se cuantifico, analizo y establecieron las vinculaciones.

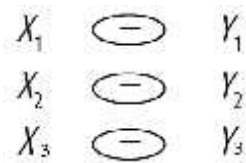
3.2 Diseño de investigación

El tipo de diseño para la presente investigación es no experimental cuantitativa.

Se optó por el diseño correlacionales-causal ya que se describieron enlace entre categorías, en un periodo determinado, o como función causa-efecto.

Se recolectan datos y se describe la relación $(x_1 - y_1)$
 Se recolectan datos y se describe la relación $(x_2 - y_2)$
 Se recolectan datos y se describe la relación $(x_3 - y_3)$

El interés es la relación entre variables, sea correlación (Figura 30)



Es decir, la relación que existe entre energías renovables, o en otros términos la complementariedad energética entre dos tipos de energía renovables o bien, relación causal o el uso de un tipo de energía como influye en términos económicos o el costo del kWh de energía producida

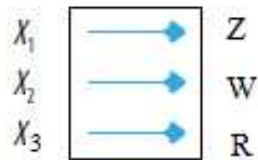
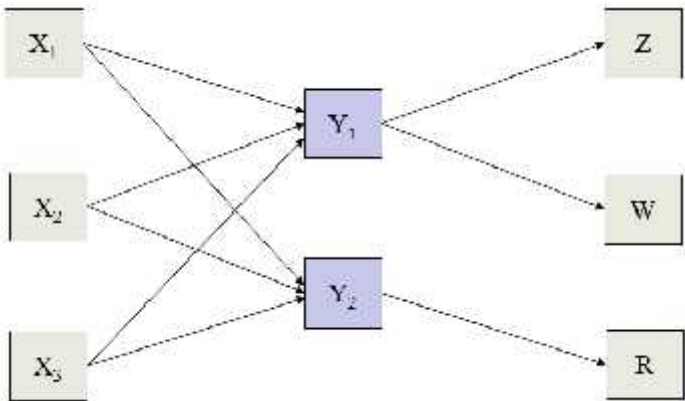


Figura 30

Esquema del diseño correlacional-causal del estudio



3.3. Población y muestra

Población: Centros de producción en acuicultura continental peruanos que usen sistemas energéticos convencionales y sistemas energéticos renovables.

Muestra: el tipo de muestra es no probabilística intencionada ya que se seleccionó según el criterio del investigador.

La muestra estuvo compuesta por estudios de caso de granjas acuícolas productivas que usen energía convencional y granjas acuícolas que utilicen sistemas energéticos renovables o energías limpias alternativa como: energía solar eólica y mini hidráulica

Actividades del proceso investigativo

Se identificaron las zonas de producción acuícola continental en el Perú en relación al potencial uso de los recursos energéticos renovables para su aprovechamiento sostenible, describiéndose el actual empleo de las energías convencionales en la producción acuícola. Se analiza el análisis de sensibilidad de las energías renovables en sistemas híbridos mediante el apoyo de un programa computarizado, evaluándose la viabilidad económica de una instalación basada en energías renovables en un sistema híbrido para su aplicación a la acuicultura, se identificó la efectividad en su componente de eficiencia, de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables, proponiéndose lineamientos para la utilización de un sistema híbrido basado en recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana

3.4 Operacionalización de variables

La Tabla N°7 presenta la operacionalización de variables, donde se describe el tipo de variable, la definición conceptual y operacional, y los indicadores.

Tabla 7

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	
		Dimensiones	indicadores
Independiente			
Sistema energético híbrido basado en recursos renovables	Sistema energético que combina en una instalación varias fuentes energéticas.	Tecnologías energéticas basadas en recursos energéticos renovables (RER)	Energía solar <ul style="list-style-type: none"> - Radiación: kWh/m²/d - Potencial solar: kWh/m² - Electricidad producida: kWh - Costo: \$/kWh Energía eólica <ul style="list-style-type: none"> - Velocidad del viento: (m/s) - Potencial eólico: kW/m² - Electricidad producida: kWh - Costo: \$/kWh Energía hidráulica <ul style="list-style-type: none"> - Caudal: (m³/s) y salto (m) - Potencial hidro: kW - Electricidad producida: kWh - Costo: \$/kWh
Dependiente			
Sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana	Definida como el equilibrio entre tres dimensiones principales: seguridad energética, equidad energética y sostenibilidad ambiental	Seguridad: La disponibilidad ininterrumpida de fuentes de energía que no afecten negativamente el desempeño económico Equidad: Su objetivo es la accesibilidad y asequibilidad a la energía Sostenibilidad: Mínimo impacto ambiental y bajas emisiones de carbono	-Diversidad de suministro -Tipo almacenamiento (LA, LI) <ul style="list-style-type: none"> - Costo energía: \$/ kWh - Electricidad: kWh/año - LCOE y NPC: (\$) -Acceso a electricidad: (\$/kwh) -Acceso a energía: (%) -Precios de electricidad(\$/kWh) -Producción: kWh/año -Factor de capacidad. (%) <ul style="list-style-type: none"> - Fracción renovable (%) - Emisiones de GEI - Huella de carbono: Ton CO₂ eq dejado de emitir: - Eficiencia energética (y)

3.5 Técnicas e instrumento de recolección de datos

3.5.1. Técnica:

Dadas las variables, que son cruzadas en esta investigación, con el propósito de obtener toda la pertenencia de variables, para contrastar la hipótesis, se aplicó:

- a) **Análisis documental**, consistente en realizar revisión bibliográfica para identificar herramientas de modelado energético y Sistema de Información Geográfica SIG potencialmente adecuadas. Estudios extraídos de revistas científicas y bases de datos académicas, utilizando las plataformas Science Direct y Google, sitios web de organizaciones internacionales con experiencia en energía para identificar publicaciones complementarias, como informes de investigación.
- b) **Observación**, la búsqueda bibliográfica que orientó este paso se centró en estudios sobre la aplicación de energías renovables sostenibles en zonas rurales en desarrollo, permitiendo identificar varias capacidades clave a las que debían adherirse las herramientas con capacidad de modelado. Estos contribuyeron a añadir criterios específicos al esquema de clasificación adoptado empleando modelos de sistemas híbridos existentes basados en RER, para determinar según el recurso energético, el más apropiado según el potencial energético de la zona de estudio (Figura 31)

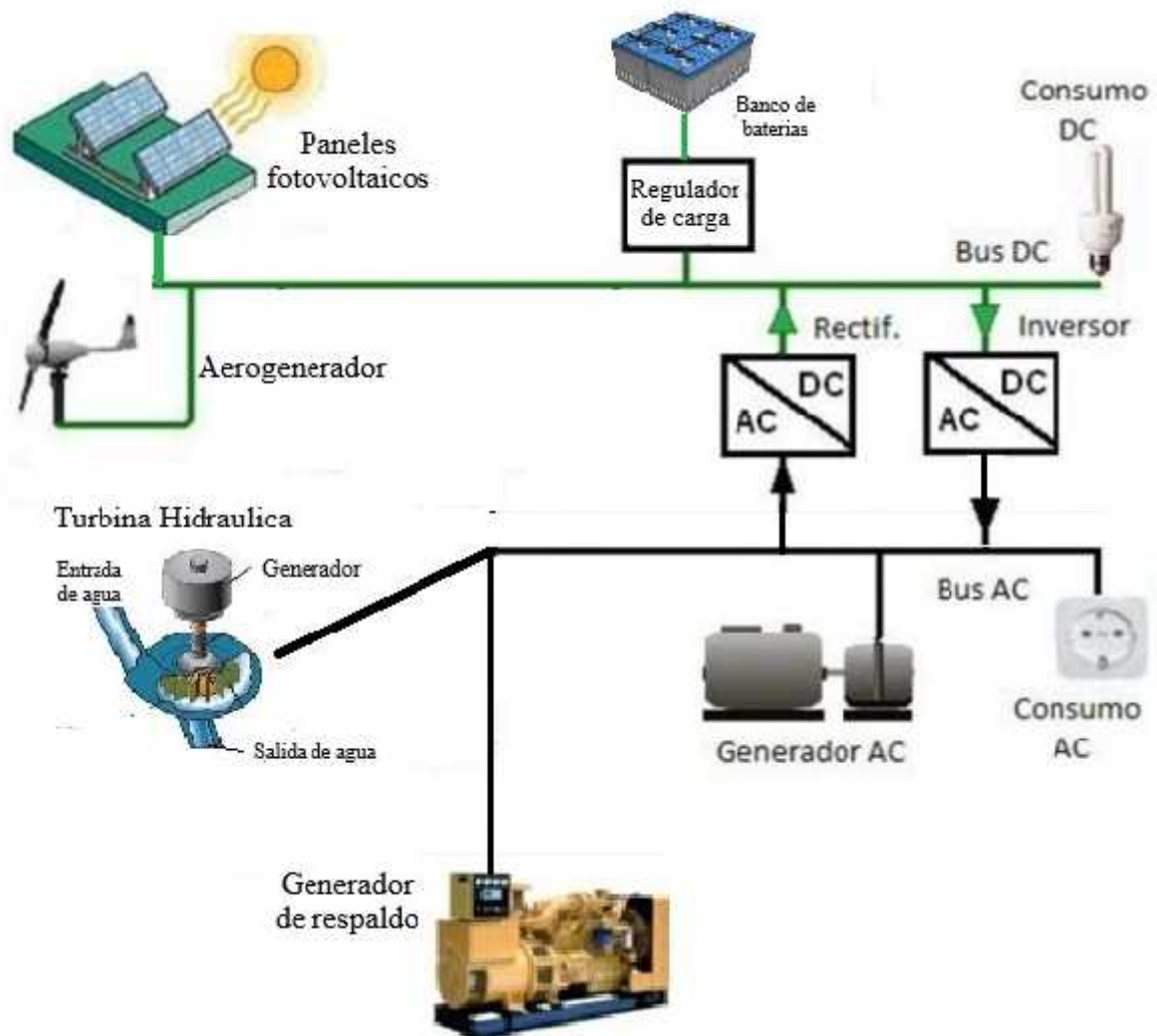
3.5.2. Instrumentos:

Las técnicas se concretan en una serie de instrumentos usados para recoger la información necesaria

- **El registro anecdótico**, registro de las observaciones realizadas sobre el comportamiento, de las instalaciones de acuicultura
- **Los sistemas de categorías**, usadas para hacer construcciones conceptuales.
- **Sistemas de signos**, permitió un recuento de los intervalos de tiempo en que aparecieron determinadas conductas en el análisis energético
- **Lista de control**, usado para recabar información sobre, procesos del sistema energético y resultados de los diferentes escenarios de análisis de las energías renovables.

Figura 31

Alternativas de sistemas híbrido



3.5.3 Procedimiento para la recolección de datos

- Revisión bibliográfica y Sistema de Información Geográfica SIG para ubicar las zonas de producción acuícola continental. Además, sitios web de organizaciones internacionales con experiencia en energía para identificar publicaciones complementarias, documentos abordan principalmente sistemas de energías renovables (ER) y sistemas híbridos de energías renovables (HRES).
- Identificar bases de datos académicas, utilizando las plataformas Science Direct y Google Académico como motores de búsqueda para determinar el uso de los energéticos convencionales en la producción acuícola frente al aprovechamiento de los recursos renovables.
- Analizar estudios que informan sobre herramientas que podrían ser relevantes para este estudio. por ejemplo, la Agencia Internacional de Energía (IEA) y la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)
- Análisis cuantitativo las energías renovables en sistemas híbridos realizado mediante el apoyo del programa computarizado “HOMER”. Se realizó análisis de sensibilidad y optimización, ejecutándose simulaciones complejas de los datos energéticos y los componentes del HRES para determinar la solución más económica y las estrategias de mitigación de riesgos más efectivas.

Figura 32

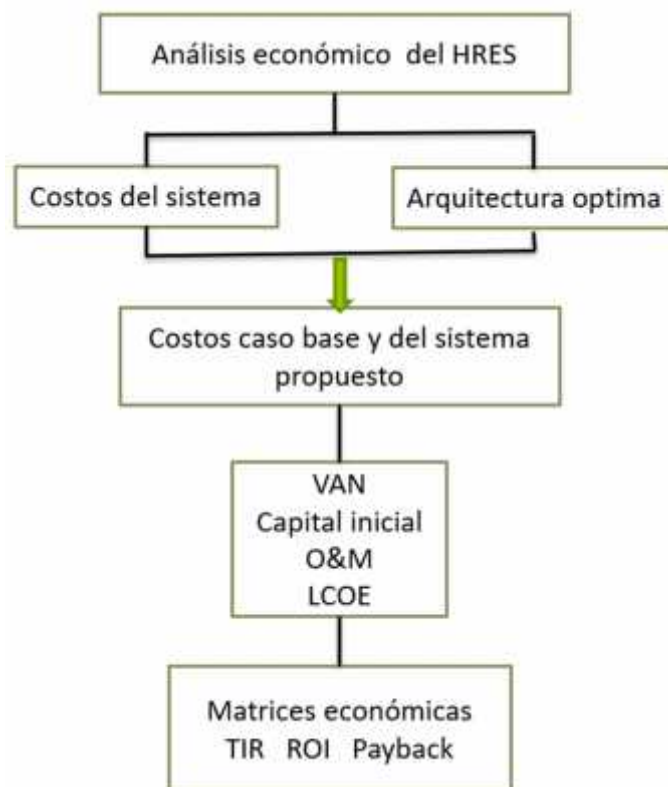
Análisis de una granja modelo



- Viabilidad económica de una instalación basada en energías renovables en un sistema híbrido para su aplicación a la acuicultura; este análisis permitió elegir entre la gran cantidad de opciones tecnológicas, costos y disponibilidad de recursos energéticos, y poder determinar el costo de kWh generado.

Figura 33

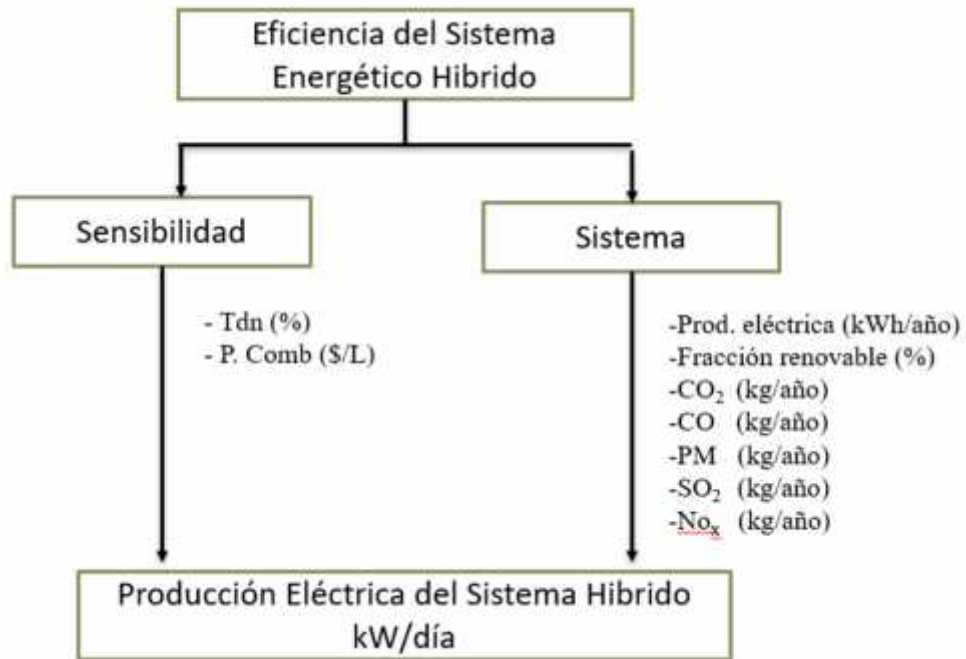
Evaluación de viabilidad económica del sistema híbrido



- La efectividad de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables, y su aplicación. en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana, se determinó resultados de la comparación del de energéticos convencionales y energéticos renovables

Figura 34

Identificación de la efectividad en su componente de eficiencia de HRES



- Lineamientos para la utilización de un sistema híbrido basado en recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana, se pudo determinar con la información anteriormente recolectada y procesada

3.6. Técnicas de análisis de resultados

3.6.1 Técnica de procesamiento

Se realizó un análisis exploratorio de información para obtener una comprensión inicial de las características de los datos, para ello se elaboraron gráficos descriptivos y tablas de resumen estadístico para la identificación de relaciones entre variables. Los datos fueron procesados mediante la aplicación de recursos como la realización de simulación mediante ordenador. Consistente en la administración del cuestionario a una muestra de sujetos utilizando para ello un ordenador, también se utilizó una laptop cuando se tuvo que desplazarse para recoger respuestas de personas relacionadas con el desarrollo de la acuicultura. También se usaron las redes de comunicación, para realizar las entrevistas y uso de internet para llevar a cabo encuestas y/o consultas a sujetos externos para recoger información de expertos en el campo de la acuicultura y las energías renovables.

3.6.2 Análisis de los resultados

Se examinó la eficiencia del sistema híbrido en la generación, y uso de energía. Determinando el sistema más óptimo del sistema híbrido con energías alternativa y respaldo de sistema convencional para evaluar su efectividad en la acuicultura continental peruana; analizado los costos asociados con la implementación y operación del sistema híbrido de energía, se ha evaluado el impacto ambiental del sistema híbrido en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y consumo de recursos naturales.

Se aplicó el *análisis de sensibilidad para medir* el cambio en el VAN o TIR cuando se modifica la operación del sistema híbrido. se identificó parámetros que presentan mayor probabilidad de oscilar.

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Zonas de producción acuícola continental y los recursos energéticos renovables para su aprovechamiento sostenible

4.1.1 Regiones de mayor de producción acuícola continental en el Perú

Perú posee con un alto potencial acuícola, basado en sus condiciones climáticas e hidrológicas tanto en el ámbito marino como continental (Saldarriaga y Regalado,2017). Considerando los reportes del Ministerio de la Producción de los años 2013-2022 referente a la producción de la acuicultura (Tabla N°8) se buscó determinar el ámbito para realizar el análisis de la efectividad de las energías renovables en la acuicultura (Produce, 2023)

Tabla 8

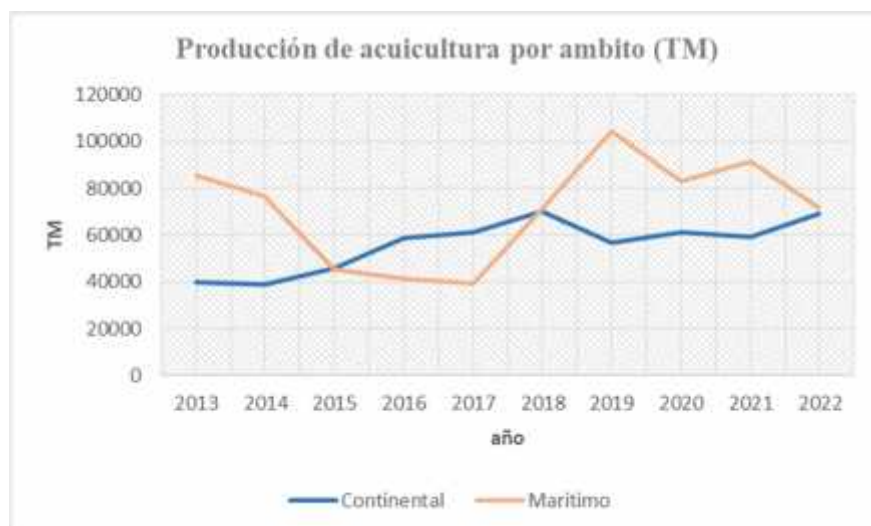
Cosecha, actividad de acuicultura por ámbito Perú 2013-2022 (TM)

Ámbito	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Continental	40068	38683	45758	58771	61028	70164	56915	61003	59385	69225
Marítimo	85625	76586	45218	41420	39427	71052	104330	82827	91437	71705

Nota: datos tomados de anuario estadístico pesquero y acuícola 2023

Figura 35

Producción acuícola continental y marítimo Perú 2011-2022



La producción en el ámbito continental es de crecimiento más sostenible (Figura 32), habiéndose incrementado en 72,77% desde 2013 al 2022. Según (Kleeberg,2019), referente a la acuicultura continental menciona que, en cuanto a la tilapia, las regiones de San Martín y Piura son los principales productores, observándose un crecimiento mayor en la primera.

Para tener la certeza del análisis energético según la especie de cultivo acuícola y con el fin de determinar sus necesidades energéticas para su producción se contrasto dicha información con datos del ministerio de producción de los años 2016-2022 (Tabla N°9).

Tabla 9

Recursos hidrobiológicos, actividad acuicultura-continental.

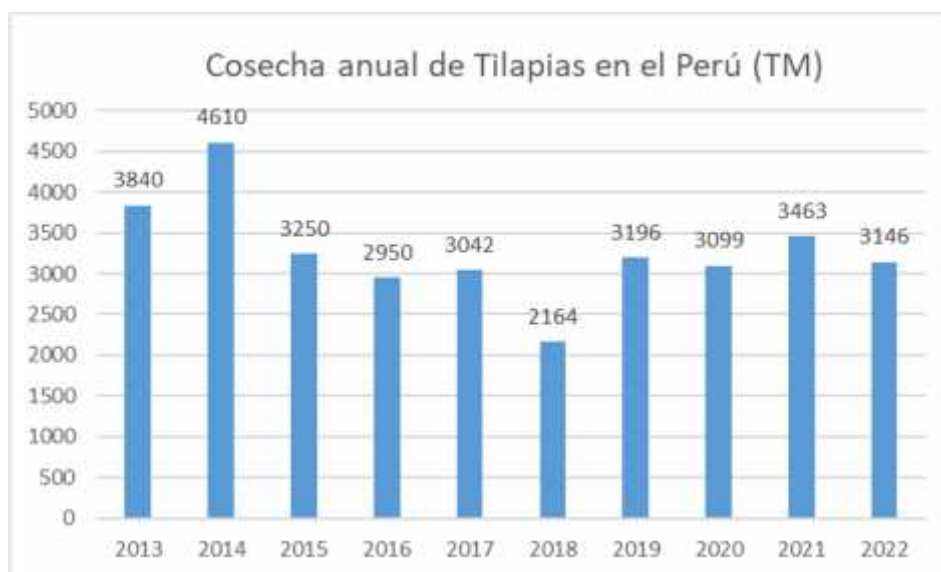
Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Boquichico	32	58	29	6	48	259	136
Camarón gig.de Malasia	34	26	29	27	27	25	25
Carachama	9	6	3	1	2	3	3
Carpa	4	5	4	0	...		0
Gamitana	1863	1047	952	787	881	852	844
Paco	1390	1624	2184	1871	2165	2695	3104
Pacotana/Gamipaco	11	35	14	...	...	2	..
Paiche	142	218	295	86	99	81	85
Tilapia	2950	3042	2164	3196	3099	3463	3146
Trucha	52245	54878	64372	50793	54188	51582	61573
Sábalo	87	84	113	148	494	420	309
Otros	4	6	4	1	0	2	0
Total	58771	61028	70164	56916	61003	59384	69225

Nota: Fuente Produce (2023)

La producción de tilapia, ha crecido a ritmos rápidos en los últimos años (Figura 36), alcanzando una cosecha total de 3463 toneladas en 2021.

Figura 36

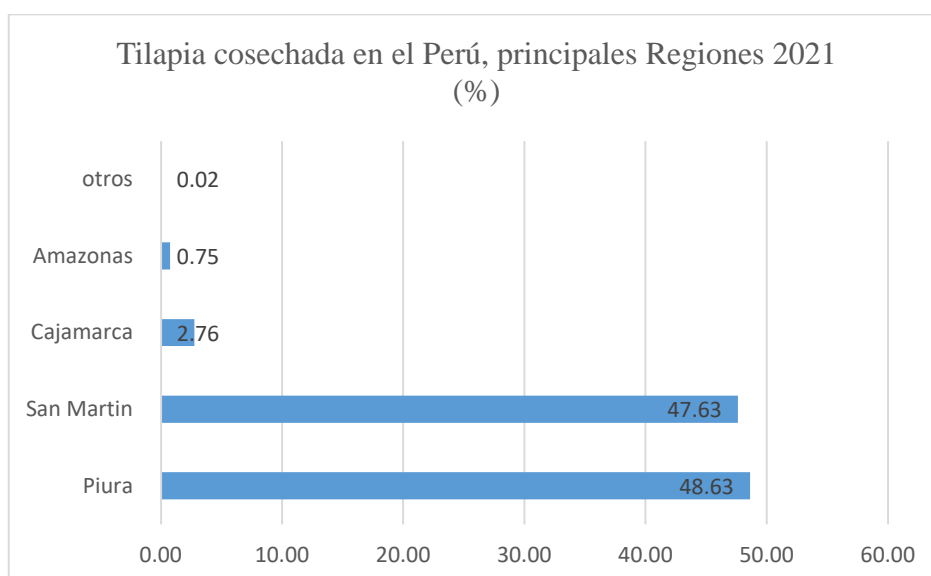
Cosecha anual de tilapias Perú, años 2013 a 2022 en (TM)



En cuanto a la producción regional, se encuentra concentrada principalmente al norte del país, específicamente en las áreas de Piura y San Martín (Figura 37).

Figura 37

Tilapia cosechada en el Perú, principales regiones en el año 2021



Las regiones de Piura y San Martín son las dos principales regiones productoras de tilapias en el Perú (Juntas representan el 98% de la cosecha total del Perú)

Por las características de su cultivo y por ser la de mayor cosecha en el ámbito continental para fines del presente estudio se optó por tomar como referencia de estudio y análisis energético, la tilapia (Tabla N°10).

Tabla 10

Descripción de la tilapia

TILAPIA NILOTICA	
Nombre científico:	<i>Oreochromis niloticus</i>
Temperatura de cultivo	25 - 35 °C
Zonas propicias para el cultivo:	Selva Alta, costa norte y zonas de selva baja
	Preferentemente de ambientes léticos
Hábitat:	(lagos, lagunas e incluso reservorios)
	también se le encuentra en ambientes lóticos
Técnicas y modalidades de cultivo:	se cultiva mediante monocultivos en estanques
	o jaulas flotantes, además se produce en policultivo

Fuente: Tomado de Especies cultivada en el Perú; Ministerio de producción

En Plan Regional de Acuicultura de San Martín 2014 – 2023, se presenta como la política regional para el desarrollo de la acuicultura en el periodo 2014 – 2023 (Tabla N°11)

Tabla 11

Características de los sistemas productivos para el cultivo de Tilapia

Características	TIPOS DE CULTIVO		
	Extensivo	Semi-Intensivo	Intensivo
Infraestructura	Pequeños estanques de tierra	Estanques	Estanques, Jaulas y tanques
Densidad de siembra	1000 - 2000 peces/ha	5000 -20000 peces/ha	10000- 30000 peces/ha
Rendimiento	300-700 kg. / ha / campaña	2000-6000 kg. / ha / campaña	5000-10000 kg. / ha / campaña
Alimentación	Plancton y detritus presente en columna de agua y en el fondo del estanque	Alimentación suplementaria elaborado con insumos locales o comerciales	Alimento balanceado de alta calidad

Nota: Tomado del Plan Regional de Acuicultura de San Martín 2014 – 2023, Ministerio de producción y gobierno regional de San Martín

4.1.2 Recursos energéticos renovables de las zonas de mayor potencial acuícola continental del Perú.

Valores globales para poder optar que recursos renovables presentan mayor disponibilidad y potencial regional para su aprovechamiento en la acuicultura continental, se presentan a continuación (Tabla N°12 y figura 38).

Energía Eólica

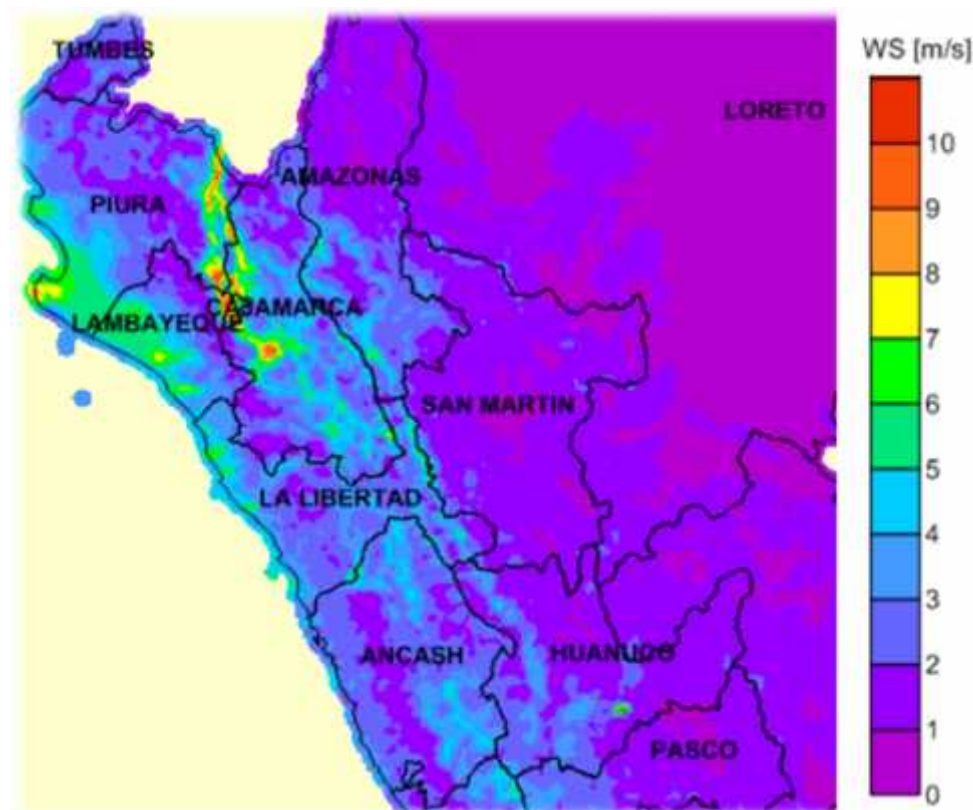
Tabla.12

Potencial eólico (MW) en (100 m) según el Atlas Eólico.

