

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO**



**Evaluación Técnico-Económico para la Instalación de una Planta Solar de 5
MW en la ciudad de Lima-Cajamarquilla 2024-2026**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA**

QUE PRESENTA:

Edward Hugo, Vargas Candia

ASESOR

O'Brien, Caceres Juan

Surco, agosto, 2025


Declaración Jurada de Autenticidad

Yo, Juan O'Brien Cáceres, docente del Departamento Académico de Posgrado en Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis/el trabajo de investigación titulado ...Evaluación técnico económico para la instalación de una Evaluación Técnico-Económica para la Instalación de una Planta Solar de 5 MW en la ciudad de Lima-Cajamarquilla 2024-2026.

del autorEdward Hugo Vargas Candia, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 17%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 08/02/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima 10 de febrero del 2025.

Apellidos y nombres del asesor :	
<u>O'Brien, Cáceres Juan</u>	
DNI: 07873020	 Firma
ORCID: 0000-0002-1019-2224	

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mi asesor, Juan O'Brien por su guía experta, paciencia y constante apoyo a lo largo de este proceso. Sus valiosos comentarios y sugerencias han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mi familia, especialmente a mi esposa Nathaly Silva Corimanya y a mi hija Gianella Vargas Silva, por su amor y por ser mi fuente constante de motivación y aliento durante todo el proceso. Su comprensión y apoyo han sido un pilar fundamental en la culminación de este proyecto.

A mis amigos y compañeros, por su compañerismo y por ofrecerme su ayuda y apoyo moral. Las conversaciones y el intercambio de ideas han sido muy enriquecedores y motivadores.

Finalmente, quiero agradecer a todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron a la realización de esta tesis, ya sea a través de apoyo emocional, asesoría técnica, o con sus palabras de aliento. A todos ustedes, muchas gracias.

Dedicatorias

Dedico esta tesis a mi familia, que ha sido mi mayor fuente de apoyo y fortaleza a lo largo de mi carrera académica. A mis padres, por su amor incondicional, su paciencia, y sus sacrificios, que me han permitido alcanzar mis metas. A mis hermanos, por su constante ánimo y por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles. Y, por último, pero no menos importante a mi esposa y mi hija por tu amor y apoyo incondicional. Esta tesis es el resultado de su inquebrantable apoyo y creencia en mí.



Resumen

La tesis aborda el análisis integral de la viabilidad de instalar una planta solar fotovoltaica con una capacidad de 5 MW en el período 2024-2026. El estudio se centra en dos aspectos fundamentales: la evaluación técnica y la evaluación económica del proyecto.

La primera parte del estudio examina la viabilidad técnica del proyecto, considerando factores como la ubicación, el diseño del sistema fotovoltaico, y la tecnología utilizada. Se realiza un análisis detallado del potencial solar de la región, la selección de paneles solares e inversores, y la planificación de la infraestructura necesaria. La evaluación técnica incluye también el análisis de la integración del sistema con la red eléctrica y las consideraciones de mantenimiento y operación a largo plazo.

La segunda parte del estudio se enfoca en la viabilidad financiera del proyecto. Se elaboran proyecciones de costos e ingresos, incluyendo los costos de inversión inicial, los costos operativos y de mantenimiento, y las posibles fuentes de financiamiento. Se utilizan herramientas de análisis económico, como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), y el Periodo de Recuperación, para evaluar la rentabilidad del proyecto. Además, se realiza un análisis de sensibilidad para identificar los riesgos y las variables críticas que pueden afectar la viabilidad económica del proyecto.

El estudio concluye que, con base en los análisis técnico y económico realizados, la instalación de la planta solar de 5 MW es viable y representa una inversión atractiva, tanto desde el punto de vista financiero como técnico. La planta no solo contribuirá a la diversificación de la matriz energética, sino que también generará beneficios ambientales al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Abstract

This thesis presents a comprehensive analysis of the feasibility of installing a 5 MW photovoltaic solar plant during the 2024-2026 period. The study focuses on two fundamental aspects: the technical and economic evaluation of the project.

Technical Evaluation: The first part of the study examines the technical feasibility of the project, considering factors such as location, system design, and the technology used. A detailed analysis of the region's solar potential, the selection of solar panels and inverters, and the planning of the necessary infrastructure is conducted. The technical evaluation also includes the analysis of system integration with the electrical grid and considerations for long-term maintenance and operation.

Economic Evaluation: The second part of the study focuses on the financial viability of the project. Projections of costs and revenues are developed, including initial investment costs, operational and maintenance costs, and potential sources of financing. Economic analysis tools, such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period, are used to assess the project's profitability. Additionally, a sensitivity analysis is conducted to identify risks and critical variables that could affect the project's economic viability.

The study concludes that, based on the technical and economic analyses conducted, the installation of the 5 MW solar plant is feasible and represents an attractive investment from both a financial and technical perspective. The plant will not only contribute to the diversification of the energy matrix but also generate environmental benefits by reducing greenhouse gas emissions.

Tabla de Contenidos

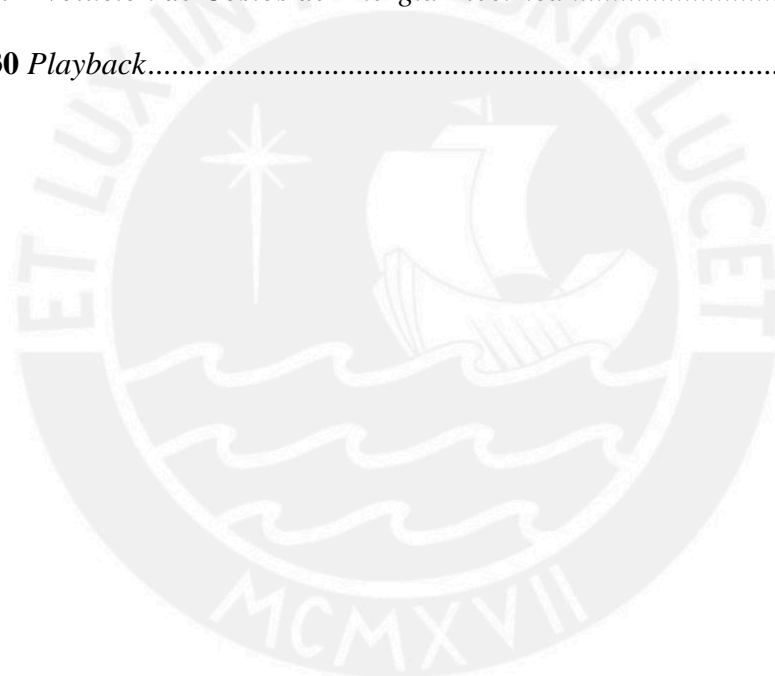
Lista de Figuras	xi
Lista de tablas	xi
Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Propósito de la Investigación.....	3
1.3 Justificación de la Investigación.....	3
1.4 Objetivos de la Investigación	4
1.5 Marco Conceptual	5
1.6 Preguntas de la Investigación	7
1.7 Definición de los Términos de Estudio	8
1.8 Limitaciones	9
1.9 Delimitaciones.....	10
Capítulo 2: Revisión de la Literatura.....	13
2.1 Energía Eléctrica en Perú	13
2.2 Energía Solar	20
2.3 Impacto de la Energía Solar en el Perú	22
Capítulo 3: Metodología.....	28
3.1. Evaluación Técnica	28
3.2. Evaluación Económica	31

3.2.1 Proyecciones de Ingresos	31
3.2.2 Análisis Económico.....	32
3.3. Análisis de Resultados y Conclusiones	32
3.3.1. Interpretación de los Resultados Técnicos y Económicos	32
3.3.2. Recomendaciones	32
Capítulo 4: Presentación y Análisis de Resultados	33
4.1. Análisis Técnico	33
4.1.1 Selección del sitio a realizar el proyecto	33
4.1.2 Parámetros meteorológicos e índice de radiación solar	35
4.1.3 Solar y meteorología: Estadísticas diarias	41
4.1.4 Topología de la Solución.....	43
4.1.5 Componentes Principales	45
4.1.6 Diseño del Sistema	47
4.2 Análisis Económico.....	50
4.2.1 Costo por Ahorro de energía (Escalación de Cargos por Energía= 3%).....	55
4.2.2 Flujo de caja con valores	57
4.2.3 Obtención de resultados	63
Referencias	72

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Producción de GWh por Tipo de Generación RER 2014 – 2023</i>	14
Figura 2 <i>Evolución de la Máxima Demanda y Energía 1993-2023</i>	20
Figura 3 <i>Costo Promedio de Generación de Energía en China por MWh Producido</i> 23	
Figura 4 <i>Proyección de Costos de Generación Eléctrica Según el Año de Puesta en Marcha</i>	24
Figura 5 <i>Matriz de Generación Eléctrica Mundial Histórica y Prevista</i>	25
Figura 6 <i>Emisiones de CO₂ por Fuente de Energía</i>	27
Figura 7 <i>Descripción del Proyecto</i>	33
Figura 8 <i>Ubicación del Proyecto</i>	33
Figura 9	34
Figura 10 <i>Horizonte y Trayectoria Solar en el Sitio para el periodo evaluado</i>	35
Figura 11 <i>Duración del Día y Angulo Cenital Solar para el periodo evaluado</i>	35
Figura 12 <i>Irradiación + Irradiación Difusa Horizontal para el periodo evaluado</i> ...	37
Figura 13 <i>Irradiación Directa Normal para el periodo evaluado</i>	37
Figura 14 <i>Ratio Entre Irradiación Difusa y Global para el periodo evaluado</i>	38
Figura 15 <i>Irradiación Global Inclinada Para el Ángulo Óptimo para el periodo evaluado</i>	38
Figura 16 <i>Temperatura del Aire para el periodo evaluado</i>	39
Figura 17 <i>Velocidad del Viento para el periodo evaluado</i>	39
Figura 18 <i>Grados Día de Refrigeración para el periodo evaluado</i>	40
Figura 19 <i>Grados Día de Calefacción para el periodo evaluado</i>	40
Figura 20 <i>GHI, DNI, DIF - Promedios Diarios</i>	41

Figura 21 <i>Irradiación Global Horizontal - Promedios Horarios [Wh/m²]</i>	42
Figura 22 <i>Irradiación Directa Normal - Promedios Horarios [Wh/m²]</i>	43
Figura 23 <i>Topología de Funcionamiento</i>	44
Figura 24 <i>Vista de Planta de la Zona del Proyecto</i>	47
Figura 25 <i>Vista con Paneles Solares Simulados</i>	47
Figura 26 <i>Instalación de Paneles Solares</i>	48
Figura 27 <i>Modelamiento del Sistema</i>	48
Figura 28 <i>Curva de Generación Típica (Verano).m14x70</i>	49
Figura 29 <i>Evolución de Costos de Energía Eléctrica</i>	54
Figura 30 <i>Playback</i>	63



Lista de Tablas

Figura 1 <i>Producción de GWh por Tipo de Generación RER 2014 – 2023</i>	14
Figura 2 <i>Evolución de la Máxima Demanda y Energía 1993-2023</i>	20
Figura 3 <i>Costo Promedio de Generación de Energía en China por MWh Producido</i> 23	
Figura 4 <i>Proyección de Costos de Generación Eléctrica Según el Año de Puesta en Marcha</i>	24
Figura 5 <i>Matriz de Generación Eléctrica Mundial Histórica y Prevista</i>	25
Figura 6 <i>Emisiones de CO₂ por Fuente de Energía</i>	27
Figura 7 <i>Descripción del Proyecto</i>	33
Figura 8 <i>Ubicación del Proyecto</i>	33
Figura 9	34
Figura 10 <i>Horizonte y Trayectoria Solar en el Sitio para el periodo evaluado</i>	35
Figura 11 <i>Duración del Día y Angulo Cenital Solar para el periodo evaluado</i>	35
Figura 12 <i>Irradiación + Irradiación Difusa Horizontal para el periodo evaluado</i> ...	37
Figura 13 <i>Irradiación Directa Normal para el periodo evaluado</i>	37
Figura 14 <i>Ratio Entre Irradiación Difusa y Global para el periodo evaluado</i>	38
Figura 15 <i>Irradiación Global Inclinada Para el Ángulo Óptimo para el periodo evaluado</i>	38
Figura 16 <i>Temperatura del Aire para el periodo evaluado</i>	39
Figura 17 <i>Velocidad del Viento para el periodo evaluado</i>	39
Figura 18 <i>Grados Día de Refrigeración para el periodo evaluado</i>	40
Figura 19 <i>Grados Día de Calefacción para el periodo evaluado</i>	40
Figura 20 <i>GHI, DNI, DIF - Promedios Diarios</i>	41
Figura 21 <i>Irradiación Global Horizontal - Promedios Horarios [Wh/m²]</i>	42
Figura 22 <i>Irradiación Directa Normal - Promedios Horarios [Wh/m²]</i>	43

Figura 23 <i>Topología de Funcionamiento</i>	44
Figura 24 <i>Vista de Planta de la Zona del Proyecto</i>	47
Figura 25 <i>Vista con Paneles Solares Simulados</i>	47
Figura 26 <i>Instalación de Paneles Solares</i>	48
Figura 27 <i>Modelamiento del Sistema</i>	48
Figura 28 <i>Curva de Generación Típica (Verano).m14x70</i>	49
Figura 29 <i>Evolución de Costos de Energía Eléctrica</i>	54
Figura 30 <i>Playback</i>	63



Capítulo 1: Introducción

1.1 Antecedentes

El aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica ha aumentado notablemente en las últimas décadas, motivado por la necesidad mundial de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y ampliar el abanico de fuentes energéticas. A raíz de la crisis energética de los años 70, tanto los gobiernos como diversas organizaciones han intensificado sus esfuerzos en la búsqueda de opciones sostenibles, siendo la energía solar una de las alternativas más prometedoras (IEA, 2021). Este avance ha sido posible gracias a la evolución tecnológica, que ha permitido una significativa disminución en los costos de fabricación de paneles solares, mejorando la eficiencia de las células fotovoltaicas y beneficiándose de las economías de escala. Como resultado, esta tecnología ha logrado competir con fuentes de energía convencionales (Fraunhofer ISE, 2021).

A nivel internacional, las plantas solares han adquirido un papel clave dentro del mix energético. Países como Alemania, China y Estados Unidos han implementado políticas que han acelerado la adopción de esta tecnología (REN21, 2021). En el contexto peruano, el desarrollo de la energía solar fotovoltaica ha ido en aumento en los últimos años, especialmente en zonas rurales donde el acceso a la red eléctrica es limitado. El gobierno ha impulsado iniciativas como el Programa Nacional de Electrificación Rural, incorporando sistemas fotovoltaicos para mejorar el acceso a la energía en comunidades aisladas. Además, regiones como Arequipa, Moquegua y Tacna, que cuentan con altos niveles de radiación solar, se han convertido en puntos estratégicos para la instalación de plantas solares de mayor escala. Aunque aún representa una fracción menor del mix energético nacional, la energía solar tiene un gran potencial para contribuir a la diversificación energética y al desarrollo sostenible del país (MINEM, 2025). Estas iniciativas, sumadas a un creciente interés por la

sostenibilidad, han impulsado el desarrollo de proyectos solares a gran escala, incluyendo plantas con capacidades de 5 MW o superiores.

El desarrollo de una planta solar de 5 MW se encuentra alineado con estas tendencias globales y regionales, representando una oportunidad para fortalecer la diversificación del suministro eléctrico. La transición hacia energías renovables, y en particular la solar fotovoltaica, es un objetivo prioritario en la lucha contra el cambio climático y en la búsqueda de mayor seguridad energética (Jacobson et al., 2017). En este contexto, este tipo de proyectos se perfila como una alternativa viable y atractiva para contribuir a la generación de energía limpia. Aunque la potencia instalada puede parecer limitada en comparación con grandes centrales térmicas o hidroeléctricas, este tipo de proyectos presenta una serie de ventajas técnicas, económicas y ambientales que justifican su implementación.

En primer lugar, los costos de instalación de sistemas fotovoltaicos han disminuido considerablemente en la última década gracias a los avances tecnológicos y al aumento de la producción global, lo que hace que proyectos de esta escala sean más accesibles y financieramente factibles. Además, los costos operativos y de mantenimiento de una planta solar son relativamente bajos en comparación con otras fuentes de energía convencionales, ya que no requieren combustibles y tienen pocos componentes móviles, lo que reduce el desgaste mecánico.

En segundo lugar, el período de recuperación de la inversión en proyectos de 5 MW suele ser atractivo, especialmente si se implementan en regiones con alta radiación solar como el sur del Perú. En estos casos, la eficiencia en la generación permite obtener rendimientos estables y predecibles durante los más de 20 años de vida útil del sistema.

Por otro lado, este tipo de plantas puede conectarse a redes eléctricas locales o abastecer directamente a comunidades, industrias o servicios públicos, lo cual contribuye a la

descentralización energética, mejora la seguridad del suministro y reduce las pérdidas por transmisión. Además, al no emitir gases contaminantes durante su operación, aportan directamente al cumplimiento de compromisos ambientales y metas de reducción de emisiones de GEI.

Para su implementación, es esencial considerar aspectos técnicos clave, como la elección del emplazamiento adecuado y su integración con la red eléctrica, con el objetivo de optimizar la eficiencia energética y garantizar un funcionamiento seguro y estable. Evaluar los recursos solares disponibles y seleccionar la tecnología fotovoltaica más eficiente serán factores determinantes para el éxito del proyecto (IRENA, 2020).

El propósito central de esta investigación es desarrollar un proyecto de planta solar de 5 MW, considerando de manera integral tanto los aspectos técnicos como financieros. La importancia de este proyecto radica en su contribución al desarrollo sostenible, promoviendo el uso de energía renovable y reduciendo la dependencia de fuentes convencionales, lo que resulta fundamental para avanzar hacia un sistema energético más equilibrado y respetuoso con el medio ambiente (Pascaris et al., 2021).

1.2 Propósito de la Investigación

El propósito de esta investigación es desarrollar una herramienta de evaluación técnico-económica para proyectos de plantas solares de 5 MW. Esta permitirá realizar un análisis preciso y detallado de los factores técnicos y económicos involucrados, facilitando la toma de decisiones informadas. Con ello, se pretende fomentar un suministro energético más sostenible y diversificado.

