

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

TESIS

**Identificación de percepciones que limitan la
adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa -
2024**

Autor:

Jose Manuel Quico Ccahuaya

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Arequipa - Perú
2025

Repositorio Institucional Continental

Tesis digital



Esta obra está bajo una licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional"

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Ronald Alex Gaona Gallegos
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 5 de Mayo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

IDENTIFICACIÓN DE PERCEPCIONES QUE LIMITAN LA ADOPCIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN AREQUIPA - 2024

Autores:

1. JOSE MANUEL QUICO CCAHUAYA – EAP. Ingeniería Eléctrica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 11 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): 20 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a los docentes de la especialidad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Continental, por haber compartido conmigo sus conocimientos, experiencias y enseñanzas que marcaron mi formación profesional.

También, expreso mi profundo agradecimiento a mi madre Pascuala, por su amor, confianza y apoyo incondicional. A la memoria de mi padre Justino, por los valores y la fuerza que me transmitió. Y a mis hermanos, Edwin y Jorge, quienes siempre me alentaron a no rendirme y a seguir luchando por mis sueños.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a nuestro Padre Dios, por ser guía y fortaleza en cada paso de mi vida. A mi esposa, por su amor, paciencia y compañía incondicional en este camino. A mis queridos padres, hermanos y familiares, por su constante apoyo y aliento. Y de manera muy especial, a mis hijos Gael Matías y Jade Antonella, quienes son mi mayor inspiración y motivo para seguir adelante.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1 Problema general	1
1.1.2 Problemas específicos	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Justificación e importancia.....	3
1.3.1 Justificación técnica	3
1.3.2 Justificación económica	3
1.3.3 Justificación social	3
1.3.4 Justificación ambiental.....	4
1.3.5 Justificación académica.....	4
1.3.6 Importancia.....	4
1.4 Hipótesis y descripción de las variables	4
1.4.1 Hipótesis general.....	4
1.4.2 Hipótesis específicas	5
1.5 Variables	5
1.5.1 Variable independiente.....	5
1.5.2 Variable dependiente.....	5
1.5.3 Operacionalización de las variables	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7

2.1	Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1	Antecedentes internacionales	7
2.2	Bases teóricas	10
2.2.1	Importancia de la energía solar fotovoltaica.....	10
2.2.2	Contexto y relevancia para Arequipa.....	10
2.2.3	Fundamentos de la energía solar fotovoltaica.....	12
2.3	Definición de términos básicos	18
CAPÍTULO III		36
METODOLOGÍA.....		36
3.1	Tipo de investigación.....	36
3.2	Nivel de investigación	36
3.3	Metodología aplicada para el desarrollo de la solución	36
3.4	Justificación de la metodología empleada.....	37
3.5	Población y muestra.....	37
3.5.1	Población objetivo	37
3.6	Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.6.1	Instrumentos de evaluación	39
CAPÍTULO IV		40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		40
4.1	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	40
4.1.1	Percepciones que limitan la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa..	40
4.1.2	Impacto de la percepción de rentabilidad en la adopción de sistemas fotovoltaicos en hogares y negocios de Arequipa.....	50
4.1.3	Influencia de los costos iniciales de instalación en la percepción de accesibilidad y viabilidad económica de la energía fotovoltaica entre los arequipeños..	52
4.1.4	Impacto del miedo a fallas eléctricas en la disposición de los residentes de Arequipa a invertir en tecnología fotovoltaica.....	54
4.1.5	Rol de la información y conocimiento sobre tecnología fotovoltaica en la decisión de adoptar paneles solares en Arequipa	58
4.1.6	Requerimientos técnicos para la instalación de sistemas fotovoltaicos: normativas y especificaciones.....	60
4.1.7	Políticas locales y apoyo gubernamental para la adopción de energía solar fotovoltaica en Arequipa	64
4.1.8	Estrategias internacionales para mitigar percepciones negativas sobre sistemas fotovoltaicos	67
4.1.9	Propuesta de norma para la masificación de paneles solares en techos de viviendas en el Perú.....	68
4.2	Discusión de resultados.....	71

CAPÍTULO V	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1 Conclusiones	73
5.2 Recomendaciones	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Variables del estudio y su operacionalización.....	6
Tabla 2.	Potencial solar en Arequipa.....	11
Tabla 3.	Proyectos solares en Arequipa: capacidades y coberturas	11
Tabla 4.	Ventajas y desventajas de las energías renovables.	20
Tabla 5.	Plantas solares en Perú: capacidad y ubicación.....	25
Tabla 6.	Cantidad de palabras relacionadas con los criterios más importantes.....	43
Tabla 7.	Frecuencia relativa de las categorías.....	44
Tabla 8.	Categorías de percepciones que limitan el uso de energía solar en Arequipa	44
Tabla 9.	Preguntas que impactaron como resultado para la adopción de paneles solares según rentabilidad.....	45
Tabla 10.	Preguntas que impactaron como resultado para la adopción de paneles solares según seguridad	46
Tabla 11.	Preguntas que impactaron como resultado para la adopción de paneles solares según viabilidad técnica.	47
Tabla 12.	Preguntas clave por categoría – viabilidad técnica.....	48
Tabla 13.	Preguntas clave por categoría – rentabilidad.....	48
Tabla 14.	Preguntas clave por categoría – seguridad.....	49
Tabla 15.	Resultados de la encuesta sobre percepción de rentabilidad.....	51
Tabla 16.	Clasificación de los clientes regulados por rangos de consumo.....	52
Tabla 17.	Resultados obtenidos en la categoría de seguridad.....	55
Tabla 18.	Preguntas relacionadas con el rol de la información y conocimiento sobre tecnología fotovoltaica.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Reflectores de torre de energía.	13
Figura 2.	Coletores cilindro-parabólicos. To.....	13
Figura 3.	Platos Stirling.	14
Figura 4.	Chimeneas solares. T	14
Figura 5.	Reflectores lineales Fresnel de concentración.	15
Figura 6.	Bandas de energía.	16
Figura 7.	Células fotovoltaicas.....	17
Figura 8.	Tecnología que convierte la luz solar directamente en electricidad mediante el efecto fotovoltaico.	18
Figura 9.	La tecnología FV.	19
Figura 10.	Uso de paneles solares	21
Figura 11.	Curva de adopción de la innovación.	22
Figura 12.	Mito y realidad.....	23
Figura 13.	Mapa de Perú de irradiación de energía solar promedio diaria anual.	26
Figura 14.	Sistemas fotovoltaicos.....	28
Figura 15.	Análisis FODA.	29
Figura 16.	Sistema OFF GRID.....	30
Figura 17.	Efecto socioeconomía del cambio climático.	32
Figura 18.	Incidencia diaria departamento de Arequipa	34
Figura 19.	Tecnología fotovoltaica en Arequipa.	35
Figura 20.	Estratos de consumo y usuarios en Arequipa.	53

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal identificar las percepciones que limitan la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa al año 2024. Para ello, se empleó una metodología mixta que combinó enfoques cuantitativos y cualitativos, permitiendo el análisis estadístico de las tendencias de adopción y la comprensión profunda de las barreras y mitos entre los usuarios potenciales. Se realizó un estudio de caso en Arequipa, a través de encuestas y análisis documentales, abarcando la percepción sobre la rentabilidad, viabilidad técnica y seguridad de los sistemas fotovoltaicos.

Los resultados evidenciaron que la viabilidad técnica es la principal barrera, seguida por la percepción de rentabilidad y las preocupaciones sobre seguridad. A nivel de rentabilidad, los sistemas fotovoltaicos sin almacenamiento en baterías demostraron ser rentables únicamente para usuarios con un consumo superior a los 150 kWh. Por otro lado, los sistemas con almacenamiento requieren un consumo aún mayor, lo que limita su viabilidad para un grupo reducido de usuarios. La mayoría de la población con consumos menores a 150 kWh enfrentan dificultades para acceder a esta tecnología debido a los altos costos iniciales y la limitada percepción de ahorro.

En cuanto a la percepción sobre la seguridad, se identificaron preocupaciones relacionadas con la fiabilidad de los sistemas en condiciones climáticas adversas y el impacto ambiental del reciclaje de los paneles. Finalmente, el estudio resaltó la importancia de una mayor difusión de información y el papel clave de las políticas públicas para incentivar la adopción de energías renovables.

Palabras clave: paneles fotovoltaicos, viabilidad técnica, energía solar, rentabilidad, Arequipa, energías renovables, barreras, políticas públicas.

ABSTRACT

The main objective of this study was to identify the perceptions that limit the adoption of photovoltaic panels in Arequipa by 2024. A mixed methodology was employed, combining quantitative and qualitative approaches, allowing for both statistical analysis of adoption trends and an in-depth understanding of the barriers and myths among potential users. A case study was conducted in Arequipa through surveys and document analysis, focusing on perceptions regarding the profitability, technical viability, and safety of photovoltaic systems.

The results showed that technical viability is the main barrier, followed by profitability perceptions and safety concerns. In terms of profitability, photovoltaic systems without battery storage proved to be profitable only for users with a consumption above 150 kWh. On the other hand, systems with storage require even higher consumption, which limits their viability to a small group of users. The majority of the population with consumption below 150 kWh face difficulties in accessing this technology due to high initial costs and a limited perception of savings.

Regarding safety perceptions, concerns were identified about the reliability of systems under adverse weather conditions and the environmental impact of panel recycling. Finally, the study highlighted the importance of greater dissemination of information and the key role of public policies in promoting the adoption of renewable energy.

Keywords: photovoltaic panels, technical viability, solar energy, profitability, Arequipa, renewable energy, barriers, public policies.

INTRODUCCIÓN

El uso de la energía solar fotovoltaica ha cobrado gran relevancia a nivel mundial como una de las soluciones más prometedoras para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático. En regiones con alto potencial solar, como es el caso de Arequipa, Perú, la implementación de sistemas fotovoltaicos se presenta como una alternativa viable para diversificar la matriz energética y reducir los costos de electricidad tanto para hogares como para negocios.

A pesar de estos beneficios, la adopción de esta tecnología en Arequipa sigue siendo limitada, lo que plantea preguntas importantes sobre los factores que obstaculizan su masificación. Entre los principales desafíos identificados se encuentran las percepciones de los usuarios sobre la rentabilidad, la viabilidad técnica y la seguridad de los sistemas fotovoltaicos. Estas percepciones no solo están influenciadas por el costo inicial de instalación, sino también por la falta de información y el apoyo gubernamental disponible para facilitar la adopción de energías renovables.