Region	Potencial eólico aprovechable (MW)	Potencial eólico excluido (MW)	Potencial eólico total (MW)
Piura	7098	1503	8601
San Martín	0	0	0

Figura 38

Velocidad media anual del viento a 10 m



Nota. Los valores de velocidad del viento en las regiones se referencian según el color
Fuente; atlas eólico,2016

Energía solar

Según el plan energético Nacional 2014-2025, la energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en el territorio Nacional; según la clasificación allí hecha las regiones consideradas para el presente estudio están consideradas como medianamente rentable (Tabla N°13).

Tabla 13

Radiación solar en las zonas de estudio.

Region	Radiacion promedio anual (kWh/m² –año)	Intervalo de radiación promedio anual (kWh/m² –año)
Piura	4.4	5.63-6.73
San Martin	4	4.63-5.13

Fuente: Plan energético 2014-2025 MEM,

Energía hidroeléctrica

Un estudio preliminar del Potencial Hidroeléctrico Nacional, muestra que el potencial técnico aprovechable con centrales hidroeléctricas de pasada asciende a 69 445 MW (Tabla N°14)

Tabla 14

Potencial Hidroeléctrico Técnico del Perú

Vertiente	Total (MW)	Excluido (MW)	Aprovechable (MW)
Pacífico	11402	2671	8731
Atlántico	86971	26345	60627
Titicaca	87	0	87
Total	98460	29016	69445

Fuente: Atlas del potencial hidroeléctrico del Perú, 2011

La energía hidráulica va a estar supeditado a la existencia de corrientes de aguas y dado las características donde se ubican las granjas. Por lo tanto, para fines de este estudio tenemos la siguiente disponibilidad de recursos energéticos renovables (Tabla N°15).

Tabla 15

Propuesta de tecnología renovable para el sistema híbrido

Región	Tipo RER
Piura	Solar-eólico
San Martín	Solar

Como sostiene Dolores-Salinas & Miret-Pastor (2024) el sector pesquero es uno de los sectores productivos más importantes de la economía peruana. Al mismo tiempo, pero con características muy diferentes, el Perú cuenta con una importante industria acuícola que ha crecido en los últimos años. La acuicultura peruana, como cualquier otra, enfrenta importantes desafíos económicos, sociales y ambientales. Según CEPAL (2022) y PRODUCE (2023), en el periodo 1990-2022, el sector acuícola peruano pasó de producir 5 mil toneladas métricas (TM) en 1990 a una producción de más de 140 mil TM en 2022, 28 veces mayor que la cantidad inicial. Según PRODUCE (2023), la acuicultura peruana se basa principalmente en la producción de cuatro especies acuícolas: camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), concha de abanico (*Argopecten purpuratus*), trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y diferentes especies de Tilapia como *Oreochromis niloticus*, y *Oreochromis* spp. entre otras. Es oportuno resaltar el crecimiento productivo y el consumo interno de las especies acuícolas en la región amazónica peruana.

El Perú ha asumido compromisos de mitigación de GEI -como todos los países firmantes del Acuerdo de París- para que la temperatura mundial no aumente 2 °C al 2050. Asumiendo la meta de reducir las emisiones de GEI al 30% al 2030 (Campodónico y carrera, 2022). Según OSINERGMIN (2019), el precio promedio ponderado adjudicado para proyectos de generación solar disminuyó en 78% y, para proyectos de generación eólica, disminuyó en 53%. Asimismo, el precio de los proyectos de generación con biomasa disminuyó en 30% y el precio para pequeñas hidroeléctricas, menores a 20 MW, disminuyó en 27%. Esta tendencia indica que las fuentes RER son cada vez más competitivas. La conciencia global sobre las preocupaciones ecológicas ha aumentado a medida que los efectos tangibles de la degradación ambiental, incluido el calentamiento global, se vuelven más evidentes (Xu et al., 2024).

En consecuencia, la sostenibilidad ambiental ha surgido como un problema global crítico, y los responsables de las políticas y los investigadores exploran soluciones innovadoras para frenar la contaminación ecológica. La innovación tecnológica se reconoce cada vez más como una solución crítica a los desafíos ambientales (Khan et al., 2024). Más allá de mitigar el daño ecológico, la innovación tecnológica es fundamental para promover el desarrollo financiero y económico (Buonomano et al., 2023).

4.2 Estado del uso de los energéticos en la producción acuícola

4.2.1 Uso de energía en la pesca y la acuicultura

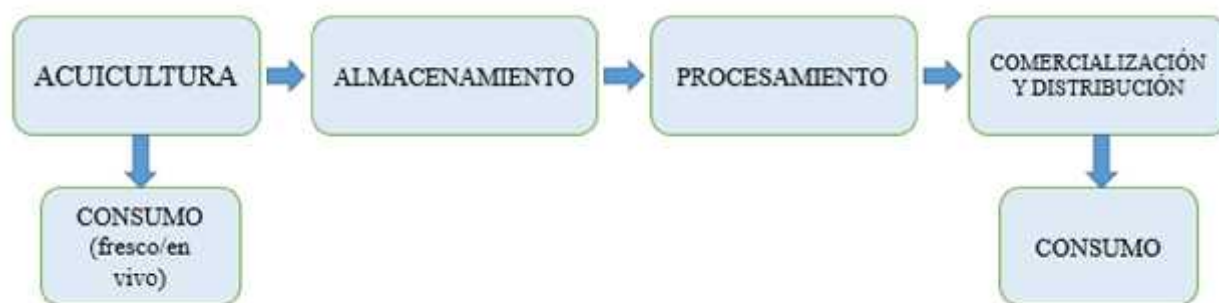
Los sistemas alimentarios dependen de grandes cantidades de energía, en particular combustibles fósiles, para su productividad (Namany et al., 2019), siendo responsables de la tercera parte de las emisiones GEI (Crippa et al., 2021). No es posible alcanzar los objetivos climáticos nacionales e internacionales sin reducir las emisiones de los sectores alimentario y agrícola (Clark et al., 2020). El desafío radica en transformar los sectores alimentario y energético de una manera equitativa y ambientalmente sostenible, manteniendo al mismo tiempo la seguridad alimentaria (IRENA y FAO, 2021).

El sector de la pesca y la acuicultura, incluida la producción pesquera (pesca de captura y acuicultura), el procesamiento posterior a la captura, la comercialización y la distribución, depende en gran medida del uso de energía, en particular en forma de combustibles fósiles (Muir, 2015). La acuicultura utiliza energía durante las fases de engorde y para producir insumos (es decir, piensos, criaderos), lo que contribuyó con 245 millones de toneladas de GEI en 2017 (MacLeod et al., 2020). El aumento de los costos de la energía y la huella de carbono asociada a los productos de mar es motivo de creciente preocupación (FAO, 2020; Gephart et al., 2021) e incluye tanto la producción como las etapas posteriores de la cadena de suministro, incluido el procesamiento, la distribución y la venta minorista (Crippa et al., 2021 & Murali et al., 2021). Las energías renovables in situ se están considerando como un enfoque para volverse menos dependiente de los combustibles fósiles (Rahman et al., 2022). Reemplazar los combustibles fósiles por fuentes de energía renovables es una de las opciones más prometedoras para mejorar la sostenibilidad del sistema alimentario y abordar el cambio climático (IRENA, 2017).

La cadena de valor en la acuicultura va desde la producción de pescado hasta su consumo. Si bien la energía es necesaria en todas las etapas, variando en estas. A medida que los países se desarrollan, el consumo de energía aumenta y esto también es válido para la acuicultura. Si bien la demanda total de energía de la pesca en pequeña escala es menor que la de las cadenas de pesca de mediana y gran escala, se produce a costa de operaciones menos eficientes, pérdidas causadas por instalaciones de almacenamiento inadecuadas y menores oportunidades generales para que los piscicultores en pequeña escala aumenten su producción económica (Figura 39). Además, se necesita energía para producir hielo que impida que el pescado se eche a perder. En las zonas donde el acceso a la electricidad es escaso, donde la red eléctrica sólo está disponible de manera intermitente o donde se utilizan generadores diésel para alimentar máquinas de fabricación de hielo, la producción y venta de hielo son actividades empresariales clave. Para el almacenamiento, se necesita energía para producir hielo o para alimentar equipos de refrigeración. Los pescadores y piscicultores en pequeña escala generalmente dependen del hielo para enfriar el pescado capturado, mientras que los piscicultores y pescadores industriales más pudientes utilizan refrigeradores para almacenar el pescado. De manera similar, en la etapa de procesamiento, se necesita energía para enlatar (electricidad) o para secar y ahumar (calor).

Figura 39

Descripción simple de una cadena de valor del pescado en pequeña escala



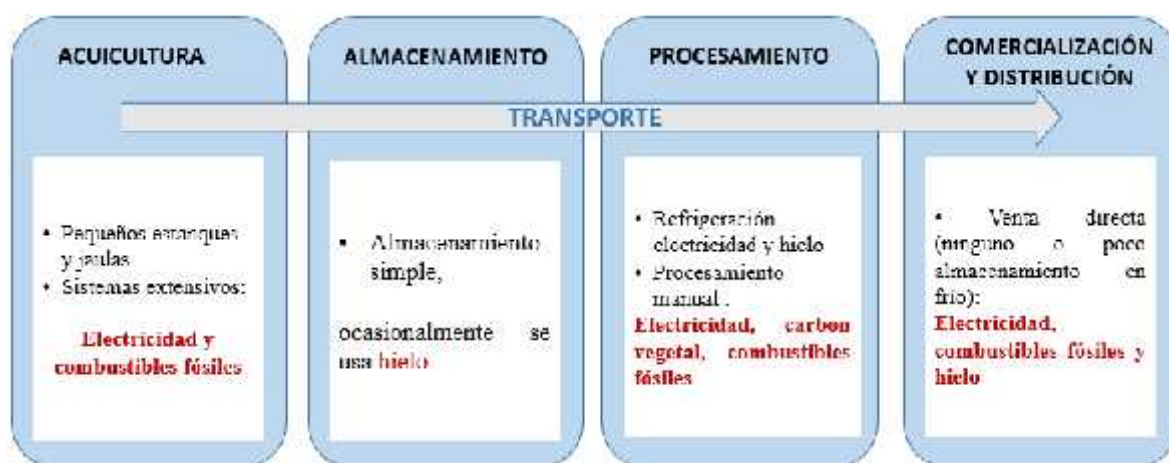
Nota: adaptado de Puri et al.,2023

4.2.2 Estructura y uso de la energía a lo largo de la cadena de valor

La cadena de valor se caracteriza por el uso de baja tecnología, pequeños estanques o jaulas para la acuicultura. La Figura 40 detalla los principales tipos de energía utilizados en los diversos pasos de una cadena de valor típica a pequeña escala, correspondientes a los procesos específicos de etapa identificados.

Figura 40

Energía en cada etapa de la cadena de valor de acuicultura en pequeña escala



Uso global de energía en la acuicultura

Se podrían adoptar varios enfoques para estimar los insumos globales y relacionados de energía y combustible para la acuicultura. Es más práctico agrupar sistemas y especies para evitar estimaciones muy detalladas, pero no necesariamente más precisas basadas en la variedad completa de opciones de producción acuícola actualmente en uso.

Se consideran dos enfoques; uno basado en un enfoque simplificado de categorías de intensificación, asignado a diferentes regiones y grupos de especies, con equivalentes de combustible y estimaciones de energía total. El segundo es de uso de datos de costos de producción y la proporción asignada a los costos de energía, junto con una categorización de especies y sistemas diferentes para desarrollar equivalentes globales.

Por sistema y entorno – equivalentes de combustible

La Tabla N°16 se desarrolla a partir de las categorías de intensificación de cinco etapas descritas anteriormente, con estimaciones equivalentes de insumos de energía relacionados con el alimento, el agua, la aireación y otros usos de energía. Esto se vincula con los volúmenes de producción reportados para producir las estimaciones regionales y globales del uso total equivalente de combustible que se muestran en la Tabla N°17.

Tabla 16

Categorías del sistema acuícola y consumos energéticos/ tonelada de producción

Sistema Categoría	Caracterizado por	Entrada de energía por tonelada de producción	
		GJ	Combustible Equiv. (ton)
Extensiva	< de 0,5 toneladas/ha por año para peces, sustancialmente más para moluscos o algas	0	0
Semi	0,5-5 ton/ha por año; Estanques normalmente	25	0.5
Extensiva	tradicionales o mejorados, sistemas de jaulas.		
Semi	2- 20 ton/ha por año; normalmente en estanques	50	1
Intensiva	mejorados, algunos sistemas de jaulas simples.		
Intensiva	≤ 100 ton/ha por año; normalmente estanques, tanques, canales con intercambio de agua o jaulas.	75	1.5
Super	≥ 1 000 toneladas/ha por año, tanques, pistas de	100	2
Intensiva	rodadura con/sin recirculación o jaulas.		

Nota: Valores estimados; 1kWh = 3.6 MJ; Fuente: FAO, 2015, como se citó en FAO,2023, p.12)

Todos los centros acuáticos clasificados como “extensivos”, requieren poco o ningún aporte de energía y no han sido incluidas. Esto se vincula con los volúmenes de producción reportados para producir las estimaciones regionales y globales del uso total equivalente de combustible que se muestran en la Tabla N°17.

Tabla 17*Uso de combustible equivalente por principales regiones/grupos de especies*

Region	Miles de toneladas equivalentes de combustible				Total Comb. ton. Equiv.
	Pescado Marino	Pescado agua dulce	Crustáceo	Moluscos	
Africa	294.5	633.5	20.0	1.5	949.5
Americas	10.3	1228.4	878.9	217.4	2335
Europa	315.1	382.5	0.9	430.9	1129.4
Asia (ex. China)	631.5	9184.6	3204.4	974.3	13994.8
China	1097.8	23828.8	4639.0	7046.5	36612.1
Oceania	4.6	3.8	11.8	71.7	91.9

Fuente. FAO,2015

Para estimar los niveles equivalentes de combustible asociados con el consumo directo de combustible y electricidad, se consideran dos componentes principales:

- Combustible directo y electricidad involucrados en la producción (vehículos, bombas, aireadores, calefacción/refrigeración, insumos diversos, normalmente entre el 0,5 y el 5 por ciento de los costos operativos para todos, excepto los sistemas más intensivos (que contribuyen de manera insignificante a la producción global).
- Combustible involucrado en la recolección de materias primas, su procesamiento y distribución de los alimentos fabricados a los lugares de producción; la propia energía alimentaria representa casi el 80 por ciento de la energía total en los sistemas intensivos y casi nada en los sistemas extensivos; De esta cifra, entre el 15 y el 25 por ciento de la energía podría estar asociada a la recolección, producción y distribución.

Según el circular de Pesca y Acuicultura de la FAO 2015. Referida al uso de combustible y energía en el sector pesquero (Tabla N°18), por (Muir,2015). Los niveles de combustible y electricidad varían ampliamente, Para los sistemas de jaulas y de reciclaje, los patrones son en términos generales similares, aunque para las jaulas de tilapia es probable que se utilice algo de combustible/electricidad, pero contenido dentro de “otros” costos.

Tabla 18*Uso global de energía en la acuicultura por tipo de sistemas*

Tipo de sistema	Estanques intensivos de intercambio de agua limitado				Flujo continuo
Especies	Camarón	langostino	Tilapia	Bagre	Trucha
Productividad (kg/ha)	3 953	4 000	16 875	20 545	5 850
Costo total (USD/ha)	15 159	9 545	13 869	8 286	10 700
Costo fijo (% costo total)	10.4	2.3	7.8	3.2	25.6
Costo variable (% total)	89.6	97.7	92.2	96.8	74.4
Alimentación (% total)	41.8	54.9	71.6	75.7	43.4
Comb. y electricidad (% total)	16.6	8.4	2.2	0.8	2.5
Mano de obra (% total)	17.8	2.2	7.6	12.7	8.9
Ingresos totales (USD/ha)	20 792	13 078	17 189	10 703	16 205
Beneficio neto (USD/ha)	5 633	3534	3 320	2 417	5 558
Costo promedio (USD/kg)	4.04	2.38	0.74	0.4	1.82
Beneficio neto (USD/kg)	0.89	0.88	0.28	0.11	0.95

Nota. Tomado de Muir, J. F. (2015).

La Tabla 19 muestra entradas de capacidad de energía no relacionadas con la alimentación para una serie de sistemas (basados en un número limitado de muestras), identificando el bombeo y la aireación como entradas principales, siendo la calefacción/refrigeración una característica en algunos sistemas de recirculación.

Tabla 19*Capacidad energética (kW/tonelada de producción)*

Sistema	Bombeo	Aireación	Refrigeración
Planta acuática	n/a	n/a	n/a
Estanque extensivo y semiintensivo	n/a	n/a	n/a
Estanque intensivo	Variable	2	n/a
Jaula intensiva	n/a	n/a	n/a
Tanque/estanque de flujo intensivo	0,66	0,75	n/a
Sistema de Recirculación	0,33	0.21	0.4

Nota. adaptado de Muir, J. F. (2015).

La Tabla N°20 resume algunas tasas de aplicación registradas anteriormente para aireación en sistemas de acuicultura, incluida una cantidad limitada de datos sobre el uso total de energía por cultivo o por kilogramo.

Tabla 20*Capacidad de aireación instalada y uso de energía*

Sistema	Funcion	capacidad	Notas
Tanques	Larvas	0,2–1 m ³ /h por m ³	Uso de ciclo muy corto
	Reproductores	0,1–0,5 m ³ /h por m ³	Sólo se puede utilizar periódicamente
	Uso general	0,05–0,3 m ³ /h por m ³	Aireación suplementaria
Estanques semiintensivos	Cultivo de camaron	0,44 kW/ha; estanq, 1,12 ha	10 toneladas/ha por año, 2 cultivos, 20–30% intercambio de agua/día
	Cultivo de camaron	6 kW/ha ; estanq, 0,49 ha	16,5 toneladas/ha por año, 2,5 cultivos, 20% intercambio de agua/día
	Cultivo de carpa	4 kW/ha, estanques de 0,7 ha	Sistemas de estanques chinos
Estanques	Tilapia	Alrededor de 0,5 a 1 kW/ha	Aprox. 0,2 kW ton de pescado/año
	Bagre	34 000 kWh/ha/cultivo	2,82 kWh/kg producido, unos 4kW inst./ha
Estanques intensivos	cultivo de anguila	4,5 kW/ha, estanq de 0,2 ha	Producción 30 toneladas/ha-año, Taiwán
	cultivo de camaron	12 kW/ha, estanq de 0,25 ha	Rendimiento 13,2 toneladas/ha

Fuente (FAO,2015)

La evidencia sugiere que, en una variedad de sistemas de acuicultura, los insumos y costos directos del combustible no son tan relevantes en la producción y el resultado. Sin embargo, indirectamente, el combustible y la energía asociados con los alimentos y su apoyo incorporado al ecosistema en particular pueden ser muy significativos. Los sistemas más exigentes en términos de combustible y energía son comúnmente aquellos para la producción intensiva de peces y crustáceos que utilizan alimentos completos y con insumos de energía suplementarios para el intercambio de agua y la aireación. Los sistemas de agua reciclada, si bien reducen el uso de agua y la descarga de desechos, tienen demandas de energía aún mayores asociadas con el tratamiento del agua y el control de la temperatura.

Hasta ahora, la certeza de variación en la eficiencia energética y del combustible dentro de los subsectores de la acuicultura ha sido limitada, pero las variaciones en el desempeño asociadas con el uso y la conversión de alimentos, y con el intercambio de agua y el uso de aireación, sugieren que existen variaciones significativas en la eficiencia. Esto, a su vez, implica que se pueden hacer cambios en la eficiencia. En todos los insumos productivos, existen amplias necesidades de datos sobre los insumos de combustible y energía en todo el sector de la acuicultura, y sobre la eficiencia comparativa de la producción, a nivel de empresa y en términos de inventarios nacionales y mundiales y transformaciones de sistemas.

4.2.3 Uso de los recursos renovables en la acuicultura

Como bien sostiene Habibzadeh et al. (2025):

El rápido agotamiento de los combustibles fósiles y la creciente preocupación por el cambio climático han impulsado al mundo hacia una coyuntura crítica en la transición energética. En medio de este cambio de paradigma, los sistemas híbridos de energía renovable (HRES), en particular los que incorporan tecnologías de energía solar y eólica, han surgido como soluciones destacadas para abordar los desafíos de la sostenibilidad energética.

Para Hansan et al. (2023), estos sistemas mitigan los problemas de intermitencia inherentes a las fuentes renovables individuales, mejorando la confiabilidad y estabilidad generales de la generación de energía. Al integrar estas fuentes, el suministro de energía se vuelve más constante, lo que reduce el riesgo carencia de energía durante condiciones climáticas adversas. Además, las tecnologías de almacenamiento de energía integradas en sistemas híbridos facilitan almacenar el excedente de energía durante los períodos de máxima producción, lo que permite su uso durante la etapa de baja producción energética, lo que aumenta la eficiencia general del sistema (Superchi et al., 2025).

La energía renovable en la cadena de valor de la acuicultura puede adoptar la forma de una sustitución directa de la fuente de energía actualmente utilizada, o la mejora de la tecnología. La actualización a la acuicultura semiintensiva requerirá el uso de jaulas y estanques más grandes, sistemas de bombeo automático, comederos y aireadores. La mayoría de estas unidades funcionan con motores diésel y electricidad de la red (Muir, 2015). La fuente de energía de este tipo de equipos automatizados puede ser reemplazada por RER como sistemas fotovoltaicos y motores impulsados por biocombustibles, como el biodiesel (Suthisripok & Semsamran, 2018).

Diversos artículos científicos reportan el uso de energías renovables en la acuicultura, la Tabla N°21 presenta los usos en los últimos ocho años

Tabla 21*Usos de energías renovables en la acuicultura*

Referencia	Tema/título	País	RER	Ventajas
Zhan et al. 2024	Optimización de circulación acuicola	China	Solar eólico	Optimización de sistemas y uso de fuentes de energía renovables
Shu et al. 2024	Pesca Fotovoltaica	China	Solar	Industria complementaria
Erdermir 2024	Generación de electricidad para la acuicultura	Canada Turquia	Solar	Generacion con energia renovabke Para acuicultura sostenible
Chen y Gao 2023	La acuicultura industrializada en China	China	Solar Geot.	Optimización de sistemas y uso de fuentes de energía renovables
Matulic et al. 2023	Uso de la energía solar en la la acuicultura	Croacia	Solar	Los recursos y los cultivos oportunidad para la acuavoltaica
Jamroen, 2022	Almacenamiento de energía fotovoltaico/batería flotante	Tailandia	Solar	El sistema PV/BES es la opcion mas factible para aireacion
Vo et al. 2021	La energía solar para la acuicultura	Korea Vietnam	Solar	Los precios de energía disminuirán gracias a la energía renovable
Pesantez, et al. 2021	SolarFotovoltaico en el Sector Camaronero	Ecuador	Solar	Sistemas fotovoltaicos puede satisfacer demanda de energia
Neguyen et al. 2020	Sistema energético híbrido para la acuicultura	Vietnam	Solar eólico	El sistema produce oxígeno para la oxigenación
Maulana, et al. 2020	Energía hidroeléctrica para implementación en acuicultura	Kenia	Hidro	La energía hidroeléctrica podria abastecer necesidad energética
Cornejo-Ponce et al., 2020	Sistema IAcuícola (IARS) apoyado por Energía Solar	Chile	Solar	Cumple con 10 principios de la Economía Circular
Lee et al. 2020	Sistemas híbridos fotovoltaicos-hidroeléctricos	USA	solar hidro	este sistema presenta potenciales Beneficios para la acuicultura
Bharathi et al. 2019	Aplicación de RER en acuicultura	India	Solar eolica	Costo de producción se reduce aireación, bombeo de agua etc
Badiola et al. 2018	Uso de energía en sistemas acuícolas de recirculación	USA	Solar otras	Las energías renovables son de uso potencial en RAS
Pringle et al. 2017	Generación de energía solar fotovoltaica y la acuicultura	USA	Solar	El potencial para acuicultura solar fotovoltaica era prometedor

4.2.4. Especificaciones y costos de la tecnología

La Tabla N°22 presenta los costos de los diferentes RER. La inversión inicial se refiere al precio del equipo, así como a los costos de mano de obra e instalación, mientras que los costos de O&M están relacionados con los gastos anuales de O&M del sistema. Para cada RER, se presentan los costos para las diferentes tecnologías (Tabla N°23). Generalmente,

los costes de inversión y O&M disminuyen a medida que aumenta el tamaño de la instalación.

Tabla 22

Costos típicos de instalación, O&M para fuentes de energía renovable

RER	TIPO	CAPACIDAD /TAMAÑO	INVERSIÓN	COSTOS	Fuente
			INICIAL	DE O&M	
			USD/kW	USD/kW/año	
	Fotovoltaica residencial	<10 kW	1 325	15.7	
Energía solar	Fotovoltaica comercial	10 kW–1 MW	938	13.4	DEA, 2021
	Utilidad fotovoltaica	>1 MW	621	10.3	
		Utilidad (>2 MW)	1 312	16.4	
Energía eólica	Onshore	Residencial	4 450	111	DEA, 2021
		(<25kW)			
	Grande	>10 MW	2 250	45	IEA, 2010;
Energía hidroeléctrica	Pequeña	1–10 MW	4 500	112	IFC, 2015;
	Micro	< 0.1 MW	5 000	125	NHA,2021
	Pico	< 5 kW	1 000–3750	25–100	

Fuente: adaptado de FAO,2023

Debido al aumento de los precios de los combustibles fósiles, “el período 2021-2022 vio una de las mayores mejoras en la competitividad de la energía renovable en las últimas dos décadas” (INRENA,2022)

Tabla 23

Costo total instalado, factor de capacidad y LCOE por tecnología, 2010 y 2022

Tecnología	Costos totales instalado			Factor de capacidad			Coste nivelado de la electricidad.		
	(2022 USD/kW)			(%)			(2022 USD/kWh)		
	2010	2022	Δ%	2010	2022	Δ%	2010	2022	Δ%
Solar PV	5 124	876	-83	14	17	23	0,445	0,049	-89
Eólica terrestre	2 179	1 274	-42	27	37	35	0,107	0,033	-69
Energía hidroeléctrica	1 407	2 881	105	44	46	4	0,042	0,061	47

Nota: Los datos han sido extraídos de INRENA,2022

4.3 Comparación cuantitativa de las energías renovables en sistemas híbridos modelos

Produce a través de la Dirección de Acuicultura (2014), con el fin de impulsar la actividad acuícola sostenible desarrollo junto con la Universidad ESAN un Plan de Negocio con el propósito de determinar la viabilidad de un proyecto de producción y comercialización a escala industrial de tilapia (*Oreochromis niloticus*), para implementarse en el departamento de San Martín. Para el desarrollo de este plan se consideró a empresa ubicada en la selva nororiental peruana, a 06°31'30'' de latitud sur y 76°21'50'' de longitud oeste. Se consideró el diseño de la planta con un área total de 16 Ha, para la producción de tilapia, que inicialmente sería de 775 TM/año con un rendimiento de 33% para obtener 255 TM/año de filete y la cual se incrementará a partir del segundo año 3,100 TM/año con el mismo rendimiento a fin de obtener 1,000 TM/año de filete destinados al mercado nacional y mercado internacional. El sistema tecnológico para la producción de tilapia en la zona, sería a través de estanques de tierra (Produce y Esan,2019). En el estudio considera gastos por energía: combustibles S/.8000 y energía eléctrica de S/.8400 (p. 107)

Jiménez, (2018). Propuso un instructivo cuya finalidad es:

Acercar al acuicultor e interesado en incursionar en la actividad acuícola en la Amazonía Peruana, a las nuevas tecnologías innovadoras e inspirarlo a que pueda adecuarse del cultivo tradicional a utilizar sistemas de recirculación acuícola, que son amigables con el ambiente y rentables económicamente.

4.3.1.- Caracterización de la demanda de energía para granja modelo

La demanda de la granja acuícola modelo se determinó para los periodos de consumo de un sistema con recirculación (RAS). Se consideraron dos escenarios de cargas, una con cargas básicas y el otro escenario para un sistema con mayor proyección de cargas eléctricas, según se muestra en las Tablas N°24 y N°25, Figuras 41 y 42.

Escenario 1

Tabla 24

Demanda y energía requerida escenario 1

Cant	Equipo	Pot. Hp	Pot.total Kw	Energia Kwh al dia
1	Aireador	1.5	1.12	26.9
1	bomba	1.5	1.12	26.9
	Otro		0.26	6.2
	Total		2.50	60.0

Nota: Según Jiménez. (2018), En sistemas de recirculación, el consumo eléctrico de los equipos tanto de aire como de circulación tiene que estar prendido 24 x 7

Figura 41

Diagrama de carga para un consumo energético de 60kW/día



Nota: HP=0.7457 kW

1kWh = 0.6 0 céntimos de sol

Escenario 2

Tabla 25

Demanda Energética, escenario 2

Cant	Equipo	Pot. Hp	Potencia Kw	Horas uso	Energia kWh
2	Aireador	1.5	2.24	24	53.7
1	bomba	1.5	1.12	24	26.9
1	congelador	2	1.49	24	35.8
12	Iluminacion		0.20	18	3.6
	Total		5.0		120.0

Figura 42

Diagrama de carga para consumo 120kW/día



4.3.2.- Análisis de la granja acuícola modelos en los lugares de mayor producción en acuicultura continental

4.3.2.1 Granja acuícola modelo en la región san Martín.

La acuícola considerada tiene autorización para desarrollar la actividad de acuicultura de menor escala, y adecuada a la nueva categoría productiva de acuicultura de micro y pequeña empresa –AMYPE, con resolución Directoral Regional N° 206-2016-GRSM/DIREPRO, con la especie “Tilapia” *Oreochromis niloticus*, en una área de espejo de agua de 4 270 m², ubicada en las coordenadas geográficas WGS84: 06° 02' 51.9" SUR 77° 03' 39.1" OESTE (-6.04686, -77.06269) en el distrito Pucayacu, Distrito Calzada, Provincia Moyobamba, Departamento de San Martín. La acuícola es una empresa familiar llamada Pucayagro.