1.3 Justificación de la Investigación

Justificación General

Los proyectos de plantas solares de 5 MW representan una alternativa clave para avanzar hacia un sistema energético más limpio y sostenible. Sin embargo, su éxito depende de una evaluación integral que contemple tanto los aspectos técnicos como financieros.

Actualmente, la ausencia de herramientas que integren ambos componentes puede generar decisiones inadecuadas, afectando la viabilidad y rentabilidad de estos proyectos. Por ello, esta investigación busca desarrollar una herramienta de evaluación técnico-económica que permita un análisis preciso y completo, facilitando la toma de decisiones y minimizando los riesgos asociados a la inversión en energía solar.

Esta herramienta no solo optimizará la planificación y ejecución de proyectos solares, sino que también contribuirá a la transición hacia un futuro energético más sostenible. Su impacto beneficiará a desarrolladores, inversores y a la sociedad en general, promoviendo la sostenibilidad ambiental y económica.

1.4 Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Objetivos Específicos

- Evaluar los costos de operación y mantenimiento conservando el consumo energético en una minera mediante generación de energía solar y disminución de la huella de carbono.
- Analizar los costos financieros del proyecto, incluyendo inversión inicial, gastos operativos y proyecciones de ingresos, para determinar su rentabilidad.
- Proponer recomendaciones para la implementación de la herramienta en futuros proyectos, promoviendo su uso como un recurso estratégico para el desarrollo de energías renovables.

1.5 Marco Conceptual

El marco conceptual de esta investigación proporciona la base teórica y contextual para desarrollar una herramienta de evaluación técnico-financiera aplicada a proyectos de plantas solares de 5 MW. La energía solar fotovoltaica convierte la radiación solar en electricidad mediante paneles solares compuestos por células fotovoltaicas, las cuales generan energía a través del efecto fotovoltaico. La cantidad de electricidad producida depende de la eficiencia de estas células y de la tecnología utilizada (Twidell & Weir, 2015). Esta sección define los conceptos clave que estructuran el estudio, presenta los modelos que respaldan el análisis y establece las relaciones entre los distintos elementos involucrados.

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene mediante la conversión directa de la radiación solar en electricidad, utilizando celdas fotovoltaicas. Esta tecnología se caracteriza por su bajo impacto ambiental, su modularidad y su capacidad para ser instalada tanto a pequeña como a gran escala. En el caso específico de plantas solares de 5 MW, se trata de instalaciones de mediana escala que pueden integrarse a redes eléctricas regionales o utilizarse para autoconsumo industrial.

Evaluación técnico-financiera

La evaluación técnico-financiera es un proceso que permite analizar la viabilidad de un proyecto desde dos perspectivas complementarias: la técnica, que considera aspectos como la ubicación, el recurso solar, la eficiencia del sistema y el diseño de la planta; y la financiera, que se enfoca en el análisis de costos, ingresos proyectados, indicadores de rentabilidad (VAN, TIR, PRI) y recuperación de la inversión. Este enfoque integral es fundamental para la toma de decisiones informadas en el desarrollo de proyectos energéticos.

Herramientas de evaluación

Las herramientas de evaluación técnico-financiera son sistemas, generalmente en forma de modelos computacionales o plantillas interactivas, que permiten simular escenarios y calcular los resultados esperados de un proyecto. Estas herramientas integran variables técnicas y financieras y son especialmente útiles en proyectos de energía renovable, donde la incertidumbre y la variabilidad del recurso solar pueden impactar los resultados económicos.

Modelos y teorías aplicadas

La investigación se apoya en modelos de análisis financiero como el flujo de caja descontado (DCF, por sus siglas en inglés), que permite estimar el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto. A nivel técnico, se consideran metodologías para la estimación del recurso solar (como los datos de radiación global horizontal y su conversión a energía eléctrica) y el dimensionamiento de plantas solares, basado en normas internacionales y prácticas de ingeniería.

Relación entre conceptos

La relación entre estos conceptos radica en la necesidad de integrar criterios técnicos y económicos para evaluar la viabilidad de un proyecto solar. Un adecuado dimensionamiento técnico impacta directamente en los costos de inversión, operación y mantenimiento, lo cual, a su vez, afecta los resultados financieros del proyecto. Por ello, una herramienta que integre ambas dimensiones permite una evaluación más completa y ajustada a la realidad del entorno donde se desarrollará el proyecto.

Una planta solar de 5 MW es una instalación diseñada para producir dicha cantidad de energía eléctrica utilizando tecnología fotovoltaica. Su desempeño depende de componentes

esenciales como paneles solares, inversores, estructuras de soporte y sistemas de monitoreo y control (Nelson, 2013). La disposición y configuración de estos elementos influyen directamente en su eficiencia y rendimiento.

La evaluación técnico-económica es clave para determinar la factibilidad y rentabilidad de estos proyectos. En términos técnicos, se analiza la irradiación solar en la ubicación, la eficiencia de los paneles, la orientación y el ángulo de inclinación, así como la conexión con la red eléctrica (IRENA, 2020). Estos factores impactan directamente en la producción de energía. Por otro lado, el análisis financiero involucra la estimación de los costos iniciales de inversión, incluyendo la compra e instalación de equipos, además de los costos de operación y mantenimiento y las proyecciones de ingresos generados por la venta de electricidad (BloombergNEF, 2020). Este estudio financiero es crucial para evaluar la rentabilidad y el retorno de inversión.

La viabilidad de un proyecto se define por su capacidad de implementación y sostenibilidad en el tiempo, considerando tanto la eficiencia técnica como el equilibrio financiero. Esto implica examinar los recursos solares disponibles, la idoneidad del sitio, la tecnología empleada y los costos y beneficios asociados (REN21, 2021).

Para desarrollar una herramienta eficiente de evaluación técnico-financiera, es fundamental integrar estos enfoques en un sistema unificado que facilite un análisis integral y detallado.

1.6 Preguntas de la Investigación

¿Cuáles son los costos asociados a la operación y mantenimiento de un sistema de generación de energía solar en una minera, y cómo impactan en el consumo energético total de la operación?

¿Cuál es la rentabilidad financiera del proyecto de planta solar fotovoltaica de 5 MW, considerando la inversión inicial, los gastos operativos y las proyecciones de ingresos?

¿De qué manera la implementación de energía solar contribuye a la reducción de la huella de carbono en las operaciones mineras?

¿Qué recomendaciones pueden establecerse para la implementación de sistemas de generación solar en futuros proyectos mineros, con el fin de optimizar su eficiencia económica y ambiental?

1.7 Definición de los Términos de Estudio

Energía Solar Fotovoltaica (PV)

“Tecnología que convierte la luz solar en electricidad mediante el uso de paneles solares compuestos por células fotovoltaicas, las cuales generan corriente eléctrica cuando son expuestas a la radiación solar” (Twidell & Weir, 2015, p. 283).

Evaluación Técnico-Financiera

Análisis integral que combina la evaluación técnica y económica de un proyecto. Desde el punto de vista técnico, se examinan factores como la radiación solar disponible, la eficiencia de los paneles y la integración con la red eléctrica. En el ámbito financiero, se consideran los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como las estimaciones de ingresos, con el fin de determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto (IRENA, 2020, p. 45).

Viabilidad del Proyecto

Capacidad de un proyecto para ser desarrollado con éxito de manera sostenible. Este concepto abarca la evaluación del rendimiento técnico, la factibilidad económica y su

alineación con los objetivos establecidos, además de considerar la adaptación del proyecto a las condiciones del mercado y su entorno (Jacobson et al., 2017).

Costos de Inversión

Montos requeridos para la adquisición e instalación de los equipos necesarios en una planta solar, como paneles fotovoltaicos, inversores, estructuras de soporte y otros elementos esenciales para su puesta en marcha y operación (REN21, 2021).

Costos Operativos y de Mantenimiento

Gastos recurrentes asociados a la operación y mantenimiento de una planta solar, que incluyen su limpieza, reparación de componentes, supervisión técnica y otros costos esenciales para garantizar su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo (IRENA, 2020, p. 46).

Proyecciones de Ingresos

Estimaciones de los ingresos futuros que se obtendrán de la venta de la energía generada por la planta solar. Estas proyecciones dependen de variables como la cantidad de electricidad producida, las tarifas aplicables y las condiciones del mercado (Nelson, 2013, p. 140).

1.8 Limitaciones

Datos y Supuestos

Las hipótesis utilizadas en la evaluación pueden no anticipar cambios futuros en costos, avances tecnológicos o modificaciones en las políticas energéticas, lo que podría afectar la validez de los resultados obtenidos (IRENA, 2020, p. 45).

Variabilidad Regional

Las diferencias en la disponibilidad de radiación solar y las condiciones económicas entre distintas regiones y países pueden influir en la aplicabilidad de la herramienta. Será necesario realizar ajustes específicos para adaptarla a cada ubicación, lo que puede limitar su capacidad de uso generalizado (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2023, p. 22).

Cambios Tecnológicos

El desarrollo acelerado de la tecnología solar puede hacer que algunos parámetros y costos considerados en la herramienta queden desactualizados. Para mantener su precisión y utilidad, será imprescindible actualizarla de manera periódica con las últimas innovaciones del sector y tendencias del mercado (Fraunhofer ISE, 2021, p. 10).

Requerimientos de Datos Específicos

Para su correcta implementación, la herramienta podría necesitar datos específicos que en algunos casos pueden no estar disponibles o ser difíciles de obtener, especialmente en regiones con poca infraestructura para el monitoreo de recursos solares (Twidell & Weir, 2015).

1.9 Delimitaciones

Alcance del Proyecto

Este estudio se centrará exclusivamente en plantas solares de 5 MW, sin incluir otras capacidades de generación ni tecnologías alternativas, como la energía solar térmica o la concentración solar, debido a que poseen características y requerimientos diferentes.

Área Geográfica

Aunque la herramienta tendrá un diseño de aplicación general, la validación y el estudio de caso se llevará a cabo en ubicaciones específicas que representen condiciones

típicas dentro de la región en análisis [Av. Cajamarquilla, San Juan de Lurigancho, Lima, Perú]. Sin embargo, es posible que no se reflejen por completo las diferencias regionales en términos de irradiación solar, costos y normativas.

Horizonte Temporal

El análisis se centrará en la evaluación de proyectos dentro del periodo 2024-2053, utilizando datos actuales y estimaciones a corto y mediano plazo. Los cambios en tendencias que puedan surgir después de este periodo pueden no estar completamente considerados.

Aspectos Técnicos y Financieros

La herramienta se enfocará en variables clave, tales como la irradiación solar, la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, los costos de instalación, operación y mantenimiento, así como las proyecciones de ingresos. Factores adicionales, como los efectos sociales y ambientales, no formarán parte central del estudio.

Modelos y Herramientas Utilizadas

Se emplearán modelos y herramientas de evaluación técnica y financiera ampliamente reconocidos en el ámbito de la energía solar. Cualquier personalización o mejora estará enfocada en optimizar estos modelos sin desarrollar metodologías completamente nuevas.

Validación

Para verificar la efectividad de la herramienta, se realizarán pruebas a través de estudios de caso específicos y simulaciones. Sin embargo, la cantidad de proyectos analizados será limitada, lo que podría restringir la capacidad de extrapolación de la herramienta a otros escenarios o tipos de proyectos solares.

Datos Disponibles

El desempeño y precisión de la herramienta dependerán directamente de la calidad y accesibilidad de los datos empleados, como información sobre costos, niveles de irradiación solar y tarifas de venta de energía. Cualquier restricción en la obtención de datos confiables podría influir en la exactitud de los resultados.



Capítulo 2: Revisión de la Literatura

2.1 Energía Eléctrica en Perú

La energía eléctrica en Perú es un componente esencial de su infraestructura económica y social. Perú tiene un sistema eléctrico diversificado que incluye fuentes renovables y no renovables, y su matriz energética ha experimentado cambios significativos en las últimas décadas. A continuación, un panorama general de la energía eléctrica en Perú.

Matriz Energética del Perú

Para el año 2030, se proyecta que la energía hidroeléctrica continúe en expansión y se consolide como una de las principales fuentes de generación eléctrica, junto con las plantas termoeléctricas que operan con gas natural y petróleo crudo. Según lo indicado por el Ministerio de Economía y Finanzas (2012), se espera que, para esa fecha, la proporción de electricidad generada a partir de fuentes hidroeléctricas supere a la producida con petróleo crudo.

Se estima que, a largo plazo, las fuentes de energía renovable no convencionales experimentarán el mayor crecimiento, alcanzando aproximadamente el 16.3 % de la matriz energética del Perú para el año 2040 (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2021). Este incremento contribuirá a reducir la dependencia de recursos no renovables como el gas natural y el petróleo crudo. Aunque la integración de estas energías en la matriz energética aún se encuentra en desarrollo, algunas fuentes renovables, como la hidroeléctrica, ya forman parte del sistema energético nacional (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2020).

La energía hidroeléctrica se consolidó rápidamente como la principal fuente de generación eléctrica en el Perú debido a la geografía de la cordillera de los Andes. La presencia de ríos con importantes desniveles ha permitido su aprovechamiento para la

construcción de centrales hidroeléctricas (Gutiérrez & Cárdenas, 2019). Además, este tipo de generación presenta costos operativos más bajos en comparación con las centrales termoeléctricas, las cuales, además de requerir mayores recursos, generan un impacto ambiental significativo en las zonas cercanas.

Tabla 1

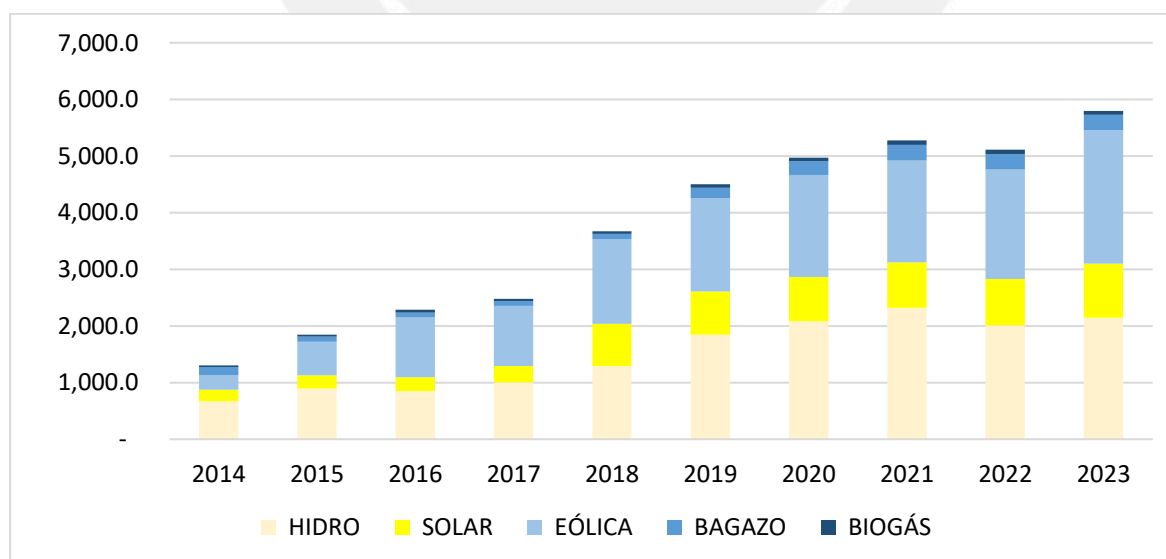
Producción de GWh por Tipo de Generación RER 2014-2023

Tipo	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
HIDRO	673.0	898.2	583.8	1001.9	1290.9	1845.1	2085.1	2319.2	2009.1	2145.0
SOLAR	199.3	231.0	241.8	288.2	745.2	761.7	777.9	801.9	821.2	956.2
EÓLICA	256.3	590.7	1054.1	1065.2	1493.6	1646.2	1803.2	1800.6	1930.1	2353.4
BAGAZO	146.1	90.5	86.5	81.7	93.8	186.3	244.1	276.8	275.3	272.0
BIOGÁS	30.3	36.7	51.2	41.9	50.6	65.6	60.4	78.9	78.7	69.5
TOTAL	1305.0	1847.2	2287.4	2478.9	3674.1	4504.9	4970.5	5277.4	5114.4	5796.1

Nota. Adaptado de Comité de Operación Económica del Sistema (COES). (2023). *Sistema de Información de la Administración de la Carga (SINAC)*. <https://sicoes.coes.org.pe/Portal/>

Figura 1

Producción de GWh por Tipo de Generación RER 2014 – 2023



Nota. Adaptado de Comité de Operación Económica del Sistema (COES). (2023). *Sistema de Información de la Administración de la Carga (SINAC)*. <https://sicoes.coes.org.pe/Portal/>

La Figura 1 muestra que, en los últimos siete años, la generación eléctrica en Perú ha sido dominada por fuentes hidroeléctricas y termoeléctricas, superando el 90 %. Sin embargo, la energía solar ha triplicado su producción en el mismo período, destacando el crecimiento entre 2017 y 2018 con el inicio de la Central Solar Rubí, la más grande del país, que genera 440 GWh anuales. A continuación, se presentan las principales empresas de generación solar.

Tabla 2

Producción de Energía de Centrales con Recursos Energéticos de Origen Solar 2023 en GWh

Empresa	Central	Energía 2023 (GWh)
GTS REPARTICIÓN	C.S. REPARTICIÓN	44.57
TACNA SOLAR	C.S. TACNA SOLAR	53.32
PANAMERICANA	C.S. PANAMERICANA SOLAR	58.03
MOQUEGUA FV	C.S. MOQUEGUA FV	47.63
ENEL GREEN POWER PERU	C.S RUBI	440.27
ENGIE	C.S INTIPAMPA	107.16
COLCA SOLAR	C.S YARUCAYA	2.51

Nota. Adaptado de “Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional –

COES SINAC. (2023)”. <https://sicoes.coes.org.pe/Portal/>

Generación y Consumo

Capacidad Instalada

Perú tiene una capacidad instalada significativa en generación hidroeléctrica, que representa la mayor parte de su matriz energética.

Políticas y Regulaciones

Políticas de Energía Renovable: El gobierno peruano ha implementado varias políticas para promover el desarrollo de fuentes de energía renovables. Esto incluye incentivos fiscales y subsidios para proyectos solares y eólicos.