El contexto de Arequipa, que presenta una radiación solar favorable durante todo el año, ofrece una oportunidad ideal para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica. Sin embargo, la transición hacia una mayor adopción de esta tecnología requiere de un análisis profundo de las barreras sociales, económicas y técnicas que enfrentan los potenciales usuarios. Este estudio busca proporcionar un marco comprensivo para entender dichas barreras, con el objetivo de ofrecer recomendaciones que promuevan la adopción masiva de paneles solares en la región.

A lo largo de esta investigación, se analiza el impacto de las percepciones sobre la rentabilidad, los mitos relacionados con la seguridad de los sistemas, y la viabilidad técnica percibida por los usuarios. Además, se evalúa el rol de las políticas locales y el apoyo gubernamental en el fomento de energías renovables, con el fin de proponer soluciones que faciliten la integración de la energía solar fotovoltaica en Arequipa.

Este estudio es relevante no solo para comprender la situación actual de la adopción de energía solar en Arequipa, sino también para contribuir al debate global sobre el papel de las energías renovables en la transición hacia un sistema energético más sostenible y equitativo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

El planteamiento del problema para esta investigación se centra en la comprensión de las percepciones y mitos que frenan la adopción y masificación de instalaciones de paneles fotovoltaicos en Arequipa en el año 2024. A pesar de los avances tecnológicos y los beneficios ambientales y económicos de la energía solar fotovoltaica, su adopción en Arequipa no ha alcanzado el potencial esperado. El estudio busca identificar cuáles son estas percepciones erróneas, cómo afectan la decisión de adopción y cuál es su origen. A través de la investigación, se pretende responder a la pregunta central: ¿cuáles son las principales percepciones que limitan la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa hacia el año 2024?, la respuesta a esta pregunta permitirá desarrollar estrategias para incrementar la adopción de paneles fotovoltaicos, contribuyendo a los objetivos de sostenibilidad energética y reducción de la dependencia de combustibles fósiles en la región.

Además del planteamiento inicial, es fundamental considerar el contexto socioeconómico y ambiental de Arequipa. La región posee un gran potencial solar, pero la inversión en energía fotovoltaica aún enfrenta obstáculos significativos. Las percepciones negativas, como podrían ser la duda sobre la rentabilidad a largo plazo o el temor a la complejidad técnica, podrían jugar un papel crucial en la lentitud de la adopción. El estudio pretende también explorar el nivel de conocimiento actual sobre los beneficios ambientales y económicos de la energía solar entre los residentes y cómo este conocimiento afecta su disposición a invertir en tecnología fotovoltaica. Al comprender mejor estos factores, el proyecto busca proporcionar recomendaciones basadas en evidencia para políticas públicas y estrategias de comunicación que puedan cambiar estas percepciones y acelerar la transición hacia una energía más verde y sostenible en Arequipa. La investigación se propone, por lo tanto, como un puente entre la comunidad científica, los tomadores de decisiones y el público en general, para alinear percepciones con realidades y fomentar un cambio positivo en la adopción de energías renovables.

1.1.1 Problema general

¿Cuáles son las principales percepciones que limitan la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa hacia el año 2024?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cómo afecta la percepción de rentabilidad en la decisión de instalar paneles fotovoltaicos en los hogares y negocios de Arequipa?
- ¿De qué manera el miedo a fallas eléctricas frena la inversión en tecnología fotovoltaica en la región?
- ¿Cuál es el impacto de la falta de información o conocimiento sobre sistemas fotovoltaicos en la lentitud de su adopción en Arequipa?
- ¿Cómo influyen los costos iniciales de instalación en la percepción de accesibilidad y viabilidad económica de los paneles fotovoltaicos entre los potenciales adoptantes en Arequipa?
- ¿De qué forma las políticas locales y el apoyo gubernamental actual afectan la percepción pública sobre la viabilidad y el incentivo para adoptar energía fotovoltaica en Arequipa?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Identificar las percepciones que limitan la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa al año 2024.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar cómo la percepción sobre la rentabilidad de los sistemas fotovoltaicos afecta su adopción en hogares y negocios de Arequipa.
- Analizar el impacto del miedo a fallas eléctricas en la disposición de los residentes de Arequipa a invertir en tecnología fotovoltaica.
- Identificar el rol de la información y conocimiento sobre tecnología fotovoltaica en la decisión de adoptar paneles solares en Arequipa.
- Investigar la influencia de los costos iniciales de instalación en la percepción de accesibilidad y viabilidad económica de la energía fotovoltaica entre los arequipeños.
- Examinar cómo las políticas locales y el apoyo gubernamental afectan la percepción pública y el incentivo para la adopción de energía solar fotovoltaica en Arequipa.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación técnica

La justificación técnica de la presente tesis se basa en la necesidad de superar los obstáculos técnicos y perceptuales que impiden la adopción masiva de la energía solar fotovoltaica en Arequipa. A pesar del alto potencial solar de la región, la penetración de esta tecnología sigue siendo baja debido a factores como la falta de conocimiento técnico, percepciones erróneas sobre costos y eficiencia, y preocupaciones sobre la fiabilidad del sistema. El estudio busca evaluar de manera crítica estas barreras, utilizando un enfoque metodológico riguroso para recopilar y analizar datos sobre las percepciones actuales. Al identificar y desmitificar las preocupaciones existentes, la investigación apunta a proporcionar soluciones técnicas y recomendaciones prácticas para mejorar la infraestructura existente, optimizar los modelos de financiamiento y desarrollar políticas públicas que fomenten la adopción de paneles fotovoltaicos. Este enfoque no solo abordará los desafíos técnicos directos, sino que también ayudará a construir una base sólida para la sostenibilidad energética a largo plazo en Arequipa.

1.3.2 Justificación económica

La justificación económica de la investigación se centra en la evaluación de la rentabilidad y los beneficios económicos de la adopción de sistemas fotovoltaicos en Arequipa. La inversión en energía solar no solo promete reducir los costos energéticos a largo plazo para los consumidores sino también potenciar el desarrollo financiero local mediante la creación de empleos y la promoción de la industria solar. Al abordar las percepciones erróneas sobre los costos iniciales y la rentabilidad, este estudio busca proporcionar un análisis detallado que demuestre la viabilidad económica de los paneles fotovoltaicos, incentivando así la inversión en energías renovables y apoyando la transición hacia una economía baja en carbono en la región.

1.3.3 Justificación social

La justificación social de la tesis radica en su enfoque hacia mejorar el bienestar de la comunidad en Arequipa, a través de la promoción de energías limpias y sostenibles. Al investigar y desmentir los mitos que frenan la adopción de la energía solar, el estudio pretende aumentar la conciencia ambiental, promover prácticas sostenibles y contribuir a la lucha contra el cambio climático. Además, al incentivar el uso de paneles fotovoltaicos, se busca fomentar la equidad social mediante el acceso a energías renovables, reduciendo así la brecha energética en la región.

1.3.4 Justificación ambiental

La justificación ambiental para esta investigación se centra en el potencial de los paneles fotovoltaicos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, disminuyendo así el impacto del cambio climático. Al promover la adopción de energía solar en Arequipa, se contribuye a la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles, apoyando los esfuerzos locales e internacionales para mitigar el calentamiento global. Este estudio subraya la importancia de las soluciones basadas en energías renovables para proteger el medio ambiente y asegurar un futuro más sostenible.

1.3.5 Justificación académica

La justificación académica de la tesis reside en su contribución al cuerpo de conocimiento sobre las energías renovables, específicamente en el contexto de Arequipa. El estudio no solo amplía la comprensión sobre los factores que afectan la adopción de tecnologías limpias, sino que también proporciona una base empírica para futuras investigaciones y políticas en el ámbito de la sostenibilidad energética. Al analizar las percepciones y barreras locales, la investigación aporta insights críticos para académicos, decisores políticos y la sociedad, promoviendo así el avance académico y tecnológico en energías renovables.

1.3.6 Importancia

La importancia de la tesis radica en su potencial para catalizar un cambio significativo hacia la sostenibilidad energética en Arequipa. Al identificar y abordar las percepciones y mitos que limitan la adopción de la energía solar fotovoltaica, se puede facilitar una transición más rápida hacia fuentes de energía renovables. Esto no solo tiene implicaciones positivas para el medio ambiente, reduciendo la huella de carbono de la región, sino que también promueve la seguridad energética, la independencia económica y el bienestar social. Además, el estudio contribuye al diálogo académico y práctico sobre cómo superar barreras para la adopción de tecnologías limpias, ofreciendo insights valiosos para otras regiones con potencial solar similar.

1.4 Hipótesis y descripción de las variables

1.4.1 Hipótesis general

La existencia de mitos y percepciones erróneas sobre la rentabilidad, riesgo de fallas eléctricas, y el desconocimiento sobre sistemas fotovoltaicos son las principales barreras que limitan la adopción y masificación de paneles fotovoltaicos en Arequipa hacia el año 2024.

1.4.2 Hipótesis específicas

- La percepción negativa sobre la rentabilidad de los paneles fotovoltaicos disuade a hogares y negocios en Arequipa de invertir en esta tecnología.
- El miedo a fallas eléctricas asociadas con la instalación de paneles fotovoltaicos reduce significativamente la disposición a adoptar esta energía renovable en Arequipa.
- Una deficiencia en la información y conocimiento acerca de los beneficios y funcionamiento de la tecnología fotovoltaica contribuye a su lenta adopción en la región.
- Los altos costos iniciales percibidos de instalación de paneles fotovoltaicos actúan como un obstáculo importante para su adopción entre los residentes de Arequipa.
- La falta de políticas locales y apoyo gubernamental adecuados afecta negativamente la percepción pública y disminuye el incentivo para la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa.