Latitud: -6.04686

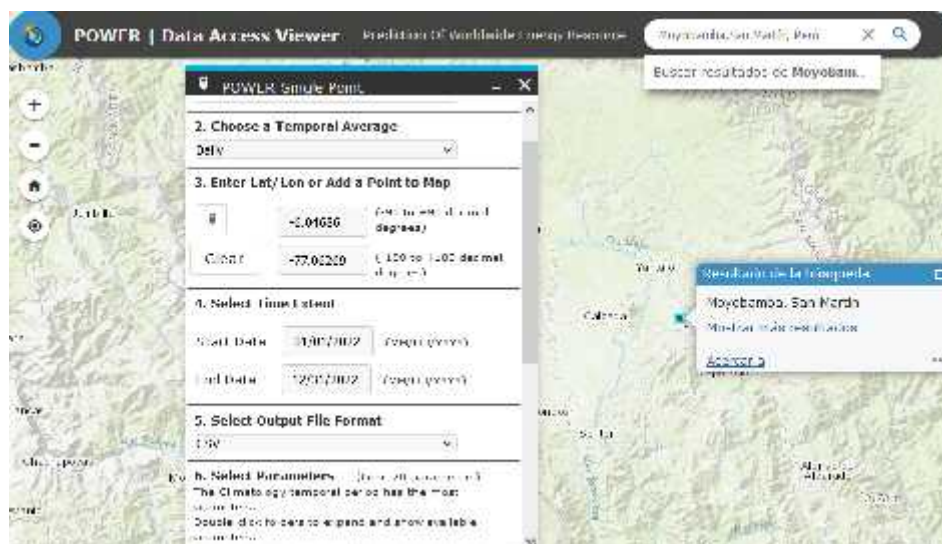
Longitud: -77.06269

Estimación del recurso renovable disponible.

Los valores de los recurso solar y eólico(Figura 40) fueron obtenidos de la plataforma (*Prediction of Worldwide Energy Resource - POWER*) (NASA, 2023). Los valores de irradiación solar y velocidad de viento se muestran en el anexo1.

Figura 43

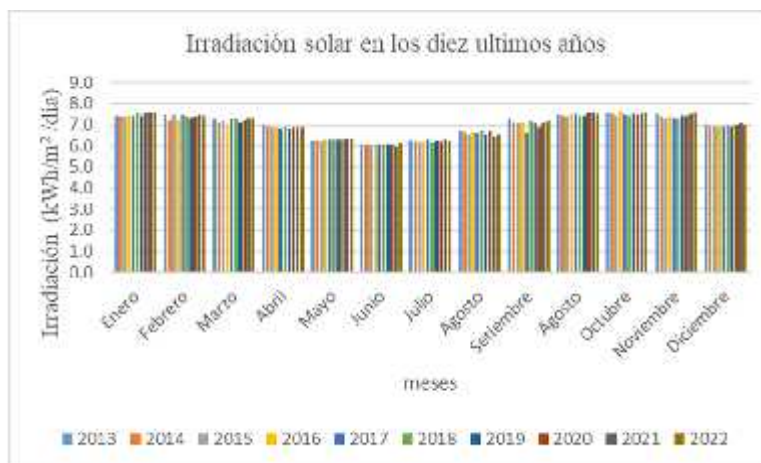
Plataforma POWER para la estimación de los recursos renovables.



Usando esta plataforma, se obtuvo irradiación solar incidente en la zona donde se localiza la granja durante el año 2022 (Figura 44). Se puede observar, los días de mayor irradiación solar se presentan en las estaciones de primavera y verano, es decir, entre los meses de septiembre y marzo.

Figura 44

Irradiación Distrito Calzada, Moyobamba-San Martín, años 2013-2022

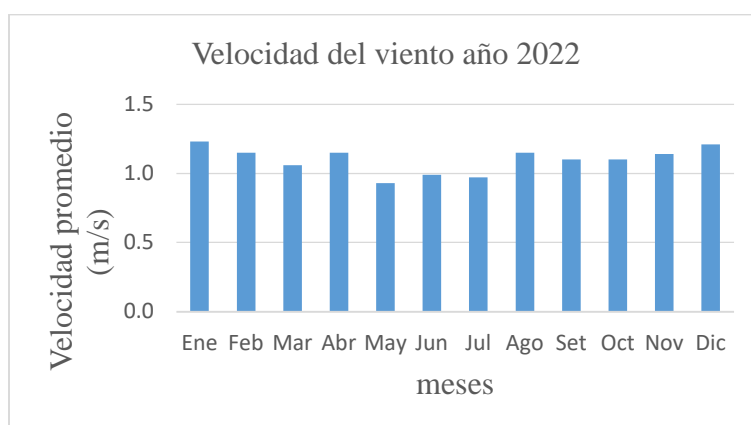


Los niveles de insolación que predominan oscilan entre los 6 y 7.6 kWh/m² /día.

Para el recurso eólico, los datos disponibles corresponden a registros de velocidad del viento promedio durante los 365 días del año 2022, tomados a una altura de 10 m. lo cual nos permitió deducir, que el potencial es pequeño como para considerarlo como una alternativa energética (Figura 45).

Figura 45

Potencial eólico anual disponible en Distrito Calzada, Provincia Moyobamba.



Podemos afirmar que, la contribución de energía solar es aceptable, no así energía eólica ya que el valor promedio no supera ni siquiera la velocidad 1.2 m/s

Propuesta del Sistema Híbrido Renovable.

Dadas las condiciones de disponibilidad de recursos renovables en la zona, el sistema híbrido renovable (HRES) (Figura 46) para fines de la presente investigación, está formado por un módulo fotovoltaico, un generador diésel como sistema de respaldo y como sistema de almacenamiento y un banco de baterías, considerándose para el análisis la tecnología del tipo plomo-ácido, por ser una tecnología madura y de mayor aplicación en este tipo de proyectos y baterías de Ion de litio que es la tecnología en desarrollo. Además, el sistema trabajara como un sistema aislado con los parámetros propuestos en la Tabla N°26.

Figura 46

Arquitectura propuesta para HRES San Martin.

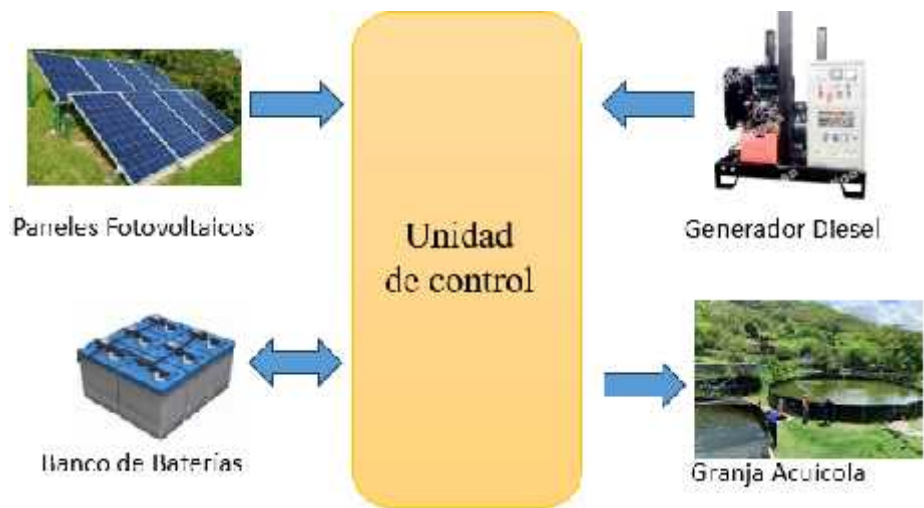


Tabla 26

Parámetros principales del sistema propuesto-San Martin





Arquitectura			Modo de operación
Tecnología renovable	Sistema de almacenamiento	Sistema de respaldo	Sistema aislado
Fotovoltaica	Baterías	Generador diésel	

Región San Martín: Análisis del sistema de energía renovable (HRES)

Se definieron las características técnicas y económicas de los componentes seleccionados, para los consumos de 60kwh/día y 120kW/día usando almacenamiento con baterías Plomo-acido (LA) (Tabla N°27).

Tabla 27

Datos técnicos-económicos del HRES con almacenamiento LA

Descripción	Datos
Especificaciones del módulo FV	PV 
Tecnología	Si monocristalino
Costo de capital (\$/kW)	3000
Costo de remplazo (\$/kW)	3000
O&M (\$/año)	10
Tiempo de vida (años)	25
Especificaciones del generador Diesel	GENERATOR 
Costo de capital (\$/kW)	500
Costo de remplazo (\$/kW)	500
O&M (\$/horas op)	0.03
Combustible	Diesel
Tiempo de vida (horas)	15000
Especificaciones de la batería	STORAGE 
Generica 1kWh (Plomo acido)	LA
Costo de capital (\$)	300
Costo de remplazo (\$)	240
O&M (\$/año)	10
Tiempo de vida (años)	10
Especificaciones del convertidor	CONVERTER 
Capacidad (kW)	1
Costo de capital (\$)	300
Costo de remplazo (\$)	300
O&M (\$/año)	0
Tiempo de vida (años)	15

Una vez definidos el algoritmo y la herramienta especializada de software para llevar a cabo la optimización del HRES propuesto, se procedió a su aplicación.

Escenario 1: Optimización técnica del HRES-LA 60kWh/día

Se realizó el análisis de sensibilidad considerando la tasa de descuento nominal (TdN) de 6% y 12% y precio del combustible de 1 y 2 \$/L con almacenamiento Plomo-Acido (LA). Los resultados hallados se presentan en las Tablas N°28 y N°29

Tabla 28

Resultados para los parámetros establecidos en E-1

Sensibilidad		Arquitectura				Generador				PV	
TdN (%)	P.Comb. (\$/L)	PV (kW)	Gen (kW)	LA (1kWh)	Conver. (kW)	Prod. (kWh)	Comb. (L)	O&M (\$/año)	C. Comb. (\$/año)	C. Cap. (\$)	Prod. kWh/año
6	1	9,0	8	35	5	14 016	4 361	565	4 361	26 936	11 051
6	2	15,9	8	58	4	10 267	3 108	368	6 217	47 677	19 560
12	1	6,0	8	16	4	16 865	5 640	891	5 640	17 897	7 342
12	2	10,9	8	40	4	12 836	4 083	566	8 166	32 825	13 466

Cada uno de los resultados encontrados han sido optimizados, en un grupo de posibilidades los cuales se adjuntan en el anexo.

Tabla 29

Arquitecturas óptimas E-1

Potencia 2,5 kW	Energía: 60 kWh/día
TdN (%) = 6	Precio combustible diesel (\$/L) = 1
Arquitectura del sistema ganador	
Generador Diesel	8 kW
Paneles fotovoltaicos	9 kW
Batería de plomo y ácido (1kWh LA)	35
Convertidor	5 kW
TdN (%) = 6	Precio combustible diesel (\$/L) = 2
Arquitectura del sistema ganador	
Generador Diesel	8 kW
Paneles fotovoltaicos	16 kW
Batería de plomo y ácido (1kWh LA)	58
Convertidor	4 kW
TdN (%) = 12	Precio combustible diesel (\$/L) = 1
Arquitectura del sistema ganador	
Generador Diesel	8 kW
Paneles fotovoltaicos	6 kW
Batería de plomo y ácido (1kWh LA)	16
Convertidor	4 kW
TdN (%) = 12	Precio del combustible diesel (\$/L) = 2
Arquitectura del sistema ganador	
Generador Diesel	8 kW
Paneles fotovoltaicos	11 kW
Batería de plomo y ácido (1kWh LA)	40
Convertidor	4 kW

Escenario 2A: Optimización del HRES-120 kWh/día -LA

Se realizó el análisis de sensibilidad considerando la tasa de descuento nominal (TdN) de 6% y 12% y precio del combustible de 1 y 2 \$/L. Los resultados de la arquitectura óptima, así como el generador y el arreglo fotovoltaico se presentan en las Tablas N°30 y N°31

Tabla 30

Resultados para el caso del E-2A

Sensibilidad		Arquitectura				Generador				PV	
TdN (%)	P. Comb. (\$/L)	PV (kW)	Gen (kW)	LA (kWh)	Conver. (kW)	Prod. (kWh)	Comb. (L)	O&M (\$/año)	C. Comb. (\$/año)	C. Cap. (\$)	Prod. (kWh/año)
6	1	18,8	17	75	10	27 472	8 528	1 098	8 528	56 285	23 091
6	2	31,4	17	111	9	20 848	6 357	772	12 715	94 122	38 613
12	1	12,4	17	38	9	33 554	11 070	1 692	11 070	37 055	15 202
12	2	21,8	17	89	8	25 598	8 053	1 080	16 106	65 262	26 774

Cada uno de los resultados encontrados han sido optimizados, en una un grupo de posibilidades los cuales se adjuntan en el anexo 3.

Tabla 31

Mejor arquitectura para el caso E-2A





Potencia 5 kW	Energía: 120 kWh/día
TdN (%) = 6	P. comb. (\$/L) = 1
Paneles fotovoltaicos	18,8 kW
Generador Diesel	17,0 kW
Bateria (1kWh LA)	75,0
Convertidor	9,98 kW
TdN (%) = 6	P. comb. (\$/L) = 2
Paneles fotovoltaicos	31,4 kW
Generador Diesel	17 kW
Bateria (1kWh LA)	111
Convertidor	8,54 kW
TdN (%) = 12	P. comb. (\$/L) = 1
Paneles fotovoltaicos	12.4 kW
Generador Diesel	17 kW
Bateria (1kWh LA)	38,0
Convertidor	8,69 kW
TdN (%) = 12	P. comb. (\$/L) = 2
Paneles fotovoltaicos	21,8 kW
Generador Diesel	17 kW
Bateria (1kWh LA)	89,0
Convertidor	7,51 kW

Escenario 2B: Optimización del HRES-120 kWh/día -LI

Se definieron las características técnicas y económicas de los componentes seleccionados, Se determinaron los parámetros técnicos-económicos, para el consumo de 120kW/día usando almacenamiento con baterías de litio (LI)(Tabla N°32).

Tabla 32

Especificaciones técnicas- económicas del HRES con almacenamiento **LI**

Descripción	Datos
Especificaciones del módulo FV	PV 
Tecnología	Si monocristalino
Costo de capital (\$/kW)	3000
Costo de remplazo (\$/kW)	3000
O&M (\$/año)	10
Tiempo de vida (años)	25
Especificaciones del generador Diesel	GENERATOR 
Costo de capital (\$/kW)	500
Costo de remplazo (\$/kW)	500
O&M (\$/horas op)	0.03
Combustible	Diesel
Tiempo de vida (horas)	15000
Especificaciones de la batería idealizada	STORAGE 
Generica 1kWh (Li-Ion)	LI
Costo de capital (\$)	550
Costo de remplazo (\$)	440
O&M (\$/año)	10
Tiempo de vida (años)	10
Especificaciones del convertidor	CONVERTER 
Capacidad (kW)	1
Costo de capital (\$)	300
Costo de remplazo (\$)	300
O&M (\$/año)	0
Tiempo de vida (años)	15

Luego de haber definido el algoritmo se aplicó el software para realizar la optimización del HRES propuesto.

Optimización técnica del HRES.

Se realizó el análisis de sensibilidad considerando la tasa de descuento nominal (TdN) de 6% y 12% y precio del combustible de 1 y 2 \$/L. Los resultados de la arquitectura óptima, así como el generador y el arreglo fotovoltaico se presentan en las Tablas N°33 y N°34.

Tabla 33

*Respuestas de sensibilidad para almacenamiento **LI***

Sensibilidad		Arquitectura				Generador				PV	
TdN (%)	P. Comb. (\$/L)	PV (kW)	Gen (kW)	LI (1kWh)	Conver. (kW)	Prod. (kWh)	Comb. (L)	O&M (\$/año)	C. Comb. (\$/año)	C. Cap. (\$)	Prod. kWh/año
6	1	19,1	17	40	13	28 386	8 355	889	8 355	57 390	23 544
6	2	46,4	17	105	16	7 030	2 948	692	5 897	139 083	57 059
12	1	11,3	17	17	11	34 975	10 568	1 242	10 568	33 867	13 894
12	2	19,2	17	42	13	28 045	8 230	865	16 459	57 634	23 644

Estos resultados se han seleccionado de un grupo de posibilidades óptimos, los cuales se adjuntan en el anexo 4.

Tabla 34

*Arquitectura óptima usando batería **LI***

Potencia 5 kW	Energía: 120 kWh/día
TdN (%) = 6	P. comb. (\$/L) = 1
Paneles fotovoltaicos	19,1 kW
Generador Diesel	17 kW
Batería (1kWh LI)	40,0
Convertidor	12,5 kW
TdN (%) = 6	P. comb. (\$/L) = 2
Paneles fotovoltaicos	46,4 kW
Generador Diesel	17 kW
Batería (1kWh LI)	105
Convertidor	16,4 kW
TdN (%) = 12	P. comb. (\$/L) = 1
Paneles fotovoltaicos	11,3 kW
Generador Diesel	17 kW
Batería (1kWh LI)	17,0
Convertidor	10,8 kW
TdN (%) = 12	P. comb. (\$/L) = 2
Paneles fotovoltaicos	19,2 kW
Generador Diesel	17 kW
Batería de iones de litio (1kWh LI)	42,0
Convertidor	13,4 kW

Para el caso del **Escenario 1** en la Región San Martín, debido a que solo se consideraron 2,5 kW y una energía diaria de 60 kWh, se optó solamente el sistema de almacenamiento mayormente usado que es el uso de baterías de plomo-ácido la que es una opción bastante común en sistemas híbridos de energía renovable debido a su costo relativamente bajo y su capacidad para manejar ciclos de carga y descarga. En sistemas híbridos, donde se combinan múltiples fuentes de energía como solar fotovoltaico, energía eólica, o generadores diésel. Sin embargo, estas baterías tienen algunas limitaciones, como una vida útil limitada en comparación con otras tecnologías más avanzadas, como las de ion litio, ocupan más espacio y son más pesadas. Además, requieren un mantenimiento regular, incluyendo la reposición de agua destilada y la limpieza de los terminales para mantener su rendimiento óptimo.

Situación diferente es para el Escenario 2 para esta Región, dado que se está considerando un sistema más grande de 5 kW y una energía diaria de 1200 kWh. Se hizo el análisis para un sistema de almacenamiento con baterías de litio ya que su uso va ganando terreno en sistemas híbridos de energía renovable debido a ofrecen varias ventajas sobre las baterías de plomo-ácido; pueden almacenar más energía en un espacio más pequeño y con menos peso, tienen una vida útil más larga las convencionales, soportan un mayor número de ciclos de carga y descarga, haciéndolas más duraderas y rentables a largo plazo, retienen la carga durante períodos más largos sin necesidad de recarga, no requieren mantenimiento regular y suelen tener una mayor eficiencia en la conversión de energía.

4.3.2.2 Modelo, granja acuícola en la Región Piura

Para el análisis del sistema híbrido en la Región Piura se ha tomado como referencia la información del Catastro Acuícola Nacional <http://catastroacuicola.produce.gob.pe/web/>

En la cual se pudo verificar que el mayor desarrollo acuícola continental se encuentra entre Los distritos de Tambo grande y las Lomas (Figura 47).

Figura 47

Mapa de catastro acuícola indicando las zonas acuícolas en la región Piura



Se ha tomado una muestra a criterio del investigador de derechos otorgados para el cultivo de tilapia según se muestra en la Tabla N°35.

Tabla 35

Derechos otorgados por el GORE PIURA-DRP-DR para producción de Tilapia

DNI Titular	Lugar	Latitud	Longitud
42400977	Las Lomas	04.70°	80.27°
03598450	Las Lomas	04.79°	80.29°
02637716	Las Lomas	04.80°	80°34
41131506	Las Lomas	04.76°	80.33°
02877848	Las Lomas	04.77°	80.31°
75448160	Tambo Grande	04.84°	80.34°
02797776	Tambo Grande	04.80°	80.33°
02761971	Tambo Grande	04.83°	80.35°
40641012	Tambo Grande	04.74°	80.29°
02765602	Tambo Grande	04.77°	80.27°

Fuente: Catastro Acuícola Nacional

Se ha determinado las coordenadas **WGS84** medias para poder analizar el potencial de energías renovables más apropiadas para esta zona

Latitud: - 04.78

Longitud: - 80.30

Estimación del recurso renovable disponible.

De similar forma que el caso anterior el potencial de RER se obtuvieron de la plataforma *POWER*) (NASA, 2023) (Figura 48). Los datos de irradiación solar y velocidad de viento se manifiestan en el anexo 2.

Figura 48

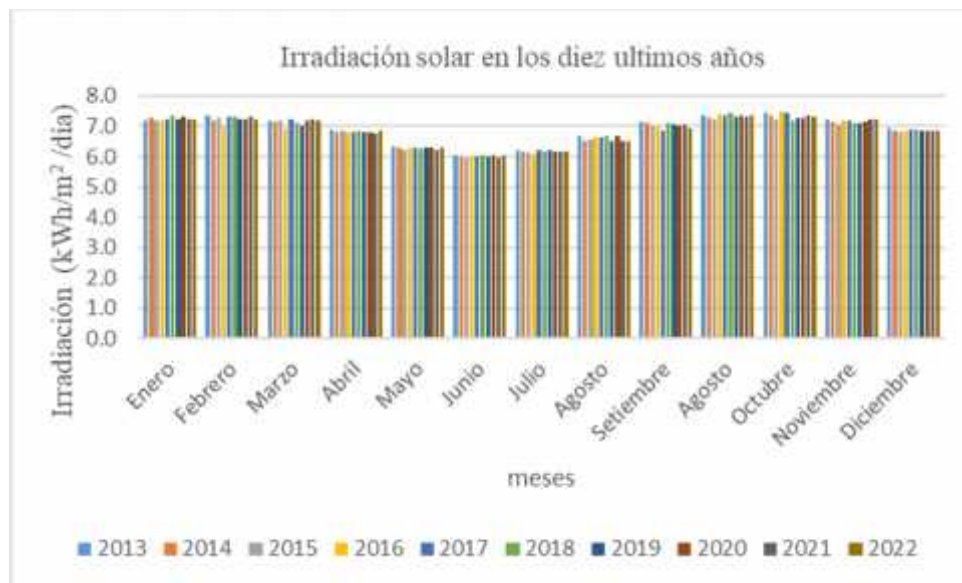
Plataforma POWER para estimación de los recursos renovables región Piura



Con las consideraciones realizadas para la zona de estudio, se obtuvo la radiación solar. Como primera acción, la irradiación promedio diaria incidente en la zona donde se localiza la granja, año 2022, observándose los días de mayor insolación, entre los meses verano y primavera (Figura 49)

Figura 49

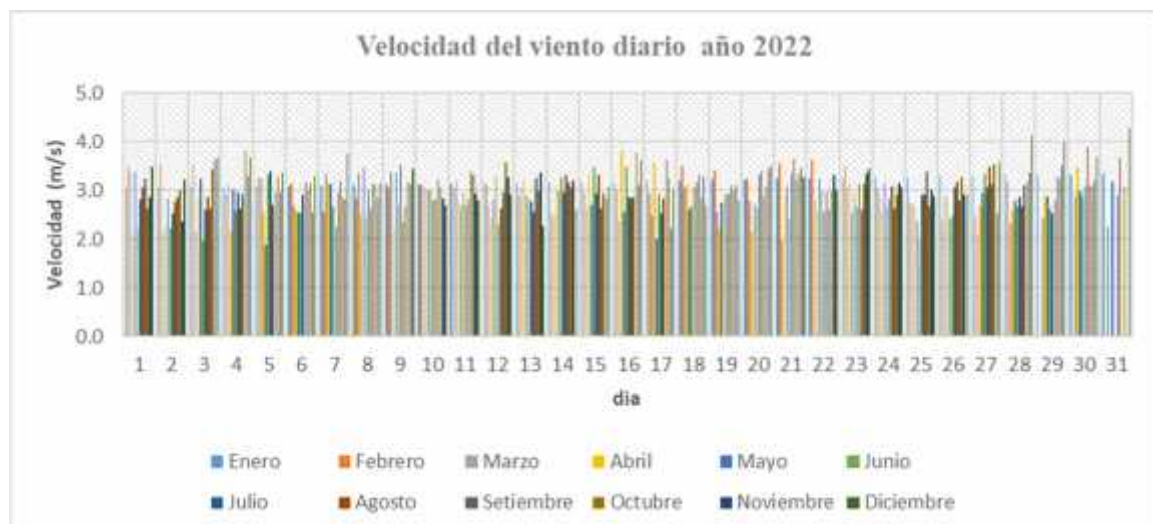
Irradiación anual incidente sobre la región bajo estudio en Piura



En análisis de los datos para esta zona de estudio se puede determinar la irradiación predominante situándose entre 6 y 7.4 kWh/m²/día. Respecto al recurso eólico los registros corresponden al año 2022, tomados a la altura de 10 m (Figura 50).

Figura 50

Potencial eólico anual disponible en la región en Piura



Se puede observar en la Figura 51 que las velocidades predominantes varían entre los 2.8 y 3.3 m/s. determinándose una velocidad promedio de 3 m/s

Figura 51

Curva de velocidad para la zona bajo estudio en Piura.



La contribución de energía solar es buena empero la correspondiente a la energía eólica es mínima para su aprovechamiento, pero aun así se analizó su participación como sistema híbrido

Selección del Sistema Híbrido Renovable en la región Piura.

El sistema híbrido renovable considerado en esta investigación para esta zona de estudio en la región Piura, estará formado por un módulo fotovoltaico, módulo eólico, un generador diésel como sistema de respaldo y un sistema de almacenamiento. Además, el sistema trabajara como un sistema aislado, La arquitectura propuesta para el HRES, se representa en la Figura 52, y la Tabla N°36.

Figura 52
Arquitectura para el HRES en la Región Piura

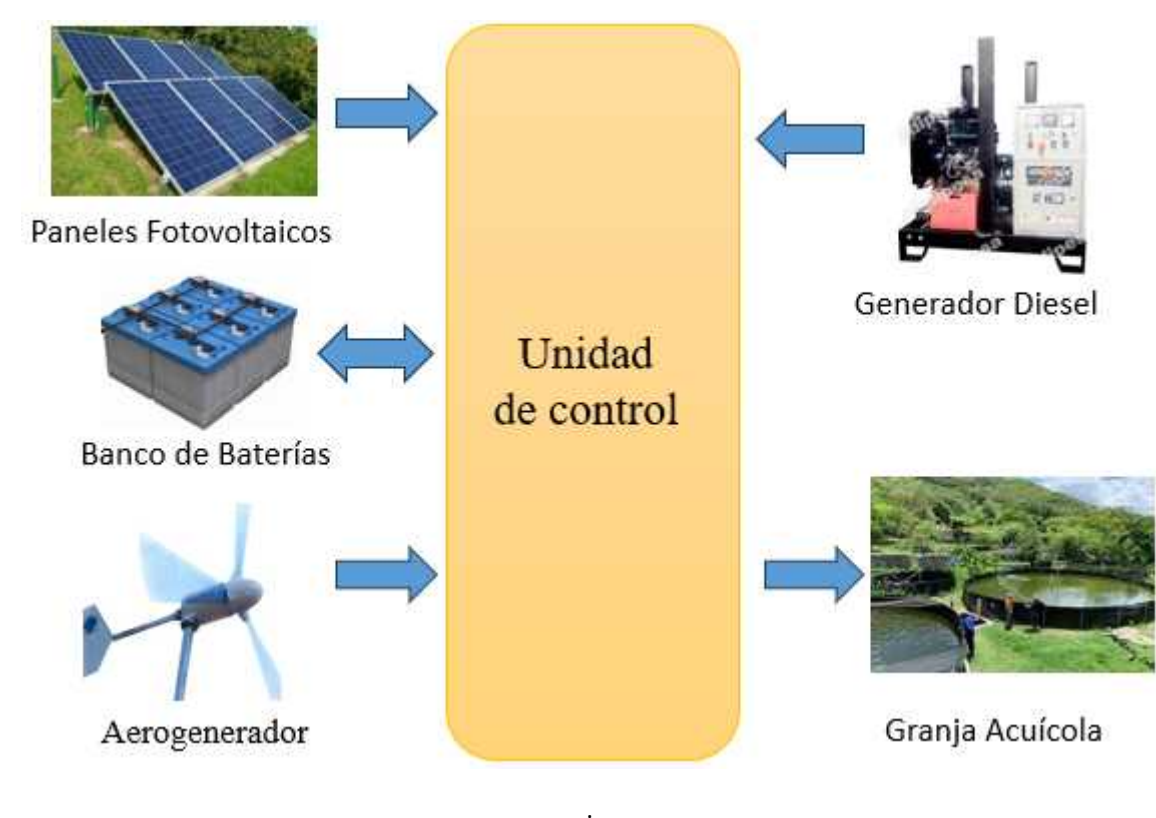


Tabla 36
Características del HRES propuesto. en la Región Piura

Arquitectura			Modo de operación
Tecnología renovable	Sistema de almacenamiento	Sistema de respaldo	Sistema aislado
Fotovoltaica	Baterías	Generador diésel	
Eólica			






Para el proceso de simulación y optimización del HRES, se definieron las características técnicas y económicas, que se muestran en la Tabla N°37

Región Piura: Análisis del HRES

Similar al caso analizado anteriormente para los diversos procesos de optimización del HRES, se definieron las demandas energéticas: 60kwh/día y 120kW/día y almacenamiento tipo Plomo- acido(LA), mostrado en la Tabla N°37.