El gobierno peruano ha implementado diversas políticas para fomentar la inversión en proyectos de energía renovable, especialmente en los sectores solar y eólico. A continuación, se detallan los principales incentivos fiscales y mecanismos de apoyo:

Incentivos fiscales

Depreciación acelerada (20% anual): Establecida por el Decreto Legislativo N.º 1058 (2008), esta medida permite a las empresas deducir el 20% anual del valor de los equipos y obras necesarios para la generación eléctrica a partir de recursos renovables, como la energía solar y eólica. Esta política busca incentivar la inversión en infraestructura energética limpia (Gobierno del Perú, 2008).

Prórroga hasta 2030: En diciembre de 2024, el Congreso aprobó la extensión de este beneficio tributario hasta el 31 de diciembre de 2030, consolidando un marco legal estable para los proyectos de energías renovables (Perú Energía, 2024).

Regulación

La Comisión Nacional de Energía (CNE) y la Organización de Evaluación y Control de la Electricidad (OSINERGMIN) regulan y supervisan el sector eléctrico en Perú, garantizando la calidad del servicio y la competencia en el mercado.

En el contexto peruano, el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) es la principal red eléctrica del país, que integra la generación, transmisión y distribución de electricidad en casi todo el territorio nacional. Para que una planta solar de 5 MW forme parte del sistema y comercialice su energía, debe conectarse al SEIN, lo que le permite acceder a un mercado energético más amplio y garantizar la estabilidad del suministro.

El Comité de Operación Económica del Sistema (COES), por su parte, desempeña un rol técnico y estratégico fundamental: es el organismo encargado de planificar, coordinar y

supervisar la operación del SEIN. En relación con los proyectos solares, el COES determina la viabilidad técnica de la conexión al sistema, evalúa el impacto en la red, y asegura que la operación de la planta se integre de forma eficiente y segura al resto del sistema eléctrico. Además, el COES publica proyecciones de demanda, planes de expansión y datos operativos que son esenciales para evaluar la rentabilidad y factibilidad de proyectos fotovoltaicos.

De este modo, tanto el SEIN como el COES son actores indispensables para la implementación de proyectos solares, ya que definen el marco técnico-operativo dentro del cual estas iniciativas pueden desarrollarse y sostenerse a largo plazo.

Proyectos Clave

a) Central Solar Rubí: Es una planta fotovoltaica que se encuentra **instalada** y operativa, con una capacidad de 180 MW, ubicada en el desierto de Sonora, México. Esta planta es una de las más grandes de América Latina y está en pleno funcionamiento desde 2020.

b) Central Solar Wayra: El Proyecto Wayra es uno de los parques solares más importantes de Perú y se destaca por su gran capacidad instalada y su ubicación estratégica en la región de Ica, un área con altos niveles de radiación solar. Wayra tiene una capacidad instalada de 132 MW, lo que lo convierte en uno de los proyectos solares más grandes de Perú.

c) Proyecto Wayra Extensión: El Proyecto Wayra Extensión es la ampliación del parque solar Wayra, con una capacidad adicional de 96 MW. Esta extensión fue desarrollada para satisfacer la creciente demanda de energía limpia en la región y fortalecer la capacidad de generación solar del país. La planta de Wayra Extensión se encuentra en la misma región de Ica, aprovechando las mismas condiciones climáticas favorables para la producción solar.

d) Planta Hidroeléctrica Mantaro: La Planta Hidroeléctrica Mantaro es una de las principales plantas de generación de energía en Perú, ubicada en la cuenca del río Mantaro, en la región central del país. Esta planta tiene una capacidad instalada de 1,000 MW, lo que la convierte en una de las más grandes del sistema eléctrico peruano

Ley de Energías Renovables (Ley N° 1002)

Esta ley, promulgada en 2008, establece el marco para la promoción de la inversión en energías renovables, incluyendo la energía solar. Permite la creación de mecanismos de incentivos para que las empresas inviertan en proyectos de generación de electricidad a partir de fuentes renovables.

Reglamento de Generación de Electricidad con Energías Renovables (Decreto Supremo N° 012-2011-EM)

Este reglamento desarrolla las disposiciones contenidas en la Ley N° 1002, estableciendo los procedimientos para la implementación y operación de proyectos de generación eléctrica con energías renovables, incluidos los proyectos solares. Regula temas como el acceso a la red eléctrica y la venta de energía generada.

Normas Técnicas del Código Nacional de Electricidad - Utilización (NTE INEN)

Las plantas solares deben cumplir con las normas técnicas del Código Nacional de Electricidad, que establecen los requisitos para la construcción, instalación y operación segura de equipos eléctricos. Estas normas son aplicables a todas las instalaciones eléctricas, incluyendo las solares.

Desafíos y Oportunidades

Desafíos

Interconexión y Distribución: Mejorar la infraestructura para una distribución eficiente y asegurar la interconexión entre regiones.

Diversificación: Aumentar la participación de fuentes renovables en la matriz energética para reducir la dependencia de la energía térmica.

Oportunidades

Expansión de Renovables

El potencial para expandir la generación solar y eólica es alto, especialmente en áreas con buena irradiación solar y vientos constantes.

Inversión en Infraestructura: Mejorar la infraestructura de transmisión y distribución puede aumentar la eficiencia del sistema eléctrico y reducir pérdidas.

Evolución de la máxima demanda y energía en el Perú

La evolución de la máxima demanda y la generación de energía en Perú muestra un país en crecimiento con una matriz energética diversificada. La demanda máxima de energía ha ido en aumento debido al crecimiento económico y poblacional, mientras que la generación de electricidad ha evolucionado con una mayor participación de energías renovables, especialmente la solar y eólica.

A continuación, se muestra la evolución de la máxima demanda y energía eléctrica:

Figura 2

Evolución de la Máxima Demanda y Energía 1993-2023



2.2 Energía Solar

La energía solar es aquella que se obtiene del sol y puede ser utilizada de diversas formas, principalmente para generar electricidad o calor. Se trata de una fuente de energía renovable, lo que significa que es prácticamente inagotable a escala humana y no produce emisiones directas de gases de efecto invernadero durante su uso.

Formas de Aprovechamiento de la Energía Solar

Existen principalmente dos formas de aprovechar la energía solar:

Energía Solar Fotovoltaica: Utiliza la luz solar para generar electricidad de manera directa a través de células fotovoltaicas, que suelen estar fabricadas con materiales semiconductores como el silicio.

Energía Solar Térmica: Aprovecha el calor del sol para calentar fluidos o generar vapor, que luego puede emplearse para producir electricidad mediante turbinas o para aplicaciones como el calentamiento de agua.

Efecto Fotovoltaico

El principio físico que hace posible la energía solar fotovoltaica es el efecto fotovoltaico. Este ocurre cuando los fotones (partículas de luz) impactan en una célula fotovoltaica hecha de materiales semiconductores, excitando los electrones y generando así una corriente eléctrica.

Sistemas Fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico consta de varios componentes que trabajan juntos para convertir la luz solar en electricidad útil:

Paneles Solares: Constituidos por numerosas células fotovoltaicas que capturan la energía solar.

Inversores: Dispositivos que convierten la corriente continua (CC) generada por los paneles en corriente alterna (CA), utilizada comúnmente en los hogares y la red eléctrica.

Baterías (Opcional): Permiten almacenar la energía generada para emplearla cuando no hay luz solar.

Estructuras de Montaje: Soportes que colocan los paneles en la orientación y ángulo óptimos para maximizar la captación de luz solar.

Transformación de la Energía Solar

La transformación de la energía solar en electricidad o calor es esencial para su utilización:

a) **Conversión Directa en Electricidad (Fotovoltaica):** Los paneles solares fotovoltaicos transforman de manera directa la luz del sol en energía eléctrica.

b) **Conversión en Calor (Térmica):** La energía solar térmica se aprovecha para calentar agua, aire o generar vapor, el cual puede emplearse posteriormente para producir electricidad.

Ventajas y Desventajas de la Energía Solar

Tabla 3

Ventajas y Desventajas de la Energía Solar

Ventajas	Desventajas
Renovabilidad: Es una fuente inagotable de energía.	Intermitencia: La generación de energía depende de la disponibilidad de luz solar, que varía con el clima y la hora del día.
Sostenibilidad Ambiental: No produce emisiones de gases contaminantes durante su operación.	Costos Iniciales Elevados: La instalación de paneles solares puede ser costosa, aunque los precios han bajado en los últimos años.
Reducción de Costos a Largo Plazo: Aunque la inversión inicial es alta, los costos operativos son bajos	Requerimientos de Espacio: Se necesita una cantidad significativa de espacio para instalar suficientes paneles solares para cubrir grandes demandas energéticas.
Independencia Energética: Permite a los usuarios generar su propia electricidad, reduciendo la dependencia de la red eléctrica.	Impacto en el Paisaje: En algunos casos, los grandes parques solares pueden afectar el paisaje y la ecología local.

2.3 Impacto de la Energía Solar en el Perú

Impacto Social

Acceso a la Energía en Zonas Rurales

La energía solar ha permitido que numerosas comunidades rurales y aisladas en Perú, donde extender la red eléctrica tradicional resulta complicado y costoso, accedan a electricidad. Esto mejora significativamente la calidad de vida al facilitar servicios esenciales como la iluminación, el uso de dispositivos electrónicos en escuelas y el equipamiento de centros de salud.

Generación de Empleo

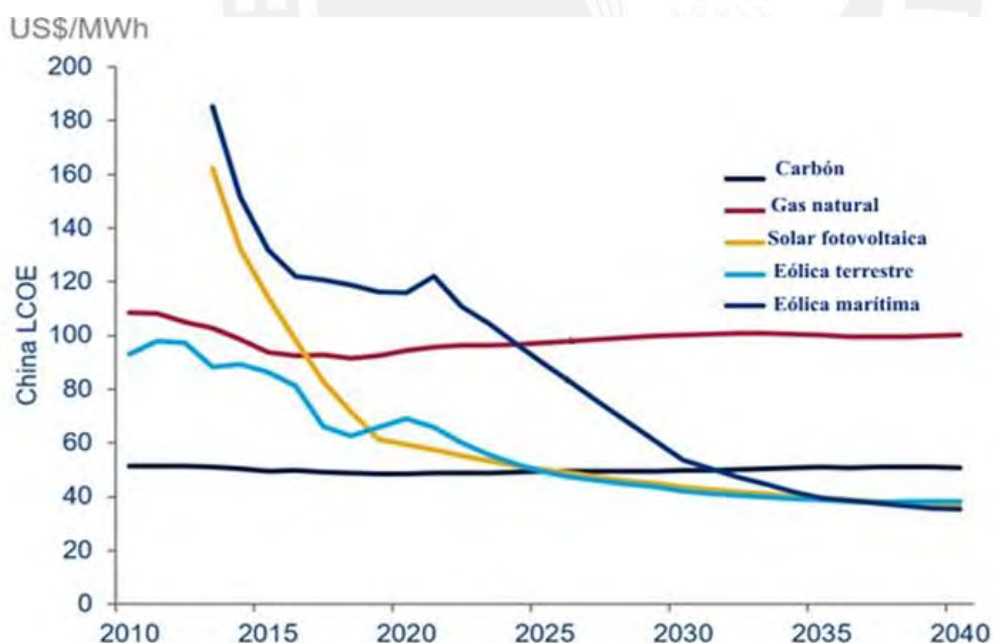
El desarrollo de proyectos solares en el país ha generado oportunidades laborales tanto en la instalación como en el mantenimiento de sistemas solares. Esto abarca desde grandes plantas solares, como Rubí y Marcona, hasta la instalación de sistemas domésticos.

Educación y Conciencia Ambiental

La expansión de la energía solar ha fomentado programas educativos y campañas de sensibilización sobre la relevancia de las energías renovables. Esto ha incrementado la conciencia sobre la sostenibilidad y la necesidad de proteger el medio ambiente en la población.

Figura 3

Costo Promedio de Generación de Energía en China por MWh Producido



Nota. "BloombergNEF. (s.f.). China LCOE by technology (US\$/MWh). Bloomberg New Energy Finance (2023)". <https://www.bnef.com>

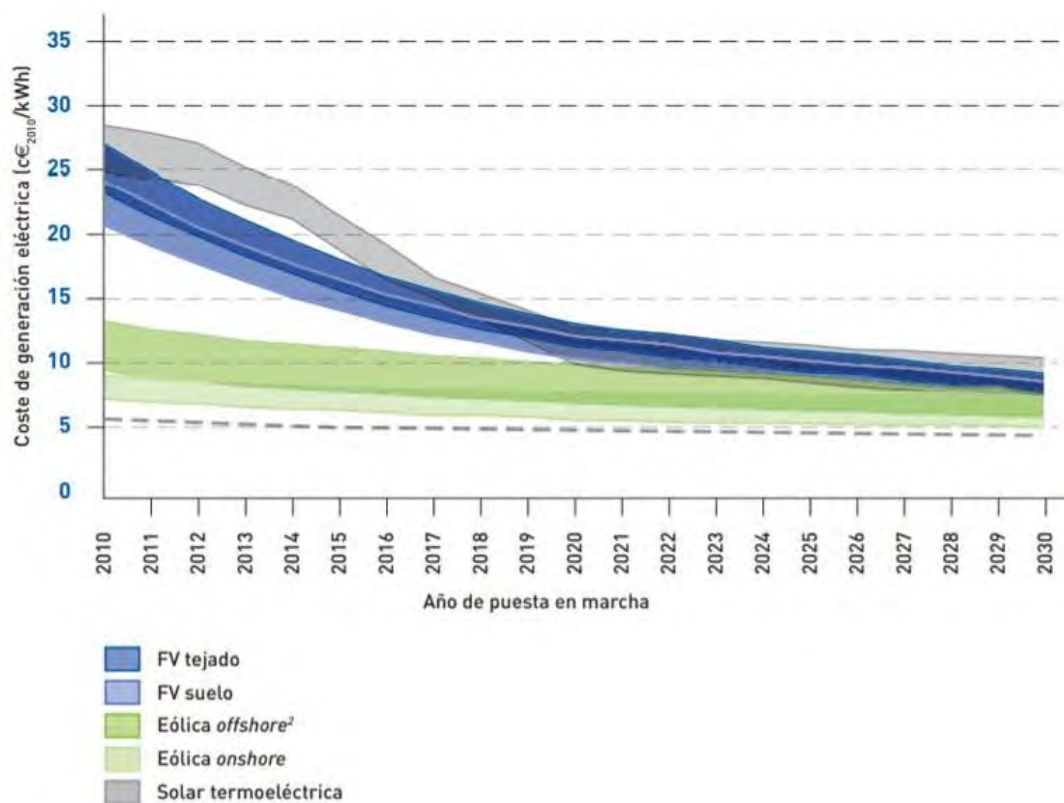
La Figura 3 muestra que, para 2026, el costo de la energía solar fotovoltaica se igualará al del carbón en China, haciendo a las renovables más competitivas en los próximos

años. Además de ser más económicas, se prevé un aumento significativo en su demanda.

Otras energías renovables también están ganando competitividad, impulsadas por el interés de gobiernos y empresas, favoreciendo la adopción de energías limpias.

Figura 4

Proyección de Costos de Generación Eléctrica Según el Año de Puesta en Marcha

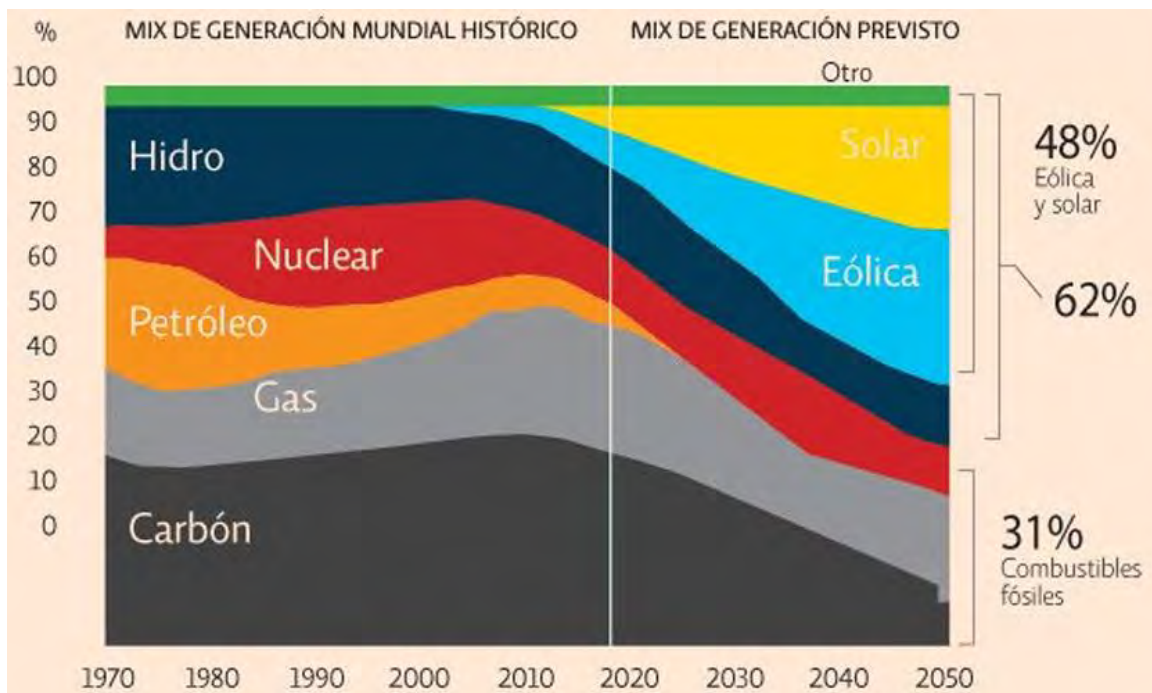


Nota. "International Energy Agency. (2023). Evolución de los costes de generación eléctrica por tecnología, 2010–2030".

La Figura 4 muestra que el costo de generación ha disminuido significativamente desde 2010 y se espera una reducción del 65 % para 2030. Dado que la implementación de proyectos toma entre 2 y 3 años, los costos actuales son la referencia. A largo plazo, la rentabilidad aumentará gracias a los avances tecnológicos y la escalabilidad. Sin embargo, esta ventaja solo será efectiva si hay inversión en energías renovables.