1.5 Variables

1.5.1 Variable independiente

Percepciones y mitos sobre la energía solar fotovoltaica

1.5.2 Variable dependiente

Tasa de adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa

1.5.3 Operacionalización de las variables

Tabla 1. Variables del estudio y su operacionalización.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Percepciones y mitos sobre la energía solar fotovoltaica	Creencias, entendimientos erróneos y preocupaciones de la población sobre la viabilidad y beneficios de la energía solar fotovoltaica.	- Rentabilidad - Seguridad - Viabilidad técnica	- Creencia en baja Rentabilidad - Miedo a fallas eléctricas - Desconocimiento de la tecnología	- Encuestas a población - Entrevistas a expertos - Análisis de contenido en medios
Tasa de adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa	Número de instalaciones de sistemas fotovoltaicos en un periodo determinado.	- Residencial - Comercial - Industrial	- Número de instalaciones residenciales - Número de instalaciones comerciales - Número de instalaciones industriales	- Registro de instalaciones de la municipalidad - Datos de empresas instaladoras - Encuestas a empresas y hogares

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

El estudio "Factors Influencing Social Perception of Residential Solar Photovoltaic Systems in Saudi Arabia" por Khalid Alrashoud y Koji Tokimatsu examina las percepciones sociales y los mitos que afectan la adopción de sistemas fotovoltaicos residenciales en Arabia Saudita. Utilizando la teoría de difusión de innovaciones, se realizó una encuesta en línea con 1498 participantes de cinco regiones principales, revelando una alta conciencia y una imagen positiva de los sistemas fotovoltaicos residenciales. Sin embargo, el costo de instalación fue identificado como la barrera más significativa, sugiriendo la necesidad de políticas que aborden este desafío para fomentar la adopción.

El estudio "Pleasure is the profit - The adoption of solar PV systems by households in Finland" realizado por Sami Karjalainen y Hannele Ahvenniemi, se centra en la adopción de sistemas fotovoltaicos (PV) en Finlandia, donde la adopción aún es baja. Mediante entrevistas semi-estructuradas a 28 hogares pioneros, se exploró cómo superaron las barreras para la adopción de sistemas PV. Los resultados revelan que la satisfacción con las plantas PV es alta, a pesar de que la rentabilidad económica no sea especialmente buena. Los adoptantes valoran la producción de energía libre de contaminación y el placer de compartir información sobre la producción de energía limpia. La importancia de la información confiable y el consejo de expertos fueron cruciales para superar las barreras hacia la adopción.

El estudio "Percepción de rentabilidad, confiabilidad y riesgo de falla de los usuarios de sistemas fotovoltaicos residenciales: una encuesta empírica en un municipio local japonés" realizado por Toshihiro Mukai, Shishin Kawamoto, Yuzuru Ueda, Miki Saijo, y Naoya Abe, explora las percepciones de los usuarios sobre la rentabilidad, fiabilidad y riesgos de fallo de los sistemas fotovoltaicos (PV) residenciales. A través de un análisis en Kakegawa City, Japón, se descubrió que los usuarios tenían un entendimiento limitado de las especificaciones técnicas y de mantenimiento de sus sistemas PV, y que sus expectativas de retorno financiero influían significativamente en su satisfacción. Este estudio subraya la importancia de abordar la percepción de los usuarios para fomentar la adopción de tecnologías PV residenciales.

El artículo "Re-considering the economics of photovoltaic power" por Morgan Bazilian, Ijeoma Onyeji, Michael Liebreich, Ian MacGill, Jennifer Chase, Jigar Shah, Dolf Gielen, Doug Arent, Doug Landfear, y Shi Zhengrong, aborda la rápida reducción de costos y precios del mercado de sistemas fotovoltaicos (PV) y sus implicaciones para los tomadores de decisiones. Destaca que, a pesar de la percepción de que la PV aún no es competitiva sin subvenciones, los análisis económicos comunes pueden ser confusos. El estudio busca aclarar estos malentendidos y promover una comprensión más precisa de la economía de la PV, enfocándose especialmente en países en desarrollo de alto crecimiento.

El documento "Análisis costo-beneficio de la instalación de paneles solares en las viviendas de la población más marginada de México" elaborado por el Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (IMCO), con Jorge Castañeda, Ivania Mazari, Manuel Molano, y F. Javier O. Gala Palacios como autores, propone un programa para instalar paneles solares en hogares de familias pobres en México. El análisis destaca la viabilidad de convertir subsidios al consumo eléctrico en subsidios para la inversión en energía solar, argumentando que esto no solo sería económicamente rentable, sino que también reduciría las emisiones de CO₂, contribuyendo así al cumplimiento de compromisos internacionales de México en materia de cambio climático.

Adicionalmente se puede añadir que; la transición hacia fuentes de energía renovable, como la solar fotovoltaica, enfrenta diversos desafíos en áreas urbanas, donde las percepciones y actitudes de los residentes juegan un papel crucial en la adopción de estas tecnologías. Diversos estudios han identificado factores clave que influyen en la decisión de implementar paneles solares en ciudades.

Percepciones y actitudes hacia la energía solar

Un estudio realizado en la comuna 3 de la ciudad de Cúcuta, Colombia, reveló que, aunque existe una aceptación positiva de la energía solar entre los residentes, factores económicos, como el costo inicial de instalación, representan barreras significativas para su adopción. Además, la falta de información y conocimiento sobre los beneficios y funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos limita su implementación.

En el contexto europeo, investigaciones señalan que las normas sociales, la percepción de autoeficacia y las creencias sobre los beneficios de la energía solar influyen positivamente en la disposición de los consumidores para adoptar sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, preocupaciones sobre la rentabilidad a largo plazo y la complejidad de los trámites administrativos pueden disuadir a potenciales usuarios.

Barreras identificadas en la adopción de paneles solares

Entre las principales barreras percibidas se encuentran:

- **Económicas:** el elevado costo inicial de los sistemas fotovoltaicos y la falta de incentivos financieros adecuados dificultan su adopción, especialmente en sectores de ingresos medios y bajos.
- **Técnicas y de infraestructura:** limitaciones en la disponibilidad de espacio, especialmente en edificios urbanos, y preocupaciones sobre la eficiencia y mantenimiento de los sistemas solares integrados en las estructuras existentes representan obstáculos adicionales.
- **Regulatorias y administrativas:** la complejidad de los procedimientos para obtener permisos y la falta de políticas claras que promuevan el uso de energías renovables en entornos urbanos desalientan a los potenciales adoptantes.
- **Psicológicas y sociales:** la percepción de riesgo, la falta de confianza en nuevas tecnologías y la influencia de normas sociales pueden inhibir comportamientos proambientales, incluyendo la adopción de paneles solares.

Estrategias para superar las barreras

Para fomentar la adopción de paneles solares en áreas urbanas, se sugieren las siguientes estrategias:

- **Incentivos financieros:** implementar subsidios, exenciones fiscales y programas de financiamiento que reduzcan el impacto del costo inicial y hagan más accesible la tecnología para una mayor parte de la población.
- **Educación y concienciación:** desarrollar campañas informativas que aumenten el conocimiento sobre los beneficios ambientales y económicos de la energía solar, así como sobre las opciones disponibles para su implementación.
- **Simplificación de trámites:** establecer marcos regulatorios claros y procedimientos administrativos más ágiles que faciliten la instalación de sistemas fotovoltaicos en entornos urbanos.
- **Innovación tecnológica:** promover el desarrollo de soluciones adaptadas a las limitaciones urbanas, como los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios (BIPV), que permiten una mejor integración estética y funcional en las estructuras existentes.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Importancia de la energía solar fotovoltaica

El astro rey es esencial para la vida en nuestro planeta y su relevancia como fuente de energía renovable aumenta con cada día que pasa. Se puede emplear directamente en diversas aplicaciones como el calentamiento de agua, aire acondicionado y en invernaderos, transformándose en electricidad a través de paneles solares.

A diferencia de los combustibles fósiles, cuyo uso libera contaminantes nocivos al ambiente, la energía solar es un recurso inagotable que no produce desechos dañinos como gases, humo, azufre o radiación. Si bien la inversión inicial en instalaciones solares puede ser considerable, los costos operativos y de mantenimiento son mínimos dado que no requieren maquinaria especial ni operaciones complejas para su funcionamiento.

La utilización de energía solar, viable en numerosos lugares del globo, juega un papel crucial en la preservación del medio ambiente y ofrece la ventaja de ser aplicable a nivel local.

Turquía, dotada de un gran potencial solar, recibe una cantidad de radiación solar muy superior a sus necesidades energéticas. Aprovechando mejor este recurso, el país podría reducir su dependencia energética exterior y fortalecer su economía.

Para maximizar el uso de la energía solar, es necesario adoptar medidas como la construcción de edificaciones optimizadas para el aprovechamiento solar, incrementar la instalación de paneles solares, utilizar baterías y dispositivos alimentados por esta energía, y emplear sistemas de calentamiento de agua solares.

La energía solar, inagotable, limpia y gratuita, es fundamental para preservar un ambiente sano y promover una economía robusta.

2.2.2 Contexto y relevancia para Arequipa

Arequipa, conocida por su abundante radiación solar, se posiciona como un lugar idóneo para la implementación de tecnologías de energía solar fotovoltaica. Esta región del Perú tiene el potencial de liderar la transición hacia fuentes de energía renovable, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad y al desarrollo económico regional.

Potencial solar en Arequipa

La región de Arequipa se destaca por tener una de las mayores radiaciones solares en Perú, comparable con las radiaciones de países líderes en energía solar como México y Chile. Este potencial no solo es una oportunidad para la generación de energía limpia sino también para el desarrollo tecnológico y económico de la región.

Tabla 2. Potencial solar en Arequipa.

Parámetro	Valor
Radiación solar promedio	5.2 kWh/m ²
Capacidad instalada actual	40 MW
Proyección de crecimiento	Aumento del 14% para 2030

Nota: Ministerio de Energía y Minas. "Potencia solar en Arequipa podría llegar hasta 230.557 MW". Tomada de: Rumbo Minero, 12 de septiembre de 2022. <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/potencia-solar-arequipa-230557-mw/> [15]

Proyectos y avances

Arequipa cuenta con instalaciones significativas que aprovechan su potencial solar, incluyendo las centrales solares Majes y Repartición, cada una con una capacidad de 20MW. Además, el 94% de las termas solares del Perú se encuentran en Arequipa, demostrando el aprovechamiento de la energía solar para calentamiento de agua.