Tabla 37

Especificación técnica-económica de sistema HRES con almacenamiento LA

Descripción	Datos
Especificaciones del módulo FV	PV 
Tecnología	Si monocristalino
Costo de capital (\$/kW)	3000
Costo de remplazo (\$/kW)	3000
O&M (\$/año)	10
Tiempo de vida (años)	25
Especificaciones del Aerogenerador	WIND TURBINE 
Tecnología (1kW; 3kW)	Tres palas, eje horizontal
Costo de capital (\$)	(G1)7000; (G3)18000
Costo de remplazo (\$)	(G1)7000; (G3)18000
O&M (\$/año)	(G1)140;(G3) 360
Tiempo de vida	20 años
Especificaciones del generador	GENERATOR 
Costo de capital (\$/kW)	500
Costo de remplazo (\$/kW)	500
O&M (\$/horas op)	0.03
Combustible	Diesel
Tiempo de vida (horas)	15000
Especificaciones de la batería	STORAGE 
Generica 1kWh (Plomo acido)	LA
Costo de capital (\$)	300
Costo de remplazo (\$)	240
O&M (\$/año)	10
Tiempo de vida (años)	10
Especificaciones del convertidor	CONVERTER 
Capacidad (kW)	1
Costo de capital (\$)	300
Costo de remplazo (\$)	300
O&M (\$/año)	0
Tiempo de vida (años)	15

Habiéndose definido el algoritmo y usando el software especializado se procedió a llevar a cabo la optimización del HRES propuesto.

Escenario 1P: Optimización técnica del HRES- 60kWh/día-LA

Se realizó el análisis de sensibilidad considerando el precio de combustible de 1 y 2 \$/L y la velocidad del viento de 3m/s. Los resultados de la arquitectura óptima, así como el generador y el arreglo de energía renovable se presentan en la Tabla N°38 y N°39.

Tabla 38

Consecuencia del análisis de sensibilidad para E-1P.

Sensibilidad		Arquitectura					Generador			PV		G1		
P. Comb.	V _{viento}	PV	G1	Gen	LA	Conver.	Prod.	Comb.	O&M	C. Comb.	C. Cap.	Prod.	C. Cap.	Prod.
(\$/L)	(m/s)	(kW)	Cant	(kW)	(1kWh)	(kW)	(kWh)	(L)	(\$/año)	(\$/año)	(\$)	kWh/año	(\$)	kWh/año
1	3,0	10,9		8	39	3	8 787	3 225	618	3 225	32 763	17 863	...	...
2	3,0	20,8			103	8					62 324	39 980	...	...

Tabla 39

Arquitectura óptima para E-1P

Potencia 2,5 kW	Energía: 60 kWh/día
P. comb. (\$/L) = 1	
	V_{viento} prom. (m/s) = 3
Paneles fotovoltaicos	10,9 kW
Generador Diesel	8,20 kW
Batería (1kWh LA)	39,0
Convertidor	3,47 kW
P. comb. (\$/L) = 2	
	V_{viento} prom. (m/s) = 3
Paneles fotovoltaicos	20,8 kW
Batería (1kWh LA)	103
Convertidor	8,27 kW

Escenario 2AP: Optimización del HRES-120 kWh/día-LA

Se realizó el análisis de sensibilidad considerando el precio del combustible de 1 y 2 \$/L y la velocidad del viento de 3m/s. Los resultados de la arquitectura optima, así como el generador y el arreglo de energía renovable se presentan en las Tablas N°40 y N°41.

Tabla 40

Respuesta del análisis para E-2AP

Sensibilidad		Arquitectura					Generador				PV	
P. Comb.	V _{viento}	PV	G3	Gen	LA	Conver.	Prod.	Comb.	O&M	C. Comb.	C. Cap.	Prod.
(\$/L)	(m/s)	(kW)	Cant	(kW)	(kWh)	(kW)	(kWh)	(L)	(\$/año)	(\$/año)	(\$)	(kWh/año)
1	3,0	21,7		17	79	7	17 5121	6 499	1 269	6 499	65 092	35 489
2	3,0	43,9			190	15					131 840	71 881

Cada uno de los resultados encontrados han sido optimizados, en una un grupo de posibilidades los cuales se adjuntan en el anexo 5.

Tabla 41

Arquitectura de los sistemas E-2AP






Potencia 5 kW	Energía: 120 kWh/día
P. comb. (\$/L) = 1	V_{viento} prom. (m/s) = 3
Paneles fotovoltaicos	21,7 kW
Generador Diesel	17,0 kW
Batería (1kWh LA)	79,0
Convertidor	7,1 kW
P. comb. (\$/L) = 2	V_{viento} prom. (m/s) = 3
Paneles fotovoltaicos	43,9 kW
Batería (1kWh LA)	190
Convertidor	15,0 kW

Escenario 2BP: Optimización del HRES-120 kWh/día-LI

Se definieron los parámetros técnicos-económicos, los resultados se presentan en las Tablas N°42 y N°43.

Tabla 42

Especificación técnica-económica del HRES E-2BP

Descripción	Datos
Especificaciones del módulo FV	PV 
Tecnología	Si monocristalino
Costo de capital (\$/kW)	3000
Costo de remplazo (\$/kW)	3000
O&M (\$/año)	10
Tiempo de vida (años)	25
Especificaciones del Aerogenerador	WIND TURBINE 
Tecnología (3kW)	Tres palas, eje horizontal
Costo de capital (\$)	(G3)18000
Costo de remplazo (\$)	(G3)18000
O&M (\$/año)	(G3) 360
Tiempo de vida	20 años
Especificaciones del generador	GENERATOR 
Costo de capital (\$/kW)	500
Costo de remplazo (\$/kW)	500
O&M (\$/horas op)	0.03
Combustible	Diesel
Tiempo de vida (horas)	15000
Especificaciones de la batería	STORAGE 
Tecnología	Li-ion
Costo de capital (\$)	550
Costo de remplazo (\$)	550
O&M (\$/año)	10
Tiempo de vida (años)	15
Especificaciones del convertidor	CONVERTER 
Capacidad (kW)	1
Costo de capital (\$)	300
Costo de remplazo (\$)	300
O&M (\$/año)	0
Tiempo de vida (años)	15

Siguiendo Similar procedimiento de los anteriores casos se llevó a cabo la optimización del HRES propuesto, como sistema aislado.

Optimización técnica del HRES.

Se realizó el análisis de sensibilidad considerando precio del combustible de 1 y 2 \$/L y la velocidad del viento de 3m/s. Los resultados de la arquitectura optima, así como el generador y el arreglo fotovoltaico se presentan en la Tabla N°43.

Tabla 43

Resultados del análisis E-2P

Sensibilidad		Arquitectura					Generador				PV	
P.Comb.	V _{viento}	PV	G3	Gen	LI	Conver	Prod.	Comb	O&M	Comb. C.	C. Cap.	Prod.
(\$/L)	(m/s)	(kW)	Cant	(kW)	(kWh)	(kW)	(kWh)	(L)	(\$/año)	(\$/año)	(\$)	(kWh/año)
1	3,0	17,4	...	17	65	8	22 964	7 061	881	7 061	52 274	26 566
2	3,0	36,6	...	17	107	16	5 673	2 382	560	4 764	10 9812	55 808

El resultado presentado en la Tabla N°44 ha sido seleccionado de un grupo de posibilidades optimas los cuales se adjuntan en el anexo 6.

Tabla 44

Las mejores Arquitectura con los parámetros analizados para E-2P

Potencia 5 kW		Energía: 120 kWh/día	
P.comb. (\$/L) = 1		V_{viento} prom. (m/s) = 3	
Paneles fotovoltaicos		17,4 kW	
Generador Diesel		17 kW	
Bateria (1kWh LI)		65,0	
Convertidor		8,32 kW	
P. comb. (\$/L) = 2		V_{viento} prom. (m/s) = 3	
Paneles fotovoltaicos		36,6 kW	
Generador Diesel		17 kW	
Bateria (1kWh LI)		107	
Convertidor		16 kW	

De manera similar a lo realizado en San Martín, en la región Piura, se analizaron los dos escenarios con diferentes sistemas de almacenamiento. Las baterías de plomo-ácido pueden ser una opción viable en sistemas híbridos de energía renovable, especialmente para aplicaciones donde el costo inicial es un factor crítico y donde el espacio no es una limitación, caso de una planta de acuicultura continental. Sin embargo, es importante considerar las características específicas del proyecto y evaluar otras tecnologías de baterías para determinar la mejor opción en términos de rendimiento, durabilidad y costo a largo plazo.

Por estos considerandos, entre otro se hizo el análisis también usando baterías de litio ya que se presentaba como una opción atractiva de tendencia moderna y ambientalmente más recomendable para sistemas híbridos de energía renovable, donde se requiere un almacenamiento de energía eficiente y confiable. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las baterías de litio también tienen ciertas limitaciones, como un mayor costo inicial y la potencialidad de riesgos de seguridad (IRENA,2020), además se requiere de obra de mano más tecnificada para un mejor manejo. Por ello es fundamental realizara las evaluaciones pertinentes acerca de las necesidades de la planta acuícola y el lugar en donde va a funcionar. Es importante además tener en cuenta que las baterías de litio también pueden ser más costosas que las baterías de plomo-ácido, por lo que es importante realizar un análisis detallado de costos y beneficios para determinar la mejor opción para un proyecto específico.

Se adoptó una estrategia de despacho de seguimiento de carga (LF) como estrategia de gestión de energía. Bajo este enfoque, la unidad de generación distribuida satisface la carga primaria, asignando cualquier excedente de energía a tareas de alta prioridad. Se da prioridad a las energías renovables y al almacenamiento de baterías para satisfacer la demanda de la electricidad. Esta estrategia tiene como objetivo reducir los costos operativos y de mantenimiento de la generación distribuida. La herramienta de optimización realiza una simulación del HES. Determina el dimensionamiento óptimo del sistema para minimizar el NPC al tiempo que garantiza que se satisfaga la demanda de carga dentro de las restricciones técnicas especificadas. Los resultados de esta simulación se consideran luego desde el punto de vista de las perspectivas técnicas y financieras y de los contaminantes ambientales

De esta manera llevamos adelante un razonamiento similar a Eze et al. (2024), quienes diseñaron un sistema de energía renovable híbrido tecno económico sostenible (STHRES) que combina energía solar fotovoltaica y turbinas eólicas, con respaldo de batería. Los paneles solares y las turbinas eólicas se identificaron como las opciones más viables, y el sistema incorpora 677 unidades de paneles solares de 1 kW y 27 unidades de turbinas eólicas de 1 kW, que generan 839,97 kW y 640,08 kW diarios, respectivamente. Además, se utilizaron 527 baterías de iones de litio para almacenar aproximadamente 1480,05 kW de demanda de energía excedente para gestionar las fluctuaciones capaces de sustentar la isla durante 8 horas durante un apagón total.

De modo análogo, Sadeghi et al. (2024), diseñó un marco renovable híbrido optimizado con costos mínimos y la máxima confiabilidad, utilizando un modelo integral basado en dos estrategias de gestión de la energía. Las variables de toma de decisiones en este trabajo fueron el tipo y número de turbinas eólicas, el número de unidades de almacenamiento, la capacidad de los paneles solares y la capacidad del generador de biogás. Luego, se investigaron las variaciones en el modelo de turbina, la tasa de inflación y los precios de los biocombustibles y su efecto en el diseño óptimo del marco híbrido en un rango de incertidumbres (0, 1 y 2,5 %). Finalmente, los marcos híbridos óptimos se compararon económica y ambientalmente con un generador diésel independiente. Los resultados de la optimización confirmaron la superioridad del sistema híbrido de energía eólica, solar, biomasa y batería propuesto en comparación con otros sistemas investigados.

Una idea similar puede encontrarse en Youssef et al. (2023) quienes diseñaron un sistema de energía renovable eficiente que satisfaga las demandas de electricidad requeridas en New Cairo, Egipto, se diseñaron, simularon y optimizaron ocho modelos distintos de sistemas híbridos de energía renovable para satisfacer la carga requerida en este estudio. Para los recursos eólicos y solares, la plataforma de la NASA proporcionó los datos de entrada; para los recursos de biomasa, se utilizaron datos de campo en tiempo real para el sitio de estudio seleccionado, se utilizaron baterías de iones de litio y de plomo-ácido para elegir la opción más rentable, similar al usado en la presente investigación, en donde se empleó también estos tipos sistema de almacenamiento.

4.4.- Evaluación de viabilidad económica del sistema híbrido.

Se evaluó económicamente los HRES, en los diferentes escenarios analizados.

4.4.1 Análisis económico granja acuícola modelo en la Región San Martín.

Escenario 1: Modelo con demanda de 60kWh/día

De las diversas configuraciones que satisfacen la demanda se presentan en la Tabla N°45 con las configuraciones más optimas

Tabla 45








Costos del sistema HRES, E-1

Sensibilidad		Costo			
TdN (%)	P. Comb. (\$/L)	VAN (\$)	LCOE (\$)	Oper. (\$/año)	C. Inicial (\$)
6	1	139 690	0,50	7 565	42 990
6	2	190 470	0,68	9 388	70 459

Enseguida se analizará la arquitectura más optima considerando el LCOE

Tabla 46

Arquitectura óptimas caso analizado E-1(Tabla N°46)

	Precio de combustible (1\$/L)				TdN		(6,0 %)			
	Arquitectura						Costo			
					PV (kW)	Gen (kW)	1kWh LA Convert (kW)	VAN (\$)	C. Inicial (\$)	
S. Base						8,20		\$187 638	\$ 4 100	
S. Prop.					8,98	8,20	35	4,85	\$ 139 690	\$ 42 990

Las necesidades eléctricas, se cubren con un generador convencional base de 8,2 kW con costos operativos de \$14.358; Se propone añadir 9,0 kW de energía fotovoltaica y 35 kWh de capacidad de batería. Esto reduciría sus costos operativos a \$7565 al año (Tabla N°47).

Tabla 47*Resumen de costos del caso base y el sistema propuesto*

	Caso base	Sistema de Menor Costo
VAN	\$ 187 638	\$ 139 690
Capital inicial	\$ 4 100	\$ 42 990
O&M	\$ 14 358/año	\$ 7 565/año
LCOE	\$ 0,67/kwh	\$ 0,499/kWh

Las metricas economicas son:

Periodo de recuperacion simple:	5,52 años	Valor actual neto:	\$47 948
Rentabilidad de la inversión(ROI):	13,5 %	Inversión de capital:	\$38 890
Tasa interna de retorno(TIR):	18,0 %	Ahorro anualizado:	\$6 793

El valor presente o actual dado por la diferencia entre los costos netos del sistema del caso base y el sistema de menor costo es de \$ 47 948

El valor presente (VP) del sistema híbrido con energía renovable, da el valor actual de todos los flujos de efectivo futuros generados por dicho sistema. Esto incluye; costos iniciales de inversión, costos operativos y de mantenimiento, así como los ingresos derivados por generación de energía renovable. Estos flujos de efectivo incluyen ingresos por la venta de energía generada, ahorros en costos de energía, costos operativos y de mantenimiento, así como cualquier otro gasto o ingreso relacionado con el sistema. En el contexto del sistema híbrido con energía renovable, la tasa interna de retorno, para una TIR más alta nos indica una mayor rentabilidad del proyecto. El retorno de la inversión (ROI) del sistema híbrido con energía renovable, medida clave para evaluar la rentabilidad de dicho sistema. En este caso es positivo lo cual indica que la inversión genera más ganancias que el costo inicial, lo que indica una inversión rentable.

Dardon et al. (2024) al analizar el desempeño técnico del HRES en Guatemala para cubrir necesidades básicas de electricidad de 0.375 kW, proponen como solución rentable un sistema fotovoltaico de 5,39 kW y una batería de 29 kWh, con un LCOE 0,893 \$/kWh. Para el caso del presente estudio se encontró 8.98KW Fotovoltaico y almacenamiento de 35kWh y un LCOE de 0.409 \$/kWh disminuyendo en 0,171 respecto al caso base.

Escenario 2A: Modelo con demanda de 120kWh/día-LA

Para este modelo el almacenamiento considerado es de baterías de plomo-acido (LA) que son las más usadas en los sistemas de energía renovable. Las diversas configuraciones más optimas se presentan en la Tabla N°48.

Tabla 48













Costos del sistema HRES, E-2A

Sensibilidad		Costo			
TdN	P. Comb.	VAN	LCOE	Oper.	C. Inicial
(%)	(\$/L)	(\$)	(\$)	(\$/año)	(\$)
6	1	282 781	0,51	15 059	90 279
6	2	382 869	0,68	19 118	138 483

se analizará la mejor arquitectura considerando el LCOE (Tabla N°49)

Tabla 49

Arquitecturas para caso analizado E-2A

	Precio de combustible (1\$/L)						TdN	(6,0 %)	
	Arquitectura							Costo	
					PV (kW)	Gen (kW)	1kWh LA Convert (kW)	VAN (\$)	C. Inicial (\$)
S. Base						17		\$384 966	\$ 8 500
S. Prop.					18,8	17	75	9,98	\$282 781 \$ 90 279

La necesidad de energía se atiende con un generador de 17 kW y costos operativos de \$29,450; la propuesta es añadir 19 kW de energía fotovoltaica y 75 kWh de capacidad de batería. Reduciendo sus costos operativos a \$15,059/año (Tabla N°50).

Tabla 50

Costos del caso base y el sistema propuesto E-2A

	Caso base	Sistema de Menor Costo
VAN	\$ 384 966	\$ 282 781
Capital inicial	\$ 8 500	\$ 90 279
O & M	\$ 29 450/año	\$ 15 079/año
LCOE	\$ 0,688/kwh	\$ 0,505/kWh

Las metricas economicas son:

Periodo de recuperacion simple:	5,52 años	Valor actual neto:	\$102 185
Rentabilidad de la inversión(ROI):	13,5 %	Inversión de capital:	\$81 779
Tasa interna de retorno(TIR):	18,0 %	Ahorro anualizado:	\$14 391

El valor actual entre los costos netos del sistema del caso base y el sistema con costo menor es de \$ 102185

Escenario 2B: Modelo con demanda de 120kWh/día-LI

Para este escenario en región San Martín, se ha considerado la tecnología de almacenamiento usando baterías de iones litio (LI) usado actualmente en los sistemas de energía renovable las configuraciones más óptimas se presentan en la Tabla N°51.

Tabla 51









Costos del sistema HRES, E-2B

Sensibilidad		Costo			
TdN (%)	P. Comb. (\$/L)	VAN (\$)	LCOE (\$)	Oper. (\$/año)	C. Inicial (\$)
6	1	253 408	0,45	12 654	91 644
6	2	336 522	0,60	9 878	210 245

Similar al caso anterior se analizó la arquitectura según el mejor LCOE Tabla N°52.

Tabla 52

Arquitectura óptima, E-2B y caso base

Precio de combustible (1\$/L)		Arquitectura				Costo	
TdN (6,0 %)		PV (kW)	Gen (kW)	1kWh LI	Convert (kW)	VAN (\$)	C. Inicial (\$)
S. Base	   		17			\$384 966	\$ 8 500
S. Prop.	   	19,1	17	40	12,5	\$ 253 408	\$ 91 644

El HRES consiste en paneles fotovoltaicos de 19.1 kW. Los costos del caso base y del sistema propuesto de menor costo se dan en la Tabla N°53.

Tabla 53

Costos del caso base y el sistema propuesto E-2B

	Caso base	Sistema de Menor Costo
VAN	\$ 384 966	\$ 253,408
Capital inicial	\$ 8 500	\$ 91 144
O & M	\$ 29 450/año	\$ 12,654/año
LCOE	\$ 0,688/kwh	\$ 0,453/kWh

Las metricas economicas son:

Periodo de recuperacion simple:	5,52 años	Valor actual neto:	\$131 558
Rentabilidad de la inversión(ROI):	13,5 %	Inversión de capital:	\$83 144
Tasa interna de retorno(TIR):	18,0 %	Ahorro anualizado:	\$16 795

El valor actual entre los costos netos del sistema del caso base y el sistema propuesto es de \$ 131558

Con el proposito de realizar la comparacion de indicadores economicos tomando en cuenta los tipos de almacenamiento considerados para una demanda de 120kWh en la region San Martin Se elaboro la Tabla N°54.

Tabla 54

Comparacion de Metricas economicas, propuestas en el escenario 2, San Martin

Metricas Economicas	Almacenamiento	
	LA	LI
Valor presente (\$)	102 185	131 558
Valor anual (\$/año)	7 994	10 291
Retorno de la inversión (%)	13,5	16,0
Tasa interna de retorno (%)	18,0	20,6
Payback simple (años)	5,5	4,4
Payback con descuento (años)	6,5	5,3

En el caso de un sistema híbrido con energía renovable, el Payback Simple calcula, esta metrica no considera el valor del dinero en el tiempo ni proporciona una medida completa de la rentabilidad de un proyecto. Sin embargo, es una medida rápida para evaluar la rapidez con la que se recuperará la inversión inicial. El Payback con descuento nos proporciona una medida más precisa de la recuperación de la inversión, ya que tiene en cuenta el valor temporal del dinero

Como se puede observar en la tabla52, el emplear un sistema de almacenamiento con baterías con iones de litio, presentan un Payback menor que las baterías convencionales. La integracion de los escenarios analizados para esta region se presentam en al Tabla N°55.

Tabla 55

Métricas económicas de escenarios analizados en la Región San Martin

Escenario	LCOE (\$/kWh)	VAN (\$)	Cost. Oper (\$)	Cap. Inicial (\$)
E1	0,5	139 690	7 565	42 990
E-2A	0,51	282 781	15 059	90 279
E-2B	0,45	253 408	12 654	91 644

El análisis de estas métricas revela que E1 para una demanda de 2,5 kW y un consumo energético diario 60kWh tiene el menor costo de energía. Sin embargo, un análisis más preciso se realiza para el escenario E-2A y E-2B ya que en ambos casos 5kW y 120kWh/día, en donde se puede notar que la alternativa E2B es la óptima. Esto se debe al alto porcentaje de generación de energía renovable. Esto significa que el E-2A y E-2B la electricidad se produce con el costo mínimo de compra de diésel. Sin embargo, esta alternativa energética tiene el costo de capital inicial más alto debido al alto costo de compra e instalación de equipos de energía renovable. Además, el valor actual, el valor anual, el retorno de la inversión y la TIR de E-2B son los más altos, lo que la convierte en la más viable. Mientras que su recuperación simple y la recuperación descontada son las más bajas. Esto la convierte en la alternativa energética más sugerida.

Para una demanda eléctrica de 3.75 kW (Dardón et al., 2024) plantean un sistema fotovoltaico de 2,46 kW, un biogenerador de 2,20 kW y una capacidad de batería de 16 kWh, la cual les da como resultado un LCOE de 0,605 \$/kWh. Asimismo, (Emezirinwune et al., 2024) en su propuesta de electricidad con energía renovable híbrida para una instalación agrícola fotovoltaica con consumo de energía de 1386,85 kWh/día, sugieren un Sistema PV-Biomasa-DG-batería con 561,023 kW de PV, 88 kW de generador diésel, 10 kW de biomasa, 81 kW de convertidor y un banco de baterías que funcionan en modo de seguimiento de carga. Para nuestro estudio para una carga de 120kWh/día analizaron baterías plomo ácido (LA) para lo cual el sistema es 18,8 fotovoltaico (PV), un generador de 17kW y 75 kWh LA dándonos un LCOE de \$0,505/kWh; en el caso de usar almacenamiento usando iones de litio (LI) la arquitectura del sistema es 19,1PV, 17kW del generador Diesel de respaldo y 40 kWh LI con un LCOE \$0,453/kWh, mejorando el precio de energía.

4.4.2 Análisis económico granja acuícola modelo en la Región Piura.

Escenario 1P: Modelo para demanda de 60kWh/día

En este análisis se consideraron como variables de sensibilidad el precio del combustible y la velocidad del viento. De las diversas configuraciones que satisfacen la demanda se presentan en la Tabla N°56 las 2 configuraciones más óptimas.

Tabla 56












Costos del sistema HRES – E-1P

Sensibilidad		Costo			
P. Comb.	V _{viento}	VAN	LCOE	Oper.	C. Inicial
(\$/L)	(m/s)	(\$)	(\$)	(\$/año)	(\$)
1	3,0	126 000	0,45	5 976	49 603
2	3,0	145 691	0,54	3 910	95 706

Considerando la arquitectura según el mejor LCOE (Tabla N°57).

Tabla 57

Arquitectura óptima y caso base E-1P

	Precio de combustible (1\$/L)		Velocidad del viento (3m/s)										
	Arquitectura						Costo						
						PV (kW)	GI	Gen (kW)	1kWh LA Convert (kW)	VAN (\$)	C. Inicial (\$)		
S. Base								8,2		\$ 187 638	\$ 4100		
S. Prop.							21,7		8,2	39	3,47	\$ 126 001	\$ 49 603

Las necesidades eléctricas, se cubren con un generador convencional base de 8,2 kW con costos operativos de \$14.358. Se Propone 11 kW de energía fotovoltaica y 39 kWh de capacidad de batería. Esto reduciría sus costos operativos a \$5,976/año (Tabla N°58).

Tabla 58

Costos del caso base y el sistema propuesto E-1P

	Caso base	Sistema de Menor Costo
VAN	\$ 187 638	\$ 126 001
Capital inicial	\$ 4 100	\$ 49 603
O&M	\$ 14 358/año	\$ 5 976/año
LCOE	\$ 0.67/kwh	\$ 0,45/kWh

Las metricas economicas son:

Periodo de recuperacion simple:	4,82 años	Valor actual neto:	\$61 637
Rentabilidad de la inversión(ROI):	14,3%	Inversión de capital:	\$45 503
Tasa interna de retorno(TIR):	18,6%	Ahorro anualizado:	\$8 381

El valor actual entre los costos netos del caso base y el sistema de menor costo de \$ 61 637

Escenario 2AP: Modelo para demanda de 120 kWh/día-LA

Para la este modelo de granja acuícola se han considerado baterías convencionales de plomo-acido (LA). Los resultados del análisis se presentan en la Tabla N°59.

Tabla 59







Costos del sistema HRES E-2AP

Sensibilidad		Costo			
P. Comb.	V _{viento}	VAN	LCOE	Oper.	C. Inicial
(\$/L)	(m/s)	(\$)	(\$)	(\$/año)	(\$)
1	3,0	254 463	0,45	12 129	99 419
2	3,0	292 372	0,54	7 747	193 341

Realizamos el análisis de la arquitectura según el mejor LCOE (Tabla N°60)

Tabla 60

Arquitectura óptima frente al caso base E-2AP

	Precio de combustible (1\$/L)		Velocidad del viento (3m/s)						
	Arquitectura						Costo		
									
			PV (kW)	G3	Gen (kW)	1kWh LA	Convert (kW)	VAN (\$)	C. Inicial (\$)
S. Base					17			\$384 966	\$ 8 500
S. Prop.			21,7		17	79	7,09	\$254 463	\$ 99 419

La necesidad de energía se atiende con un generador de 17 kW y costos operativos de \$29,450; la propuesta es añadir 22 kW de energía fotovoltaica y 79 kWh de capacidad de batería. Esto reduciría sus costos operativos a \$12,129/año (Tabla N°61).

Tabla 61

Costos del caso base y el sistema propuesto E-2PA

	Caso base	Sistema de Menor Costo
VAN	\$ 384 966	\$ 254 463
Capital inicial	\$ 8 500	\$ 99 419
O&M	\$ 29 450/año	\$ 12 129/año
LCOE	\$ 0,69/kwh	\$ 0,45/kWh

Las metricas economicas son:

Periodo de recuperacion simple:	4,63 años	Valor actual neto:	\$130 503
Rentabilidad de la inversión(ROI):	14,9 %	Inversión de capital:	\$90 919
Tasa interna de retorno(TIR):	19,5 %	Ahorro anualizado:	\$17 321

El valor actual entre los costos del sistema base y el de menor costo es de \$ 130 503

Escenario 2BP: Modelo para demanda de 120 kWh/día-LI

Para este escenario en la región Piura, se ha considerado la tecnología de almacenamiento (LI) las configuraciones más óptimas se presentan en la Tabla N°62.

Tabla 62













Costos del sistema HRES, E-2BP

Sensibilidad		Costo			
P. Comb.	V _{viento}	VAN	LCOE	Oper.	C. Inicial
(\$/L)	(m/s)	(\$)	(\$)	(\$/año)	(\$)
1	3,0	252860	0.5	12374	94681
2	3,0	333005	0.6	11513	185835

Similar al caso anterior, analizamos la arquitectura según el mejor LCOE (Tabla N°63)

Tabla 63

Mejor arquitectura del sistema HRES, E-2BP

	Precio de combustible (1\$/L)					Velocidad del viento (3m/s)				
	Arquitectura						Costo			
					PV (kW)	WT (kW)	Gen (kW)	1kWh LI Convert (kW)	NPC (\$)	C. Inicial (\$)
S. Base							17		\$384 966	\$ 8 500
S. Prop.					17.6		17	56 8.15	\$ 252 490	\$ 94 681

Con la finalidad de realizar la comparacion de indicadores economicos considerando los tipos de almacenamiento considerados para una demanda de 120kWh en la region Piura Se elaboro la Tabla N°65.

Tabla 65

Comparacion de Metricas economicas propuestas en el escenario 2, Piura.