Figura 5

Matriz de Generación Eléctrica Mundial Histórica y Prevista



Nota. “International Energy Agency. (2021). Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector”

La Figura 5 muestra fuentes de energía no renovables como petróleo, gas y carbón, aunque la tendencia indica un futuro dominado por las renovables. Se estima que la energía eólica y solar representarán cerca del 50 % de la matriz energética global en los próximos 30 años, junto con la hidroeléctrica.

La tendencia global indica un aumento en el uso de energías renovables, especialmente la solar fotovoltaica y la eólica. Estas tecnologías fueron, en 2018, las que recibieron mayores inversiones a nivel mundial, tanto en porcentaje como en volumen económico.

Impacto Ambiental

Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Conservación de Recursos Hídricos

A diferencia de la energía hidroeléctrica, que requiere grandes cantidades de agua, la energía solar no consume recursos hídricos. Esto resulta particularmente relevante en regiones de Perú donde el agua es un recurso limitado.

Reducción de la Contaminación Local

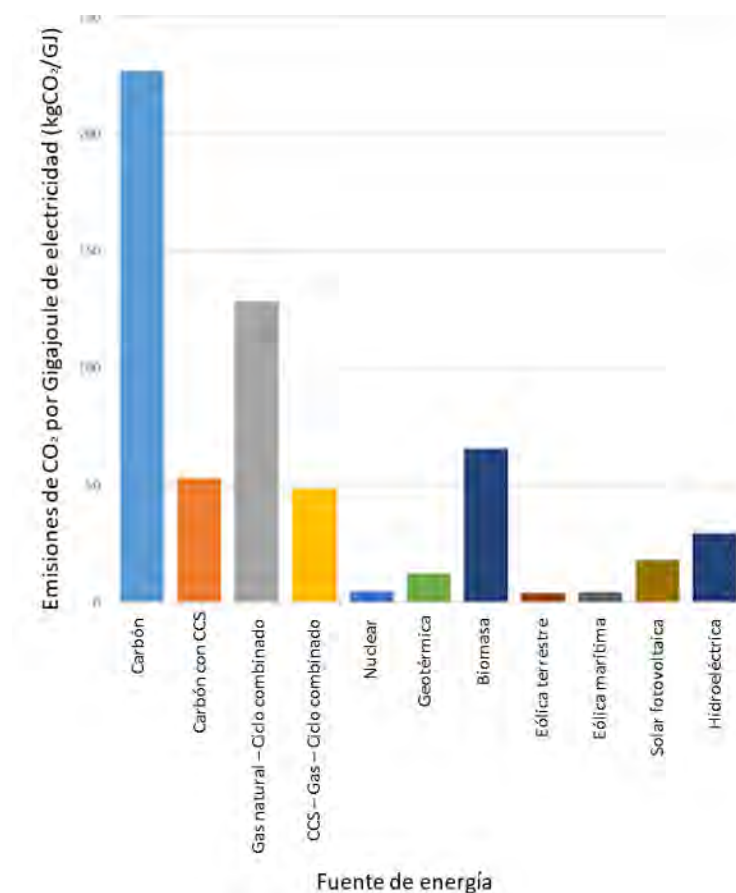
La energía solar no genera contaminación del aire ni del suelo, lo que reduce la contaminación local en comparación con las plantas de energía convencionales. Esto es esencial para mejorar la calidad del aire y proteger la salud pública.

Uso Eficiente del Territorio

Aunque los parques solares de gran escala requieren terreno, suelen ubicarse en áreas áridas o semiáridas no aptas para la agricultura. Además, la instalación de techos solares en zonas urbanas y rurales minimiza el impacto en el uso del suelo, promoviendo un aprovechamiento eficiente del territorio.

Figura 6

Emisiones de CO₂ por Fuente de Energía



Nota. "Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2011). Emissions intensity (percentil 50)"

La Figura 6 muestra las emisiones de CO₂ por unidad de energía generada según la fuente. La energía solar fotovoltaica emite hasta 10 veces menos que las no renovables, al igual que otras renovables, con valores entre 10 y 15 kg CO₂/GJ. Su uso contribuye a mejorar la calidad del aire y reducir la huella de carbono, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.

Capítulo 3: Metodología

La metodología empleada en esta tesis se divide en dos fases principales: la **evaluación técnica** y la **evaluación económica**, con el propósito de realizar un análisis integral sobre la viabilidad de la instalación de una planta solar fotovoltaica de 5 MW.

3.1. Evaluación Técnica

Selección del Sitio

Identificación de la Ubicación: Se realiza un estudio geográfico para identificar los lugares más apropiados para la planta solar, considerando aspectos como la irradiación solar, accesibilidad y cercanía a la red eléctrica.

a) Análisis Climático: Se recopilan datos meteorológicos históricos para evaluar la disponibilidad de recursos solares en la región.

b) Análisis de Recursos Solares: Se profundiza en el análisis de los recursos solares mediante herramientas como PVsyst o Homer Pro, utilizando datos de irradiación solar, temperatura y velocidad del viento para estimar la producción de energía. Además, se examina la variabilidad estacional y su impacto en la generación anual

c) Estudios de Suelo y Geotecnia: Se llevan a cabo análisis del suelo, incluyendo pruebas geotécnicas, para verificar la estabilidad del terreno y prevenir riesgos como deslizamientos o inundaciones. Este estudio es esencial para diseñar las cimentaciones de los paneles solares.

Diseño del Sistema Fotovoltaico

a) Selección de Tecnología: Se evalúan distintos tipos de paneles solares, inversores y estructuras para determinar los componentes más adecuados al sitio y los objetivos del proyecto.

b) **Dimensionamiento del Sistema:** Se calcula la capacidad instalada necesaria considerando la eficiencia del sistema, las pérdidas por sombras y la inclinación óptima de los paneles.

c) **Modelado y Simulación del Sistema:** Mediante software especializado, se simula el desempeño del sistema considerando factores como pérdidas por temperatura y cableado, y se estima la generación anual y mensual de energía.

d) **Optimización del Diseño:** Se analizan configuraciones como sistemas de seguimiento solar frente a sistemas fijos, así como la orientación y el ángulo de inclinación para maximizar la eficiencia y reducir costos.

Integración con la Red Eléctrica

a) **Análisis de Interconexión:** Se evalúan los requerimientos técnicos para conectar la planta solar a la red eléctrica, incluyendo transformadores y sistemas de protección.

b) **Planificación del Mantenimiento:** Se diseñan planes de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar la operación eficiente y continua.

c) **Estudio de Impacto en la Red:** Se analiza cómo la planta afecta la red eléctrica, evaluando la capacidad de absorción, posibles refuerzos en infraestructura y la necesidad de almacenamiento de energía para mitigar la intermitencia.

d) **Análisis de Calidad de Energía:** Se examina el impacto en la calidad de la energía, como fluctuaciones de voltaje y armónicos, y se proponen soluciones si es necesario.

Aspectos Regulatorios y Legales

a) **Cumplimiento Normativo:** Se analizan las regulaciones y normativas aplicables, incluyendo permisos de construcción y licencias ambientales.

En el Perú, los proyectos de generación eléctrica deben cumplir con la normativa establecida por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), así como con la regulación ambiental supervisada por el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE) y el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).

Según el Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades Eléctricas (RPAAE), aprobado por el Decreto Supremo N.º 014-2019-EM, los estudios ambientales exigidos varían según el nivel de impacto potencial del proyecto. Existen tres principales categorías:

Declaración de Impacto Ambiental (DIA): Requerida para proyectos de bajo impacto ambiental. Es el estudio más básico y suele ser suficiente para plantas solares de pequeña o mediana escala (como las de 5 MW), siempre que no se ubiquen en zonas sensibles.

Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd): Necesario para proyectos que podrían tener impactos ambientales moderados. Suele exigirse cuando la planta afecta ecosistemas frágiles, zonas agrícolas o comunidades cercanas.

Estudio de Impacto Ambiental Detallado (EIA-d): Obligatorio para proyectos de gran escala o aquellos con posibles impactos significativos. Incluye procesos de participación ciudadana, línea base ambiental detallada y planes de manejo ambiental.

Además, los proyectos deben obtener autorizaciones para el uso de tierras, servidumbres, permisos de conexión al SEIN, licencias municipales y aprobación de diseño por parte del COES, entre otros trámites técnicos y legales.

b) Evaluación de Incentivos y Subsidios: Se estudian los programas de incentivos disponibles y su impacto en la rentabilidad del proyecto.

3.2. Evaluación Económica

Estimación de Costos

a) Costos de Inversión Inicial: Se calculan los gastos asociados a la adquisición de equipos, construcción y permisos.

b) Costos Operativos y de Mantenimiento: Se estiman los costos anuales de operación y mantenimiento.

c) Detallado de Costos de Componentes: Se analiza cada componente del sistema para optimizar la inversión.

d) Costos Indirectos: Incluyen gastos de ingeniería, gestión del proyecto, seguros y contingencias.

3.2.1 Proyecciones de Ingresos

a) Ingresos por Venta de Energía: Se proyectan ingresos considerando precios de mercado e incentivos gubernamentales.

b) Análisis de Mercado: Se estudian tendencias de demanda y precios para prever la rentabilidad.

c) Escenarios de Ingresos: Se analizan ingresos bajo escenarios optimista, pesimista y base.

d) Ingresos Adicionales: Se evalúan fuentes como certificados de energía renovable o mercados de generación distribuida.

3.2.2 Análisis Económico

- a) Valor Actual Neto (VAN): Se calcula el VAN del proyecto para determinar su rentabilidad.
- b) Tasa Interna de Retorno (TIR): Se evalúa la TIR para medir la eficiencia de la inversión.
- c) Periodo de Recuperación: Se calcula el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial.
- d) Análisis de Sensibilidad: Identifica factores críticos que pueden impactar la viabilidad económica.
- e) Análisis de Riesgo: Modela la incertidumbre utilizando técnicas como Monte Carlo.
- f) Evaluación de Opciones Financieras: Evalúa diferentes estructuras de financiamiento para optimizar la rentabilidad.
- g) Impacto Fiscal: Analiza los efectos fiscales en el rendimiento del proyecto.

3.3. Análisis de Resultados y Conclusiones

3.3.1. Interpretación de los Resultados Técnicos y Económicos

Se analizan y comparan los resultados técnicos y económicos para determinar la viabilidad del proyecto.

3.3.2. Recomendaciones

Se ofrecen recomendaciones basadas en el análisis técnico-económico y se sugieren áreas para mejorar o investigar en futuros proyectos.

Capítulo 4: Presentación y Análisis de Resultados

4.1. Análisis Técnico

La Planta de Energía Renovable con Sistema Fotovoltaico 5 MW tiene por finalidad contribuir con la reducción de gases de efecto invernadero y generar ahorros económicos mediante la implementación de un proyecto llave en mano de un sistema solar fotovoltaico en:

4.1.1 Selección del sitio a realizar el proyecto

La elección del sitio es una de las decisiones más críticas en el desarrollo de una planta solar fotovoltaica, ya que influye directamente en la eficiencia energética, la viabilidad económica y el cumplimiento de normativas ambientales. En este contexto, se ha seleccionado el distrito de **Cajamarquilla, ubicado en Lurigancho-Chosica, Lima**, como el emplazamiento para el proyecto de 5 MW propuesto.

Figura 7

Descripción del Proyecto

Descripción del Sitio:

Ubicación :

Cajamarquilla, Lurigancho-Chosica, Lima, Perú.

Coordenadas:

Latitud: 11°57'57.8"S

Longitud: 76°53'13.2"W

Lugar de Instalación:

Hincado en terreno elevado a 0.5m con inclinación de 15°.

Área Disponible:

Área 1: 51 321 m²

Área 2: 35 745 m²



*Espacio disponible NEXA

Figura 8

Ubicación del Proyecto

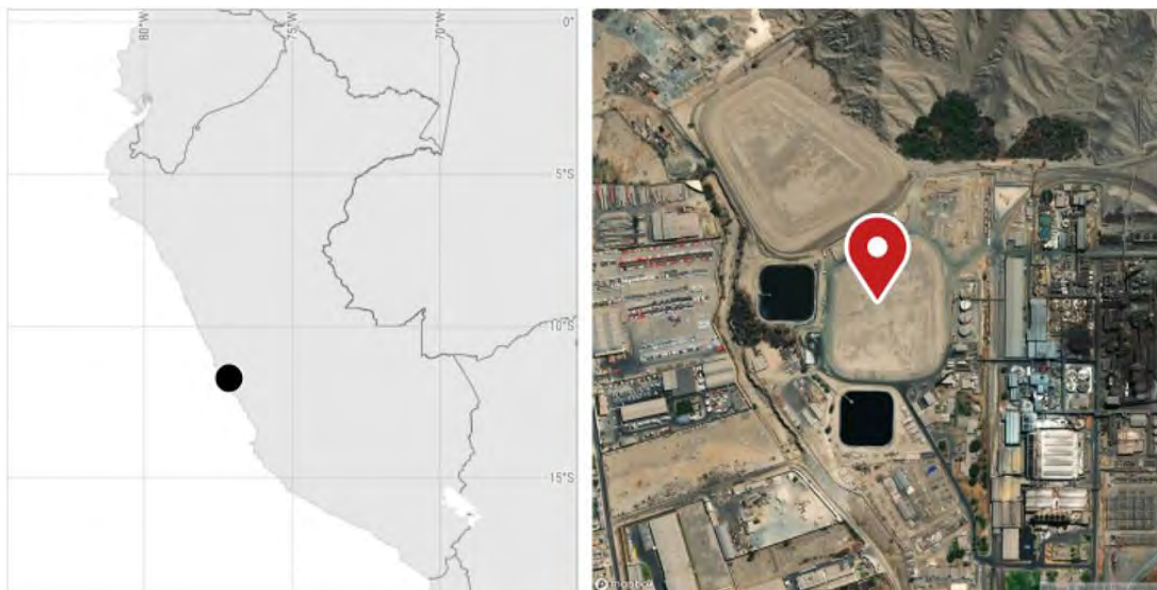


Figura 9

Dimensionamiento del Sistema

Dimensionamiento

El dimensionamiento se ha desarrollado conforme a la potencia de estudio.

Componentes de la solución:

- Potencia instalada: 5107kWp.
- Potencia de panel solar: 600Wp.
- Numero de módulos fotovoltaicos: 8512 und.
- Área Requerida: 22860 m².
- Potencia salida AC: 5000kW.
- Numero de inversores: 20 und de 255kW capacidad.
- Estructuras de soporte para 8512 und. De paneles solares bifaciales de aluminio con inclinación de 15° para instalarse mediante hincado.
- 20 conectores Box's que albergara las protecciones eléctricas provenientes de los strings.
- 01 transformador trifásico para conversión de 0.8V a 22.9kV.



4.1.2 Parámetros meteorológicos e índice de radiación solar

La selección adecuada del emplazamiento para una planta solar fotovoltaica depende en gran medida de las condiciones climáticas locales y, particularmente, de la disponibilidad de recurso solar. En esta sección, se analizan los parámetros meteorológicos clave del sitio propuesto y su impacto en la producción de energía solar.