Tabla 3. Proyectos solares en Arequipa: capacidades y coberturas

Proyecto	Capacidad
CS Majes	20 MW
CS Repartición	20 MW
Termas Solares	94% en Arequipa

Nota: Ministerio de Energía y Minas. "Nuevos proyectos por 1 300 millones de dólares para generación de energía solar en Arequipa". Tomada de: Gobierno Regional Arequipa, 3 de octubre de 2023. <https://www.gob.pe/institucion/regionarequipa/noticias/843897-nuevos-proyectos-por-1-300-millones-de-dolares-para-generacion-de-energia-solar-en-arequipa>

Desafíos y oportunidades

A pesar del potencial, Arequipa enfrenta desafíos para la adopción masiva de la energía solar fotovoltaica, incluyendo la necesidad de inversión en infraestructura y la sensibilización sobre los beneficios de las energías renovables. La superación de estos obstáculos abrirá caminos hacia la seguridad energética y contribuirá a los esfuerzos de mitigación del cambio climático.

2.2.3 Fundamentos de la energía solar fotovoltaica

Principios básicos de la energía solar

La generación de electricidad a través de la energía solar sigue siendo una fracción pequeña de la producción total de electricidad a nivel mundial. No obstante, en los últimos años ha experimentado un aumento en popularidad debido a los resultados positivos obtenidos en su implementación. Esto se debe en parte a la madurez tecnológica alcanzada en la industria solar, así como a su creciente competitividad económica en ciertos contextos. Además, muchos gobiernos están brindando apoyo mediante incentivos y políticas destinadas a fomentar el uso de energías renovables, en particular la energía solar fotovoltaica. Además de ser una fuente de energía limpia y abundante, la energía solar también es respetuosa con el medio ambiente.

Hay dos enfoques distintos para producir electricidad a partir de la energía solar: los sistemas fotovoltaicos (PV) y la energía solar térmica, también conocida como energía solar concentrada (CSP). Tanto las tecnologías PV como CSP han demostrado ser competitivas en aplicaciones comerciales, industriales y residenciales como fuentes de energía autónomas.

La electricidad puede ser suministrada de manera sostenible en todo el mundo mediante tecnologías solares. Se proyecta que para el año 2040, las energías renovables representarán el 34% de la generación total de energía a nivel global. Debido a su naturaleza como fuente de energía limpia, los sistemas solares pueden desempeñar un papel crucial en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir significativamente a mitigar los efectos del calentamiento global. Las tecnologías solares se utilizan ampliamente en una variedad de aplicaciones, que incluyen torres de comunicaciones, bombeo de agua, redes inteligentes, microrredes y generación distribuida, sistemas de gestión de edificios, carga de vehículos eléctricos, satélites, aplicaciones marinas, entre otros.

El sistema fotovoltaico solar convierte directamente la energía solar en electricidad mediante el empleo de células fotovoltaicas. En los últimos años, el costo de estos sistemas ha experimentado una notable disminución y continúa descendiendo. Al utilizar métodos

eficientes para rastrear el punto de máxima potencia, los sistemas fotovoltaicos pueden aprovechar al máximo la energía disponible y pueden integrarse con las redes inteligentes a través de un enfoque de electrónica de potencia. Por otro lado, en los sistemas de energía solar concentrada (CSP), la energía solar se convierte primero en calor y luego en electricidad, utilizando espejos o lentes y un sistema de seguimiento que concentra la luz solar en un punto focal para calentar un fluido, sólido o gas. Ejemplos de tecnologías CSP incluyen reflectores de torre de energía, colectores cilindro-parabólicos, platos Stirling, chimeneas solares y reflectores lineales Fresnel de concentración.



Figura 1. *Reflectores de torre de energía. Tomada de Diseño de sistemas solares concentrados: análisis y perspectivas, por Martínez y López, A., 2018.*



Figura 2. *Colectores cilindro-parabólicos. Tomada de: Solar Engineering of Thermal Processes, por Duffie y Beckman, 2013.*

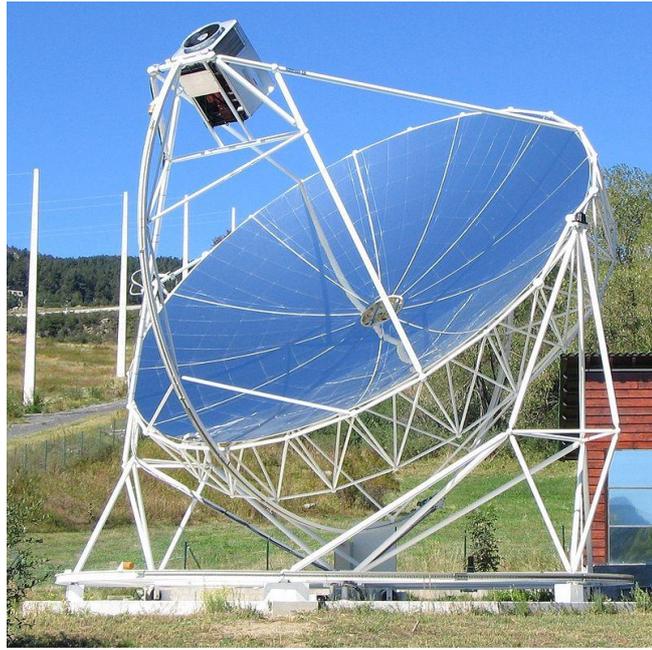


Figura 3. *Platos Stirling. Tomada de: Platos Stirling y su uso en energía solar, por Renewable Energy World, 2019.*



Figura 4. *Chimeneas solares. Tomada de: Solar Engineering of Thermal Processes, por Duffie y Beckman, 2013.*



Figura 5. *Reflectores lineales Fresnel de concentración. Tomada de: Solar Engineering of Thermal Processes, por Duffie y Beckman, 2013.*

En contraste con los sistemas fotovoltaicos, los sistemas CSP tienen costos de funcionamiento e instalación más elevados y son más susceptibles a la humedad y al polvo.

Fundamentos de las células fotovoltaicas

La teoría cuántica postula que, en un átomo, los electrones pueden ocupar únicamente ciertos valores o niveles de energía. Este fenómeno provoca que, en un sólido con estructura cristalina, las órbitas de los electrones de distintos átomos se superpongan parcialmente, lo que conduce a interacciones entre ellos. Como resultado, los niveles de energía permitidos se convierten en bandas de energía, que consisten en un conjunto continuo de niveles energéticos cercanos. A temperaturas muy bajas, como a 0 grados Kelvin, los electrones ocupan el nivel de energía más bajo posible, llenando todos los niveles inferiores. Por lo tanto, se define la banda de valencia o de mayor energía como el nivel que permanece lleno a esta temperatura, es decir, con todos sus niveles energéticos ocupados por electrones.

En los conductores, las bandas de valencia y de conducción se superponen, lo que permite una alta movilidad de electrones al tener una banda parcialmente ocupada. Por el contrario, en los aislantes, la banda de valencia está completamente llena y la de conducción completamente vacía, con una banda prohibida entre ellas considerablemente ancha. Para que un electrón pase de la banda de valencia a la de conducción se requiere un gran incremento de energía, alrededor de 7 eV. Los semiconductores tienen una disposición de bandas de energía similar a la de los aislantes, pero con una banda prohibida considerablemente más estrecha, menor a unos 3 eV. Todo este análisis se ilustra en la figura siguiente:

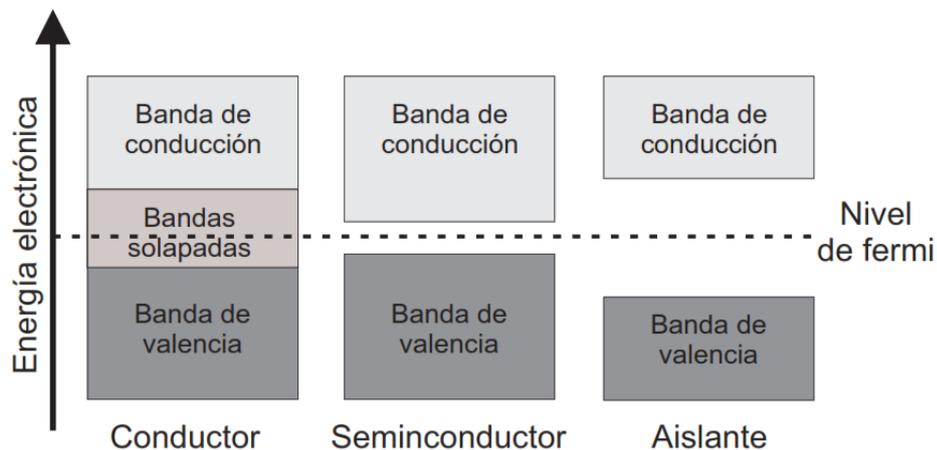


Figura 6. *Bandas de energía. Tomada de: Physics of Solar Cells, por Chiang, 2016.*

El principio fundamental de una célula fotovoltaica se fundamenta en la fotoconductividad. Cuando un fotón de luz es absorbido por un semiconductor y su energía supera la energía de la banda prohibida de ese semiconductor, un electrón de la banda de valencia se excita a la banda de conducción, creando un par electrón-hueco adicional. Esto puede incrementar la conductividad del semiconductor, pero luego de un corto periodo de tiempo, el electrón excitado perderá su energía y se recombinará con un hueco, lo que impide la generación de electricidad útil. Por ello, el propósito de una célula fotovoltaica es separar físicamente los electrones en la banda de conducción de los huecos en la banda de valencia, antes de que se recombinen.

Específicamente, se forma una unión P-N al combinar un semiconductor tipo P y uno tipo N con distintas impurezas. El semiconductor tipo P acumula muchos huecos, mientras que el tipo N acumula muchos electrones, generando un campo electrostático y un voltaje incorporado en la unión. Cuando los fotones inciden en la unión P-N, fluye una corriente neta entre P y N o se produce un voltaje útil. Al conectar una carga, se puede extraer energía de esta corriente o voltaje.

En esencia, la célula fotovoltaica funciona como un diodo no polarizado, donde la llegada de fotones genera una corriente de portadores que se suma a la corriente de deriva de este diodo. Basándose en esta equivalencia, se pueden describir las ecuaciones que rigen el principio de los paneles solares fotovoltaicos.