Metricas Economicas	Almacenamiento	
	LA	LI
Valor presente (\$)	130 504	132 106
Valor anual (\$/año)	10 209	10 334
Retorno de la inversión (%)	14,9	15,7
Tasa interna de retorno (%)	19,5	20,3
Payback simple (años)	4,6	4,66
Payback con descuento (años)	5,5	5,54

En el análisis de la granja modelo en la localidad de Piura, se consideraron también dos escenarios, el primero con demanda de 60kW/día, en el segundo escenario se consideraron una carga de 120 kWh/día, pero en este opto por hacer en forma similar al primer análisis realizado para San Martin, el usar el sistema de almacenamiento Tipo (LA) y de iones de litio (LI). Por las mediciones hechas para este lugar se encontró una velocidad promedio de 3m/s, tomándose esta como análisis de sensibilidad juntamente con el precio del combustible. En la simulación se consideró un aerogenerador genérico de 1kW (G1) para el caso de 60kWh/día y de 3kW(G3) para la demanda de 120kWh/día. (Eze et al., 2024) de similar manera que el presente trabajo para una demanda diaria de 1455,7 kWh diseñó y analizó un sistema de energía renovable híbrido que combina energía solar fotovoltaica y turbinas eólicas, con respaldo de batería. Los paneles solares y las turbinas eólicas se identificaron como las opciones más viables, incorporando 677 unidades de paneles solares de 1 kW y 27 unidades de turbinas eólicas de 1 kW, que generan 839,97 kW y 640,08 kW diarios, respectivamente. Además, se utilizaron 527 baterías de iones de litio para almacenar aproximadamente 1480,05 kW.

Como se puede notar en las tablas 60 y 63, casos más óptimos, no consideran el uso de aerogenerador, pero como se puede ver en el anexo 6 y 7 correspondientes análisis de sensibilidad para Piura si hay diversas alternativas que si se pueden usar aerogenerador como parte del sistema híbrido, pero no son las arquitecturas más óptimas. La integración de los escenarios analizados para esta region se presentan en la Tabla N°66.

Tabla 66*Métricas económicas de escenarios analizados en la Región Piura*

Escenario	LCOE (\$/kWh)	VAN (\$)	Cost. Oper (\$)	Cap. Inicial (\$)
E-1P	0,45	126 000	5 976	49 603
E-2AP	0,45	254 463	12 129	99 419
E-2BP	0,50	252 860	12 374	94681

El análisis de estas métricas revela que E-1P para un consumo energético diario 60kWh tiene el bajo costo de energía. Empero para realizar, un análisis más preciso tomamos los escenarios E-2AP y E-2BP ya que en ambos casos 5kW y 120kWh/día, en donde se puede notar que la alternativa E2BP es las optima Esto se debe al porcentaje de generación de energía renovable. La explicación es que el E-2A y E-2B la electricidad se produce con el costo mínimo de compra de diésel. Además, estas alternativas energéticas presentan costos de capital inicial similares que aún son considerables debido al alto costo de compra e instalación de equipos de energía renovable. También en este caso los principales parámetros económicos de E-2P son los más altos, lo que la convierte en la más viable. Mientras que su recuperación simple(4.6años) y la recuperación descontada son las más bajas. Esto la convierte en la alternativa energética más viable. Similar son los datos hallados por (Eze et al., 2024) cuyo sistema propuesto reduce el costo actual neto (VAN) de \$426,617.60 a \$369,699.67. (TIR) del 9 % y un retorno de la inversión (ROI) del 3 %, con un período de recuperación de 8.2 años, lo que demuestra sus beneficios financieros.

En el presente estudio, el mejor precio nivelado de energía es de 0,42 para una demanda de 120kW/día para un sistema PV/Eólico usando baterías de Lito. Además, la inversión inicial para este estudio es de \$ 99019 y VAN de \$236 490. Además, el énfasis de este estudio en los beneficios ambientales, en particular las emisiones más limpias de los sistemas, se alinea con el enfoque común en la sostenibilidad, lo cual se puede comparar con otras investigaciones realizadas recientemente que se muestran en la Tabla 67, por lo que podemos observar que el LCOE de nuestro estudio está dentro de los valores encontrados por otros investigadores usando diversas tecnología renovable y diferentes lugares en los cuales sus recursos renovables varían en los niveles de potencial energético(Tabla N°67).

Tabla 67*Valores de LCOE en diversas investigaciones*

Referencia	País	Demanda	LCOE (\$/kW)	Tecnología renovable
Asghar et al. (2024)	Arabia Saudita	7.5 kWh/día	0.18	Sistema solar fotovoltaico
Dardon & Farzaneh (2024)	Guatemala	25.45 kWh/día	0.30	PV-Eólica-biogenerador
El-Maaroufi et al. (2024)	Morocco	15545,13 kWh/día	0.13	PV-Eólica-Biomasa-batería
Emezirinwune et al. (2024)	Nigeria	1386,85 kWh/día	0.21	PV-Eolica-GD-Bateria
Patil et al. (2024)	India	615,62 kWh/día	0.31	PV-Eólica-Biomasa-GD-bateria
Sadeghi et al. (2024)	Iran	196 kWh/día	0.20	PV-Eólica-Biomasa-batería
Koholé et al (2023)	Cameroon	8.5 kWh/día	0.16	PV-Eólica-Batería
Youssef et al (2023)	Nuevo Cairo-Egipto	265,6 kWh/día	0.38	PV-Eólica-Biomasa-Batería
Kamal et al. (2022)	India	544 kWh/día	0.84	PV-Eólica-Biomasa-GD-Batería
Kumar et al. (2022)	India	23 115 kWh/día	0.22	PV-Biomasa-GD-Batería
Riayatsyah et al. (2022)	Islas-Océano Índico	1046,70 kWh/día	0.29	PV-Eolica-Generador Diesel
Li et al. (2020)	China	615kWh/día	0.20	PV-Eólica-Biomasa

Como se puede apreciar los sistemas híbridos (HRES) usados en estudios y aplicaciones en los últimos 5 años tienen la tendencia del uso de la energía solar fotovoltaica, la generación en base de la energía proveniente del viento y la biomasa en forma de biogás como combustible para el generador de respaldo y sistema de almacenamiento en base a baterías. En nuestro caso de estudio se optó por la energía renovable solar y la eólica ya que aún no está lo suficiente difundido el uso del biogás como combustible para generadores, ya que aún se opta por el Diesel. Sin embargo, existen aplicaciones, tal como el presentado por (Maaroufi et al., 2024), plantearon el diseño de un sistema híbrido de energía renovable capaz de satisfacer la demanda energética anual, estimada en 15 545,13 kWh/día. El estudio identifica una configuración híbrida óptima que incluye energía solar, eólica, biomasa, baterías y convertidores. Este sistema integrado demuestra ser la opción más rentable, con un coste energético de 0,13 \$/kWh y alcanza una ratio de energía 100 % renovable, reduciendo significativamente las emisiones de CO₂ en aproximadamente 5900 toneladas/año en comparación con los generadores diésel. Por diversos estudios presentados en la Tabla 67, donde se puede observar el componente biomasa como componente del sistema híbrido queda como pendiente para la para futuros estudios para su aplicación en Perú.

4.5 Identificación de la efectividad en su componente de eficiencia, de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables

En esta parte, se hace el análisis del sistema híbrido compuesto por generador Diesel y sus componentes de energía renovable, como la solar y eólica. Considerando los dos lugares de mayor producción acuícola en el Perú

4.5.1 Efectividad en acuícola modelo en la Región San Martín.

Escenario 1: Modelo con demanda de 60kWh/día (Tabla N°68 y Figura 53)

Tabla 68

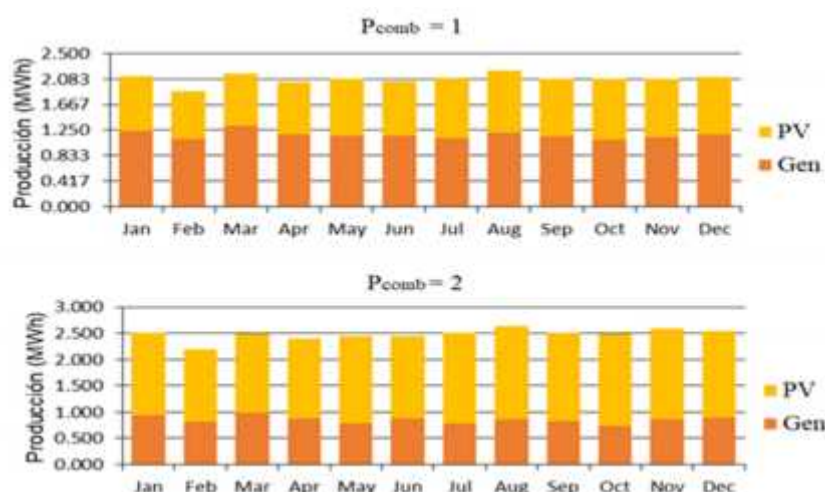
HRES más eficientes para una demanda de 60kW/día

Sensibilidad		Sistema							PV		1kWh LA
TdN	P. Comb.	Prod. Elec.	Frac. Ren.	CO2	CO	PM	SO2	NOx	Prod.	FC	Autonomia
(%)	(\$/L)	(kWh/año)	(%)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kWh)	%	horas
6	1	25 066	36	11 414	72,0	0,436	28,0	67,6	11 051	14	8,41
6	2	29 827	53	8 137	51,3	0,311	19,9	48,2	19 550	14	13,9

El resultado muestra que en caso el precio del combustible se duplicase fracción de energía renovable se incrementa hasta 53%, por tanto, lo gases contaminantes también disminuirían

Figura 53

Producción eléctrica del sistema híbrido de 60kWh/día y TdN=6%



Para el caso analizado, la energía predominante es la energía solar con un respaldo de un grupo aerogenerador basado en combustible Diesel que provocaría emisiones de gases contaminantes.

Escenario 2A: Modelo con demanda de 120kWh/día-LA

HRES con almacenamiento usando batería de plomo-ácido (LA) (Tabla N°69 y Figura 54)

Tabla 69

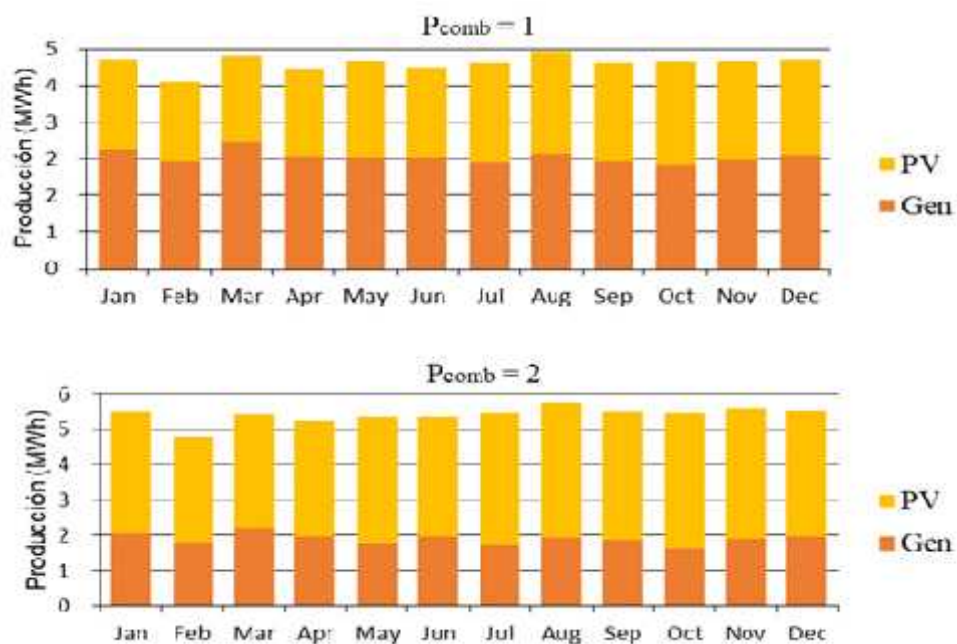
HRES más eficientes, almacenamiento convencional y 120kW/día

Sensibilidad		Sistema							PV		1kWh LA
TdN (%)	P. Comb. (\$/L)	Prod. Elec. (kWh/año)	Frac. Ren (%)	CO ₂ (kg/año)	CO (kg/año)	PM (kg/año)	SO ₂ (kg/año)	NO _x (kg/año)	Prod. (kWh)	FC %	Autonomía horas
6	1	50 563	37	22 322	141	0,853	54,7	132	23 091	14	9.01
6	2	59 461	52	16 641	105	0,636	40,7	98,5	38 613	14	13.3

En el caso el combustible costase 2\$ por litro la fracción de renovable sería ligeramente mayor a la mitad de todo el sistema esto se justifica para dar consistencia en cuanto generación eléctrica que en este caso es 162 kWh/día

Figura 54

Producción del HRES, 120 kWh/día, almacenamiento LA y TdN=6%



En el caso que en la planta acuícola en san Martin se incremente la demanda a 120kWh/día y un TdN de 6% para un precio de combustible de 1\$/L, usando almacenamiento convencional; la fracción de energía renovable usada en el sistema híbrido sería 37% en cambio si el precio del combustible se duplicase la fracción de renovable sería de 52% y por lo tanto la disminución de emisión CO₂ equivalente.

Escenario 2B: Modelo con demanda de 120kWh/día-LI

HRES con almacenamiento usando batería de iones de litio (LI) (Tabla N°70 y Figura 55)

Tabla 70

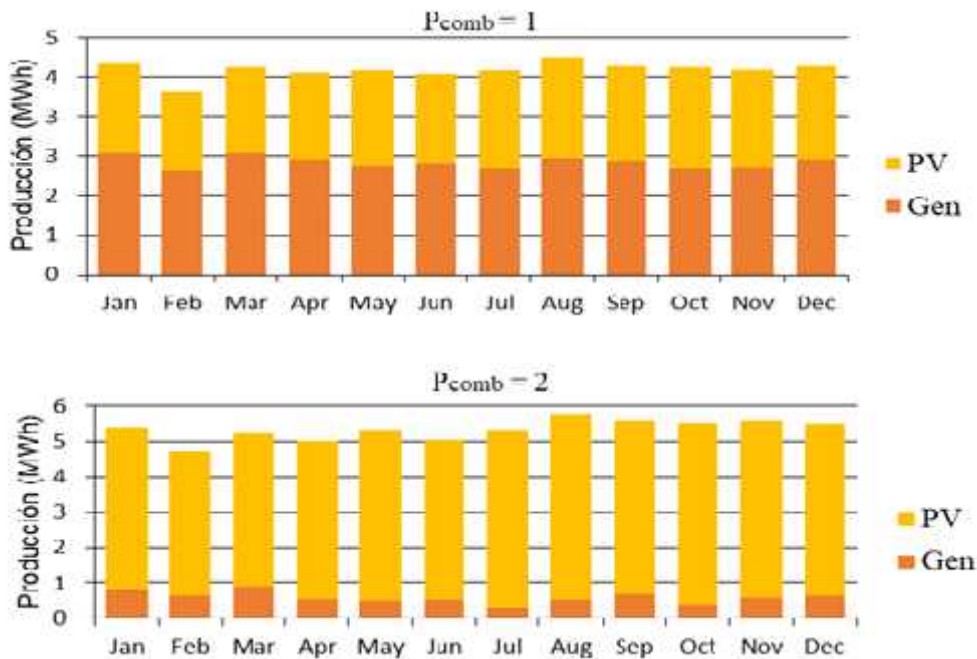
*HRES más eficientes, almacenamiento **LI** y 120kW/día*

Sensibilidad		Sistema							PV		1kWh LI
TdN	P. Comb.	Prod. Elec.	Frac. Ren.	CO2	CO	PM	SO2	NOx	Prod.	FC	Autonomia
(%)	(\$/L)	(kWh/año)	(%)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kWh)	%	horas
6	1	51 930	35	21 869	138	0,835	53,6	129	23 544	14	6,40
6	2	64 089	84	7 718	48,6	0,295	18,9	45,7	57 059	14	16,8

En este caso al incrementarse el precio del combustible se podría usar hasta 84% de energía renovable y las emisiones se verían disminuidas hasta la tercera parte aproximadamente

Figura 55

Producción del HRES 120 kWh/día, **LI** y TdN=6%



Si se aplicase una mejor tecnología de almacenamiento como la de Ion-Litio en la planta acuícola en san Martin con la demanda de 120kWh/día y un TdN de 6% y para un precio de combustible de 1\$/L; la fracción de energía renovable usada en el sistema hibrido seria 35% en cambio si el precio de combustible se duplicase la fracción de renovable seria de 84% y; pudiéndose notar que mejorando la tecnología de almacenamiento la efectividad del sistema es mucho mayor por lo tanto más sostenible.

4.5.2 Efectividad en acuícola modelo en la Región Piura.

Escenario 1P: Modelo para demanda de 60kWh/día

(Tabla N°71 y Figura 56)

Tabla 71

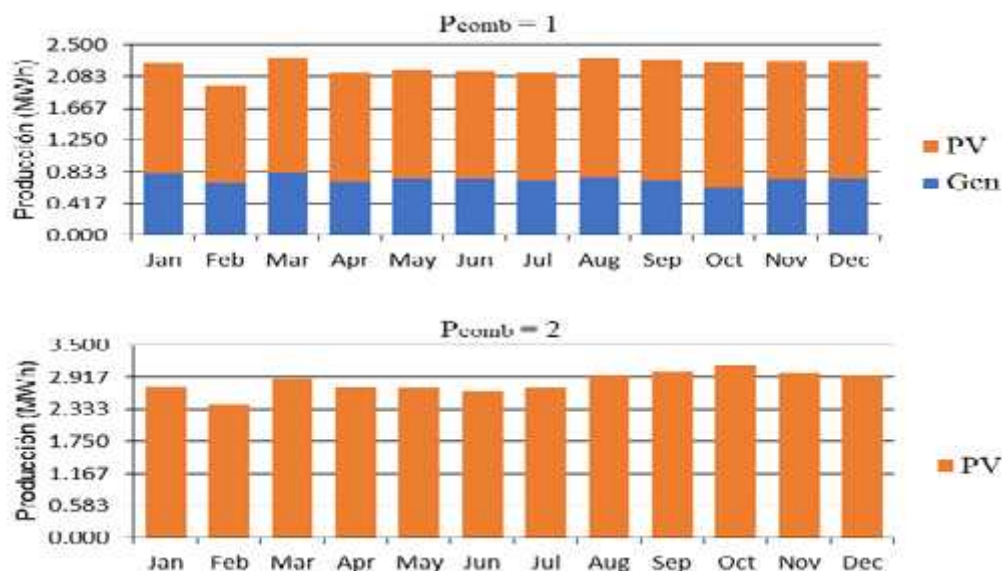
HRES más eficientes para una demanda de 60kW/día, en región Piura

Sensibilidad		Sistema							PV		1kWh LA
P. Comb	V _{viento}	Prod. Elec.	Frac. Ren	CO ₂	CO	PM	SO ₂	NO _x	Prod.	FC	Autonomía
(\$/L)	(m/s)	(kWh/año)	(%)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kWh)	%	horas
1	3,0	26 650	60	8 441	53,2	0,322	20,7	50,0	17 863	18,7	9,37
2	3,0	33 980	100	0	0	0	0	0	33 980	18,7	24,7

Esta región es factible usar solamente energía renovable al 100%, constituyéndose en la opción más optima ya que no generaría gases contaminantes, va depender solamente como los precios de los componentes del HRES de energía renovable continúen bajando.

Figura 56

Producción eléctrica del sistema híbrido de 60kWh/día



Para una planta que desarrolla acuicultura continental en Piura con una demanda de 60kWh/día, los resultados con velocidad de viento promedio de 3m/s, para un precio de combustible de 1\$/L; la fracción de energía renovable suministrada a la carga sería 60% en cambio si el precio del combustible se duplicase la participación de renovable sería de 100%

Escenario 2AP: Modelo para demanda de 120 kWh/día-LA

HRES con almacenamiento usando batería de plomo- ácido (LA) (Tabla N°72 y Figura 57)

Tabla 72

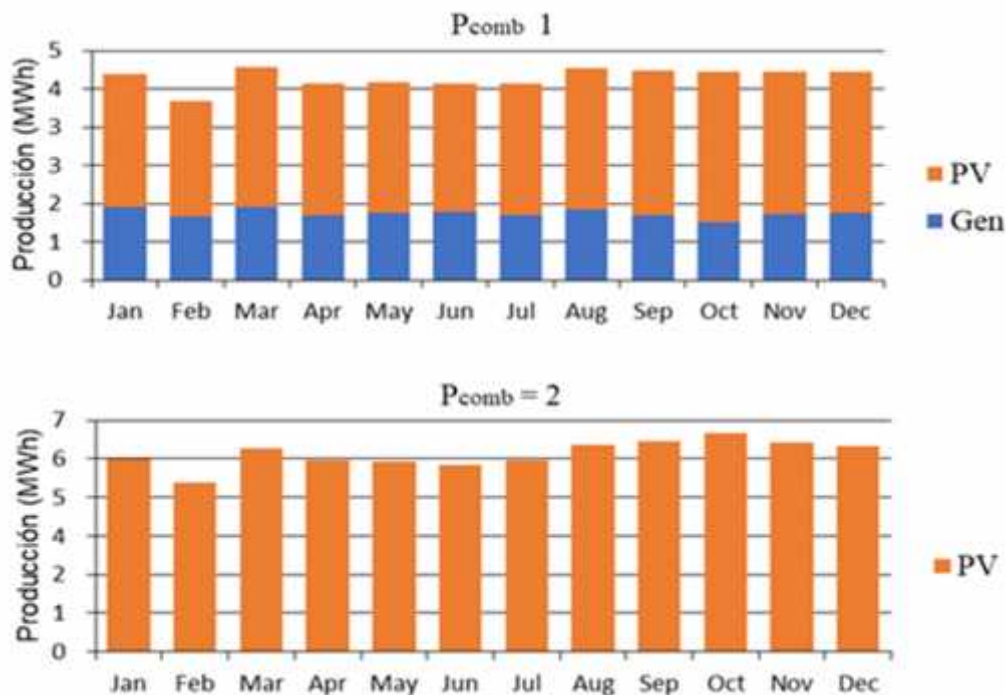
HRES más eficientes, almacenamiento convencional y 120kW/día, Región Piura

Sensibilidad		Sistema							PV		1kWh LA
P. Comb	V _{viento}	Prod. Elec.	Frac. Ren	CO ₂	CO	PM	SO ₂	NO _x	Prod.	FC	Autonomía
(\$/L)	(m/s)	(kWh/año)	(%)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kWh)	%	horas
1	3,0	53 010	60	17 011	107	0,650	41,7	101	35 489	18,7	9,49
2	3,0	71 881	100	0	0	0	0	0	71 881	18,7	22,8

En caso la demanda se mayor en relación al escenario anterior y el precio de combustible se incrementase se podría usar energía renovable al 100% principalmente energía solar y eólica, siendo un HRES sustentable.

Figura 57

Producción eléctrica del HRES de 120 kWh/día, almacenamiento LA



En la planta que desarrolla acuacultura continental en Piura; se puede observar que si el precio combustible se duplicase; el sistema HRES podría tener dos alternativas para el uso energía renovable; podría usarse solo fotovoltaica o energía fotovoltaica y energía eólica y no se emitiría gases contaminantes.

Escenario 2B: Modelo para demanda de 120 kWh/día-LI

HRES con almacenamiento usando batería de iones de litio (LI) (Tabla N°73 y Figura 58)

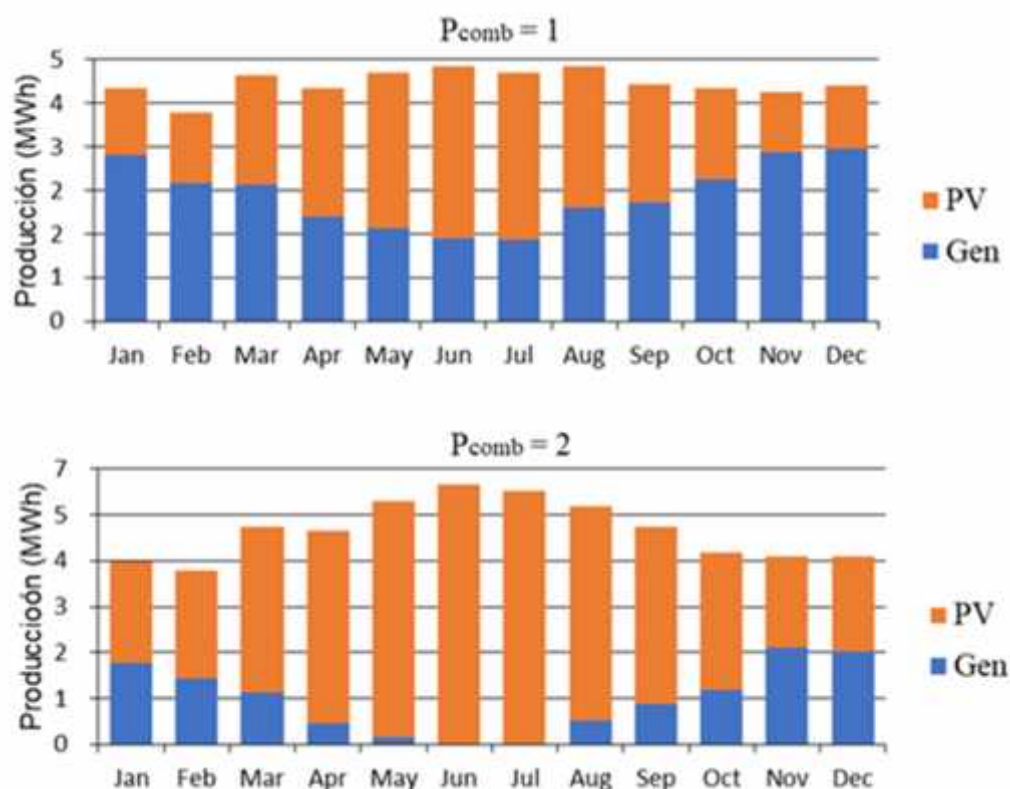
Tabla 73

*HRES más eficientes, almacenamiento tipo **LI** y 120kW/día, Región Piura*

Sensibilidad		Sistema							PV		1kWh LA
P. Comb	V _{viento}	Prod. Elec.	Frac. Ren	CO ₂	CO	PM	SO ₂	NO _x	Prod.	FC	Autonomía
(\$/L)	(m/s)	(kWh/año)	(%)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kg/año)	(kWh)	%	horas
1	3,0	49253.1	40.4	21245	134	0,812	52	126	23 134	15	8,96
2	3,0	60542	71.4	9, 768	61,6	0,373	23,9	57,8	47 993	15	18,2

Figura 58

Producción del HRES de 120 kWh/día, **LI**



Se han presentado los sistemas más efectivos para el caso de la Región Piura, pero no son los únicos que dan como alternativa las energías renovables, en los casos presentados la energía solar resulta la más efectiva, pero según se muestra en los anexos 6 y 7, el siguiente sistema más efectivo es aquel que usa energía solar y eólica a la vez.

Las tecnologías híbridas de conversión de energía renovable se están considerando cada vez más como opción sostenible, la energía solar fotovoltaica/eólica/diésel o la energía solar fotovoltaica/eólica con almacenamiento en baterías, son especialmente adecuadas para zonas rurales e inaccesibles (Awad et al., 2023). Además, una eficiencia energética sustancial en la generación, transmisión y distribución es esencial para la sostenibilidad, ya que la generación eficiente disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero, mientras que una infraestructura de transmisión mejorada degrada las pérdidas de energía en el sistema. Estos esfuerzos colectivos corroboran la optimización de los costos de generación de energía, preservan los recursos y promueven el uso de energía ecológica a nivel mundial (Abdunnabi et al., 2023). De manera similar, los sistemas SPV/eólico/diésel han demostrado ser confiables en lugares con mala conectividad a la red, ofreciendo respaldo a través de generadores diésel al tiempo que reducen la dependencia de los combustibles convencionales. Estos estudios nos confirman lo hallado por el presente estudio para la Región San Martín que es una zona rural y el sistema más óptimo incluye respaldo de generador Diesel.

En el área de evaluación del recurso eólico, Brabec et al. (2021) recomendaron modelos numéricos híbridos para mejorar la precisión de la velocidad del viento, que es esencial para optimizar los sistemas de conversión de energía eólica. Reikard (2024), amplió aún más las técnicas de pronóstico al probar modelos de series temporales para predecir el potencial de energía solar, lo que muestra aplicaciones en la planificación energética a largo plazo. Además, Barde et al. (2023), destacaron la relación del recurso solar con las condiciones meteorológicas y las aplicaciones de energía renovable. Esto conduce al papel del pronóstico solar y eólico preciso en la mejora de la confiabilidad y eficiencia de los sistemas de energía renovable en todo el mundo; Alagoz et al., (2024). Es conveniente realizar evaluaciones puntuales de potencial energético, para tener diversas alternativas, como en el caso de la Región Piura en donde la evaluación del recurso tomando como referencia la plataforma de información usada en el presente estudio nos arroja como opción secundaria el uso de la energía eólica, puede darse el caso según la demanda a atender, realizar mediciones mas precisas considerando la altura y lugar de ubicación del aerogenerador.

La efectividad de los resultados de optimización propuestos se puede comparar con otros modelos como, PSO (optimización de enjambre de partículas) y GA (algoritmo genético). Además, se realizan análisis de sensibilidad sobre el costo de la energía para diferentes entradas sensoriales. Los resultados indican que se puede dimensionar de manera óptima el sistema en comparación con sus contrapartes, HOMER, PSO y GA. Se logran reducciones de 3,34 %, 5,5 % y 7 % respectivamente en el costo actual neto total de la configuración óptima. Sin embargo, se ha establecido que el sistema sugerido es un sistema más rentable y factible para la electrificación de áreas rurales (Kamal,2022).

(Kumar et al., 2025) presentan Optimización tecno económica y análisis de sensibilidad de sistemas híbridos de energía renovable fuera de la red en zona rural, semejante al presente estudio en donde muestran la producción mensual de diversas fuentes de energía según los resultados de este HRES óptimo obtenido en este estudio. En el caso 1(a), la electricidad representa el 47,5 % del total. Por otro lado, un aerogenerador genera 734.478,00 kWh al año, lo que representa el 52,5 % del total. En el caso 1(b), la electricidad generada por los módulos fotovoltaicos representa el 42,0 % del total y en otro caso el 58% del total. En nuestro caso para la Región San Martín la fracción de energía renovable es de 35% y 84% en caso el precio del combustible sea \$2. En el caso de la Región Piura la energía renovable es 60% y 100% en caso el combustible se incremente.