Figura 10

Horizonte y Trayectoria Solar en el Sitio para el periodo evaluado

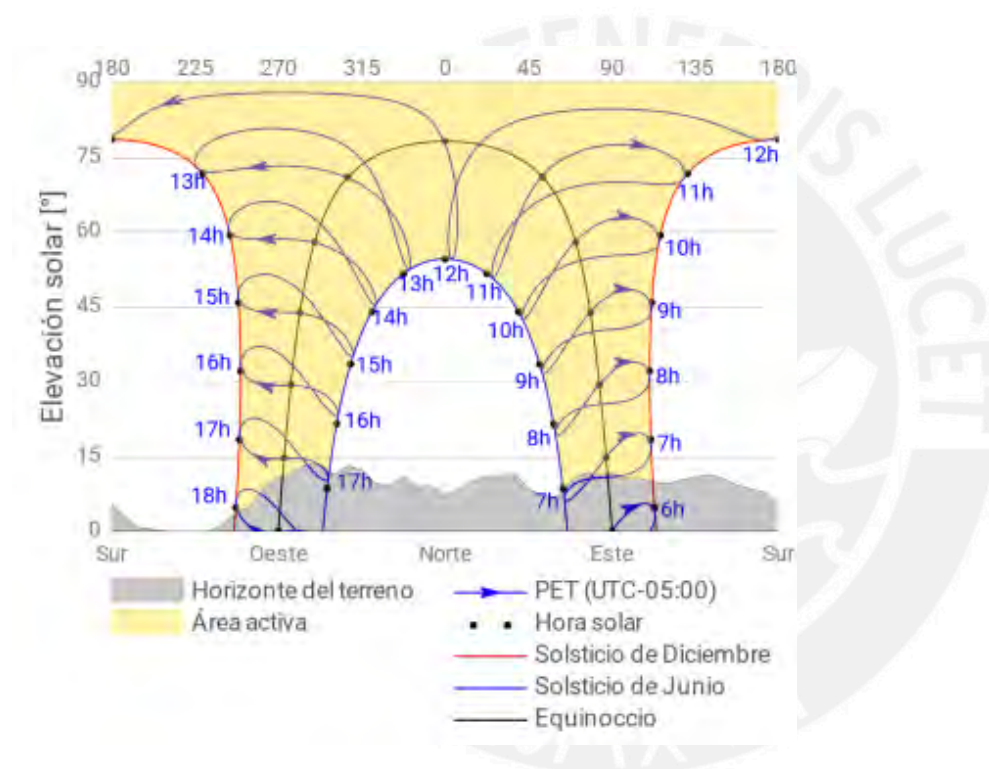


Figura 11

Duración del Día y Angulo Cenital Solar para el periodo evaluado

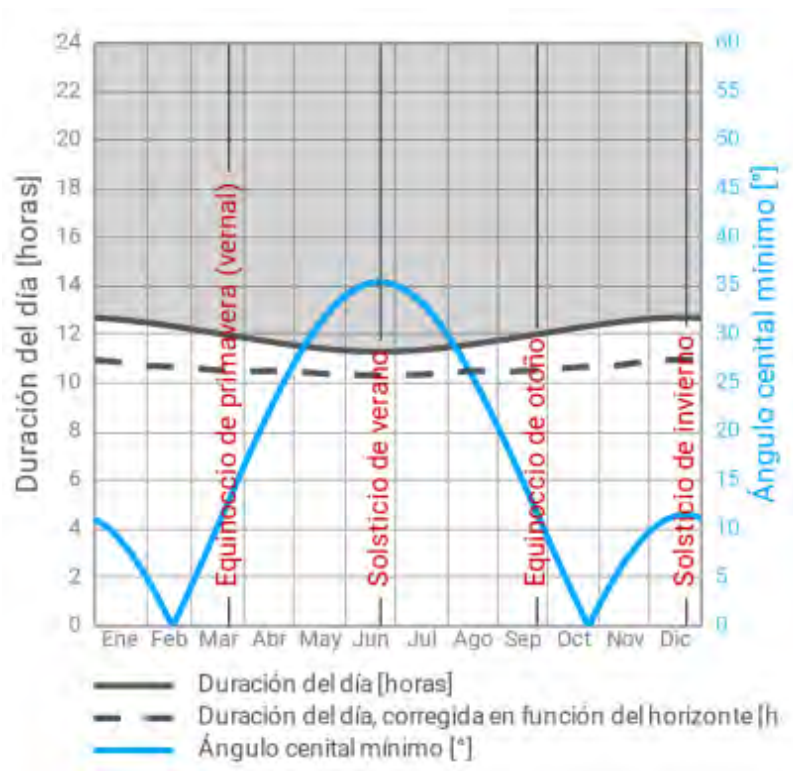


Tabla 4

Radiación Solar y Parámetros Meteorológicos para el periodo evaluado

Mes	GHI kWh/m ² por día	DNI kWh/m ² por día	DIF kWh/m ² por día	D2G	GTI opta kWh/m ² por día	TEMP °C	WS m/s	CDD Grados día	HDD Grados día
Ene	5.727	3.841	2.673	0.467	5.370	21.7	2.3	115	0
Feb	5.790	3.845	2.681	0.463	5.597	22.3	2.1	123	0
Mar	6.064	4.376	2.573	0.424	6.120	22.3	2.0	132	0
Abr	6.054	5.238	2.189	0.362	6.425	21.1	2.3	93	0
May	5.258	5.082	1.850	0.352	5.821	19.9	2.5	71	12
Jun	4.155	3.715	1.830	0.440	4.635	19.1	2.7	55	20
Jul	4.304	3.705	1.910	0.444	4.751	18.7	2.8	50	27
Ago	4.906	3.847	2.170	0.442	5.246	18.6	2.9	47	28
Set	5.820	4.338	2.520	0.433	5.978	18.7	2.9	48	26
Oct	6.425	4.943	2.655	0.404	6.440	19.0	2.9	54	24
Nov	6.425	4.688	2.717	0.423	6.066	19.6	2.8	63	16
Dic	5.846	3.910	2.760	0.472	5.432	20.6	2.6	85	4
Anual	5.574	4.296	2.376	0.423	5.656	20.1	2.6	934	158

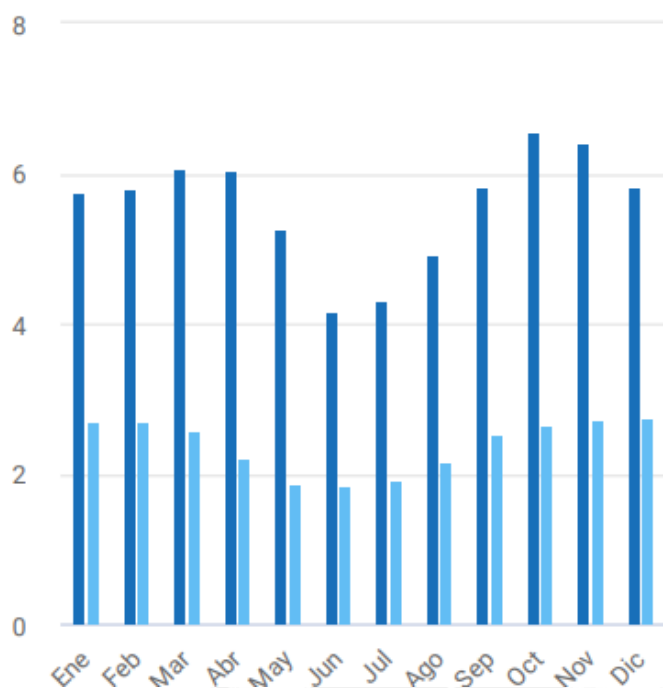
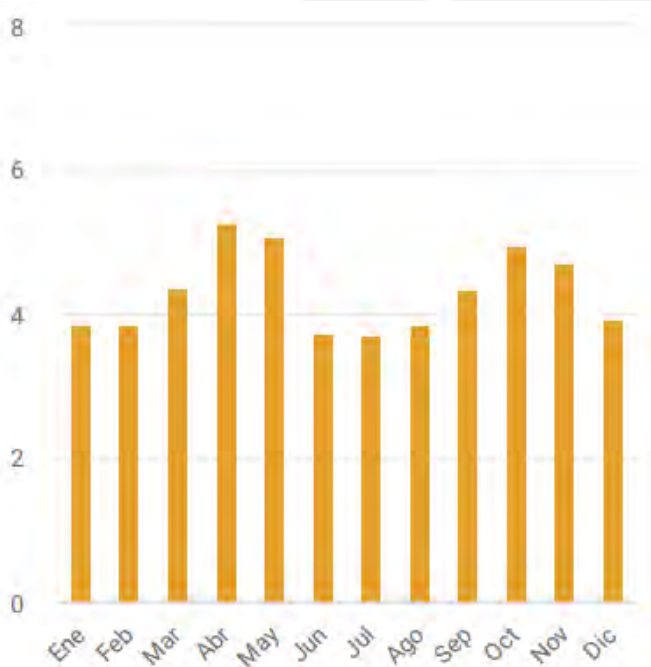
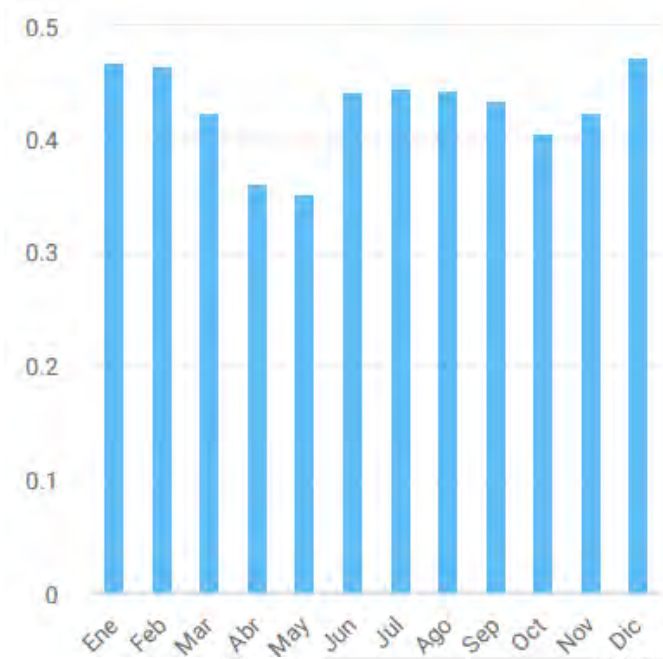
Figura 12*Irradiación + Irradiación Difusa Horizontal para el periodo evaluado***Figura 13***Irradiación Directa Normal para el periodo evaluado*

Figura 14

Ratio Entre Irradiación Difusa y Global para el periodo evaluado

**Figura 15**

Irradiación Global Inclinada Para el Ángulo Óptimo para el periodo evaluado

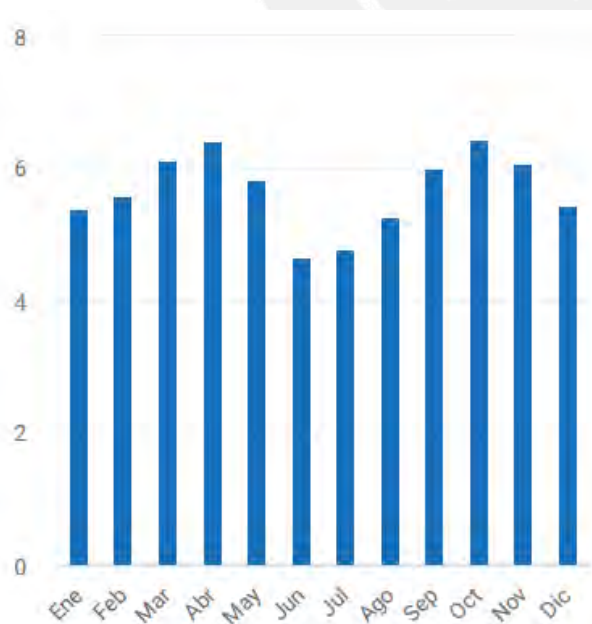
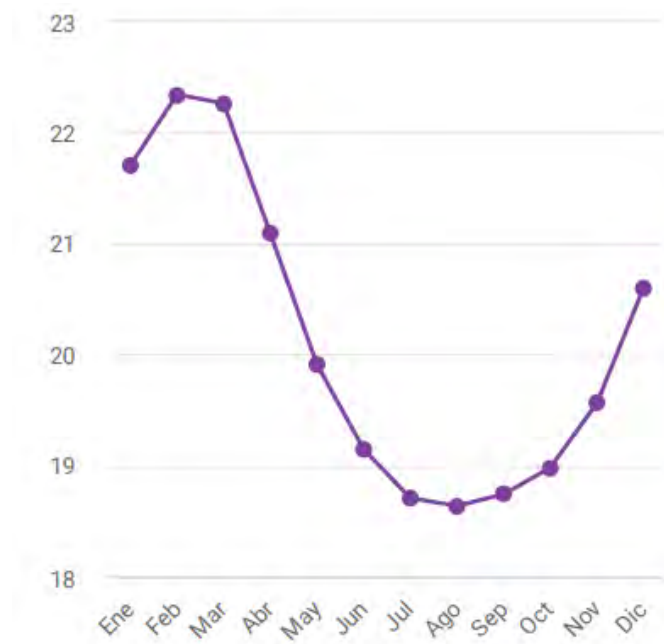


Figura 16

Temperatura del Aire para el periodo evaluado

**Figura 17**

Velocidad del Viento para el periodo evaluado

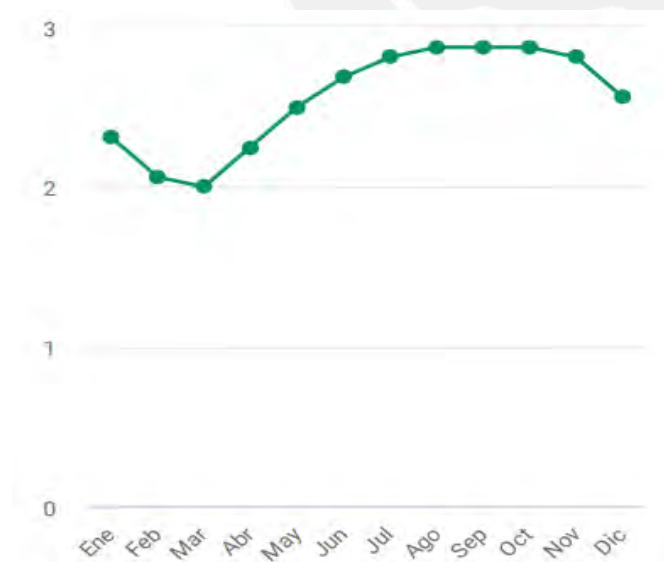
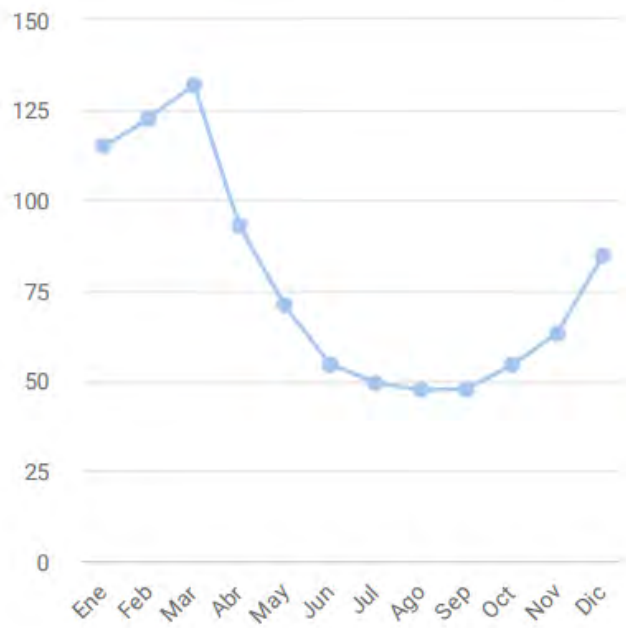
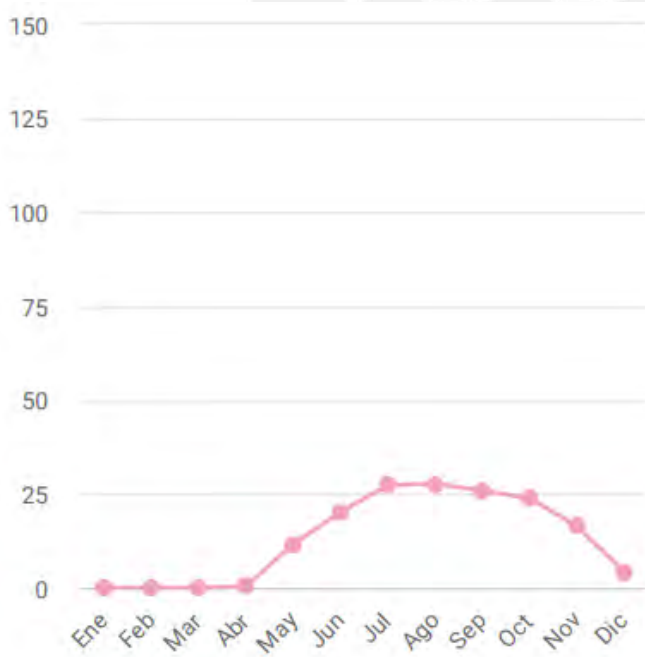


Figura 18*Grados Día de Refrigeración para el periodo evaluado***Figura 19***Grados Día de Calefacción para el periodo evaluado*

4.1.3 Solar y meteorología: Estadísticas diarias

Para el diseño de una central solar fotovoltaica de 5 MW, es fundamental analizar las condiciones de radiación solar del sitio propuesto. Este análisis permite estimar con mayor precisión la producción energética esperada y evaluar la viabilidad técnica y económica del proyecto. A continuación, se presentan las estadísticas diarias y horarias de los principales parámetros solares: la Irradiación Global Horizontal (GHI), la Irradiación Directa Normal (DNI) y la Irradiación Difusa (DIF), los cuales constituyen la base para dimensionar adecuadamente el sistema.

Figura 20

GHI, DNI, DIF - Promedios Diarios

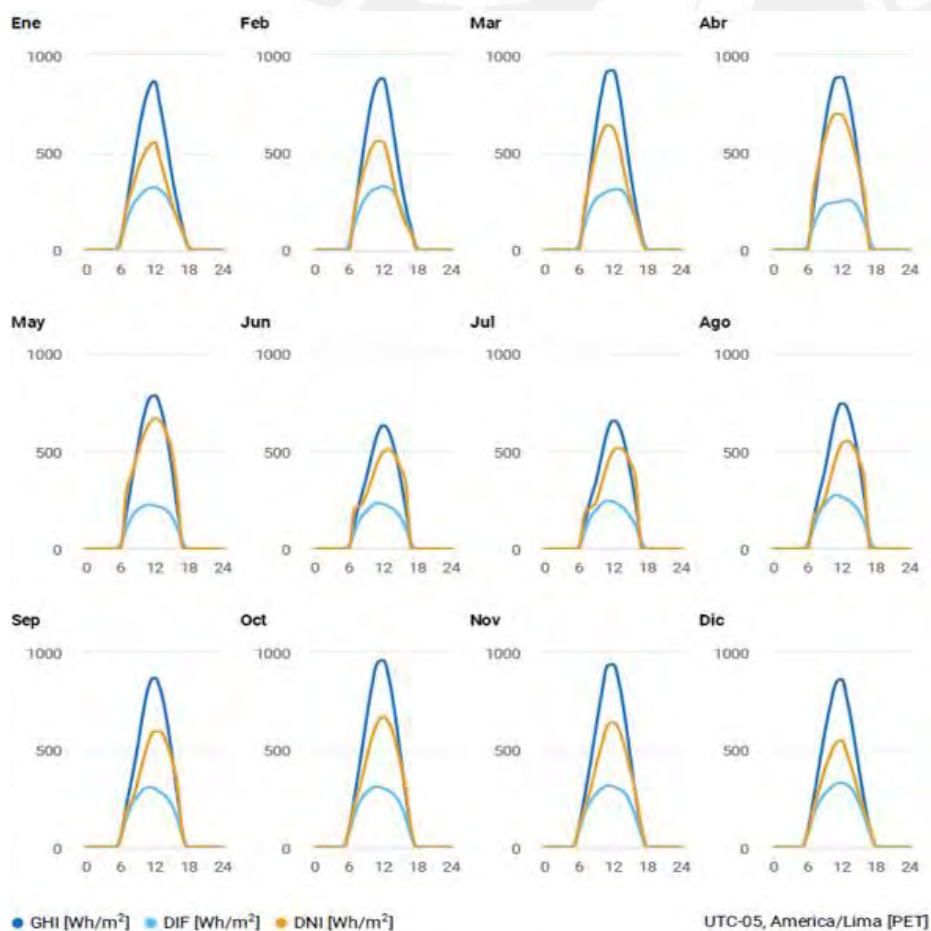


Figura 21*Irradiación Global Horizontal - Promedios Horarios [Wh/m²]*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-6	1	0	-	-	-	-	-	-	1	3	7	3
6-7	53	29	25	24	19	13	11	18	50	93	108	84
7-8	219	202	199	209	177	136	130	150	209	265	263	240
8-9	398	404	417	426	350	250	250	277	353	447	430	412
9-10	573	604	632	631	515	358	347	396	512	641	616	581
10-11	725	769	809	795	666	479	479	550	693	823	790	728
11-12	827	862	916	884	764	586	601	686	829	944	930	841
12-13	865	880	922	888	786	632	656	746	869	959	938	862
13-14	737	759	816	809	730	601	631	718	812	871	850	752
14-15	574	569	617	652	600	508	541	612	677	703	683	596
15-16	392	374	405	450	423	369	399	452	487	484	469	410
16-17	237	222	226	245	202	199	226	258	268	262	259	235
17-18	110	103	78	41	25	24	33	41	59	67	81	95
18-19	16	12	4	1	0	0	1	1	1	1	2	7
19-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suma	5727	5790	6064	6054	5258	4155	4304	4906	5820	6565	6425	5846