Características eléctricas de las células fotovoltaicas:

Los paneles solares fotovoltaicos están compuestos por delgados contactos metálicos, espaciados de manera que permitan el paso de la radiación solar entre ellos. La célula está recubierta con una capa delgada de material dieléctrico antirreflectante para minimizar las

pérdidas por reflexión en la cara superior. La corriente generada en el semiconductor se extrae a través de los contactos en las caras anterior y posterior de la célula. Es decir, al conectar la cara anterior y posterior de la célula iluminada a un circuito externo, se obtiene una corriente eléctrica.

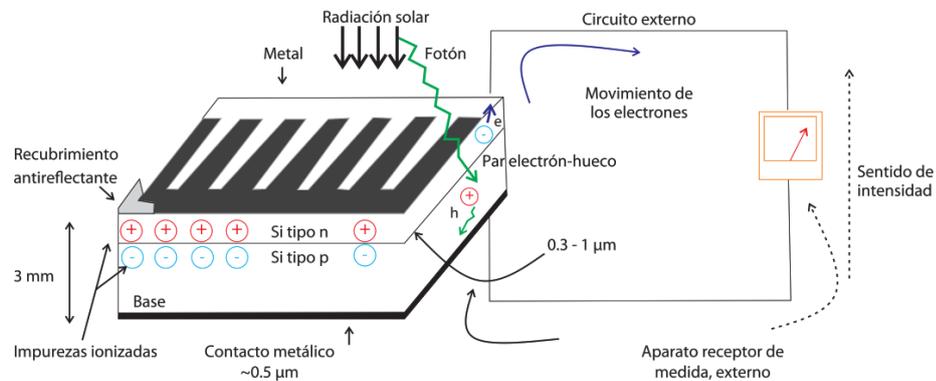


Figura 7. Células fotovoltaicas. Tomada de: *Physics of Solar Cells*, por Chiang, 2016.

Por lo tanto, la corriente eléctrica que fluye a través de la célula fotovoltaica, denotada como I , se asemeja a la corriente de un diodo, representada como I_D , y es provocada por la recombinación inducida dentro del dispositivo debido a la tensión V . Esta corriente se puede expresar mediante la ecuación del diodo de la siguiente forma:

$$I = I_D = I_0(T) \left(e^{\frac{qEV}{K_B T}} - 1 \right) \quad (1)$$

Si tomamos en cuenta la tensión V en voltios, la temperatura de operación de la célula fotovoltaica T en grados Kelvin, y K_B como la constante de Boltzmann, el parámetro $I_0(T)$, conocido como la corriente inversa de saturación del diodo en amperios, varía en función de la temperatura T , según la siguiente expresión:

$$I_0(T) \propto \left(e^{\frac{qEV}{K_B T}} \right) \quad (2)$$

2.3 Definición de términos básicos

a) Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica (FV) es una tecnología que convierte la luz solar directamente en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Este fenómeno se produce cuando los fotones de luz inciden sobre un material semiconductor (como el silicio) y liberan electrones, generando una corriente eléctrica. En Perú, con su abundante radiación solar, especialmente en la zona andina y costera, esta tecnología tiene un potencial significativo para contribuir a la matriz energética nacional.

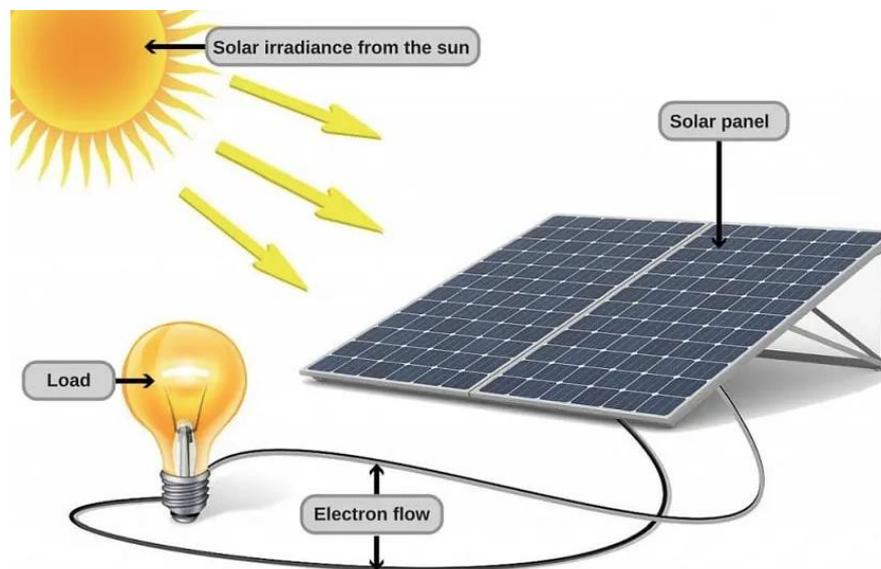


Figura 8. *Tecnología que convierte la luz solar directamente en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Tomada de: Physics of Solar Cells, por Chiang, 2016.*

El principio básico detrás de la tecnología es el efecto fotovoltaico. Cuando la luz solar incide sobre un panel fotovoltaico, los fotones de luz son absorbidos por el material semiconductor (por lo general, silicio). Esto provoca que algunos de los electrones del material se exciten a un nivel energético superior, creando electrones libres y, por lo tanto, una diferencia de potencial eléctrico. Al conectar un circuito externo a este material, se produce una corriente eléctrica continua (CC), que luego puede ser convertida a corriente alterna (CA) mediante un inversor para su uso en hogares y negocios.

DIODOS DE DERIVACIÓN O BYPASS

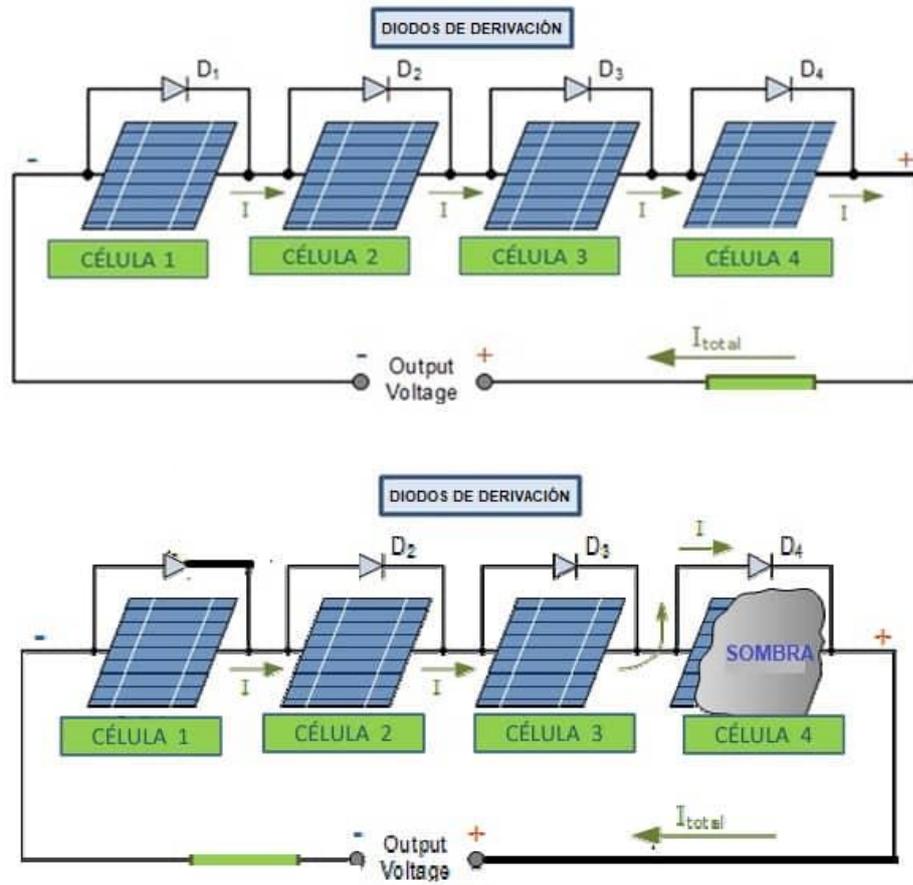


Figura 9. La tecnología FV. Tomada de: *Future of Solar Energy*, por International Renewable Energy Agency (IRENA), 2020.

b) Tipos de tecnologías fotovoltaicas

Existen varios tipos de tecnologías fotovoltaicas, cada una con sus propias características y aplicaciones. Las más comunes son:

- Silicio monocristalino: ofrece una alta eficiencia y es ideal para áreas con limitación de espacio. Es reconocible por su color uniforme y bordes recortados.
- Silicio policristalino: tiene una eficiencia ligeramente menor que el monocristalino y es más económico. Se identifica por su color azulado y patrón cristalino menos uniforme.
- Película delgada: fabricada a partir de diferentes materiales (como el telurio de cadmio o el silicio amorfo), esta tecnología ofrece una mayor flexibilidad y es más barata, pero con menor eficiencia. Es ideal para superficies grandes y no tradicionales.

En Perú, la elección entre estas tecnologías depende de varios factores, incluyendo el costo, la ubicación, la disponibilidad de espacio y la eficiencia deseada. Recientemente, se ha observado un aumento en la adopción de sistemas de silicio monocristalino y policristalino debido a su equilibrio entre eficiencia y costo.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de las energías renovables.

TIPO DE ENERGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Hidráulica	Es renovable Es poco contaminante Alto poder de producción energética	Costo de infraestructura excesivo Afecta la ecología del río Depende de la hidráulica anual
Solar	Es intangible No contamina	No puede ser almacenada sistema de captación Grandes y caros Es discontinua y aleatoria
Eólica	Es inagotable No contamina Es barata (una vez construida la central)	Es discontinua El viento causa inconvenientes de infraestructura
Carbón y petróleo	Infinidad de utilidades Abastece a la mayoría de la población e industrias de energía	Es contaminante Fuente no renovable
Gas	Gran poder calorífico Escasa contaminación Centrales de rápida respuesta a los picos de consumo	No renovable Muy costosa No puede sostener grandes demandas
Fisión nuclear	Prácticamente inagotable Otorga grandes cantidades de energía	extremadamente radiactivo posibilidad de desastre nuclear
Fusión nuclear	Fuente casi inagotable No es contaminante	Requiere grandes cantidades de energía Falta de tecnología para desarrollar centrales eficientes

Nota: Ministerio de Energía y Minas. "Energía Solar Fotovoltaica: Tecnologías y Aplicaciones en el Perú". Portal de Energías Renovables del Perú, 2023.