El suministro de electricidad basado en tecnologías híbridas de energía renovable se puede considerar una de las mejores soluciones para los proyectos de desarrollo de acuicultura. Sus beneficios están científicamente resaltados e incluyen asegurar un suministro de energía estable, confiable y continuo. En general, se pueden adoptar e implementar varias soluciones tecnológicas en entornos rurales remotos. Sin embargo, no existe una solución única, ni en términos tecnológicos ni económicos; es decir, cada región rural tiene sus características específicas. En consecuencia, las tecnologías de suministro deben optimizarse para adaptarse al contexto local a con el propósito de maximizar la utilización de recursos energéticos disponibles, al tiempo que se aumenta la confiabilidad del sistema y se equilibra de manera eficiente la oferta y la demanda.

4.6 Lineamientos para la utilización de un sistema híbrido basado en recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana

La implementación de un HRES basado en recursos renovables en la acuicultura continental peruana es una estrategia para reducir el impacto ambiental de esta actividad e incrementar su sostenibilidad. Considerando que ello implica, evaluar y gestionar el uso eficiente de la energía en toda la cadena de producción; además hay que considerar que la actividad acuícola muchas veces se desarrolla en zonas rurales o aisladas, de allí que hay que tener en cuenta que los sistemas energéticos de las zonas aisladas son diferentes de los sistemas energéticos estables de las zonas continentales. La particularidad de las zonas aisladas crea más riesgos para la planificación de sus sistemas energéticos, y las zonas aisladas pueden considerarse un objetivo de análisis más específico (Liu et al 2018). El desarrollo sostenible de acuicultura requiere un suministro de electricidad técnico económico, eficiente, asequible y confiable; para ello es necesario considerar algunos lineamientos para la utilización de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables en la acuicultura continental peruana:

Para empezar la demanda energética requerida, considerando que tiende a variar, que según apunta Riva et al (2018), el análisis de las opciones de energética debe considerar los datos de carga/consumo incluida la evolución futura de la demanda y su distribución a lo largo de los años. Los estudios de revisión sobre HRES ayudan a identificar las configuraciones de sistemas híbridos comúnmente empleadas que permiten la reducción de la dependencia de combustibles fósiles, de igual forma, se debe intentar proponer un HRES óptimo desde perspectivas técnicas, económicas, ambientales y sociales. Algunos de estos estudios indican que las configuraciones híbridas de energía solar fotovoltaica (SPV) y eólica (W) combinadas con generadores diésel (DG) y/o sistemas de almacenamiento de baterías (BS), es decir, combinaciones (SPV-W-DG-BS) y (SPV-DG-BS) son los más populares y factibles para proporcionar los costos actuales netos (CPN) y costos nivelados de electricidad (LCOE) más bajos, al tiempo que se reducen los impactos ambientales en las áreas de influencia (Rezk et al, 2016).

Existen una variedad de modelos que son fáciles de usar; sin embargo, su accesibilidad depende del tipo de licencia. HOMER, iHOGA, INSEL, TRNSYS y GeoSIM son modelos comerciales que requieren licencias pagas para habilitar todas sus funcionalidades. Dados los recursos financieros limitados disponibles en la mayoría de los países en desarrollo, los costos constituyen un criterio importante para elegir entre herramientas, pero también hay herramienta como HOMER y Descreen que pueden ser las más accesibles en términos de opciones de licencia flexibles (Silinto et al.,2025). Por lo tanto, la función de disponibilidad indica si los modelos se consideran más o menos accesibles y disponibles dependiendo de las capacidades específicas de los usuarios.

La posibilidad de incluir análisis de sensibilidad es otro atributo importante de los modelos que indica su idoneidad para esta revisión. HOMER, iHOGA, entre otros incluyen esta característica. El análisis de sensibilidad es relevante ya que permite la investigación de las incertidumbres y los impactos en el comportamiento de los sistemas energéticos (Sawle et al., 2021), bajo parámetros de entrada variables, como recursos variables, precio del combustible, cargas y los costos de capital. Además, ayuda a identificar los parámetros más sensibles, aunque sea imposible controlar o eliminar por completo las incertidumbres (Araoye et al.2024). Las revisiones muestran que ningún modelo puede funcionar bien al 100 % cuando se consideran los criterios utilizados. Mientras existan recursos y experiencia, las herramientas más prometedoras y útiles identificadas son entre otras HOMER y iHOGA (Silinto et al., 2024). Al reflexionar sobre esta primera conclusión central, es necesario abordar tres desafíos clave al considerar las áreas rurales remotas en los países en desarrollo.

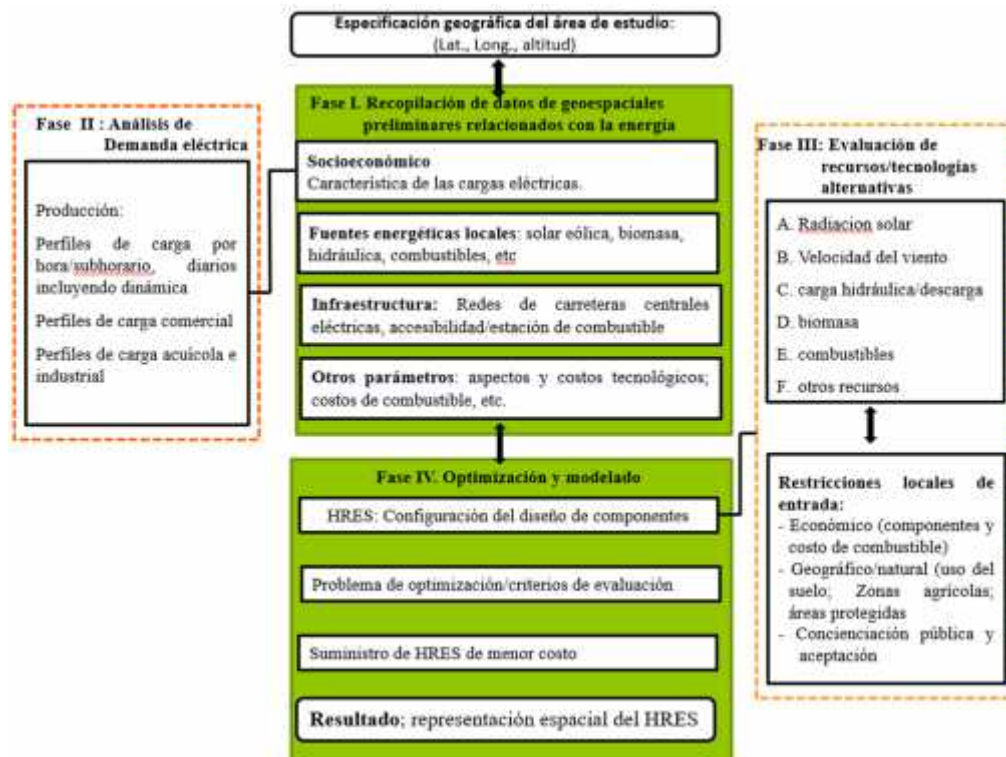
Es importante determinar las condiciones generales específicas del sitio, incluida la distribución espacial de demanda y densidad de energía, recursos energéticos disponibles y las variaciones espacio-temporales de los mismos, las condiciones socioeconómicas y de infraestructura existentes (electricidad, suministro de combustible y carreteras) y las distancias para acceder a estas instalaciones (Dimovski et al.,2024). plantea utilizar un procedimiento facilitado por SIG para optimizar la estrategia para el territorio en investigación, proponiendo la solución de menor costo.

Así mismo, es necesario considerar cuidadosamente los requisitos y evaluaciones de los datos de entrada (cada herramienta de modelado energético requiere datos de entrada de un formato de tipo de datos determinado). E igualmente, es necesario considerar opciones tecnológicas alternativas. Se pueden implementar varias opciones tecnológicas en áreas rurales remotas. Las tecnologías deben optimizarse para contextos específicos del lugar. Por lo tanto, es necesario abordar adecuadamente los potenciales de recursos disponibles para informar mejor sobre las tecnologías alternativas de menor costo optimizadas para la hibridación y la implementación del sistema para suministrar las cargas requeridas

La estrategia que se propone aquí consta de cuatro fases, cada una de las cuales aborda un conjunto distinto de cuestiones de planificación de un sistema híbrido basado en recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana. En cada fase se proponen varias acciones que se consideran pertinentes en función de las circunstancias locales concretas encontradas (Figura 59).

Figura 59

Estrategia para modelar y vincular modelos para el análisis de HRES en áreas rurales.



Primera fase implica la identificación de datos geospaciales preliminares/ secundarios relacionados con la energía y otra información relevante. los conjuntos de datos necesarios se pueden extraer de planes nacionales de electrificación rural, informes publicados por instituciones que se ocupan de cuestiones de energía, institutos meteorológicos y agencias nacionales de estadísticas (Odoi-Yorque et al 2024)

Segunda fase, Conocer la demanda eléctrica es gran utilidad en aplicaciones HRES, simulaciones de redes de bajo voltaje o algoritmos de gestión de la demanda en investigaciones de redes inteligentes (Jasin et al.2023). Los perfiles de demanda estarán dados por el número de cargas alimentadas y como éstas sean utilizadas, según los requisitos del planificador energético.

Tercera fase, evalúa los potenciales recursos de energías renovables explotables y los costos de combustible dentro del área de estudio y sus inmediaciones mediante pronósticos. Los recursos clave que se deben considerar incluyen la radiación solar, la velocidad media horaria del viento, las descargas hidroeléctricas y los potenciales de biomasa, que dependen de los residuos de cultivos y el follaje forestal disponibles. Luego se pueden generar mapas de idoneidad con potenciales energéticos técnicos locales superponiendo los mapas de alto potencial de recursos explotables con restricciones socioeconómicas y ambientales/geográficas, como cuerpos de agua, y áreas protegidas. Con estas superposiciones, se pueden identificar ubicaciones de sitios adecuados y opciones tecnológicas relacionadas para instalaciones de HRES (Roy et al. 2024)

Cuarta fase, finalmente, se optimizan las opciones de suministro de tecnología híbrida de menor costo para la demanda de carga proyectada. Las técnicas adecuadas para lograr estas soluciones se pueden proporcionar dentro del HOMER (optimización híbrida de recursos multienergéticos), y GA (algoritmo genético), además, sobre el costo de la energía para diferentes entradas sensoriales (Kamal et al. 2022). El proceso de optimización debe tener en cuenta los costos, la optimización de los recursos y la disponibilidad de energía. asignación, generadores, confiabilidad del sistema y aspectos sociales. Cada opción de suministro local alternativo (solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa) debe modelarse individualmente, lo que proporciona información para configurar el sistema híbrido.

A manera de conclusión preliminar, podemos afirmar que el suministro de electricidad basado en tecnologías híbridas de energía renovable se considera una de las mejores soluciones para su aplicación de la acuicultura continental. Sus beneficios están científicamente resaltados e incluyen asegurar un suministro de energía estable, confiable y continua, ya que se plantea el uso de energía solar fotovoltaica y energía eólica en sustitución o complementado con combustibles fósiles, Esto contribuye a mitigar el cambio climático y reduce la huella de carbono de la acuicultura continental.

En general, se pueden adoptar e implementar varias soluciones tecnológicas, Aunque la inversión inicial en tecnologías renovables puede ser alta, a largo plazo, estas pueden resultar en menores costos operativos debido a la disponibilidad gratuita y abundante de recursos renovables, así como a la reducción de los costos asociados con el mantenimiento y la gestión de sistemas de energía convencionales. Sin embargo, no existe una solución única, ni en términos tecnológicos ni económicos; es decir, cada región tiene sus características específicas. En consecuencia, las tecnologías de suministro deben optimizarse para adaptarse al contexto local, al tiempo que se aumenta la confiabilidad del sistema y se equilibra de manera eficiente la oferta y la demanda. Los modelos energéticos pueden respaldar la integración de sistemas a diferentes escalas espaciales, pero solo unos pocos pueden abordar adecuadamente estos desafíos considerando tanto la dimensión espacial de las características de los sistemas energéticos rurales como el análisis de HRES. Para trabajos futuros deben considerar varias cuestiones (por ejemplo, disponibilidad de datos, habilidades locales y recursos financieros de los proyectos), junto con las especificidades de los modelos, para llegar a una decisión sobre qué modelo(s) utilizar para el análisis. Las herramientas HOMER, iHOGA y GeoSIM como herramientas comerciales se pueden combinar de manera complementaria, lo que permite compartir sus fortalezas o potencialmente impulsar sus capacidades por parte de sus desarrolladores para permitirles abordar desafíos de modelado.

Los sistemas energéticos híbridos basados en recursos renovables pueden proporcionar una mayor autonomía energética a las instalaciones de acuicultura continental, especialmente en áreas remotas o con acceso limitado a la red eléctrica. Esto puede ser crucial para garantizar un suministro de energía constante y confiable para operaciones de acuicultura. Además, puede estimular la innovación en tecnologías de energía renovable y sistemas de gestión energética, lo que puede beneficiar a toda la industria acuícola

Se presenta la simulación y el análisis de los resultados de un sistema híbrido de energía renovable, se realizó la simulación y un análisis de varios parámetros del sistema híbrido para obtener como resultado de salida la generación de electricidad para una instalación acuícola típica ubicada en las regiones de San Martín y Piura, adaptándose la demanda de energía de una instalación de acuicultura estándar para diferentes escenarios. Se estimó matemáticamente el potencial de energía solar y eólica para la granja en función de los datos meteorológicos horarios y diarios disponibles, lo cual condujo al dimensionamiento y la planificación óptimos del sistema de energía híbrida para las instalaciones. La evaluación técnica reveló el sistema más óptimo y su orden de clasificación, la electricidad generada por cada componente, El análisis económico reveló la clasificación de las alternativas energéticas en términos de su respectivo LCOE, VAN, costo operativo y costo de capital inicial. el valor actual, el valor anual, el retorno de la inversión, la tasa interna de retorno, la recuperación simple y la recuperación descontada. El análisis ambiental presentó el nivel de producción de dióxido de carbono de cada una de las alternativas energéticas, la emisión de monóxido de carbono, el hidrocarburo no quemado, el material particulado, el dióxido de azufre y el óxido de nitrógeno

Un sistema híbrido basado en recursos renovables podría ser una estrategia efectiva para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar el impacto ambiental. Se presentan las Tablas N°74 y N°75 con valores comparativos entre el sistema propuesto y la alternativa convencional basado en un generador Diesel.

Tabla 74

HRES vs Sistema base tradicional, granja acuícola modelo 120kWh/día-San Martín























Precio de (1\$/L)					TdN (6,0 %)									
Arquitectura					Sistema			Gen		1kWh LA	PV	Costo		
HRES. Prop.					Prod. E.	F. Renov.	CO2	n	Fe	Auton.	Prod.	Fe	VAN	C. Inicial
					(kWh/año)	(%)	(kg/año)	%	%	(h)	(kWh)	%	(\$)	(\$)
					50 563	37	22 322	28	18.4	9	23 091	14	\$282 781	\$ 90 279
S. Base					17 kW								\$384 966	\$ 8 500
Arquitectura					Sistema			Gen		1kWh LI	PV	Costo		
HRES. Prop.					Prod. E.	F. Renov.	CO2	n	Fe	Auton.	Prod.	Fe	VAN	C. Inicial
					(kWh/año)	(%)	(kg/año)	%	%	(h)	(kWh)	%	(\$)	(\$)
					51 930	35	21 869	35	19.1	6.4	23 544	14	\$ 253 408	\$ 91 644
S. Base					17 kW								\$384 966	\$ 8 500

Tabla 75

HRES vs Sistema base tradicional, granja acuícola modelo 120kWh/día-Piura

	Precio de comi (1\$/L)		Velocidad del viento (3m/s)									
	Arquitectura	Sistema	Gen	1kWh LA	PV	G3	Costo					
		Prod. E. F. Renov.	CO2	n	Fe	Auton.	Prod.	Fe	Prod	VAN	C. Inicial	
		(kWh/año)	(%)	(kg/año)	%	%	(h)	(kWh)	% (kWh)	(\$)	(\$)	
HRES. Prop.	    	53 010	60	17 011	27	11.8	9.49	35 489	18.7	\$254 463	\$ 99 419	
S. Base		17 kW								\$384 966	\$ 8 500	
	Arquitectura	Sistema	Gen	1kWh LI	PV	G3	Costo					
		Prod. E. F. Renov.	CO2	n	Fe	Auton.	Prod.	Fe	Prod	VAN	C. Inicial	
		(kWh/año)	(%)	(kg/año)	%	%	(h)	(kWh)	% (kWh)	(\$)	(\$)	
HRES. Prop.	    	49 530	48	18 483	33	15.4	10.4	26 566	17.4	\$ 236 490	\$ 99 019	
S. Base		17 kW								\$384 966	\$ 8 500	

Los resultados de la presente investigación dan bases preliminares para optar por sistemas híbridos basados en energías renovable tal como se muestran en los resultados económico y ambiental el sistema es efectivo para el desarrollo sustentable de la acuicultura continental.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Los hallazgos principales del estudio son los siguientes:

- Las regiones de Piura y San Martín son las zonas con crecimiento sostenido de producción acuícola continental peruana y con potencial solar y eólico, considerando al cultivo de la especie Tilapia en el análisis de la efectividad de las energías renovables en la acuicultura.
- El desafío de la sostenibilidad energética puede ser enfrentado mediante el aprovechamiento de recursos renovables, con el empleo de sistemas híbridos de energía renovable (HRES) como alternativa energética para el desarrollo de la acuicultura en la región San Martín: PV/ /generador diésel/batería y para la Región Piura PV//eólica/generador diésel/batería. Para el análisis, se consideró un Escenario 1 (E1) para una demanda de 2,5 kW y un consumo energético diario 60kWh y un escenario 2 (E2) de 5kW y 120kWh/día, como alternativas de almacenamiento, baterías Plomo ácido (LA) y iones de litio (LI)
- La comparación técnica cuantitativa para HRES-Región **San Martín: Escenario 1**; la demanda eléctrica con energía convencional se cubre con generador Diesel (GD) de 8,2 kW, costos operativos, \$14.358/año; alternativa añadir 9,0 kW PV y 35 kWh-LA. **Escenario 2**; la demanda se atiende con GD de 17 kW, costos operativos de \$29,450/año. Alternativa **E-2A**; proponemos 19 kW PV y 75 kWh-LA; **E-2B**; se propone 19 kW PV y 40 kWh-LA.
HRES-Región **Piura**: atendida con energía convencional tal como San Martín: **E-1P**; Alternativa añadir 11 kW PV y 39 kWh-LA. **E-2AP**; alternativa 22 kW PV 79 kWh-LA: **E-2BP**; Proponemos 18 kW PV y 40 kWh-LI.

- La evaluación económica para HRES-Región San Martín, **Escenario 1**, añadir 9,0 kW PV y 35 kWh-LA, reduciría costos operativos a \$7565/año, la inversión tiene un periodo de recuperación de 5,51 años y una TIR del 18,0 %. **E-2A**; con 19 kW PV y 75 kWh-LA reduce costos a \$15,059/año, periodo de recuperación de 5.52 años y una TIR del 18.0%. **E-2B** con 19 kW PV y 40 kWh-LA, reduce costos a \$12,654/año. recuperación de 4.44 años y una TIR del 20.6%.

HRES-Región Piura: **E-1P**; con 11 PV y 39 kWh-LA reduciría costos operativos a \$5,976/año, recuperación de 4.82 años y una TIR del 18.6%. **E-2AP**; con 22 kW PV y 79 kWh-LA reduciría sus costos a \$12,129/año. periodo de recuperación de 4.63 años y una TIR del 19.5%. **E-2BP**; con 19 kW PV y 40 kWh-LI reduciría sus costos a \$12,654/año. recuperación de 4.44 años y una TIR del 20.6%.

- La efectividad en su componente de eficiencia del HRES para una demanda de 120 kWh/día, en escenarios evaluados, reporta:

Región San Martín: E2A; producción eléctrica 50563 kWh/año; 37% de renovable; 22322kg/año CO₂; fotovoltaica de 23091 kWh/año con 14% de Factor de capacidad (Fc) y autonomía de 9 horas. E2B: producción 51930 kWh/año; 35% de renovable; 21869kg/año CO₂; fotovoltaica 23544 kWh/año, Fc de 4%, 6.4h. de autonomía.

Región Piura: E2A; producción eléctrica 53010 kWh/año; 60% de renovable; 17011kg/año CO₂; fotovoltaica de 35489 kWh/año fc de 18.7% y 9.49h de autonomía. E2B: producción eléctrica 49530 kWh/año; 48%renovable; 18483kg/año CO₂; fotovoltaica de 26566 kWh/año y un fc de 17,4%.

- El suministro de electricidad basado en tecnologías híbridas de energía renovable se considera una de las mejores soluciones para su aplicación de la acuicultura continental. Sus beneficios están científicamente resaltados e incluyen asegurar un suministro de energía estable, confiable y continua, ya que plantea el uso de energía solar fotovoltaica y eólica en sustitución o complementado con combustibles fósiles, Esto contribuirá a mitigar el cambio climático y reduce la huella de carbono de la acuicultura continental. El proceso de conversión muestra que la Región San Martín puede valerse del recurso solar; en cambio, la Región Piura presenta las alternativas energéticas solar y eólica siendo el sistema más óptimo la primera.

5.2 RECOMENDACIONES

- Desarrollar y adoptar innovaciones que permitan hacer frente al cambio climático, sistemas híbridos de energía renovable que integren turbinas eólicas, energía fotovoltaica energía hidroeléctrica.
- Promover la intensificación sostenible de la acuicultura mediante la mejora del diseño y la infraestructura de las explotaciones, acogiendo tecnologías modernas a gran escala, la promoción de la digitalización, la recirculación y el tratamiento de los desechos.
- Ampliar el desarrollo acuícola en lugares donde sea factible y exista potencial para su desarrollo sostenible; adoptando precauciones ambientales garantizando que la expansión sea responsable, se realice dentro de la capacidad de carga ambiental y no afecte negativamente a la biodiversidad, los ecosistemas o los medios de vida.
- Integrar la acuicultura con otros sectores mediante el uso de sistemas de gestión y prácticas de producción innovadores. En las zonas costeras, la integración de la acuicultura con los sectores del turismo o la energía puede generar sinergias importantes, y en las zonas del interior su integración en los sistemas agrícolas locales y de pequeña escala.
- Reducir la huella ambiental de la acuicultura aplicando prácticas sostenibles en toda la producción, el procesamiento, el transporte y almacenamiento fomentando la eficiencia energética y el uso de energías renovables.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdunnabi, M., Etiab, N., Nassar, Y.F., El-Khozondar, H.J., Khargotra, R., 2023. Energy savings strategy for the residential sector in Libya and its impacts on the global environment and the nation economy. *Adv. Build. Energy Res.* 17 (4), 379–411. <https://doi.org/10.1080/17512549.2023.2209094>
- Agencia de sostenibilidad energética (2022) Guía de Implementación de Sistemas de Gestión de Energía basados en ISO50001:2018. https://www.agenciase.org/wp-content/uploads/2022/11/SISTEMA_ISO_50001_2022.pdf
- Ahmad, J., Imran, M., Khalid, A., Iqbal, W., Ashraf, S. R., Adnan, M., ... & Khokhar, K. S. (2018). Techno economic analysis of a wind-photovoltaic-biomass hybrid renewable energy system for rural electrification: A case study of Kallar Kahar. *Energy*, 148, 208-234. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.133>
- Ahmed, N., & Turchini, G. M. (2021). Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *Journal of Cleaner production*, 297, 126604. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126604>
- Ajarostaghi, S. S. M., & Mousavi, S. S. (2022). Solar energy conversion technologies: Principles and advancements. In *Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems* (pp. 29-76). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89866-9.00005-5>
- Alaaeddin, M. H., Sapuan, S. M., Zuhri, M. Y. M., Zainudin, E. S., & Al-Oqla, F. M. (2019). Photovoltaic applications: Status and manufacturing prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 318-332. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.026>
- Alagoz, B.B., Keles, C., Ates, A., Baran, B., 2024. A mathematical modelling for solar irradiance reduction of sunshades and some near-future albedo modification approaches for mitigation of global warming. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 106337 <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2024.106337>
- Almutairi, K., Hosseini Dehshiri, S. S., Hosseini Dehshiri, S. J., Mostafaeipour, A., Issakhov, A., & Techato, K. (2021). Use of a hybrid wind–solar–diesel–battery energy system to power buildings in remote areas: a case study. *Sustainability*, 13(16), 8764. <https://doi.org/10.3390/su13168764>
- Ang, T. Z., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabakaran, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100939. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>
- Apata, O., & Oyedokun, D. T. O. (2020). An overview of control techniques for wind turbine systems. *Scientific African*, 10, e00566. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00566>

- Araoye, T. O., Ashigwuike, E. C., Mbunwe, M. J., Bakinson, O. I., & Ozue, T. I. (2024). Techno-Economic Modeling and Optimal Sizing of Autonomous Hybrid Microgrid Renewable Energy System for Rural Electrification Sustainability using HOMER and Grasshopper Optimization Algorithm. *Renewable Energy*, 120712. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120712>
- Asghar, F., Hussain, M. I., Alshahrani, F. A., Akhtar, M. I., Amjad, W., Shahzad, M., ... & Lee, G. H. (2024). Technoeconomic analysis of standalone hybrid renewable energy systems for telecommunication sector under different climatic conditions in Saudi Arabia. *Energy Reports*, 11, 4067-4084. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484724002002>
- Awad, H., Nassar, Y.F., Elzer, R.S., Mangir, I., El-Khozondar, H.J., Khaleel, M., Ahmed, A., Alsharif, A., Salem, M., Hafez, A., 2023. Energy, economic and environmental feasibility of energy recovery from wastewater treatment plants in mountainous areas: a case study of Gharyan city–Libya. *Acta Innovations*. <https://www.proakademia.eu/en/acta-innovations/find-issueskw/no505/>
- Baca Urbina, G. (2013). Evaluación de proyectos. McGraw-Hill Interamericana Editores México.
- Badiola, M., Basurko, O. C., Piedrahita, R., Hundley, P., & Mendiola, D. (2018). Energy use in recirculating aquaculture systems (RAS): a review. *Aquacultural engineering*, 81, 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.03.003>
- Baker, H. K., & English, P. (Eds.). (2011). *Capital budgeting valuation: financial analysis for today's investment projects* (Vol. 13). John Wiley & Sons.
- Bank, F. (2018). World energy outlook 2018. IEA, Paris. Website: <https://www.iea.org>
- Barde, V., Upadhyay, A., Bulusu, J., & Dimri, A. P. (2023). Impact of solar variability on Indian summer monsoon through large scale circulations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 252, 106134. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2023.106134>
- Bharathi, S., Cheryl, A., Uma, A., Ahilan, B., Aanand, S., & Somu Sunder Lingam, R. (2019). Application of renewable energy in aquaculture. *Aqua International*, 48-54. <https://www.researchgate.net/publication/331716127>
- Bárcena, A. y otros. (2020). *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?*, Libros de la CEPAL, N° 160 (LC/PUB.2019/23-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45677-la-emergencia-cambio-climatico-america-latina-caribe-seguimos-esperando-la>
- Borgnäs, K., 2017. Indicators as ‘circular argumentation constructs’? An input–output analysis of the variable structure of five environmental sustainability country rankings. *Environ. Dev. Sustain.* 19 (3), 769–790. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9764-0>.