Figura 22*Irradiación Directa Normal - Promedios Horarios [Wh/m²]*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0 - 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 - 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 - 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 - 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 - 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 - 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 - 7	35	-	-	-	-	-	-	-	37	81	101	64
7 - 8	204	212	228	292	282	204	180	156	184	218	196	189
8 - 9	308	337	372	446	384	218	208	198	235	321	296	292
9 - 10	408	446	503	566	484	274	241	254	330	444	417	395
10 - 11	482	525	597	661	576	355	335	359	447	558	526	471
11 - 12	528	560	640	698	638	440	435	466	545	638	622	533
12 - 13	553	554	625	693	667	496	499	535	594	669	640	547
13 - 14	458	460	540	638	654	508	517	552	593	638	605	474
14 - 15	352	325	396	540	595	479	499	523	543	561	514	381
15 - 16	246	211	261	416	507	421	445	456	455	435	395	277
16 - 17	158	131	162	288	295	321	346	348	321	298	269	180
17 - 18	97	83	53	-	-	-	-	-	53	83	106	99
18 - 19	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
19 - 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 - 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21 - 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 - 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 - 24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suma	3841	3845	4376	5238	5082	3715	3705	3847	4338	4943	4688	3910

4.1.4 Topología de la Solución

Los sistemas cuentan con la siguiente topología:

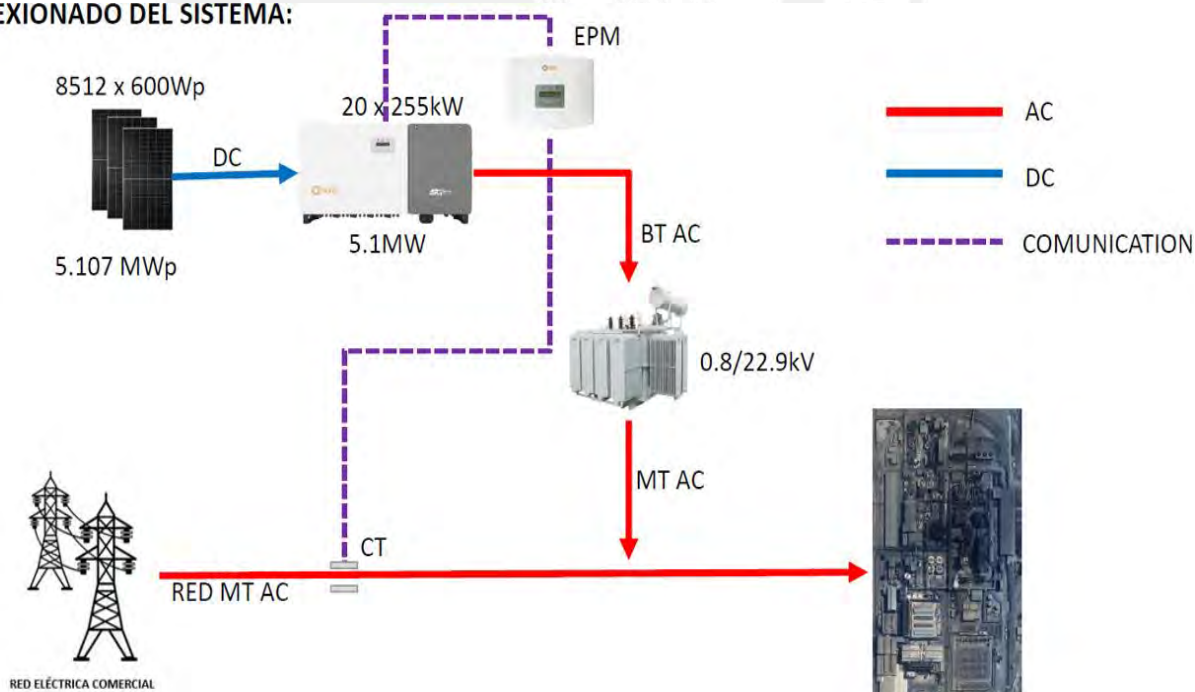
a) Los módulos fotovoltaicos generan energía en corriente directa (DC) a través de la incidencia de rayos solares sobre estos.

- b) Esta energía DC no es utilizable a nivel residencial, industrial, etc. Es por esto que debe ser convertida a corriente alterna (AC) mediante el componente denominado inversor.
- c) La energía a la salida de los inversores es destinada hacia las cargas de consumo del cliente mediante la conexión al tablero de conexión del sistema eléctrico interno de las instalaciones.
- d) La interconexión a la red eléctrica es esencial puesto que funciona como respaldo para el consumo de energía durante el día, la noche o cuando existe poca generación solar.
- e) Para el proyecto, la conexión es mediante una línea de distribución en MT, previo a un centro de transformación.

Figura 23

Topología de Funcionamiento

CONEXIONADO DEL SISTEMA:



Nota. Elaboración propia.

4.1.5 Componentes Principales

Los proyectos de energía solar fotovoltaica requieren diversos equipos y componentes especializados que permiten la captura, conversión y distribución de la energía generada. Cada uno de estos componentes desempeña una función crucial en el proceso de transformación de la luz solar en electricidad utilizable. A continuación, se describen los principales equipos que se utilizarán en el diseño y construcción de la planta solar de 5 MW:

Tabla 5

Componentes Principales a Utilizar

Equipo	Descripción
Módulo Fotovoltaico 600 Wp Trina Solar	Encargado de captar la energía del sol y convertirla en energía eléctrica de corriente continua DC
Estructura metálica de Aluminio	Estructura que soportará y fijará a los módulos fotovoltaicos en el terreno.
Inversores de Red Solis	Componente del sistema encargado de convertir la energía eléctrica DC (de los módulos fotovoltaicos) en energía eléctrica AC.
Smart meter Solis	Para monitorear y controlar el zero export de la planta solar.
Plataforma de monitoreo web y APP	Para monitorear los parámetros de generación de la planta solar y detectar fallos

Selección del Módulo Fotovoltaico 600 Wp Trina Solar:

Se ha seleccionado el módulo fotovoltaico Trina Solar de 600 Wp debido a su alta eficiencia (alrededor del 21 %) y su tecnología de célula bifacial monofacial tipo PERC, que permite un mejor rendimiento bajo condiciones de irradiancia variables. Comparado con otros módulos comerciales similares (como los modelos de JA Solar o Canadian Solar en el rango de 550–600 Wp), Trina Solar ofrece una mejor relación costo-beneficio, fiabilidad operativa en climas cálidos y respaldo de marca con certificaciones internacionales (IEC 61215, IEC 61730). Su potencia elevada permite reducir el número total de paneles necesarios,

optimizando espacio y estructura de soporte. Por estas razones técnicas y comerciales, se considera una opción adecuada para la central fotovoltaica propuesta.

Selección del Smart meter Solis:

Se ha seleccionado el medidor inteligente Solis SPM (Smart Power Meter) debido a su compatibilidad directa con los inversores Solis de la planta fotovoltaica, lo cual garantiza una integración eficiente en la red de monitoreo y control. Este medidor permite la medición bidireccional de energía activa/reactiva, el monitoreo en tiempo real de consumo y generación, y la comunicación vía RS485 o Wi-Fi, lo que facilita su conexión con sistemas SCADA o plataformas en la nube.

Además, Solis ofrece modelos trifásicos con medición hasta 100 A o 250 A, adaptables a las necesidades del proyecto, y cuenta con certificaciones internacionales como MID (Measuring Instruments Directive) y CE, asegurando precisión clase 1 y cumplimiento normativo.

Comparado con otras opciones del mercado como Huawei DTSU666-H o Carlo Gavazzi EM24, el medidor Solis destaca por:

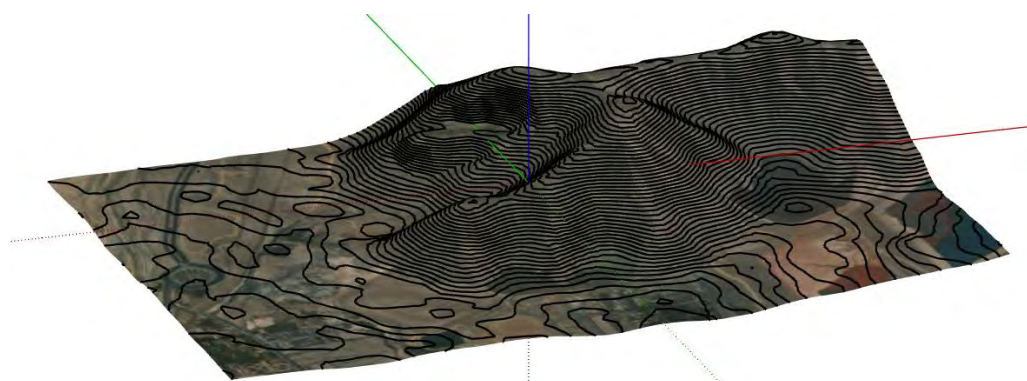
- a) Ser específicamente diseñado para sistemas con inversores Solis (mayor compatibilidad).
- b) Requiere menor configuración inicial, reduciendo tiempo y costos de instalación.
- c) Cuenta con soporte técnico del mismo fabricante del inversor, facilitando integración de datos y actualizaciones.

4.1.6 Diseño del Sistema

El diseño del sistema fotovoltaico se ha desarrollado considerando una capacidad instalada de 5 MWp, distribuida en arreglos sobre una superficie seleccionada en función de criterios de irradiancia, topografía y acceso.

Figura 24

Vista de Planta de la Zona del Proyecto



La Figura 24 muestra la vista de planta del área del proyecto, donde se ha delimitado la zona de instalación de los paneles solares, respetando las distancias mínimas entre filas y los accesos para mantenimiento.

Figura 25

Vista con Paneles Solares Simulados



La Figura 25 presenta la simulación 3D del campo solar con los módulos fotovoltaicos ya distribuidos, permitiendo visualizar el uso del terreno y la orientación de las estructuras. La Figura 26 ilustra el proceso típico de instalación.

Figura 26

Instalación de Paneles Solares



Figura 27

Modelamiento del Sistema

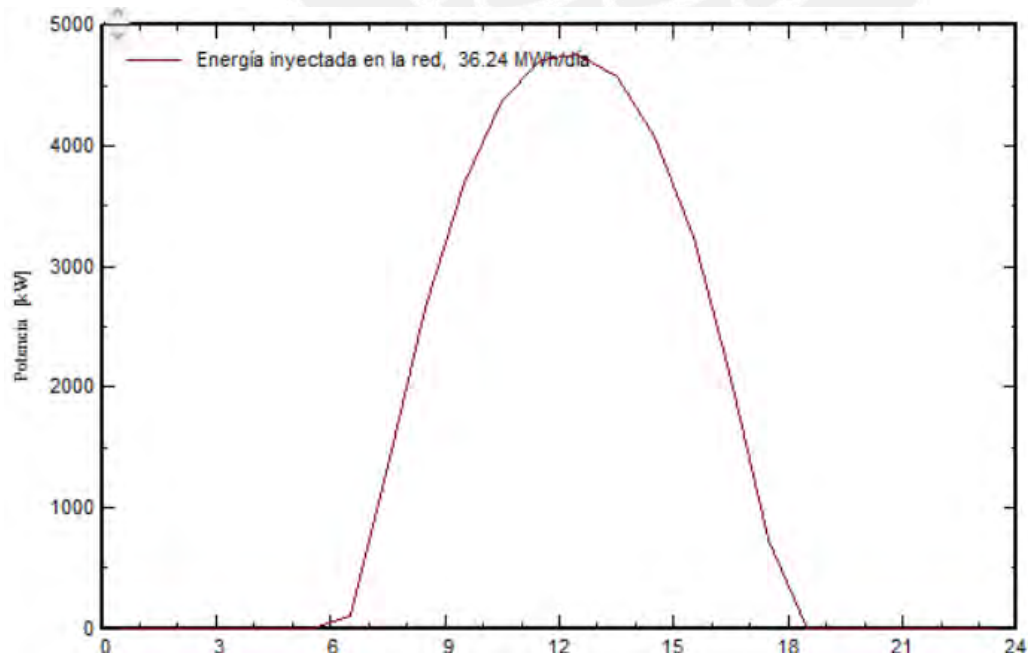
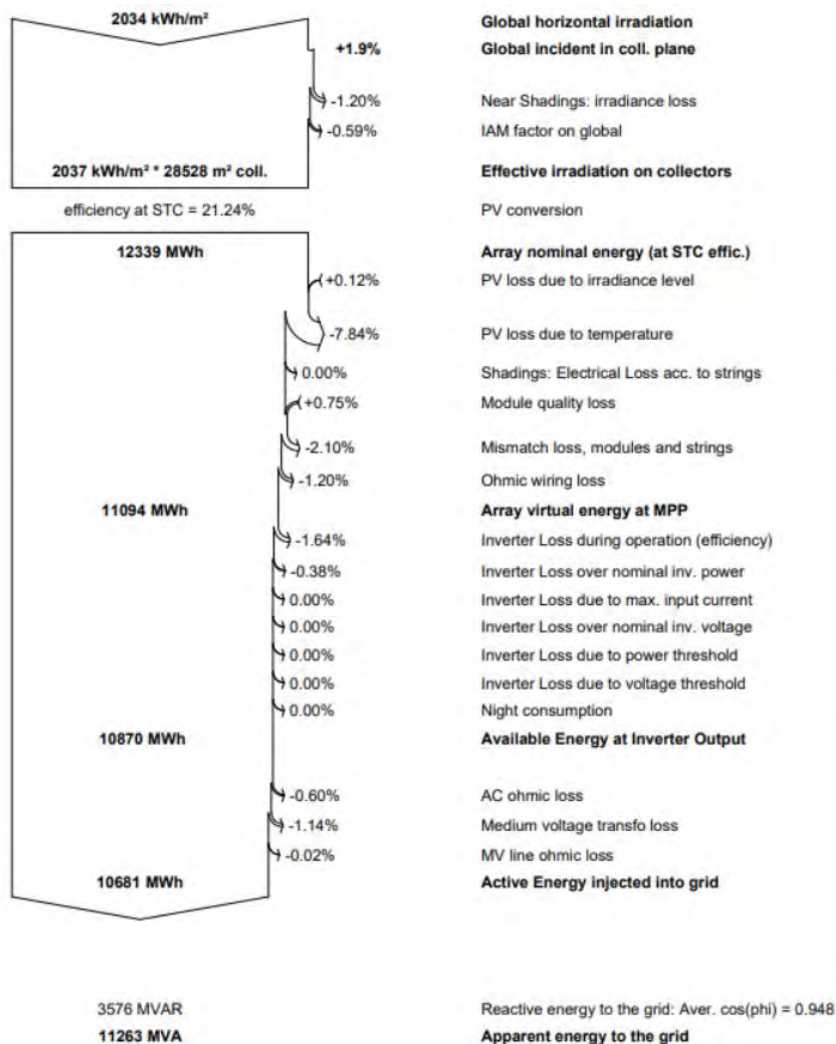


Figura 28

Curva de Generación Típica (Verano).m14x70



En la Figura 28 se observa la curva de generación estimada para un día típico de verano. Este perfil fue generado con base en simulaciones que consideran datos meteorológicos reales y parámetros de eficiencia del sistema, mostrando un pico de generación cercano al mediodía y un perfil de campana estándar.

Tabla 6*Emisiones de CO₂ Evitadas*

Descripción	Cantidad	Unidad
Energía P90 (anual)	8845	MWh/año
Emisiones evitadas	452.1	kgCO ₂ /MWh
Emisiones evitadas (anual)	3998.8	TonCO ₂ /año

La Tabla 6 presenta las emisiones de CO₂ evitadas por la planta solar, calculadas considerando un factor de emisión promedio del sistema eléctrico local. Este valor permite estimar los beneficios ambientales del proyecto:

- a) Emisiones evitadas anuales estimadas.
- b) Valor social estimado: puede expresarse en créditos de carbono o en términos de costo evitado de contaminación.

4.2 Análisis Económico

El presente análisis económico se basa en la evaluación de un sistema fotovoltaico de 5 MWp con una vida útil estimada de 30 años. Los costos del proyecto, tanto de inversión inicial (CAPEX) como de operación y mantenimiento (OPEX), se han desglosado detalladamente en las Tablas 8 y 9. La inversión total asciende a USD 2,710,000, lo que incluye ingeniería, equipos, transporte, instalación, puesta en marcha y contingencias. Para el análisis financiero se tendrá en cuenta los siguientes datos:

Tabla 7*Datos del Proyecto*

Datos generales	Cantidad
Tiempo del proyecto (años)	30
Potencia de diseño (MW)	5
impuesto	30%
Degradación	50%

Los supuestos considerados se resumen en la Tabla 7. La tasa de impuesto corporativo es del 30 %, y se asume una degradación del sistema del 0.5 % anual (en la tabla figura erróneamente como 50 %, que puede deberse a un error de digitación).

Tabla 8*Costos del Proyecto*

Costos proyecto	Costos en dólares (USD)
Ingeniería	20 000
Equipo y subestación, obras civiles	2 500 000
Transporte	30 000
Instalación y montaje	70 000
Puesta en marcha	40 000
Contingencia	50 000
Costo Total	2 710 000

Tabla 9*Costos Operacionales*

Costos Operacionales	Costos en dólares
Costos de operación y mantenimiento	145 000
Gastos administrativos	28 000
Capex Mantenimientos mayores	36 352
Mantenimiento adicional	50000.0

Tabla 10*Tasas Aplicables al Proyecto*

Tasas	
Impuestos	30%
Riesgo País	2.2%
Beta des apalancada	0.67
Beta apalancada	1.37
Rf	3%
Prima de mercado	5.2%
Costo de la deuda (antes de impuesto)	8.0%
Costo de la deuda (después imp)	5.6%
Retorno del accionista	11.84%
Seguro	0.4%
Pasivo	60%
Patrimonio	40%
Plazo crédito	15
CCPP	8.10%

En cuanto al financiamiento, se ha estimado un 60 % de deuda y 40 % de capital propio, con un costo de deuda del 5.6 % (después de impuestos) y una tasa de retorno del accionista del 11.84 %. El cálculo del WACC se deriva de estos componentes, con una tasa de descuento ajustada al riesgo país (2.2 %) y al costo promedio ponderado de capital (CCPP de 8.1 %).