Figura 10. *Uso de paneles solares. Tomada de: Factors Influencing Social Perception of Residential Solar Photovoltaic Systems in Saudi Arabia, por Alrashoud y Tokimatsu, 2019.*

c) Difusión de innovaciones:

La teoría de la difusión de innovaciones, formulada por Everett Rogers en 1962, explica cómo, por qué, y a qué velocidad se adoptan nuevas ideas y tecnologías en diferentes culturas. Según Rogers, la difusión es el proceso por el cual una innovación es comunicada a través de ciertos canales, a lo largo del tiempo, entre los miembros de un sistema social. La adopción de nuevas tecnologías depende de varios factores, incluyendo las características de la innovación, la comunicación entre los miembros de una comunidad, el tiempo y la naturaleza social del entorno de adopción.

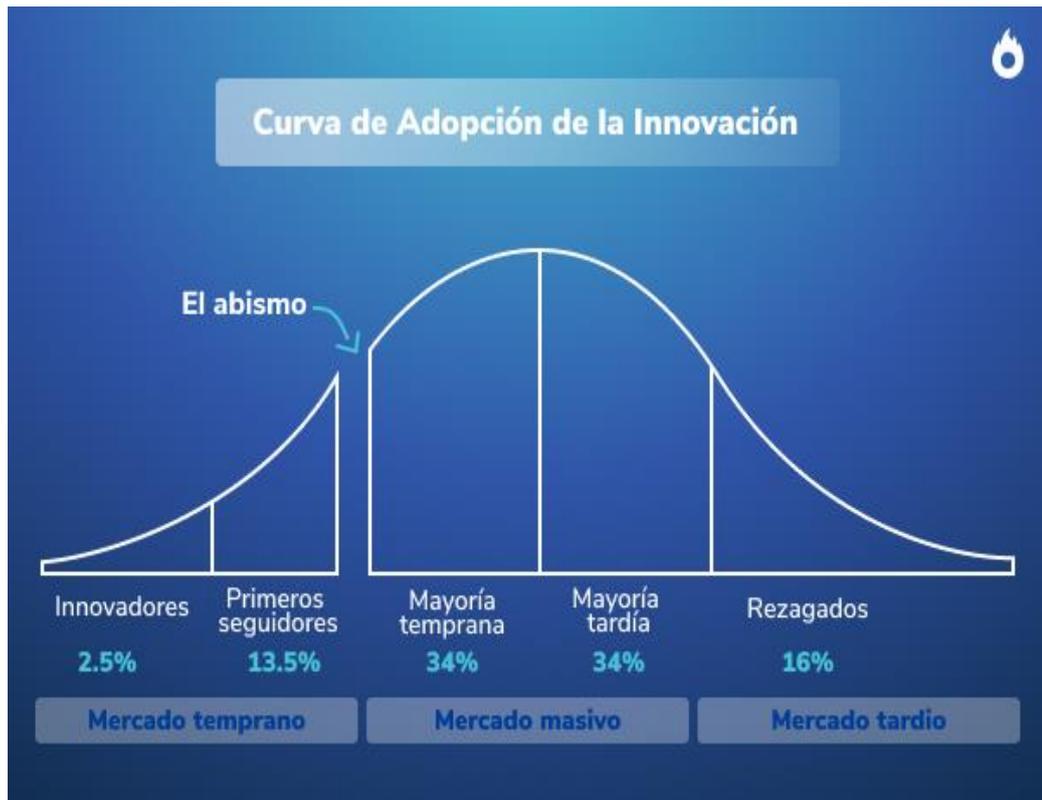


Figura 11. Curva de adopción de la innovación. Tomada de: *Difusión de innovaciones: Aplicaciones en energías renovables*, por Rodríguez, L., 2018.

d) Factores que influyen en la adopción de nuevas tecnologías.

La adopción de nuevas tecnologías, como la generación fotovoltaica en Perú, está influenciada por diversos factores, agrupados en cinco categorías principales según Rogers:

- Ventaja relativa: el grado en que una innovación se percibe como mejor que la idea, programa o producto que sustituye.
- Compatibilidad: cómo una innovación se alinea con los valores, experiencias pasadas y necesidades de los potenciales adoptantes.
- Complejidad: la dificultad de entender y usar la innovación.
- Posibilidad de experimentación: la medida en que una innovación puede ser probada en una base limitada.
- Observabilidad: el grado en que los resultados de una innovación son visibles para otros.

e) Percepciones y mitos: cómo las creencias y el conocimiento afectan la adopción de tecnología.

La adopción de tecnologías renovables, como la energía solar fotovoltaica, no solo depende de la viabilidad técnica o económica, sino también de las percepciones sociales, culturales y los mitos prevalentes entre la población. En Perú, a pesar del alto potencial solar, la difusión de esta tecnología enfrenta desafíos relacionados con el conocimiento y las creencias de la sociedad respecto a su implementación y beneficios.



Figura 12. *Mito y realidad. Tomada de: Organización Latinoamericana de Energías Renovables (OLER), 2020, pp. 23-30.*

Algunos de los mitos más comunes incluyen creencias sobre el alto costo inicial, la eficiencia bajo condiciones nubladas o de lluvia, y la idea errónea de que la tecnología es solo viable en áreas con alta radiación solar directa. La realidad, respaldada por avances tecnológicos y estudios económicos, demuestra que la energía solar es cada vez más accesible y eficiente, incluso en condiciones menos ideales.

f) Factores que influyen en la percepción y adopción

La percepción y adopción de la tecnología fotovoltaica en Perú se ve influida por diversos factores, incluyendo el acceso a información fiable, la visibilidad de proyectos exitosos y el apoyo gubernamental mediante políticas y subsidios. La educación y las campañas de concienciación juegan un papel crucial en la transformación de percepciones y la desmitificación de la energía solar.

g) Estrategias para mejorar la adopción de la energía solar

Para superar las barreras percibidas y promover una adopción más amplia de la energía solar fotovoltaica en Perú, es esencial implementar estrategias que incluyan la educación pública, incentivos financieros, demostraciones de tecnología y el fortalecimiento de la infraestructura energética. Abordar directamente los mitos y proporcionar datos claros y accesibles puede facilitar una mayor aceptación y uso de esta tecnología renovable.

h) Rentabilidad económica

En Perú, la energía solar fotovoltaica ha ganado atención como una opción viable y sostenible para diversificar la matriz energética del país. Dada la alta irradiación solar en muchas regiones, la tecnología fotovoltaica presenta una oportunidad atractiva para inversionistas, desarrolladores y usuarios finales. Sin embargo, la comprensión de su rentabilidad económica es fundamental para impulsar su adopción.

i) Costos iniciales de la generación fotovoltaica

Los costos iniciales para implementar proyectos de energía solar fotovoltaica en Perú incluyen la adquisición de paneles solares, inversores, sistemas de montaje, cableado y la instalación. Aunque estos costos pueden ser significativos, la reducción en los precios de los componentes fotovoltaicos en los últimos años ha hecho que la energía solar sea más accesible.

j) Retorno de inversión

El ROI de proyectos fotovoltaicos en Perú es influenciado por diversos factores, como la ubicación del proyecto (y su irradiación solar correspondiente), los costos de energía desplazada y los incentivos gubernamentales. Los proyectos fotovoltaicos pueden ofrecer un ROI atractivo, con períodos de recuperación de la inversión que varían entre 5 a 8 años, dependiendo de las condiciones específicas.

Tabla 5. Plantas solares en Perú: capacidad y ubicación.

EMPRESA	POTENCIA MW	MODULOS	INVERSIÓN MILL U S\$	DEPARTAMENTO
GTS. Majes	20	55584	73,6	Arequipa
GTS. Repartición	20	56208	73,5	Arequipa
SAC				
CS. Panamericana solar SAC C	20	71334	94,5	Moquegua
CS. Tacna solar SAC	20	74988	94,6	Tacna
CS. Moquegua FV SAC	16	63480	43,0	Moquegua
CS Itipampa	44.5	S/I	S/I	Tacna
CS Rubi	144.5	S/I	S/I	Moquegua
CS Majes	20	S/I	S/I	Arequipa

Nota: Voltaika Perú S.A. "Las Siete Plantas Solares Fotovoltaicas en el Perú". Voltaika, 2024.

k) Modelos de financiamiento

Los modelos de financiamiento juegan un papel crucial en la viabilidad económica de los proyectos fotovoltaicos. En Perú, existen diversas opciones, incluyendo préstamos bancarios, leasing financiero, y acuerdos de compra de energía (PPAs, por sus siglas en inglés). Cada opción tiene sus propias ventajas y requisitos, siendo crucial elegir la más adecuada para las necesidades y condiciones de cada proyecto.

l) Conclusión y perspectivas futuras

La rentabilidad económica de la generación fotovoltaica en Perú es prometedora, con tendencias de reducción de costos y mejora en la eficiencia tecnológica. La elección adecuada de modelos de financiamiento y la capitalización en incentivos disponibles pueden optimizar el ROI, haciendo de la energía solar fotovoltaica una inversión atractiva y sostenible a largo plazo.

m) Sostenibilidad y cambio climático:

La transición hacia fuentes de energía renovable es crucial para enfrentar el cambio climático y promover la sostenibilidad ambiental. La energía solar fotovoltaica (FV), gracias a su naturaleza limpia y renovable, juega un papel vital en esta transición, especialmente en Perú,

donde la abundancia de radiación solar ofrece un potencial significativo. Este segmento compara el impacto ambiental de la energía fotovoltaica con las fuentes de energía convencionales y otras renovables, enfocándose en emisiones de CO₂, uso de agua y efectos sobre la biodiversidad y el ecosistema.