- Bergman, K., Henriksson, P. J., Hornborg, S., Troell, M., Borthwick, L., Jonell, M., ... & Ziegler, F. (2020). Recirculating aquaculture is possible without major energy tradeoff: life cycle assessment of warmwater fish farming in Sweden. *Environmental science & technology*, 54(24), 16062-16070.
<https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c01100?ref=pdf>
- Blank, L., y Tarqui, A. (2012). Ingeniería económica. Séptima edición McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V
- Bloomberg NEF (2021) Energy-Transition-Investment-Trends Transición-Energética-Inversión-Tendencias
https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/Energy-Transition-Investment-Trends_Free-Summary_Jan2021.pdf
- Bloomberg NEF (2023) Tendencias de Inversión en la Transición Energética
<https://www.bloomberg.com/latam/blog/inversion-en-energias-limpias-se-dispara-un-17-y-alcanza-los-1-8-billones-de-dolares-en-2023-a-nivel-mundial-segun-un-informe-de-bloombergnef/>
- Brabec, M., Craciun, A., Dumitrescu, A., 2021. Hybrid numerical models for wind speed forecasting. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* 220, 105669.
<https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105669>
- Buonomano, A., Barone, G., & Forzano, C. (2023). Latest advancements and challenges of technologies and methods for accelerating the sustainable energy transition. *Energy Reports*, 9, 3343–3355 <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.02.015>
- Campodónico, H., & Carrera, C. (2022). Energy transition and renewable energies: Challenges for Peru. *Energy Policy*, 171, 113261.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113261>
- Carrillo, D., Vega, V., & Navas, S. (2019). Formulación y evaluación de proyectos de inversión. *Editorial Jurídica del Ecuador*.
- CEPAL (2019). Sostenibilidad energética en América Latina y el Caribe: reporte de los indicadores del Objetivo de Desarrollo Sostenible 7.
- CEPAL. (2024). *CEPALSTAT Bases de Datos y Publicaciones Estadísticas. Producción Acuícola*. <https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/dashboard.html?lang=es>
- Cevallos, V., Esparza, F., Balseca, J., & Chafla, J. (2022). Formulación y evaluación de proyectos para financiamiento. *Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador*.
- Chen, W., & Gao, S. (2023). Current status of industrialized aquaculture in China: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(12), 32278-32287.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-25601-9>

- Clark, M. A., Domingo, N. G., Colgan, K., Thakrar, S. K., Tilman, D., Lynch, J., ... & Hill, J. D. (2020). Global food system emissions could preclude achieving the 1.5 and 2 C climate change targets. *Science*, 370(6517), 705-708.
<https://doi.org/10.1126/science.aba7357>
- Coban, H. H. (2024). A multiscale approach to optimize off-grid hybrid renewable energy systems for sustainable rural electrification: Economic evaluation and design. *Energy Strategy Reviews*, 55, 101527. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101527>
- Cornejo-Ponce, L., Vilca-Salinas, P., Lienqueo-Aburto, H., Arenas, M. J., Pepe-Victoriano, R., Carpio, E., & Rodríguez, J. (2020). Integrated aquaculture recirculation system (IARS) supported by solar energy as a circular economy alternative for resilient communities in arid/semi-arid zones in southern South America: A case study in the Camarones town. *Water*, 12(12), 3469. <https://doi.org/10.3390/w12123469>
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., & Leip, A. J. N. F. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature food*, 2(3), 198-209. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00225-9>
- Dardon, J. D. A., & Farzaneh, H. (2024). Techno-economic analysis of a hybrid photovoltaic-wind-biomass-battery system for off-grid power in rural Guatemala. *Utilities Policy*, 88, 101762.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957178724000559>
- Das, B. K., Hoque, N., Mandal, S., Pal, T. K., & Raihan, M. A. (2017). A techno-economic feasibility of a stand-alone hybrid power generation for remote area application in Bangladesh. *Energy*, 134, 775-788. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.024>
- Debastiani, G., Nogueira, C. E. C., Acorci, J. M., Silveira, V. F., Siqueira, J. A. C., & Baron, L. C. (2020). Assessment of the energy efficiency of a hybrid wind-photovoltaic system for Cascavel, PR. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 110013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110013>
- Deloitte (2018) Global renewable energy trends *Solar and wind move from mainstream to preferred.*
<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/power-and-utilities/global-renewable-energy-trends.html?id=gx:2el:3dc:4direnenergy:5awa:6di:09132018>
- De Mel, I., Klymenko, O. V., & Short, M. (2024). Complementarity reformulations for the optimal design of distributed energy systems with multiphase optimal power flow. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 155, 109610.
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109610>
- Dimovski, A., Pezham, Z., Ahmadi, M., Albertini, L. M. F., Edeme, D. I., & Merlo, M. (2024). GIS-facilitated procedure for optimal rural electrification planning: A case study in Naeder, Ethiopia. *Energy for Sustainable Development*, 82, 101520.
<https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101520>

- Dolores-Salinas, E., & Miret-Pastor, L. (2024). Environmental certifications in Peruvian aquaculture. *Aquaculture Reports*, 38, 102314. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102314>
- Duffe, J. y . Beckman, W. (2020). *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*. Fifth Edition. Edit Wiley
- El-Maaroufi, A., Daoudi, M., & Laamara, R. A. (2024). Techno-economic analysis of a PV/WT/biomass off-grid hybrid power system for rural electrification in northern Morocco using HOMER. *Renewable Energy*, 231, 120904. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148124009728>
- Emezirinwune, M. U., Adejumbi, I. A., Adebisi, O. I., & Akinboro, F. G. (2024). Off-grid PV/biomass/DG/battery hybrid renewable energy as a source of electricity for a farm facility. *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 10, 100808. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772671124003887>
- Erdemir, D., & Dincer, I. (2024). Development of renewable energy based green hydrogen and oxygen production and electricity generation systems for sustainable aquaculture. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140081. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140081>
- ESMAP. 2020. *Global Photovoltaic Power Potential by Country*. Washington, DC: World Bank <https://documents1.worldbank.org/curated/en/466331592817725242/pdf/Global-Photovoltaic-Power-Potential-by-Country.pdf>
- Eze, V. H. U., Mwenyi, J. S., Ukagwu, K. J., Eze, M. C., Eze, C. E., & Okafor, W. O. (2024). Design analysis of a sustainable techno-economic hybrid renewable energy system: Application of solar and wind in Sigulu Island, Uganda. *Scientific African*, 26, e02454. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02454>
- FAO. 2018. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma. <https://www.fao.org/interactive/state-of-fisheries-aquaculture/2018/es/>
- FAO. 2020. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- FAO. 2022. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*[El estado de la pesca y la acuicultura en el mundo 2022] *Towards Blue Transformation*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- FAO. 2024. *In Brief to The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd0690en>
- Galappaththi, E. K., Ichien, S. T., Hyman, A. A., Aubrac, C. J., & Ford, J. D. (2020). Climate change adaptation in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2160-2176. <https://doi.org/10.1111/raq.12427>

- García-Lorenzo, I., Varela-Lafuente, M., Garza-Gil, M. D., & Sumaila, U. R. (2024). Social and solidarity economy in small-scale fisheries: An international analysis. *Ocean & Coastal Management*, 253, 107166. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107166>
- Gephart, J. A., Henriksson, P. J., Parker, R. W., Shepon, A., Gorospe, K. D., Bergman, K., ... & Troell, M. (2021). Environmental performance of blue foods. *Nature*, 597(7876), 360-365. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03889-2>
- Gestiona (Septiembre /octubre 2022) ¿Qué es el LCOE y para qué sirve?
https://www.caixaenginyers.com/documents/20143/663040130/gestiona_79_DOCS_2022_.pdf/8be706db-e9de-a944-0a97-f47f3e37f4fb?t=1666353990794
- Goswami, D. Y. (2022). Principles of solar engineering. CRC press.
<https://doi.org/10.1201/9781003244387>
- Habibzadeh, S., Astaraei, F. R., & Jahangir, M. H. (2025). Sustainability assessment of a petrochemical plant electricity supply based on 4E optimization of various hybrid renewable energy systems scenarios. *Energy Conversion and Management*, 325, 119357. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.119357>
- Hannah Ritchie (2022) - “Primary, secondary, final, and useful energy: Why are there different ways of measuring energy?” Published online at OurWorldinData.org.
Retrieved from: <https://ourworldindata.org/energy-definitions>
- Hassan, Q., Algburi, S., Sameen, A. Z., Salman, H. M., & Jaszczur, M. (2023). A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications. *Results in Engineering*, 101621.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101621>
- Hassan, Q., Sameen, A. Z., Salman, H. M., Jaszczur, M., & Al-Jiboory, A. K. (2023). Hydrogen energy future: Advancements in storage technologies and implications for sustainability. *Journal of Energy Storage*, 72, 108404.
<https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108404>
- Hassan, Q., Viktor, P., Al-Musawi, T. J., Ali, B. M., Algburi, S., Alzoubi, H. M., ... & Jaszczur, M. (2024). The renewable energy role in the global energy Transformations. *Renewable Energy Focus*, 48, 100545.
<https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100545>
- Hickel, J., 2020. The sustainable development index: measuring the ecological efficiency of human development in the anthropocene. *Ecol. Econ.* 167
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.011>
- Hidalgo, F. K. (2019). Productividad y competitividad del sector acuícola en el Perú.
<https://www.cultura-ciudadana.org/wp-content/uploads/2020/05/PAPER-FERNANDO-KLEEBERG.pdf>

- Instituto Tecnológico de la Producción (2023). Plan de negocio para la cadena productiva acuícola de tilapia en la región San Martín
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5769217/5125256-gd-pn-2023-02-plan-de-negocio_cadena-productiva-acuicola_tilapia_san-martin_opt.pdf?v=1707843724
- International Energy Agency 2024 Photovoltaic Power Systems Programme
<https://iea-pvps.org>
- IEA (2023). Energy Efficiency 2023 <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023>
- Ike, G. N., Usman, O., Alola, A. A., & Sarkodie, S. A. (2020). Environmental quality effects of income, energy prices and trade: the role of renewable energy consumption in G-7 countries. *Science of the Total Environment*, 721, 137813.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137813>
- IRENA (2020), *Electricity Storage Valuation Framework: Assessing system value and ensuring project viability*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
<https://www.irena.org/Publications/2020/Mar/Electricity-Storage-Valuation-Framework-2020>
- IRENA (2017), *Untapped potential for climate action: Renewable energy in Nationally Determined Contributions*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
<https://www.irena.org/publications/2017/Nov/Untapped-potential-for-climate-action-NDC>
- IRENA (2023), *Renewable power generation costs in 2022*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. <https://www.irena.org/publications>
- IRENA (2023), *Renewable energy for remote communities: A guidebook for off-grid projects*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
<https://www.irena.org/Publications/2023/Nov/Renewable-energy-for-remote-communities-A-guidebook-for-off-grid-projects>
- IRENA y CPI (2023), *Global landscape of renewable energy finance, 2023*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
<https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/Global-landscape-of-renewable-energy-finance-2023>
- IRENA and FAO. 2021. *Renewable energy for agri-food systems – Towards the Sustainable Development Goals and the Paris agreement*. Abu Dhabi and Rome.
<https://doi.org/10.4060/cb7433en>
- Jäger, K. D., Isabella, O., Smets, A. H., van Swaaij, R. A., & Zeman, M. (2016). *Solar energy: fundamentals, technology and systems*. UIT Cambridge.
- Jamroen, C. (2022). Optimal techno-economic sizing of a standalone floating photovoltaic/battery energy storage system to power an aquaculture aeration and monitoring system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 50, 101862.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101862>

- Jasim, A. M., Jasim, B. H., Flah, A., Bolshev, V., & Mihet-Popa, L. (2023). A new optimized demand management system for smart grid-based residential buildings adopting renewable and storage energies. *Energy Reports*, 9, 4018-4035.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.03.038>
- Jiménez Sáenz, J. (2018). Instructivo Para El Diseño, Construcción Y Manejo De Sistemas De Recirculación En El Cultivo De Paco.
<https://rnia.produce.gob.pe/wp-content/uploads/2019/02/RAS-2018.pdf>
- Kalogirou, (2023). Solar energy engineering: processes and systems. 2da Edition Elsevier.
- Kamal, M. M., Asharaf, I., & Fernandez, E. (2022). Optimal renewable integrated rural energy planning for sustainable energy development. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102581. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102581>
- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world:-A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 62, 1092-1105.<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.022>
- Khan, H. H. A., Ahmad, N., Yusof, N. M., & Chowdhury, M. A. M. (2024). Green finance and environmental sustainability: A systematic review and future research avenues. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 9784–9794.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-31809-6>
- Kleeberg, F. (2019). Productividad y competitividad del sector acuícola en el Perú. CIEPLAN, Santiago.
<https://www.cultura-ciudadana.org/wp-content/uploads/2020/05/PAPER-FERNANDO-KLEEGERG.pdf>
- Kumar, K. P., Atchuta, S. R., Prasad, M. S., Barshilia, H. C., & Sakthivel, S. (2024). Review on selective absorber coatings: a catalyst for enhanced solar energy efficiency. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 277, 113080.
<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2024.113080>
- Lamigueiro, O. P. (2020). Energía solar fotovoltaica. *Creative Commons ebook. España*. 192pp. <https://github.com/oscarperpinan/esf>
- Lazard, 2023. Levelized cost of energy – 16.0. Retrieved August 9, 2023, from. <https://www.lazard.com/research-insights/2023-levelized-cost-of-energyplus/>.
- Lee, N., Grunwald, U., Rosenlieb, E., Mirletz, H., Aznar, A., Spencer, R., & Cox, S. (2020). Hybrid floating solar photovoltaics-hydropower systems: Benefits and global assessment of technical potential. *Renewable Energy*, 162, 1415-1427.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.080>
- Liu, G., Arthur, M., Viglia, S., Xue, J., Meng, F., & Lombardi, G. V. (2020). Seafood-energy-water nexus: A study on resource use efficiency and the environmental areas seafood consumption in China. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124088.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124088>

- Liu, Y., Xu, X., Xu, L., Liu, Y., Yang, N., Jawad, S., ... & Hu, W. (2024). Collaborative water-electricity operation optimization of a photovoltaic/pumped storage-based aquaculture energy system considering water evaporation effects. *Renewable Energy*, 237, 121886.. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121886>
- Lucas, H., Carbajo, R., Machiba, T., Zhukov, E., & Cabeza, L. F. (2021). Improving public attitude towards renewable energy. *Energies*, 14(15), 4521. <https://doi.org/10.3390/en14154521>
- Majeed, Y., Khan, M. U., Waseem, M., Zahid, U., Mahmood, F., Majeed, F., ... & Raza, A. (2023). Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Energy Reports*, 10, 344-359. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.06.032>
- MacLeod, M. J., Hasan, M. R., Robb, D. H., & Mamun-Ur-Rashid, M. (2020). Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific reports*, 10(1), 11679. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-68231-8>
- Matuli , D., Andabaka, Ž., Radman, S., Fruk, G., Leto, J., Rošin, J., ... & Karoglan, M. (2023). Agrivoltaics and Aquavoltaics: Potential of Solar Energy Use in Agriculture and Freshwater Aquaculture in Croatia. *Agriculture*, 13(7), 1447. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071447>
- Maulana, D. W., Rizwan, F. M., Mulyana, C., Faizal, F., Panatarani, C., & Joni, I. M. (2020, June). Gravitational water vortex pico hydro power modeling for aquaculture implementation. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1568, No. 1, p. 012016). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1568/1/012016/meta>
- Ministerio de Energía y Minas (2011). Documento promotor 2012. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5318856/4770091-documento-promotor-2012.pdf>
- MINEM. (2016). Atlas eólico del Perú.
- MEM. (2011). Atlas del potencial hidroeléctrico del Perú
- MEM. (2015). Plan Energético Nacional 2014-2025. <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4821287-plan-energetico-nacional-2014-2025>
- MEM, (diciembre,2023). Boletín mensual de energías renovables. <https://eficienciaenergetica.minem.gob.pe/es-pe/pagina/boletin-mensual-de-energias-renovables-2023>
- Messina, D., y Contreras, R. (2019). “Sostenibilidad energética en América Latina y el Caribe: reporte de los indicadores del Objetivo de Desarrollo Sostenible 7”, *Documentos de Proyectos*, (LC/TS.2019/47), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2019. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44686-sostenibilidad-energetica-america-latina-caribe-reporte-indicadores-objetivo>

- Midilli, A., Kucuk, H., & Dincer, I. (2012). Environmental and sustainability aspects of a recirculating aquaculture system. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 31(4), 604-611. <https://doi.org/10.1002/ep.10580>
- Minam 2016. Objetivos de Desarrollo Sostenible e Indicadores <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/objetivos-desarrollo-sostenible-indicadores>
- Ministerio de energía y minas-Minem (2017). Atlas Eólico del Perú <https://minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=6&idPublicacion=537>
- Minem. (2015). Plan Energético Nacional 2014-2025. <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4821287-plan-energetico-nacional-2014-2025>
- Ministerio de la Producción rnia. Produce (2022) *Lineamientos y consideraciones para el desarrollo de una acuicultura sostenible*. <https://rnia.produce.gob.pe/lineamientos-y-consideraciones-para-el-desarrollo-de-una-acuicultura-sostenible/>
- Ministerio de producción (2024) Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola 2023 https://www.producempresarial.pe/wp-content/uploads/2024/09/Anuario_Estadistico-de-Pesca-y-Acuicultura_2023_09.09.2023-1-1.pdf
- Ministerio de producción DG. Acuicultura (2017) Especies cultivadas en el Perú: <https://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/boletines/FICHAS%20PRINCIPALES%20ESPECIES.pdf>
- Ministerio de producción RNIA (2023). Política Nacional de acuicultura al 2030 <https://rnia.produce.gob.pe/politica-nacional-de-acuicultura-al-2030-es-aprobada-por-el-gobierno-como-herramienta-de-gestion-para-el-fortalecimiento-de-esta-actividad-a-nivel-nacional/>
- Ministerio de producción-Produce (2022) Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola 2021 <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oe-documentos-publicaciones/publicaciones-anuales/item/1080-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2021>
- Mohammadpour, H., Cord-Ruwisch, R., Pivrikas, A., & Ho, G. (2021). Utilisation of oxygen from water electrolysis–Assessment for wastewater treatment and aquaculture. *Chemical Engineering Science*, 246, 117008. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.117008>
- Morales Castro, J. A., & Morales Castro, A. (2009). Proyectos de inversión: Evaluación y formulación. Mc Graw Hill
- Murali, S., Krishnan, V. S., Amulya, P. R., Alfiya, P. V., Delfiya, D. A., & Samuel, M. P. (2021). Energy and water consumption pattern in seafood processing industries and its optimization methodologies. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100242. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100242>
- Muir, J. F. (2015). Fuel and energy use in the fisheries sector: Approaches, inventories and strategic implications. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*, (C1080), I. <https://search.proquest.com/openview/9cc0d8def5b0beb0a20975d9088c31bd/1?pq-origsite=gscholar&cbl=237324>

- Naciones Unidas (2018), La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe.
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>
- Nallolla, C. A., & Perumal, V. (2022). Optimal design of a hybrid off-grid renewable energy system using techno-economic and sensitivity analysis for a rural remote location. *Sustainability*, 14(22), 15393. <https://doi.org/10.3390/su142215393>
- Namany, S., Al-Ansari, T., & Govindan, R. (2019). Optimisation of the energy, water, and food nexus for food security scenarios. *Computers & Chemical Engineering*, 129, 106513. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106513>
- Nassar, Y.F., El-Khozondar, H.J., Elnaggar, M., El-batta, F.F., El-Khozondar, R.J., Alsadi, S.Y., 2024a. Renewable energy potential in the State of Palestine: proposals for sustainability. *Renewable Energy Focus* 49, 100576. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100576>.
- Nassar, Y.F., El-Khozondar, H.J., El-Osta, W., Mohammed, S., Elnaggar, M., Khaleel, M., Ahmed, A., Alsharif, A., 2024b. Carbon footprint and energy life cycle assessment of wind energy industry in Libya. *Energy Convers. Manag.* 300, 117846. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117846>
- Nguyen, N. T., Matsushashi, R., & Vo, T. T. B. C. (2021). A design on sustainable hybrid energy systems by multi-objective optimization for aquaculture industry. *Renewable Energy*, 163, 1878-1894. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.024>
- Nyamathulla, S., & Dhanamjayulu, C. (2024). A review of battery energy storage systems and advanced battery management system for different applications: Challenges and recommendations. *Journal of Energy Storage*, 86, 111179. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111179>
- Odoi-Yorke, F., Abbey, A. A., Abaase, S., & Mahama, M. (2024). Evaluation of research progress and trends in mini-grids for rural electrification: A bibliometric analysis. *Energy Reports*, 12, 4083-4104. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.09.074>
- Olade (2019). Pobreza energética en América Latina y el Caribe.
<https://www.olade.org/publicaciones/dto-2019-008-pobreza-energetica-en-america-latina-y-el-caribe-una-propuesta-de-indicadores-que-midan-el-acceso-a-la-energia-con-enfoque-de-desigualdad-social-y-de-genero/>
- Olabi, A. G., Elsaid, K., Obaideen, K., Abdelkareem, M. A., Rezk, H., Wilberforce, T., ... & Sayed, E. T. (2023). Renewable energy systems: Comparisons, challenges and barriers, sustainability indicators, and the contribution to UN sustainable development goals. *International Journal of Thermofluids*, 20, 100498. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100498>
- Olatunde, T. M., Okwandu, A. C., Akande, D. O., & Sikhakhane, Z. Q. (2024). The impact of smart grids on energy efficiency: a comprehensive review. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(4), 1257-1269. <https://doi.org/10.51594/estj.v5i4.1016>

- Parker, R. W., Blanchard, J. L., Gardner, C., Green, B. S., Hartmann, K., Tyedmers, P. H., & Watson, R. A. (2018). Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries. *Nature Climate Change*, 8(4), 333-337.
https://www.nature.com/articles/s41558-018-0117-x#auth-Robert_W_R_-Parker-Aff1-Aff2
- Pasos, M., Rodríguez, A., Daniel, A., Wihelm, D. (2018). + Sun + Light: Practical Guide for the Implementation of Photovoltaic Systems in Social Infrastructure Projects. BID,
<http://dx.doi.org/10.18235/0001245>
- Patil, A., Arora, R., Arora, R., & Sridhara, S. N. (2024) Techno-Economic Analysis of Solar, Wind, and Biomass Hybrid Renewable Energy Systems to Meet Electricity Demand in Bhorha Village in Bihar, India. *Wind, and Biomass Hybrid Renewable Energy Systems to Meet Electricity Demand in Bhorha Village in Bihar, India*.
<https://doi.org/10.1016/j.jastp.2024.106362>
- Pereyra, R. T., & de Electricidad, D. G. (2011). Potencial de las Energías Renovables en el Perú. Ministerio de Energía y Minas-Perú.
https://www.academia.edu/download/46448264/3_Potencial_de_Energias_Renovables_DGE-Roberto_Tamayo.pdf
- Perpiñan, O., (2023). Energía solar fotovoltaica
<https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>
- Pesantez, J. P., Ríos Villacorta, A., & Redrován, J. G. (2021). Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro. *Revista Politécnica*, 47(2), 7-16.
<https://doi.org/10.33333/rp.vol47n2.01>
- Pringle, A. M., Handler, R. M., & Pearce, J. M. (2017). Aquavoltaics: Synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 572-584.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.191>
- Produce y ESAN (2019). Plan de Negocio Para la acuicultura industrial de la Tilapia en el Departamento de San Martín.
<https://rnia.produce.gob.pe/wp-content/uploads/2019/09/Plan-de-Negocio-para-la-Acuicultura-Industrial-de-la-Tilapia-en-el-departamento-de-San-Mart%C3%ADn.pdf>
- Produce. (2023). Anuario Estadístico Pesquero y Acuicola 2022
<https://ogeie.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oe-documentos-publicaciones/publicaciones-anuales/item/1116-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2022>
- Puri, M., Kojakovic, A., Rincon, L., Gallego, J., Vaskalis, I. & Maltsoğlu, I. (2023). *The small-scale fisheries and energy nexus – Opportunities for renewable energy interventions* [El nexo entre la pesca en pequeña escala y la energía: oportunidades para intervenciones en materia de energía renovable]. Rome, FAO.
<https://doi.org/10.4060/cc4903en>

- Quiroga Martínez, R. (2009). Methodological guide for developing environmental and sustainable development indicators in Latin American and Caribbean countries. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/7eb7c401-8e8f-47a1-8efa-6464247dd2e5>
- Rao, K. R. (2019). *Wind energy for power generation: meeting the challenge of practical implementation*. Springer Nature.
- Rahman, M. M., & Alam, K. (2022). The roles of globalization, renewable energy and technological innovation in improving air quality: Evidence from the world's 60 most open countries. *Energy Reports*, 8, 9889-9898. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.07.165>
- Rasooli, M., Beheshti, B., Parashkoochi, M. G., & Ghahdarijani, M. (2023). Evaluation of energy-economic and environmental consequences in different fish production systems using a life cycle assessment approach. *Environmental and Sustainability Indicators*, 18, 100231. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100231>
- Reikard, G. (2024). Forecasting the solar modulation potential: Tests of time series models. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 262, 106326. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2024.106326>
- Renewables 2023 Global Status Report collection, Renewables in Energy Demand* https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2023_Demand_Modules.pdf
- Rezk, H., & Dousoky, G. M. (2016). Technical and economic analysis of different configurations of stand-alone hybrid renewable power systems—A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 941-953. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.023>
- Riva, F., Tognollo, A., Gardumi, F., & Colombo, E. (2018). Long-term energy planning and demand forecast in remote areas of developing countries: Classification of case studies and insights from a modelling perspective. *Energy strategy reviews*, 20, 71-89. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.02.006>
- Ridwan, R., & Irawan, R. (2023, March). Varying the number of blades and holes to optimize aerator design for controlling dissolved oxygen. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2568, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0115876>
- Roy, D., Wang, R., Roy, S., Smallbone, A., & Roskilly, A. P. (2024). Hybrid renewable energy systems for sustainable power supply in remote location: Techno-economic and environmental assessment. *Energy Conversion and Management: X*, 24, 100793. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100793>
- Sadeghi, A., Maleki, A., & Haghighat, S. (2024). Techno-economic analysis and optimization of a hybrid solar-wind-biomass-battery framework for the electrification of a remote area: A case study. *Energy Conversion and Management: X*, 24, 100732. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100732>

- Saldarriaga, M., & Regalado, F. A. (2017). Potencial acuícola en el Perú. *Revista Moneda*, (172), 34-39. <https://www.bcrp.gob.pe/publicaciones/revista-moneda/revista-moneda-172.html>
- Sapag Chain, N., Sapag Chain, R., & Sapag, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. Mc Graw Hill educación.
- Sharma, R., Sinha, A., & Kautish, P. (2021). Does renewable energy consumption reduce ecological footprint? Evidence from eight developing countries of Asia. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124867. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124867>
- Zhu, Z., Song, Z., Xu, S., Wang, S., Chen, X., Wang, Y., & Zhu, Z. (2024). The development of fishery-photovoltaic complementary industry and the studies on its environmental, ecological and economic effects in China: a review. *Energy Nexus*, 100316. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2024.100316>
- Sawle, Y., Jain, S., Babu, S., Nair, A.R., Khan, B., 2021. Prefeasibility economic and sensitivity assessment of hybrid renewable energy system. *IEEE Access* 9, 28260–28271. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3058517>
- Schmerler, Daniel; Velarde, José Carlos; Rodríguez, Abel y Solís, Ben (Editores) (2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. Osinergmin. Lima-Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/606976/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf?v=1587587593>
- Scroggins, R. E., Fry, J. P., Brown, M. T., Neff, R. A., Asche, F., Anderson, J. L., & Love, D. C. (2022). Renewable energy in fisheries and aquaculture: Case studies from the United States. *Journal of Cleaner Production*, 376, 134153. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134153>
- Secretaría Distrital de Ambiente (2022). ‘Guía de formulación de proyectos empresariales para la sostenibilidad energética’. Bogota. https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=21484
- Silinto, B. F., van der Laag Yamu, C., Zuidema, C., & Faaij, A. P. (2025). Hybrid renewable energy systems for rural electrification in developing countries: A review on energy system models and spatial explicit modelling tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 207, 114916. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114916>
- Singh, S., Singh, M., & Kaushik, S. C. (2016). Optimal power scheduling of renewable energy systems in microgrids using distributed energy storage system. *IET Renewable Power Generation*, 10(9), 1328-1339. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2015.0552>
- Smith, K., Saxon, A., Keyser, M., Lundstrom, B., Cao, Z. & Roc, A. 2017. Life prediction model for gridconnected Li-ion battery energy storage system. *Proceedings of the American Control Conference*:4062–4068. <https://doi.org/10.23919/ACC.2017.7963578>

- Statista. 2024 Lithium-ion battery price worldwide 2013-2023
<https://www.statista.com/aboutus/our-research-commitment>
- Sturrock, H., Newton, R., Paffrath, S., Bostock, J., Muir, J., Young, J., ... & Dickson, M. (2008). Prospective analysis of the aquaculture sector in the EU. Part 2: characterisation of emerging aquaculture systems. <http://hdl.handle.net/1893/1439>
- Suthisripok, T., & Semsamran, P. (2018). The impact of biodiesel B100 on a small agricultural diesel engine. *Tribology International*, 128, 397-409.
<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.07.042>
- Superchi, F., Moustakis, A., Pechlivanoglou, G., & Bianchini, A. (2025). On the importance of degradation modeling for the robust design of hybrid energy systems including renewables and storage. *Applied Energy*, 377, 124645.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124645>
- Tarife, R., Nakanishi, Y., Chen, Y., Zhou, Y., Estoperez, N., & Tahud, A. (2022). Optimization of hybrid renewable energy microgrid for rural agricultural area in Southern Philippines. *Energies*, 15(6), 2251. <https://doi.org/10.3390/en15062251>
- United States of America Department of Energy. 2023. Fossil fuels. In: *US Department of Energy*. https://www.energy.gov/fossil?nrg_redirect=267443
- United states Environmental Protection Agency EPA (2024) Understanding Global Warming Potentials <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- Usman, O., Akadiri, S. S., & Adeshola, I. (2020). Role of renewable energy and globalization on ecological footprint in the USA: implications for environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(24), 30681-30693.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-09170-9>
- Vásquez, Arturo; Tamayo, Jesús y Julio Salvador (Editores) (2017). La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático. Osinergmin. Lima-Perú.
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf
- Vargas-Santander, K. G., Álvarez-Diez, S., Baixauli-Soler, S., & Belda-Ruiz, M. (2023). Developing a country's sustainability indicator: An analysis of the effect on trade openness. *Environmental and Sustainability Indicators*, 19, 100280.
<https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100280>
- Virreira, M. (2020). Evaluación financiera de proyectos de inversión métodos y aplicaciones. Santa Cruz: DIP-UPSA.
- Vo, T. T. E., Ko, H., Huh, J. H., & Park, N. (2021). Overview of solar energy for aquaculture: The potential and future trends. *Energies*, 14(21), 6923.
<https://doi.org/10.3390/en14216923>