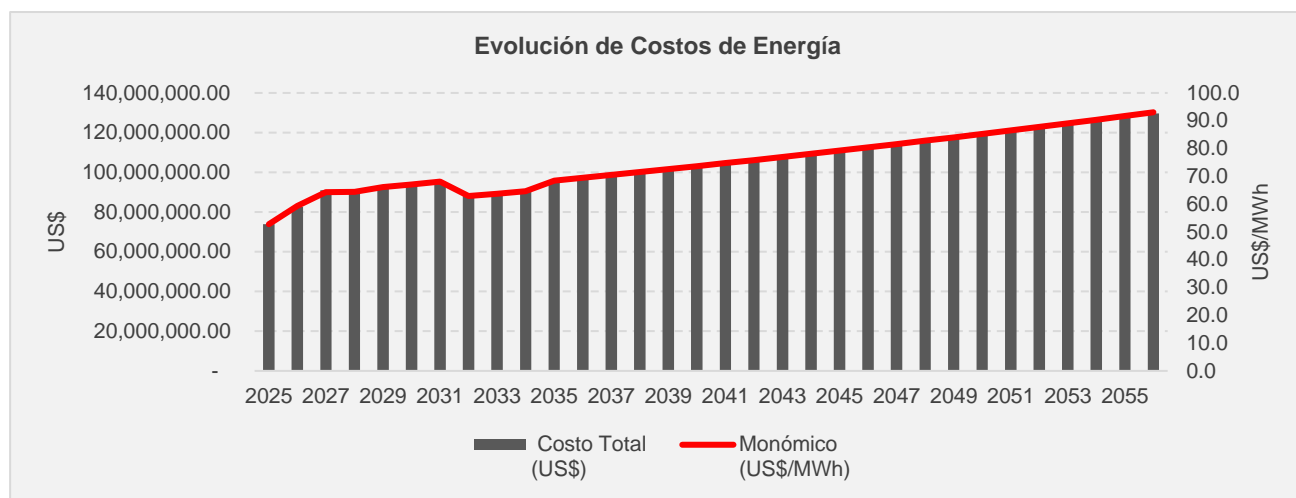
Tabla 11*Registro de Datos Para el Cálculo del Costo de Energía*

Fecha	Energía (MWh)	Costo Total (US\$)	Monómico (US\$/MWh)
2025	1400766.90	73921540.82	52.77
2026	1393598.24	82680856.29	59.33
2027	1414420.83	90943473.80	64.30
2028	1416952.01	91354713.00	64.47
2029	1410323.14	93313593.12	66.16
2030	1406411.56	94371373.86	67.10
2031	1400416.87	95348562.33	68.09
2032	1404896.51	88433069.25	62.95
2033	1404068.42	89534040.97	63.77
2034	1396186.60	90297123.00	64.67
2035	1402500.33	96059673.71	68.49
2036	1402085.14	97442313.89	69.50
2037	1401670.07	98844855.17	70.52
2038	1401255.12	100267584.01	71.56
2039	1400840.30	101710790.97	72.61
2040	1400425.60	103174770.81	73.67
2041	1400011.02	104659822.53	74.76
2042	1399596.56	106166249.42	75.85
2043	1399182.23	107694359.15	76.97
2044	1398768.02	109244463.81	78.10
2045	1398353.93	110816879.98	79.25
2046	1397939.96	112411928.82	80.41
2047	1397526.12	114029936.07	81.59
2048	1397112.40	115671232.20	82.79
2049	1396698.80	117336152.42	84.01
2050	1396285.33	119025036.76	85.24
2051	1395871.97	120738230.15	86.50
2052	1395458.74	122476082.48	87.77
2053	1395045.63	124238948.68	89.06
2054	1394632.65	126027188.80	90.37
2055	1394219.78	127841168.05	91.69
2056	1393807.04	129681256.90	93.04

El ingreso proyectado se basa en la producción energética anual de aproximadamente 1.4 millones de MWh, según se presenta en la Tabla 11. El costo monómico evoluciona de 52.77 USD/MWh en 2025 hasta 93.04 USD/MWh en 2056, reflejando tanto los aumentos en costos operacionales como las pérdidas por degradación de módulos.

Figura 29

Evolución de Costos de Energía Eléctrica



Nota. Elaboración propia.

La Figura 29 ilustra la evolución del costo de energía eléctrica generado, mostrando una tendencia creciente moderada, pero manteniéndose competitiva frente a los precios promedio del mercado.

Tabla 12

Datos de Consumo Energético

Evolución de costos energéticos		
Energía Promedio	1400228.99	MWh
Costo total	104867414.73	US\$
Monómico	0.07491	US\$/kWh

Tabla 13*Datos de Generación Planta Solar*

Inversión total (S/)	10,162,500.00
Energía P50 (MWh)	9 209
Energía Producida (kWh)	9 209 000
Costo Potencia (S/ x kW-mes)	-
Potencia reducida (kW)	-
Costo Energía (S/ x kWh)	0.23
Costo de mantenimiento anual (S/)	50,812.50
Perdida por año (2%)	1%
Meses de Coincidencia	12

4.2.1 Costo por Ahorro de energía (Escalación de Cargos por Energía= 3%)

Con el objetivo de cuantificar los beneficios económicos del proyecto fotovoltaico, se ha realizado una proyección del ahorro energético y del ingreso por venta de energía a lo largo de los 30 años de vida útil estimada del sistema. Para ello, se ha considerado una escalación anual del 3 % en el costo de la energía, tanto para el precio de compra evitado como para el precio de venta.

Tabla 14*Cuadro de Ahorro Energético*

Item	Año	Costo E	Ahorro de Energía	Costo E	Venta de Energía
	Año 0	\$0.07		\$0.08	
1	Año 1	\$0.07	\$689,915.61	\$0.08	\$745,108.86
2	Año 2	\$0.08	\$703,713.92	\$0.08	\$760,011.04
3	Año 3	\$0.08	\$717,788.20	\$0.08	\$775,211.26
4	Año 4	\$0.08	\$732,143.97	\$0.09	\$790,715.48
5	Año 5	\$0.08	\$746,786.85	\$0.09	\$806,529.79
6	Año 6	\$0.08	\$761,722.58	\$0.09	\$822,660.39
7	Año 7	\$0.08	\$776,957.04	\$0.09	\$839,113.60
8	Año 8	\$0.09	\$792,496.18	\$0.09	\$855,895.87
9	Año 9	\$0.09	\$808,346.10	\$0.09	\$873,013.79
10	Año 10	\$0.09	\$824,513.02	\$0.10	\$890,474.06
11	Año 11	\$0.09	\$841,003.28	\$0.10	\$908,283.54
12	Año 12	\$0.09	\$857,823.35	\$0.10	\$926,449.22

13	Año 13	\$0.10	\$874,979.81	\$0.10	\$944,978.20
14	Año 14	\$0.10	\$892,479.41	\$0.10	\$963,877.76
15	Año 15	\$0.10	\$910,329.00	\$0.11	\$983,155.32
16	Año 16	\$0.10	\$928,535.58	\$0.11	\$1,002,818.43
17	Año 17	\$0.10	\$947,106.29	\$0.11	\$1,022,874.79
18	Año 18	\$0.10	\$966,048.42	\$0.11	\$1,043,332.29
19	Año 19	\$0.11	\$985,369.38	\$0.12	\$1,064,198.94
20	Año 20	\$0.11	\$1,005,076.77	\$0.12	\$1,085,482.91
21	Año 21	\$0.11	\$1,025,178.31	\$0.12	\$1,107,192.57
22	Año 22	\$0.11	\$1,045,681.87	\$0.12	\$1,129,336.42
23	Año 23	\$0.12	\$1,066,595.51	\$0.13	\$1,151,923.15
24	Año 24	\$0.12	\$1,087,927.42	\$0.13	\$1,174,961.62
25	Año 25	\$0.12	\$1,109,685.97	\$0.13	\$1,198,460.85
26	Año 26	\$0.12	\$1,131,879.69	\$0.13	\$1,222,430.06
27	Año 27	\$0.13	\$1,154,517.28	\$0.14	\$1,246,878.67
28	Año 28	\$0.13	\$1,177,607.63	\$0.14	\$1,271,816.24
29	Año 29	\$0.13	\$1,201,159.78	\$0.14	\$1,297,252.56
30	Año 30	\$0.13	\$1,225,182.98	\$0.14	\$1,323,197.62
Total			\$27,988,551.21		\$30,227,635.31

La Tabla 14 presenta la evolución anual del costo unitario de la energía y los montos acumulados en ahorro y venta. En el año 1, por ejemplo, el ahorro estimado alcanza los USD 689,915.61, mientras que los ingresos por venta de energía ascienden a USD 745,108.86, considerando un precio inicial de USD 0.08/kWh.

A lo largo del período de evaluación, los valores se incrementan de forma sostenida, alcanzando en el año 30 los USD 1,225,182.98 por concepto de ahorro energético y USD 1,323,197.62 por ventas. Estos flujos representan una progresiva recuperación de la inversión inicial y consolidan la rentabilidad del proyecto.

En términos acumulados, el sistema generaría un ahorro total de USD 27,988,551.21 y ventas por USD 30,227,635.31 en el horizonte de evaluación. Estos valores refuerzan la viabilidad económica del proyecto, sobre todo al compararlos con el costo total de inversión (USD 2,710,000), evidenciando un retorno atractivo y sostenible en el largo plazo.

4.2.2 Flujo de caja con valores

Tabla 15

Flujo de Caja del Año 2024-2033

AÑO	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Venta de Energía contrato				745,109	760,011	775,211	790,715	806,530	822,660	839,114
Valor de canje en el MDL				82,930	82,930	82,930	82,930	82,930	82,930	82,930
Ingresos				828,039	842,941	858,141	873,646	889,460	905,591	922,044
Costos de Operación y Mantto.				-145,000	-147,900	-150,858	-153,875	-156,953	-160,092	-163,294
Gatos administrativos				-28,000	-28,560	-29,131	-29,714	-30,308	-30,914	-31,533
Seguro				-12,791	-12,791	-12,791	-12,791	-12,791	-12,791	-12,791
Total costos				- 185,791	-189,251	-192,780	-196,380	-200,052	-203,797	-207,617
EBITDA				- 642,248	653,690	665,361	677,265	689,408	701,793	714,426
Depreciación				-542,000	-549,270	-556,541	-563,811	-571,082	-578,352	-585,622
EBIT				- 100,248	104,420	108,820	113,454	118,326	123,441	128,804
Impuesto a la renta (Participaciones)				-30,074	-31,326	-32,646	-34,036	-35,498	-37,032	-38,641
Depreciación				542,000	549,270	556,541	563,811	571,082	578,352	585,622
NOPAT			-	- 612,173	622,364	632,715	643,229	653,910	664,761	675,785
Requerimiento de capital				-100,093	-1,969	-2,008	-2,048	-2,089	-2,131	-2,174
CAPEX	-43,360	-1,434,132	-1,232,508	-36,352	-36,352	-36,352	-36,352	-36,352	-36,352	-36,352
Flujo de caja libre	-43,360	-1,434,132	-1,232,508	475,729	584,043	594,355	604,829	615,469	626,278	637,260

Tabla 16*Flujo de Caja del Año 2034-2042*

AÑO	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042
Venta de energía contrato	855,896	873,014	890,474	908,284	926,449	944,978	963,878	983,155	1,002,818
Valor de canje en el MDL	82,930	82,930	82,930	82,930	82,930	82,930	82,930	82,930	82,930
Ingresos	938,826	955,944	973,404	991,214	1,009,379	1,027,908	1,046,808	1,066,085	1,085,749
Costos de operación y mantenimiento	-166,559	-169,891	-173,288	-176,754	-180,289	-183,895	-187,573	-191,324	-195,151
Gatos administrativos	-32,163	-32,806	-33,463	-34,132	-34,814	-35,511	-36,221	-36,945	-37,684
Seguro	-12,791	-12,791	-12,791	-12,791	-12,791	-12,791	-12,791	-12,791	-12,791
Total costos	-211,514	-215,488	-219,542	-223,677	-227,895	-232,197	-236,585	-241,061	-245,626
EBITDA	727,312	740,456	753,862	767,536	781,484	795,711	810,223	825,024	840,122
Depreciación	-592,893	-600,163	-607,434	-614,704	-621,974	-629,245	-636,515	-643,786	-651,056
EBIT	134,419	140,292	146,428	152,832	159,510	166,467	173,708	181,239	189,066
Impuesto a la renta (Participaciones)	-40,326	-42,088	-43,929	-45,850	-47,853	-49,940	-52,112	-54,372	-56,720
Depreciación	592,893	600,163	607,434	614,704	621,974	629,245	636,515	643,786	651,056
NOPAT	686,986	698,368	709,933	721,687	733,631	745,771	758,111	770,653	783,402
Requerimiento de capital de trabajo	-2,217	-2,261	-2,307	-2,353	-2,400	-2,448	-2,497	-2,547	-2,598
CAPEX	-36,352	-36,352	-36,352	-36,352	-36,352	-36,352	-36,352	-36,352	-36,352
Flujo de caja libre	648,417	659,755	671,275	682,982	694,880	706,972	719,262	731,754	744,453

Tabla 17*Flujo de Caja del Año 2043-2050*

AÑO	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Venta de Energía contrato	1022874.79	1043332.29	1064198.94	1085482.91	1107192.57	1129336.42	1151923.15	1174961.62
Valor de canje en el MDL	82930.1674	82930.1674	82930.1674	82930.1674				
Ingresos	1105804.96	1126262.46	1147129.1	1168413.08	1107192.57	1129336.42	1151923.15	1174961.62
Costos de operación y mantenimiento	-199053.927	-203035.006	-207095.706	-211237.62	-215462.372	-219771.62	-224167.052	-228650.393
Gatos administrativos	-38437.9997	-39206.7597	-39990.8949	-40790.7128	-41606.5271	-42438.6576	-43287.4308	-44153.1794
Seguro	-12791.2	-12791.2	-12791.2	-12791.2	-12791.2	-12791.2	-12791.2	-12791.2
Total costos	-250283.127	-255032.966	-259877.801	-264819.533	-269860.1	-275001.477	-280245.683	-285594.773
EBITDA	855521.834	871229.492	887251.302	903593.549	837332.473	854334.946	871677.469	889366.843
Depreciación	-658326.4	-665596.8	-672867.2	-680137.6	-687408	-694678.4	-701948.8	-709219.2
EBIT	197195.434	205632.692	214384.102	223455.949	149924.473	159656.546	169728.669	180147.643
Impuesto a la renta (Participaciones)	-59158.6303	-61689.8075	-64315.2306	-67036.7846	-44977.3419	-47896.9639	-50918.6008	-54044.2928
Depreciación	658326.4	665596.8	672867.2	680137.6	687408	694678.4	701948.8	709219.2
NOPAT	796363.204	809539.684	822936.071	836556.764	792355.131	806437.983	820758.869	835322.55
Requerimiento de capital de trabajo	-2649.5923	-2702.58415	-2756.63583	-2811.76855				
CAPEX	-36352	-36352	-36352	-36352	-36352	-36352	-36352	-36352
Flujo de caja libre	757361.612	770485.1	783827.436	797392.996	756003.131	770085.983	784406.869	798970.55

Tabla 18*Flujo de Caja del Año 2051-2056*

AÑO	2051	2052	2053	2054	2055	2056
Venta de Energía contrato	1198460.85	1222430.06	1246878.67	1271816.24	1297252.56	1323197.62
Valor de canje en el MDL						
Ingresos	1198460.85	1222430.06	1246878.67	1271816.24	1297252.56	1323197.62
Costos de operación y mantenimiento	-233223.401	-237887.869	-242645.627	-247498.539	-252448.51	-257497.48
Gastos administrativos	-45036.243	-45936.9678	-46855.7072	-47792.8213	-48748.6778	-49723.6513
Seguro	-12791.2	-12791.2	-12791.2	-12791.2	-12791.2	-12791.2
Total costos	-291050.844	-296616.037	-302292.534	-308082.56	-313988.388	-320012.331
EBITDA	907410.004	925814.028	944586.132	963733.679	983264.176	1003185.28
Depreciación	-716489.6	-723760	-731030.4	-738300.8	-745571.2	-752841.6
EBIT	190920.404	202054.028	213555.732	225432.879	237692.976	250343.684
Impuesto a la renta (Participaciones)	-57276.1211	-60616.2083	-64066.7197	-67629.8637	-71307.8929	-75103.1052
Depreciación	716489.6	723760	731030.4	738300.8	745571.2	752841.6
NOPAT	850133.883	865197.819	880519.413	896103.815	911956.284	928082.179
Requerimiento de capital de trabajo						
CAPEX	-36352	-36352	-36352	-36352	-36352	-36352
Flujo de caja libre	813781.883	828845.819	844167.413	859751.815	875604.284	891730.179

Tabla 19*Activos Fijos Netos 2024-2032*

N° AÑO	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Cuentas por cobrar			-71448.7949	-72877.7708	-74335.3263	-75822.0328	-77338.4734	-78885.2429	
Inventarios			-12083.3333	-12325	-12571.5	-12822.93	-13079.3886	-13340.9764	
Efectivo			-16560.7806	-16858.8241	-17162.8285	-17472.913	-17789.1992	-18111.8112	
Fondo de maniobra			-100092.909	-102061.595	-104069.655	-106117.876	-108207.061	-110338.03	
Inversiones			-100092.909	-1968.68611	-2008.05983	-2048.22103	-2089.18545	-2130.96916	
Activo bruto	43360	1477492	2710000	2746352	2782704	2819056	2855408	2891760	2928112
Depreciación				542000	549270.4	556540.8	563811.2	571081.6	578352
Activos fijos neto	43360	1477492	2710000	2204352	2233433.6	2262515.2	2291596.8	2320678.4	2349760