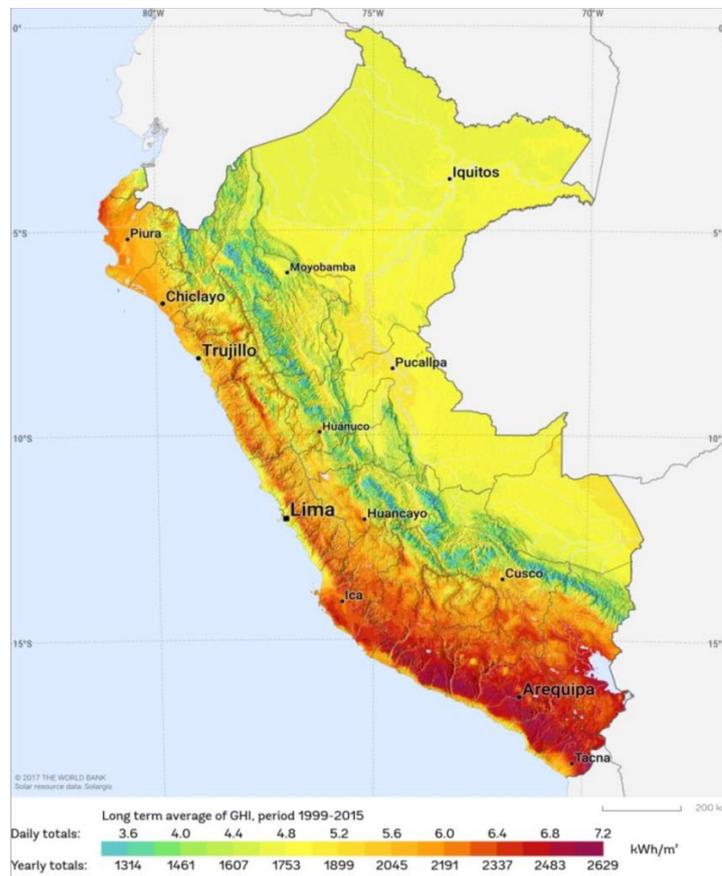


Figura 13. *Mapa de Perú de irradiación de energía solar promedio diaria anual. Tomada de: Solar Radiation Mapping in Latin America, por World Bank Group, 2019.*

n) Impacto ambiental de la energía fotovoltaica comparada con otras fuentes de energía.

La energía fotovoltaica destaca por su bajo impacto ambiental durante su ciclo de vida. A diferencia de los combustibles fósiles, no emite gases de efecto invernadero (GEI) durante su operación y tiene un uso de agua significativamente menor. Las emisiones asociadas a la FV provienen principalmente de la fabricación, transporte e instalación de los paneles solares, pero son mucho menores en comparación con las fuentes de energía no renovables. Además, los avances tecnológicos continúan reduciendo la huella de carbono de la fabricación de paneles solares.

o) Comparación con otras fuentes de energía

Al comparar con fuentes de energía convencionales, como el carbón y el gas natural, la energía fotovoltaica ofrece una reducción sustancial en emisiones de GEI, uso de agua y contaminación. Incluso frente a otras fuentes renovables, como la hidroeléctrica y la eólica, la energía solar FV presenta ventajas en términos de impacto sobre los ecosistemas y la biodiversidad. Mientras que la energía hidroeléctrica puede alterar significativamente hábitats acuáticos y fluviales, y la eólica requiere un extenso uso del suelo, la FV puede integrarse en entornos urbanos y rurales con mínimo impacto.

p) Políticas y estrategias para la sostenibilidad

Para maximizar los beneficios ambientales de la energía fotovoltaica en Perú, es esencial desarrollar políticas y estrategias que promuevan su adopción, considerando aspectos como la gestión del ciclo de vida de los paneles solares y el fomento de tecnologías más eficientes y sostenibles. La implementación de marcos regulatorios para el reciclaje y la disposición adecuada de paneles al final de su vida útil puede mitigar potenciales impactos negativos, asegurando una transición energética verdaderamente sostenible.

q) Barreras a la Adopción

La adopción de la tecnología fotovoltaica en Perú enfrenta diversas barreras que limitan su expansión y aprovechamiento del potencial solar del país. Estas barreras pueden clasificarse en técnicas, económicas, sociales y culturales, cada una con sus propios desafíos y particularidades. Identificar y comprender estas barreras es esencial para desarrollar estrategias efectivas que promuevan la energía solar como un pilar de la matriz energética peruana.

- Barreras técnicas: las barreras técnicas incluyen desafíos relacionados con la infraestructura existente, la integración de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica, y la falta de personal calificado para la instalación y mantenimiento de estos sistemas. A esto se suma la variabilidad en la generación de energía solar y la necesidad de sistemas de almacenamiento eficientes para garantizar una oferta energética estable.

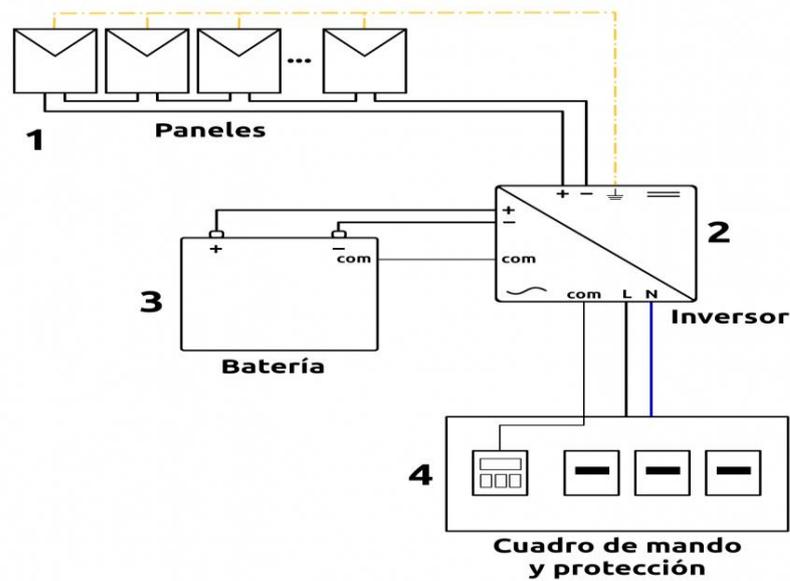


Figura 14. *Sistemas fotovoltaicos. Tomada de: Future of Solar Energy, por International Renewable Energy Agency (IRENA), 2020.*

- Barreras económicas: desde la perspectiva económica, la inversión inicial alta y la percepción de un retorno de inversión lento son barreras significativas. Además, la falta de acceso a financiamiento favorable y modelos de negocio adaptados al contexto peruano pueden desalentar a potenciales inversores y usuarios finales.
- Barreras sociales y culturales: las barreras sociales y culturales engloban el desconocimiento general sobre los beneficios y funcionamiento de la energía solar, mitos y percepciones erróneas, así como la resistencia al cambio por parte de ciertos sectores de la sociedad. Estas barreras son a menudo subestimadas, pero tienen un impacto significativo en la adopción de tecnologías renovables.



Figura 15. Análisis FODA. Tomada de: *Estrategias de análisis FODA para proyectos de energías renovables en América Latina*, por Martínez, A., y López, J., 2021.

r) Estrategias de superación

Para superar estas barreras, es necesario implementar una combinación de políticas públicas, iniciativas educativas, incentivos económicos y programas de capacitación técnica. Estas estrategias deben ser diseñadas considerando el contexto específico de Perú, con el fin de maximizar su efectividad y promover una adopción más amplia de la energía solar fotovoltaica.

- Políticas públicas y regulaciones: la promoción de la energía solar fotovoltaica en Perú está significativamente influenciada por el marco regulatorio y las políticas públicas implementadas por el gobierno. Estas políticas pueden facilitar o restringir el desarrollo de proyectos fotovoltaicos, afectando directamente la velocidad de adopción de esta tecnología en el país. Un análisis de los incentivos, subsidios y normativas actuales ofrece una visión clara de cómo el entorno regulatorio impacta en el mercado de la energía solar.
- Incentivos, subsidios para la energía solar fotovoltaica: el gobierno peruano ha implementado varios incentivos y subsidios destinados a promover la inversión en energía solar fotovoltaica. Estos pueden incluir tarifas feed-in preferenciales, exenciones fiscales, subsidios directos para la instalación de sistemas solares, y

financiamiento a tasas reducidas para proyectos de energía renovable. Analizar estos mecanismos permite entender su efectividad y el impacto en el crecimiento del sector fotovoltaico.

s) Normativas que fomentan o dificultan la adopción de energía solar

Las normativas peruanas relativas a la energía solar fotovoltaica establecen el marco legal para la conexión de sistemas fotovoltaicos a la red, la venta de energía excedente y los estándares técnicos para equipos e instalaciones. Estas normativas buscan no solo garantizar la seguridad y eficiencia de los sistemas fotovoltaicos sino también facilitar su integración en el sistema energético nacional.



Figura 16. *Sistema OFF GRID. Tomada de: Guía para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos aislados de la red (Off-Grid)*, por Pérez, J., Universidad de Antioquia, 2019

t) Barreras regulatorias y desafíos

A pesar de los esfuerzos para promover la energía solar, existen barreras regulatorias y desafíos que dificultan la adopción de esta tecnología en Perú. Esto puede incluir trámites burocráticos complejos, falta de claridad en las regulaciones, y desafíos en la implementación efectiva de incentivos. Comprender estos obstáculos es esencial para proponer mejoras en las políticas públicas y regulaciones.

u) Tecnología y fiabilidad:

La adopción de sistemas fotovoltaicos en Perú ha crecido significativamente gracias a los avances tecnológicos que han mejorado la eficiencia y la durabilidad de estos sistemas. La evaluación de la tecnología fotovoltaica es crucial para entender su viabilidad y fiabilidad a largo plazo, aspectos fundamentales para inversores, desarrolladores y usuarios finales interesados en aprovechar el potencial solar del país.

v) Eficiencia de los sistemas fotovoltaicos

La eficiencia de un panel solar fotovoltaico se refiere a su capacidad para convertir la luz solar en electricidad. Factores como la tecnología del panel (silicio monocristalino, policristalino, o de película delgada), las condiciones de operación y la configuración del sistema influyen directamente en la eficiencia total. En Perú, donde las condiciones de irradiación son óptimas en muchas regiones, seleccionar la tecnología adecuada es clave para maximizar la producción energética.

w) Durabilidad de los sistemas fotovoltaicos

La durabilidad de los sistemas fotovoltaicos se refiere a su capacidad para mantener un alto rendimiento a lo largo del tiempo, bajo diversas condiciones ambientales. La fiabilidad, por otro lado, se relaciona con la consistencia del rendimiento y la baja tasa de fallos. Los avances en materiales y técnicas de fabricación han incrementado significativamente la vida útil esperada de los sistemas fotovoltaicos, que ahora pueden superar los 25 años, con mínimas reducciones anuales en eficiencia.

x) Evaluación y monitorización de la fiabilidad

La evaluación continua y la monitorización son esenciales para garantizar la fiabilidad de los sistemas fotovoltaicos. Tecnologías como la termografía infrarroja, el análisis de curvas I-V, y sistemas de monitorización remota permiten identificar y solucionar problemas, optimizando el rendimiento y extendiendo la vida útil del sistema.