- U.S. Energy Information Administration (Junio 2024)
<https://www.eia.gov/tools/glossary/index.php?id=C>
- U.S. Department of Energy, 2024. Hybrid Wind and Solar Electric Systems
<https://www.energy.gov/energysaver/hybrid-wind-and-solar-electric-systems>
- VTiC (2017). Uso de energías renovables en la acuicultura
https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/ACUICULTURA_002-2017.pdf
- VTiC Acuicultura. (2017). Eficiencia de los equipos fotovoltaicos como fuente energética para la Acuicultura en la Amazonía Peruana.
https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/ACUICULTURA_003-2017/files/assets/downloads/page0001.pdf
- Wambua, D. M. (2021). *Environmental and Energy Requirements for Different Production Densities of Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) in Recirculating Aquaculture Systems: Laboratory and Computer Simulation Studies* (Doctoral dissertation, JKUAT-COETEC). <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.07.019>
- Wang, J., & Azam, W. (2024). Natural resource scarcity, fossil fuel energy consumption, and total greenhouse gas emissions in top emitting countries. *Geoscience Frontiers*, 15(2), 101757. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101757>
- Wang, Y., Hu, Q., Li, L., Foley, A. M., & Srinivasan, D. (2019). Approaches to wind power curve modeling: A review and discussion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116, 109422. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109422>
- World Energy Council (2019)). World Energy Trilemma Index
<https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-index-2019>
- Xiao Z, Zhao Q, Yang X, Zhu AF (2020) A power performanceonline assessment method of awind turbine based on the probabilistic area metric. *Appl Sci*.
<https://doi.org/10.3390/app10093268>
- Xu, R., Farooq, U., Alam, M. M., & Dai, J. (2024). How does cultural diversity determine green innovation? New empirical evidence from Asia region. *Environmental Impact Assessment Review*, 106, Article 107458. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107458>
- Yang, M., Quan, Z., Wang, L., Liu, Z., Zhang, Q., Chang, Z., & Zhao, Y. (2024). Characteristics of heat, power generation, and energy efficiency study on a novel air-cooled PEMFC stack based on micro heat pipe arrays. *Applied Thermal Engineering*, 238, 122041. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.122041>
- Youssef, A. A., Barakat, S., Tag-Eldin, E., & Samy, M. M. (2023). Islanded green energy system optimal analysis using PV, wind, biomass, and battery resources with various economic criteria. *Results in Engineering*, 19, 101321.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101321>
- Zhang, R., Chen, T., Wang, Y., & Short, M. (2023). Systems approaches for sustainable fisheries: A comprehensive review and future perspectives. *Sustainable production and consumption*. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.08.013>

VII. ANEXOS

Anexo 1

Potencial de energía en San Martín - Perú

	Irradiacion solar 2013-2022											Velocidad del viento 2022 (m/s)															
Mes/año	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		Dia/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic			
Enero	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.6	7.4	7.6	7.6	7.5		1	1.1	2.1	1.1	1.2	0.8	1.1	1.1	1.0	1.2	0.9	1.3	1.7			
Febrero	7.5	7.2	7.4	7.2	7.5	7.4	7.3	7.4	7.5	7.4		2	1.2	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.2	1.1	1.8	1.8			
Marzo	7.3	7.1	7.2	7.0	7.3	7.3	7.1	7.2	7.3	7.3		3	1.3	1.2	1.0	1.0	0.9	0.7	0.8	1.0	1.0	1.1	1.4	1.6			
Abril	7.0	6.9	6.9	6.9	6.8	6.9	6.8	6.9	6.9	6.9		4	1.5	1.1	1.3	1.0	0.8	0.7	1.0	0.9	0.9	1.2	1.1	1.3			
Mayo	6.3	6.3	6.3	6.4	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.4		5	1.6	1.3	1.4	0.8	1.0	0.9	0.9	1.2	1.0	1.2	1.1	1.2			
Junio	6.1	6.1	6.0	6.1	6.0	6.1	6.1	6.1	6.0	6.1		6	1.3	1.2	1.4	0.8	1.0	0.9	0.8	1.1	1.0	0.9	1.1	0.9			
Julio	6.3	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	6.3	6.2	6.3	6.2		7	1.3	0.8	1.5	1.0	1.1	0.9	1.0	1.2	1.2	0.9	1.0	1.0			
Agosto	6.7	6.6	6.6	6.7	6.6	6.7	6.5	6.7	6.5	6.6		8	1.6	1.0	1.3	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	0.8			
Setiembre	7.3	7.1	7.1	7.1	6.6	7.2	7.1	6.9	7.1	7.2		9	1.4	1.0	1.0	0.7	0.9	1.1	0.8	1.0	1.2	1.0	1.2	0.9			
Agosto	7.5	7.4	7.3	7.5	7.5	7.4	7.4	7.6	7.6	7.5		10	1.5	1.2	1.0	0.9	1.1	1.0	0.9	1.1	1.0	1.2	1.4	0.8			
Octubre	7.6	7.5	7.4	7.6	7.5	7.4	7.5	7.4	7.6	7.6		11	1.3	1.3	1.3	0.9	1.0	1.2	0.9	1.2	1.0	1.2	1.1	1.0.8			
Noviembre	7.5	7.4	7.3	7.4	7.3	7.3	7.4	7.4	7.5	7.6		12	0.9	1.1	1.1	0.9	1.1	1.4	1.0	1.0	1.3	1.4	1.1	1.0			
Diciembre	7.0	6.9	6.9	7.0	6.9	7.0	6.9	7.0	7.1	7.0		13	0.7	0.9	1.1	0.8	0.9	1.3	0.9	1.1	1.3	1.4	1.3	0.9			
Max	7.6	7.5	7.4	7.6	7.5	7.6	7.5	7.6	7.6	7.6		14	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	1.1	1.2	1.0	1.3	1.3	1.2	1.0			
min	6.1	6.1	6.0	6.1	6.0	6.1	6.1	6.1	6.0	6.1		15	1.0	1.3	1.3	0.9	0.9	1.2	1.3	1.1	1.2	0.8	1.3	1.2			
Prom	6.8	6.8	6.7	6.9	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.9		16	1.0	1.1	0.8	0.9	0.8	1.0	1.4	1.2	1.1	1.0	0.8	1.3			
												17	1.2	1.1	1.0	0.9	0.7	1.2	0.7	1.3	1.0	0.9	0.6	1.1			
												18	1.2	1.3	1.4	0.8	0.9	1.0	0.9	1.5	1.3	0.8	1.0	1.6			
												19	1.2	1.5	1.1	0.9	1.0	0.9	1.1	1.2	1.2	0.8	0.9	1.4			
												20	1.0	1.7	0.6	0.8	0.9	0.8	1.0	1.8	1.0	1.0	0.9	1.4			
												21	1.2	1.3	0.7	0.9	0.9	0.7	0.9	1.4	1.2	1.4	1.1	1.1			
												22	1.2	0.9	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.1	1.3	1.2	1.2			
												23	1.3	1.0	1.1	1.0	1.2	1.0	1.1	1.2	0.9	1.0	0.9	1.2			
												24	1.2	1.0	1.1	0.9	1.2	1.0	1.2	1.2	0.7	1.1	0.8	1.4			
												25	1.0	1.2	1.1	1.0	0.8	0.7	1.0	1.1	1.1	1.0	1.2	1.5			
												26	1.0	1.1	1.0	0.8	0.8	1.0	0.9	1.1	1.1	1.3	1.5	1.3			
												27	1.1	0.9	1.0	0.5	0.8	1.1	0.8	1.1	1.0	0.7	1.2	1.2			
												28	1.3	1.0	0.6	0.7	0.9	0.9	0.8	0.9	1.3	1.4	1.0	1.3			
												29	1.4		0.9	0.8	0.9	1.2	0.9	1.1	1.3	1.3	1.0	1.2			
												30	1.7		1.1	0.6	0.9	1.0	0.9	1.2	0.9	1.3	1.4	1.1			
												31	1.8		1.3		0.8		1.0	1.2		1.4		1.0			
												Prom	1.2	1.2	1.1	1.2	0.9	1.0	1.0	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2			

Anexo 2

Potencial energético en Piura - Perú

	Irradiacion solar 2013-2022											Velocidad del viento 2022 (m/s)														
Mes/año	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		Dia/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic		
Enero	7.2	7.3	7.2	7.2	7.2	7.3	7.2	7.3	7.2	7.2		1	3.0	3.5	3.4	2.1	3.4	2.2	2.8	3.0	3.2	2.6	2.9	3.5		
Febrero	7.4	7.2	7.3	7.0	7.3	7.3	7.2	7.2	7.3	7.2		2	3.0	3.5	2.1	2.3	2.8	2.2	2.5	2.8	2.9	3.0	2.4	3.2		
Marzo	7.2	7.2	7.2	7.0	7.2	7.1	7.0	7.2	7.2	7.2		3	3.1	3.6	2.2	2.9	3.2	2.0	2.6	2.9	2.6	3.4	3.6	3.7		
Abril	6.9	6.8	6.8	6.8	6.8	6.9	6.8	6.8	6.8	6.8		4	3.1	2.9	3.1	2.2	3.0	2.6	3.0	2.6	2.9	3.8	3.3	3.7		
Mayo	6.3	6.3	6.2	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.2	6.3		5	3.1	3.3	3.2	2.6	1.9	3.3	3.4	2.7	3.0	3.3	3.0	3.4		
Junio	6.1	6.0	6.0	6.0	6.0	6.1	6.0	6.0	6.0	6.1		6	3.1	3.2	2.7	2.6	2.6	2.5	2.9	3.2	3.0	3.2	2.6	3.3		
Julio	6.2	6.2	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2		7	3.1	2.5	3.3	3.1	3.1	2.7	2.2	3.0	3.2	2.9	2.8	3.7		
Agosto	6.7	6.5	6.6	6.6	6.6	6.7	6.5	6.7	6.5	6.5		8	3.1	2.8	3.3	2.5	3.5	2.4	3.0	2.6	3.1	3.1	2.8	3.2		
Setiembre	7.2	7.1	7.0	7.0	6.9	7.1	7.1	7.0	7.1	6.9		9	3.1	3.1	3.4	2.2	3.4	2.7	3.5	2.3	2.7	3.2	3.1	3.4		
Agosto	7.4	7.3	7.2	7.4	7.4	7.4	7.3	7.4	7.3	7.4		10	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	2.8	2.8	3.2	3.1	2.8	2.7		
Octubre	7.4	7.3	7.2	7.5	7.4	7.2	7.3	7.3	7.3	7.3		11	3.1	3.0	3.2	2.8	2.7	3.0	2.7	2.8	3.4	3.3	2.9	2.8		
Noviembre	7.2	7.1	7.1	7.2	7.2	7.1	7.1	7.1	7.2	7.2		12	3.1	3.1	2.7	2.4	2.8	3.3	2.3	2.6	3.0	3.6	3.3	2.9		
Diciembre	6.9	6.9	6.8	6.9	6.9	6.9	6.8	6.9	6.9	6.9		13	3.2	2.9	3.1	3.2	2.9	2.8	2.8	2.6	3.2	3.0	3.4	2.3		
Max	7.4	7.3	7.3	7.5	7.4	7.4	7.3	7.4	7.3	7.4		14	3.2	2.5	2.5	3.0	3.0	3.3	3.0	3.3	3.1	3.1	3.2	2.6		
min	6.1	6.0	6.0	6.0	6.0	6.1	6.0	6.0	6.0	6.1		15	3.2	3.0	2.6	3.3	2.7	3.5	2.9	3.3	2.6	2.9	2.8	3.1		
	6.8	6.7	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7		16	3.2	3.0	2.4	3.8	2.5	3.5	2.9	2.8	2.9	3.8	3.1	3.6		
												17	3.2	2.9	2.5	3.6	2.0	2.9	2.5	2.8	3.6	3.3	2.2	3.0		
												18	3.2	3.5	3.1	3.1	2.6	2.7	3.0	3.2	3.3	2.8	3.3	2.7		
												19	3.2	3.4	2.6	2.2	2.7	2.9	2.9	2.9	3.1	3.0	3.1	2.8		
												20	3.2	3.2	2.8	2.2	2.7	2.6	3.3	3.4	2.9	3.1	3.4	3.5		
												21	3.2	3.6	2.0	2.9	3.1	2.4	3.3	3.6	3.2	3.3	3.5	3.3		
												22	3.2	3.6	2.8	2.6	3.2	3.0	2.6	3.0	2.6	3.0	3.3	3.0		
												23	3.3	3.5	3.1	3.1	2.5	2.9	2.6	3.1	2.6	3.1	3.3	3.4		
												24	3.3	3.1	2.9	2.6	3.1	2.7	2.8	3.1	2.6	2.9	3.1	3.1		
												25	3.3	2.7	2.7	2.7	2.4	2.0	2.9	2.9	3.4	2.7	3.0	2.9		
												26	3.3	2.4	2.9	2.9	2.4	2.5	3.0	3.2	2.8	3.3	2.9	2.9		
												27	3.3	2.5	2.1	2.7	2.9	3.3	3.0	3.5	3.1	3.5	2.5	3.6		
												28	3.3	3.2	2.3	2.6	2.8	2.7	2.9	2.7	3.1	3.2	3.4	4.1		
												29	3.3		2.4	2.9	2.9	2.6	2.5	2.8	3.3	3.2	3.5	4.0		
												30	3.3		2.9	3.5	3.0	2.9	3.1	3.9	3.1	3.1	3.2	3.7		
												31	3.3		2.2		3.2		2.9	3.7		3.1		4.3		
												Prom	3.2	3.1	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	3.0	3.0	3.2	3.1	3.3		

Anexo 3

Sistemas más óptimos según análisis de sensibilidad para 120kWh/día-LA San Martin- Perú

Arquitectura (TdN=6% ; P _{comb} =1\$/L)				Costo				Sistema				Generador				PV	
PV (kW)	Gen (kW)	LA (1kWh)	Conver. (kW)	VAN (\$)	COE (\$)	Cost. Op. (\$/año)	C.Inicial (\$)	rac. Reno (%)	Comb. T. (L/año)	Prod. Ele. kWh/año	CO2 (kg/año)	Prod. (kWh)	Comb. (L)	O&M (\$/año)	C. Comb. (\$/año)	Costo Cap. (\$)	Prod. (kWh/año)
19	17	75	10	282781	0.51	15059	90279	37	8528	50563	22322	27472	8528	1098	8528	56285	23091
	17	29	4	332296	0.59	24548	18494	0	16477	45901	43129	45901	16477	3030	16477		
0	17			384962	0.69	29412	8973	0	20236	50673	52969	50479	20236	4468	20236	473	194
	17			384966	0.69	29450	8500	0	20274	50644	53071	50644	20274	4468	20274		
61		307	26	387403	0.72	8289	281443	100	0	74462	0					181503	74462
Arquitectura (TdN=6% ; P _{comb} =2\$/L)				Costo				Sistema				Generador				PV	
PV (kW)	Gen (kW)	LA (1kWh)	Conver. (kW)	VAN (\$)	COE (\$)	Cost. Op. (\$/año)	C.Inicial (\$)	rac. Reno (%)	Comb. T. (L/año)	Prod. Ele. kWh/año	CO2 (kg/año)	Prod. (kWh)	Comb. (L)	O&M (\$/año)	C. Comb. (\$/año)	Costo Cap. (\$)	Prod. (kWh/año)
31	17	111	9	382869	0.68	19118	138483	52	6357	59461	16641	20848	6357	772	12715	94122	38613
61		307	26	387403	0.72	8289	281443	100	0	74462	0					181503	74462
	17	39	5	539426	0.96	40493	21790	0	16052	47093	42018	47093	16052	2651	32104		
4	17			638044	1.14	48360	19844	0	19573	52326	51236	47673	19573	4468	39147	11344	4654
	17			644142	1.15	49724	8500	0	20274	50644	53071	50644	20274	4468	40549		
Arquitectura (TdN=12% ; P _{comb} =1\$/L)				Costo				Sistema				Generador				PV	
PV (kW)	Gen (kW)	LA (1kWh)	Conver. (kW)	VAN (\$)	COE (\$)	Cost. Op. (\$/año)	C.Inicial (\$)	rac. Reno (%)	Comb. T. (L/año)	Prod. Ele. kWh/año	CO2 (kg/año)	Prod. (kWh)	Comb. (L)	O&M (\$/año)	C. Comb. (\$/año)	Costo Cap. (\$)	Prod. (kWh/año)
12	17	38	9	200290	0.583036	17943	59562	23	11070	48756	28976	33554	11070	1692	11070	37055	15202
	17	27	4	210140	0.611708	24521	17822	0	16580	45713	43399	45713	16580	3109	16580		
	17			239422	0.6969464	29443	8500	0	20274	50644	53071	50644	20274	4468	20274		
0	17			239602	0.697471	29405	8973	0	20236	50673	52969	50479	20236	4468	20236	473	194
59		322	21	341500	#####	7845	279974	100	0	72665	0					177124	72665
Arquitectura (TdN=12% ; P _{comb} =2\$/L)				Costo				Sistema				Generador				PV	
PV (kW)	Gen (kW)	LA (1kWh)	Conver. (kW)	VAN (\$)	COE (\$)	Cost. Op. (\$/año)	C.Inicial (\$)	rac. Reno (%)	Comb. T. (L/año)	Prod. Ele. kWh/año	CO2 (kg/año)	Prod. (kWh)	Comb. (L)	O&M (\$/año)	C. Comb. (\$/año)	Costo Cap. (\$)	Prod. (kWh/año)
22	17	89	8	277403	0.81	22273	102716	42	8053	52372	21080	25598	8053	1080	16106	65262	26774
	17	35	5	338104	0.98	40493	20509	0	16174	46706	42339	46706	16174	2766	32349		
59		322	21	341500	1.03	7845	279974	100	0	72665	0					177124	72665
2	17			397701	1.16	49020	13227	0	19918	51074	52138	49134	19918	4468	39837	4727	1939
	17			398437	1.16	49717	8500	0	20274	50644	53071	50644	20274	4468	40549		

Anexo 4

Sistemas más óptimos según análisis de sensibilidad para 120kWh/día-LI San Martin- Perú

Arquitectura (TdN=6% ; P _{comb} =1\$/L)				Costo				Sistema				Generador				PV	
PV (kW)	Gen (kW)	LI (1kWh)	Conver. (kW)	VAN (\$)	COE (\$)	Cost. Op. (\$/año)	C.Inicial (\$)	rac. Reno (%)	Comb. T. (L/año)	Prod. Ele. kWh/año	CO2 (kg/año)	Prod. (kWh)	Comb. (L)	O&M (\$/año)	C. Comb. (\$/año)	Costo Cap (\$)	Prod. kWh/año
19	17	40	13	253408	0.45	12654	91644	35	8355	51930	21869	28386	8355	889	8355	57390	23544
	17	19	12	296511	0.53	21420	22688	0	14588	49182	38185	49182	14588	1600	14588		
73		160	15	367688	0.68	4323	312423	100	0	90217	0					219907	90217
0	17			384962	0.69	29412	8973	0	20236	50673	52969	50479	20236	4468	20236	473	194
	17			384966	0.69	29450	8500	0	20274	50644	53071	50644	20274	4468	20274		
Arquitectura (TdN=6% ; P _{comb} =2\$/L)				Costo				Sistema				Generador				PV	
PV (kW)	Gen (kW)	LI (1kWh)	Conver. (kW)	VAN (\$)	COE (\$)	Cost. Op. (\$/año)	C.Inicial (\$)	rac. Reno (%)	Comb. T. (L/año)	Prod. Ele. kWh/año	CO2 (kg/año)	Prod. (kWh)	Comb. (L)	O&M (\$/año)	C. Comb. (\$/año)	Costo Cap (\$)	Prod. kWh/año
46.4	17	105	16	336522	0.60	9878	210245	84	2948	64089	7718	7030	2948	692	5897	139083	57059
73.3		160	15	367688	0.68	4323	312423	100	0	90217	0					219907	90217
	17	19	14	483803	0.86	36037	23129	0	14565	49357	38126	49357	14565	1566	29130		
3.8	17			638044	1.14	48360	19844	0	19573	52326	51236	47673	19573	4468	39147	11344	4654
	17			644142	1.15	49724	8500	0	20274	50644	53071	50644	20274	4468	40549		
Arquitectura (TdN=12% ; P _{comb} =1\$/L)				Costo				Sistema				Generador				PV	
PV (kW)	Gen (kW)	LI (1kWh)	Conver. (kW)	VAN (\$)	COE (\$)	Cost. Op. (\$/año)	C.Inicial (\$)	rac. Reno (%)	Comb. T. (L/año)	Prod. Ele. kWh/año	CO2 (kg/año)	Prod. (kWh)	Comb. (L)	O&M (\$/año)	C. Comb. (\$/año)	Costo Cap (\$)	Prod. kWh/año
11.3	17	17	11	177174	0.52	15584	54950	20	10568	48869	27663	34975	10568	1242	10568	33867	13894
	17	16	10	189281	0.55	21544	20307	0	14757	48867	38629	48867	14757	1731	14757		
	17			239422	0.70	29443	8500	0	20274	50644	53071	50644	20274	4468	20274		
0.2	17			239602	0.70	29405	8973	0	20236	50673	52969	50479	20236	4468	20236	473	194
62.3		198	15	335660	1.01	4509	300291	100	0	76640	0					186812	76640
Arquitectura (TdN=12% ; P _{comb} =2\$/L)				Costo				Sistema				Generador				PV	
PV (kW)	Gen (kW)	LI (1kWh)	Conver. (kW)	VAN (\$)	COE (\$)	Cost. Op. (\$/año)	C.Inicial (\$)	rac. Reno (%)	Comb. T. (L/año)	Prod. Ele. kWh/año	CO2 (kg/año)	Prod. (kWh)	Comb. (L)	O&M (\$/año)	C. Comb. (\$/año)	Costo Cap (\$)	Prod. kWh/año
19.2	17	42	13	253646	0.74	20449	93261	36	8230	51690	21542	28045	8230	865	16459	57634	23644
	17	19	12	304304	0.89	35906	22688	0	14576	49308	38155	49308	14576	1578	29153		
62.3		198	15	335660	1.01	4509	300291	100	0	76640	0					186812	76640
1.6	17			397701	1.16	49020	13227	0	19918	51074	52138	49134	19918	4468	39837	4727	1939
	17			398437	1.16	49717	8500	0	20274	50644	53071	50644	20274	4468	40549		

Anexo 5

Sistemas más óptimos según análisis de sensibilidad para 120kWh/día-LA Piura - Perú

Arquitectura (P _{comb} =1\$/L; V=3m/s)					Costo				Sistema				Generador				PV		G3	
PV	G3	Gen	LA	Convert.	NPC	COE	C. oper.	C. Inicial	Frac. Renov	Comb	Elec.	CO ₂	Prod.	Comb.	O & M	Comb.	Cost. C.	Prod.	C. costo	Prod.
(kW)	cant	(kW)	1kWh	(kW)	(\$)	(\$)	(\$/año)	(\$)	(%)	(L/año)	(kWh/año)	(kg/año)	(kWh)	(L)	(\$/año)	(\$/año)	(\$)	(kWh/año)	(\$)	(kWh/año)
21.70		17	79	7.09	254463	0.45	12129	99419	60	6499	53010	17011	17521	6499	1269	6499	65092	35489		
22.30	1	17	77	7.04	276677	0.49	12365	118613	61	6312	54207	16523	17041	6312	1230	6312	66901	36475	18000	691
43.95			190	15.00	292372	0.54	7747	193341	100	0	71881	0					131840	71881		
40.33	1		215	14.85	313826	0.58	8282	207956	100	0	66661	0					121000	65970	18000	691
		17	29	4.31	332296	0.59	24548	18494	0	16477	45901	43129	45901	16477	3030	16477				
	1	17	31	4.51	354314	0.63	24810	37154	0	16192	46091	42385	45400	16192	2941	16192			18000	691
1.70		17			383910	0.69	28968	13605	0	19775	51312	51765	48529	19775	4468	19775	5105	2783		
		17			384966	0.69	29450	8500	0	20274	50644	53071	50644	20274	4468	20274				
1.51	1	17			407713	0.73	29466	31038	0	19723	51470	51626	48306	19723	4468	19723	4538	2474	18000	691
	1	17			408526	0.73	29885	26500	0	20156	50835	52762	50144	20156	4468	20156			18000	691

Arquitectura (P _{comb} =2\$/L; V=3m/s)					Costo					Sistema			Generador				PV		G3	
PV	G3	Gen	LA	Convert.	NPC	COE	C. oper.	C. Inicial	Frac. Renov	Comb	Elec.	CO ₂	Prod.	Comb.	O & M	Comb.	Cost. C.	Prod.	C. costo	Prod.
(kW)	cant	(kW)	1kWh	(kW)	(\$)	(\$)	(\$/año)	(\$)	(%)	(L/año)	(kWh/año)	(kg/año)	(kWh)	(L)	(\$/año)	(\$/año)	(\$)	(kWh/año)	(\$)	(kWh/año)
44			190	15	292372	0.5	7747	193341	100	0	71881	0					131840	71881		
40	1		215	15	313826	0.6	8282	207956	100	0	66661	0					121000	65970	18000	691
35		17	180	16	315539	0.6	11275	171408	91	1614	60463	4224	3770	1614	389	3227	103984	56693		
35	1	17	181	16	337223	0.6	11400	191491	92	1455	61801	3808	3386	1455	352	2909	105875	57724	18000	691
		17	39	5	539426	1.0	40493	21790	0	16052	47093	42018	47093	16052	2651	32104				
	1	17	38	5	558508	1.0	40597	39537	0	15810	47275	41385	46584	15810	2586	31620			18000	691
4		17			633328	1.1	47947	20411	0	19366	53287	50692	46793	19366	4468	38732	11911	6494		
		17			644142	1.2	49724	8500	0	20274	50644	53071	50644	20274	4468	40549				
4	1	17			656538	1.2	48398	37844	0	19316	53459	50562	46583	19316	4468	38632	11344	6185	18000	691
	1	17			666193	1.2	50041	26500	0	20156	50835	52762	50144	20156	4468	40313			18000	691

Anexo 6

Sistemas más óptimos según análisis de sensibilidad para 120kWh/día-LI Piura- Perú

Arquitectura (P _{comb} =1\$/L; V=3m/s)					Costo					Sistema			Generador				PV		G3	
PV	G3	Gen	LI	Convert.	NPC	COE	C. oper.	C. Inicial	rac. Reno	Comb	Elec.	CO ₂	Prod.	Comb.	O & M	Comb.	Cost. C.	Prod.	C. costo	Prod.
(kW)	cant	(kW)	lkWh	(kW)	(\$)	(\$)	(\$/año)	(\$)	(%)	(L/año)	(kWh/año)	(kg/año)	(kWh)	(L)	(\$/año)	(\$/año)	(\$)	(kWh/año)	(\$)	(kWh/año)
17.6		17.00	56.00	8.15	252860.0	0.5	12373.8	94681.3	40.4	8116.2	49253.1	21245.0	26119.3	8116.2	1048.1	8116.2	52937.5	23133.8		
17.6	1.0	17.00	53.00	8.15	274951.4	0.5	12822.9	111031.3	41.5	8003.3	49426.4	20949.5	25604.6	8003.3	1052.6	8003.3	52937.5	23133.8	18000.0	688.0
		17.00	32.00	6.67	306588.8	0.5	21785.2	28100.3	0.0	15072.1	47104.4	39453.0	47104.4	15072.1	2123.6	15072.1				
	1.0	17.00	31.00	6.66	328226.5	0.6	22113.1	45546.9	0.0	14880.4	47076.4	38951.1	46388.4	14880.4	2111.4	14880.4			18000.0	688.0
0.8		17.00			384847.5	0.7	29263.0	10768.8	0.0	20080.1	50811.7	52562.1	49820.3	20080.1	4467.6	20080.1	2268.8	991.4		
		17.00			384966.1	0.7	29449.7	8500.0	0.0	20274.5	50643.7	53070.7	50643.7	20274.5	4467.6	20274.5				
0.8	1.0	17.00			408483.3	0.7	29703.8	28768.8	0.0	19968.0	51024.6	52268.6	49345.1	19968.0	4467.6	19968.0	2268.8	991.4	18000.0	688.0
	1.0	17.00			408540.3	0.7	29885.8	26500.0	0.0	20157.5	50836.2	52764.6	50148.2	20157.5	4467.6	20157.5			18000.0	688.0
91.4			158.00	21.55	431232.0	0.8	4974.5	367640.7	100.0	0.0	119859.4	0.0					274276.3	119859.4		
81.5	1.0		181.00	20.63	444763.1	0.8	5987.0	368229.1	100.0	0.0	107530.3	0.0					244489.0	106842.3	18000.0	688.0

Arquitectura (P _{comb} =2\$/L; V=3m/s)					Costo					Sistema			Generador				PV		G3	
PV	G3	Gen	LI	Convert.	NPC	COE	C. oper.	C. Inicial	rac. Reno	Comb	Elec.	CO ₂	Prod.	Comb.	O & M	Comb.	Cost. C.	Prod.	C. costo	Prod.
(kW)	cant	(kW)	lkWh	(kW)	(\$)	(\$)	(\$/año)	(\$)	(%)	(L/año)	(kWh/año)	(kg/año)	(kWh)	(L)	(\$/año)	(\$/año)	(\$)	(kWh/año)	(\$)	(kWh/año)
36.6		17.0	114.0	16.0	333005	0.6	11512.7	185835	71.4	3731.8	60541.5	9768.4	12548.6	3731.8	413.6	7463.6	109823	47992.9		
35.3	1.0	17.0	116.0	15.7	353888	0.6	11969.4	200879	71.4	3719.0	59462.2	9734.9	12506.6	3719.0	412.1	7438.0	105875	46267.6	18000	688
91.4			158.0	21.5	431232	0.8	4974.5	367641	100.0	0.0	119859.4	0.0					274276	119859.4		
81.5	1.0		181.0	20.6	444763	0.8	5987.0	368229	100.0	0.0	107530.3	0.0					244489	106842.3	18000	688
		17.0	19.0	12.7	494573	0.9	36909.4	22747	0.0	14582.9	49242.9	38172.3	49242.9	14582.9	1590.2	29165.7				
	1.0	17.0	19.0	13.5	513178	0.9	36937.8	40988	0.0	14353.4	49232.4	37571.7	48544.5	14353.4	1555.5	28706.9			18000	688
3.6		17.0			637022	1.1	48324.2	19277	0.0	19556.5	52310.6	51191.4	47601.3	19556.5	4467.6	39113.0	10777	4709.4		
		17.0			644142	1.2	49724.2	8500	0.0	20274.5	50643.7	53070.7	50643.7	20274.5	4467.6	40548.9				
3.8	1.0	17.0			659786	1.2	48652.5	37844	0.0	19443.2	52766.4	50894.9	47121.2	19443.2	4467.6	38886.5	11344	4957.2	18000	688
	1.0	17.0			666221	1.2	50043.3	26500	0.0	20157.5	50836.2	52764.6	50148.2	20157.5	4467.6	40315.1			18000	688