Tabla 20*Activos Fijos Netos 2033-2041*

N° AÑO	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
Cuentas por cobrar	-80462.9478	-82072.2067	-83713.6509	-85387.9239	-87095.6823	-88837.596	-90614.3479	-92426.6349	-94275.1676
Inventarios	-13607.7959	-13879.9518	-14157.5509	-14440.7019	-14729.5159	-15024.1062	-15324.5884	-15631.0801	-15943.7017
Efectivo	-18440.8753	-18776.5207	-19118.8791	-19468.0846	-19824.2742	-20187.5877	-20558.1673	-20936.1586	-21321.7097
Fondo de maniobra	-112511.619	-114728.679	-116990.081	-119296.71	-121649.472	-124049.29	-126497.104	-128993.874	-131540.579
Inversiones	-2173.58854	-2217.06031	-2261.40152	-2306.62955	-2352.76214	-2399.81738	-2447.81373	-2496.77001	-2546.70541
Activo bruto	2964464	3000816	3037168	3073520	3109872	3146224	3182576	3218928	3255280
Depreciación	585622.4	592892.8	600163.2	607433.6	614704	621974.4	629244.8	636515.2	643785.6
Activos fijos neto	2378841.6	2407923.2	2437004.8	2466086.4	2495168	2524249.6	2553331.2	2582412.8	2611494.4

Tabla 21*Activos Fijos Netos 2042-2050*

N° AÑO	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Cuentas por cobrar	-96160.6709	-98083.8843	-100045.562	-102046.473	-104087.403	-106169.151	-108292.534	-110458.384	-112667.552
Inventarios	-16262.5758	-16587.8273	-16919.5838	-17257.9755	-17603.135	-17955.1977	-18314.3017	-18680.5877	-19054.1994
Efectivo	-21714.9719	-22116.0992	-22525.2491	-22942.5821	-23368.2616	-22143.8514	-22586.7285	-23038.463	-23499.2323
Fondo de maniobra	-134138.219	-136787.811	-139490.395	-142247.031	-145058.799	-146268.2	-149193.564	-152177.435	-155220.984
Inversiones	-2597.63951	-2649.5923	-2702.58415	-2756.63583	-2811.76855	-1209.40057	-2925.364	-2983.87128	-3043.5487
Activo bruto	3291632	3327984	3364336	3400688	3437040	3473392	3509744	3546096	3582448
Depreciación	651056	658326.4	665596.8	672867.2	680137.6	687408	694678.4	701948.8	709219.2
Activos fijos neto	2640576	2669657.6	2698739.2	2727820.8	2756902.4	2785984	2815065.6	2844147.2	2873228.8

Tabla 22*Activos Fijos Netos 2051-2056*

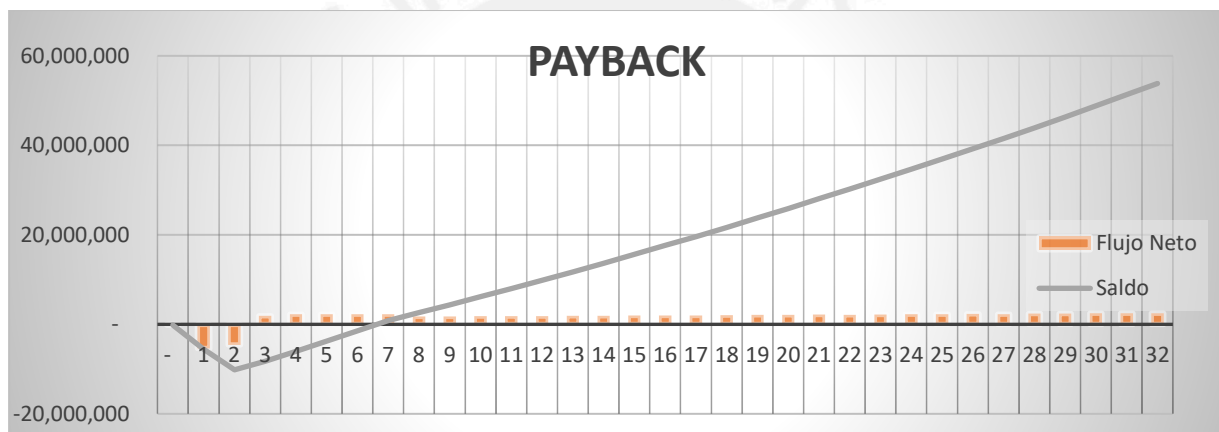
N° AÑO	2051	2052	2053	2054	2055	2056
Cuentas por cobrar	-114920.903	-117219.321	-119563.708	-121954.982	-124394.081	-126881.963
Inventarios	-19435.2834	-19823.9891	-20220.4689	-20624.8783	-21037.3758	-21458.1233
Efectivo	-23969.217	-24448.6013	-24937.5733	-25436.3248	-25945.0513	-26463.9523
Fondo de maniobra	-158325.404	-161491.912	-164721.75	-168016.185	-171376.509	-174804.039
Inversiones	-3104.41968	-3166.50807	-3229.83823	-3294.435	-3360.3237	-3427.53017
Activo bruto	3618800	3655152	3691504	3727856	3764208	3800560
Depreciación	716489.6	723760	731030.4	738300.8	745571.2	752841.6
Activos fijos neto	2902310.4	2931392	2960473.6	2989555.2	3018636.8	3047718.4

4.2.3 Obtención de resultados

Con base en los flujos de caja proyectados para 20 y 30 años de operación del sistema fotovoltaico de 5 MW, se llevó a cabo un análisis financiero para evaluar la viabilidad económica del proyecto. Para este análisis se utilizó una tasa de descuento equivalente al Costo Promedio Ponderado de Capital (CPPC), que asciende a 8.10 %, tal como se detalló en la Tabla 10.

Figura 30

Playback



La Figura 30 muestra la curva de retorno acumulado (Playback), donde se visualiza el punto de equilibrio financiero alcanzado antes del octavo año de operación. Esta representación confirma la rápida amortización de la inversión inicial gracias a la estabilidad operativa del sistema y al bajo costo de mantenimiento.

Tabla 23*Resultados a 20 Años de Operación*

Datos de viabilidad	
VAN	\$ 3,170,998.28
CCPP	8.10%
TIR	19.58%
PAYBACK	7

Tabla 24*Resultados con 30 Años de Concesión*

Datos de viabilidad	
VAN	\$ 4,229,576.21
CCPP	8.10%
TIR	20.11%
PAYBACK	6.63

En el escenario de 20 años, se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de USD 3,170,998.28, con una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 19.58 % y un período de recuperación de la inversión (Payback) de 7 años. Estos valores demuestran que el proyecto es financieramente viable incluso en un horizonte de análisis conservador.

Por otro lado, al extender la concesión a 30 años, se observó un incremento del VAN hasta USD 4,229,576.21, acompañado de una mejora en la TIR a 20.11 % y una reducción del período de recuperación a 6.63 años. Esto evidencia que una mayor vida útil del proyecto potencia significativamente su rentabilidad, maximizando los beneficios económicos para los inversionistas.

Tabla 25*Flujo de Patrimonio 2024-2032*

Nº AÑO	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Factor propiedad	0.88								
FCF	-43360	-1434132	-1232508	418641.143	513958.226	523032.311	532249.491	541612.626	551124.636
Pago a promotores									
Préstamo		1312335.96							
Intereses			-91863.5171	-89107.6115	-86158.7927	-83003.5564	-79627.4537	-76015.0237	-72149.7237
Amortización			-39370.0787	-42125.9843	-45074.8031	-48230.0394	-51606.1421	-55218.5721	-59083.8721
Escudo fiscal			27559.0551	26732.2835	25847.6378	24901.0669	23888.2361	22804.5071	21644.9171
Flujo de caja de nuestros accionistas	-43360	-121796.042	-1336182.54	314139.83	408572.268	416699.782	424904.131	433183.537	441535.958

Tabla 26*Flujo de Patrimonio 2032-2041*

Nº AÑO	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
Factor propiedad									
FCF	560788.499	570607.252	580583.992	590721.878	601024.135	611494.05	622134.974	632950.33	643943.605
Pago a promotores									
Préstamo									
Intereses	-68013.8526	-63588.4706	-58853.3118	0	0	0	0	0	0
Amortización	-63219.7432	-67645.1252	-72380.284	0	0	0	0	0	0
Escudo fiscal	20404.1558	19076.5412	17655.9936						

Flujo de caja de nuestros accionistas	449959.059	458450.197	467006.389	590721.878	601024.135	611494.05	622134.974	632950.33	643943.605
--	------------	------------	------------	------------	------------	-----------	------------	-----------	------------

Tabla 27*Flujo de Patrimonio 2042-2050*

Nº AÑO	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Factor propiedad									
FCF	655118.358	666478.218	678026.888	689768.143	701705.836	665282.755	677675.665	690278.044	703094.084
Pago a promotores									
Préstamo									
Intereses	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Escudo fiscal									
Flujo de caja de nuestros accionistas	655118.358	666478.218	678026.888	689768.143	701705.836	665282.755	677675.665	690278.044	703094.084

Tabla 28*Flujo de Patrimonio 2051-2056*

Nº AÑO	2051	2052	2053	2054	2055	2056
Factor propiedad						
FCF	716128.057	729384.321	742867.323	756581.597	770531.769	784722.557
Pago a promotores						
Préstamo						
Intereses	0	0	0	0	0	0
Amortización	0	0	0	0	0	0
Escudo fiscal						
Flujo de caja de nuestros accionistas	716128.057	729384.321	742867.323	756581.597	770531.769	784722.557

El presente proyecto de instalación de una planta solar fotovoltaica con capacidad de 5 MW presenta indicadores financieros que evidencian su viabilidad y atractivo económico. A continuación, se analizan los principales parámetros financieros obtenidos: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Costo de Capital Promedio Ponderado (CCPP) y periodo de recuperación de la inversión (Payback).

El Valor Actual Neto (VAN) calculado asciende a \$4,229,576.21, lo que indica que, descontando los flujos futuros de caja al costo de capital del 8.10%, el proyecto generará un valor positivo y significativo para los inversionistas. Un VAN positivo representa una rentabilidad que supera el costo de oportunidad del capital, confirmando que la inversión es económicamente conveniente.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) obtenida es del 20.11%, cifra que supera ampliamente el costo de capital utilizado para descontar los flujos de caja. Esta diferencia implica que el proyecto no solo cubre el costo financiero, sino que además ofrece un margen considerable de rentabilidad, lo cual mejora su atractivo frente a otras alternativas de inversión con riesgos comparables.

El periodo de recuperación de la inversión o Payback es de aproximadamente 6.63 años. Este lapso es razonable considerando que la vida útil de las plantas solares típicamente oscila entre 20 y 25 años. Un payback dentro de este rango asegura que el capital invertido se recupera en un plazo prudente, disminuyendo la exposición al riesgo y garantizando un flujo de caja positivo durante la mayor parte de la vida operativa del proyecto.

Adicionalmente, el proyecto presenta características favorables desde el punto de vista de sostenibilidad y financiamiento. La estabilidad en los ingresos, producto de contratos a largo plazo o tarifas reguladas, junto con la posibilidad de acceder a incentivos fiscales o financiamiento verde, contribuyen a fortalecer la viabilidad financiera y ambiental del emprendimiento.

En conclusión, los indicadores financieros demuestran que el proyecto de planta solar fotovoltaica de 5 MW es viable y rentable. La combinación de un VAN positivo, una TIR que supera con creces el costo de capital y un periodo de recuperación adecuado, respaldan la decisión de inversión. Este proyecto no solo contribuirá a la diversificación energética del país, sino que también impulsará el desarrollo sostenible y la generación de energía limpia, alineándose con los objetivos nacionales e internacionales en materia ambiental.

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Como viabilidad financiera a 20 años de operación el Valor Actual Neto (VAN) de \$ 3,170,998.28 indica que el proyecto generará un valor adicional significativo sobre la inversión inicial, lo que demuestra que el proyecto es rentable y justifica su ejecución desde una perspectiva económico-financiera.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es igual a 20.11% lo que sugiere que, aunque el proyecto es rentable, la rentabilidad es justo lo suficiente para cubrir el costo de capital. Esto implica que el proyecto debe ser gestionado con cuidado para asegurar que se mantengan estos márgenes.

Con un periodo de recuperación (Payback) de 7 años, el proyecto recuperará su inversión en un plazo razonable dentro de su vida útil, lo que disminuye los riesgos financieros asociados y proporciona seguridad a los inversionistas respecto al retorno de su capital.

La combinación de un VAN positivo, una TIR mayor al 15% y un Payback menor a 7 años tiene un plazo razonable por lo cual el proyecto es financieramente sostenible a largo plazo, siempre que se mantengan las condiciones actuales de costos y precios en el mercado energético.

El TIR del inversionista calculado es de 27.25 % nos indica que los accionistas pueden esperar un retorno atractivo sobre su inversión, lo que puede facilitar la obtención de financiamiento y atraer más inversiones al proyecto.

La instalación de una planta solar de 5 MW representa una contribución significativa al mix energético renovable del país, ayudando a reducir la dependencia de fuentes de energía fósiles y a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y cambio climático.

La magnitud del proyecto, con 5 MW de capacidad, permite aprovechar economías de escala, lo que puede resultar en una reducción del costo por unidad de energía producida (LCOE), mejorando la competitividad de la planta frente a otras fuentes de energía.

La construcción y operación de una planta solar de esta capacidad tiene el potencial de generar empleo y desarrollo económico en la región donde se instalará.

La implementación de una planta solar de gran escala abre oportunidades para la integración de tecnologías innovadoras, como sistemas avanzados de almacenamiento de energía o la incorporación de técnicas de inteligencia artificial para optimizar la producción y la gestión energética.

Recomendaciones

La optimización de costos del proyecto ayudara en investigar oportunidades para reducir costos operativos y de instalación, la disminución de costos pude mejorar aún más la rentabilidad del proyecto.

Implementar un sistema de monitoreo y evaluación continuo para seguir de cerca el desempeño de la planta solar, lo que permitirá ajustar estrategias operativas y financieras en función del rendimiento real frente a las proyecciones.

Promover la concientización de los beneficios ambientales y económicos del proyecto a los potenciales inversores, lo que podría fomentar el apoyo y la aceptación del proyecto.

Fomentar el uso de energías renovables reforzando el compromiso con la sostenibilidad y reducción de la huella de carbono, lo que puede atraer tanto a inversores como a consumidores interesados en la energía limpia.



Referencias

- Agencia Internacional de Energía (IEA). (2021). *World energy outlook 2021*. París: IEA Publications. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- REN21. (2021). *Renewables 2021 global status report*. REN21 Secretariat. <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2023). *Energía solar en América Latina y el Caribe: Oportunidades y desafíos*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/>
- Jacobson, M. Z., Delucchi, M. A., Cameron, M. A., & Frew, B. A. (2017). Low-cost solution to the grid reliability problem with 100% penetration of intermittent wind, water, and solar for all purposes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(49), 11254-11259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1610381114>
- BloombergNEF. (2020). *Global solar market outlook*. BloombergNEF. <https://about.bnef.com/>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). *Renewable power generation costs in 2020*. IRENA. <https://www.irena.org/publications/2021>
- Pascaris, A. S., Schelly, C., & Pearson, D. (2021). Integrating sustainability into solar energy development: Potential benefits and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110795. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110795>
- Nelson, J. (2013). *The physics of solar cells*. World Scientific Publishing Company.
- Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable energy resources* (3rd ed.). Routledge.

World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our common future*. Oxford University Press.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2023). *Energía solar en América Latina: Evaluación y perspectivas*. BID.
<https://www.iadb.org/es/sectores/energia/publicaciones>

Fraunhofer ISE. (2021). *Photovoltaics report*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.
<https://www.ise.fraunhofer.de>

Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., & Labor, J. (2012). Solar cell efficiency tables (version 40). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 20(5), 606-614. <https://doi.org/10.1002/pip.2188>

Jacobson, M. Z., & Delucchi, M. A. (2017). 100% clean and renewable wind, water, and sunlight all-sector energy roadmaps for 139 countries of the world. *Joule*, 1(1), 108-121. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.07.005>

KPMG. (2019). *Global renewable energy report*. KPMG International.
<https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2019/04/global-renewable-energy-report-2019.html>

Louwen, A., & Bloemendal, P. (2020). Tool for the assessment of financial viability of solar energy projects. *Solar Energy*, 194, 620-635.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.027>

International Energy Agency. (2022). *World energy outlook 2022*. IEA.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). *Renewable energy statistics 2023*.

IRENA. <https://www.irena.org/publications/2023/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2023>

Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2023). *Informe de Energías Renovables en Perú*.

MINEM. <https://www.gob.pe/minem>

National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2023). *Solar photovoltaic technology*

basics. <https://www.nrel.gov/research/re-photovoltaics.html>

Quaschnig, V. (2019). *Understanding renewable energy systems* (2nd ed.). Routledge.

<https://doi.org/10.4324/9780203862119>

Razon, B., & Fthenakis, V. (2020). *Solar energy: Fundamentals and applications*. Springer.

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-26179-2>

Ruggiero, S., Onkila, T., & Kuittinen, V. (2014). Participation of local communities in renewable energy projects: Case studies from Finland and the UK. *Sustainability*, 6(4),

850-871. <https://doi.org/10.3390/su6040850>

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (4th ed.).

John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>

Fraunhofer UMSICHT. (2021). *Photovoltaics report*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.

<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

Congreso de la República del Perú. (2008). *Ley N° 1002: Ley de promoción de la inversión en generación de electricidad con el uso de energías renovables*. Diario Oficial El Peruano.

Ministerio de Energía y Minas. (2011). *Decreto Supremo N° 012-2011-EM: Reglamento de Generación de Electricidad con Energías Renovables*. Diario Oficial El Peruano.

Instituto Nacional de Calidad. (2017). *Normas Técnicas del Código Nacional de Electricidad – Utilización*. Lima, Perú: INACAL.

Congreso de la República del Perú. (2001). *Ley N° 27446: Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental*. Diario Oficial El Peruano.

Ministerio de Energía y Minas. (2013). *Resolución Ministerial N° 111-2013-MEM/DM: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Electricidad*. Diario Oficial El Peruano.