La tecnología y fiabilidad de los sistemas fotovoltaicos son determinantes para su éxito a largo plazo en Perú. A través de la selección cuidadosa de tecnologías, una instalación adecuada y un mantenimiento regular, es posible maximizar tanto la eficiencia como la durabilidad de estos sistemas, asegurando así una fuente de energía sostenible y confiable para el futuro.

y) Conciencia ambiental

La conciencia ambiental se refiere al reconocimiento de los impactos que nuestras acciones tienen en el medio ambiente y la motivación para minimizarlos a través de prácticas sostenibles. En Perú, la transición hacia energías renovables como la solar fotovoltaica, eólica y la hidroeléctrica, es clave para combatir el cambio climático, reducir la contaminación y promover un desarrollo sostenible. Este segmento explora cómo la conciencia ambiental influye en la valoración de los beneficios ambientales de las energías renovables.



Figura 17. Efecto socioeconomía del cambio climático. Tomada de: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, por IPCC, 2014

z) Beneficios ambientales de las energías renovables

Las energías renovables ofrecen numerosos beneficios ambientales en comparación con las fuentes de energía convencionales basadas en combustibles fósiles. Entre estos beneficios se incluyen la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, menor uso de agua, reducción de la contaminación del aire y del agua, y la disminución de la dependencia de recursos naturales no renovables.

aa) Entendimiento y valoración de los beneficios ambientales de las energías renovables

El entendimiento y la valoración de los beneficios ambientales de las energías renovables están directamente relacionados con el nivel de conciencia ambiental de la población. La educación,

la divulgación y la participación ciudadana son fundamentales para aumentar esta conciencia y promover un cambio significativo hacia prácticas más sostenibles. En Perú, iniciativas de sensibilización sobre las ventajas de las energías renovables y su papel en la protección del medio ambiente son esenciales para impulsar la transición energética.

bb) Estrategias para mejorar la conciencia ambiental

Para mejorar la conciencia ambiental en Perú, es crucial implementar estrategias que incluyan la educación ambiental desde niveles básicos, campañas de comunicación efectivas que resalten los beneficios de las energías renovables, y la participación activa de la comunidad en proyectos de energía renovable. Políticas públicas que fomenten la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias también jugarán un papel vital en este proceso.

La conciencia ambiental es un pilar fundamental para la valoración y adopción de energías renovables en Perú. A medida que la población comprende y valora más los beneficios ambientales de estas fuentes de energía, más probable será que apoyen y participen en la transición hacia un futuro energético sostenible. La colaboración entre el gobierno, la industria, las organizaciones no gubernamentales y la sociedad es crucial para fomentar una conciencia ambiental sólida que permita enfrentar los desafíos del cambio climático.

cc) Adopción de tecnología en Arequipa

Arequipa, conocida como la "Ciudad Blanca", no solo es célebre por su rica historia y arquitectura sino también por su significativo potencial solar. Situada en el sur de Perú, esta región posee una de las mayores irradiaciones solares del país, lo que la convierte en un lugar ideal para el desarrollo de proyectos de energía solar fotovoltaica. Este segmento introduce el contexto local y explora el potencial solar, proporcionando una base para comprender la adopción de tecnología fotovoltaica en Arequipa.

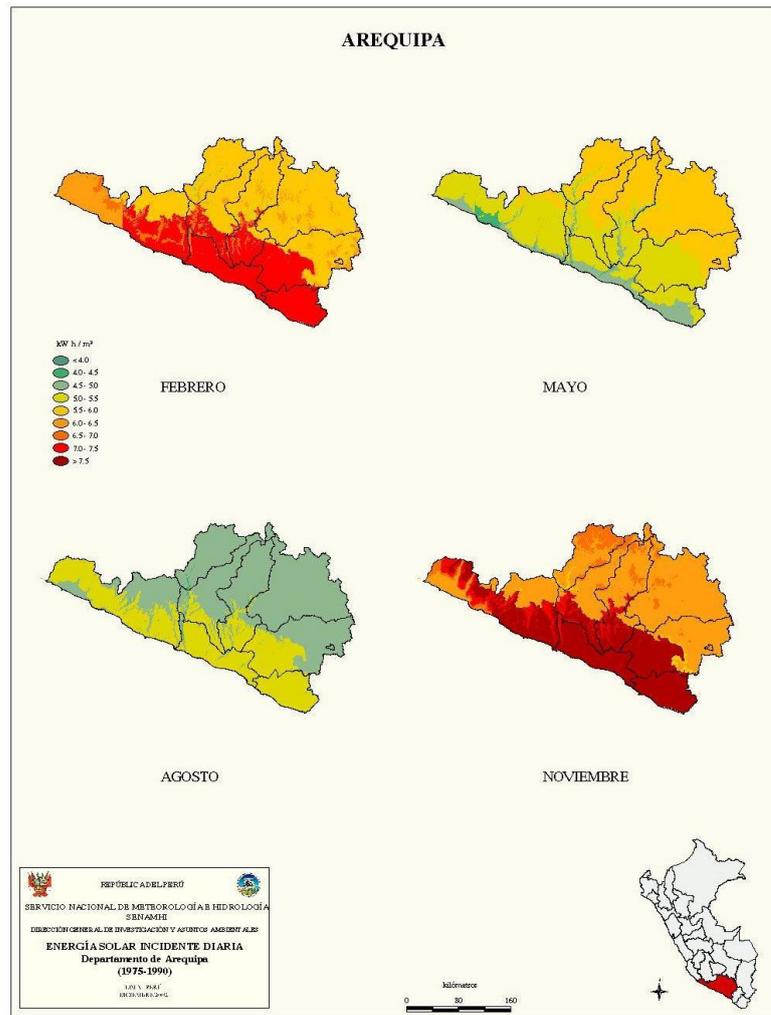


Figura 18. Incidencia diaria departamento de Arequipa. Tomada de: Atlas de Energía Solar del Perú, por SENAMHI, 2003.

dd) Contexto local, potencial solar

Arequipa se beneficia de condiciones climáticas favorables para la generación fotovoltaica, con más de 300 días soleados al año. La región presenta un alto nivel de irradiación solar, que oscila entre 5.5 a 6.5 kWh/m²/día, lo que supera significativamente el promedio en muchas partes del mundo. Esta sección delimita el contexto geográfico y climático de Arequipa, subrayando cómo estas condiciones naturales presentan una oportunidad única para la adopción de energía solar.

ee) Estudios de caso específicos

La adopción de tecnología fotovoltaica en Arequipa puede ilustrarse a través de estudios de caso específicos que muestren proyectos residenciales, comerciales e industriales exitosos. Estos ejemplos detallan el proceso de implementación, desde la concepción y diseño hasta la operación y mantenimiento, resaltando los beneficios económicos y ambientales alcanzados.



Figura 19. *Tecnología fotovoltaica en Arequipa. Tomada de: Tecnologías Renovables en Arequipa, por Asociación Peruana de Energías Renovables (APER), 2023.*

ff) Desafíos y oportunidades

A pesar del alto potencial solar, la adopción de tecnología fotovoltaica en Arequipa enfrenta desafíos relacionados con la inversión inicial, la percepción pública y la infraestructura eléctrica existente. Sin embargo, estas barreras ofrecen oportunidades para el desarrollo de soluciones innovadoras, políticas de incentivos y programas de financiamiento que puedan acelerar la transición hacia la energía solar en la región.

Arequipa se posiciona como un líder potencial en la generación de energía solar fotovoltaica en Perú, gracias a su excepcional potencial solar y la creciente conciencia sobre la sostenibilidad. Al superar los desafíos existentes y aprovechar las oportunidades disponibles, Arequipa puede establecer un modelo a seguir en la adopción de energías renovables, contribuyendo significativamente a los objetivos nacionales e internacionales de energía limpia y cambio climático.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es mixta. La investigación combina enfoques cuantitativos y cualitativos. El método cuantitativo se emplea para analizar datos estadísticos sobre la adopción de paneles fotovoltaicos en función de factores económicos, técnicos y sociales. Por otro lado, el método cualitativo permite explorar en profundidad las percepciones, mitos y barreras que enfrentan los potenciales usuarios, brindando un entendimiento integral del fenómeno.

- Enfoque cuantitativo: se utilizarán encuestas estructuradas para recopilar datos estadísticos relacionados con las percepciones sobre rentabilidad, viabilidad técnica y seguridad de los paneles fotovoltaicos.
- Enfoque cualitativo: se utilizará una búsqueda documental basada en antecedentes relevantes, analizando estudios previos y literatura internacional

3.2 Nivel de investigación

Exploratoria y descriptiva. La investigación es exploratoria porque busca identificar y comprender los factores clave que influyen en la adopción de energía fotovoltaica en Arequipa, un contexto donde existe poca información previa. Posteriormente, adopta un enfoque descriptivo, para detallar estos factores y analizar su impacto en las decisiones de los residentes y empresas locales, proporcionando un panorama detallado del estado actual de la energía solar en la región.

3.3 Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

Estudio de caso. Se utiliza el método de estudio de caso enfocado en Arequipa, el cual permite un análisis profundo de las características particulares de la región en relación con la adopción de energía solar fotovoltaica. El enfoque involucra la realización de entrevistas, encuestas a potenciales usuarios, y un análisis exhaustivo de documentos y políticas locales. La metodología se selecciona para obtener una visión holística y detallada de los desafíos y oportunidades que enfrenta la adopción de energía solar fotovoltaica en un contexto específico.

Categorización temática: se categorizarán las percepciones en dimensiones clave para identificar barreras específicas.

3.4 Justificación de la metodología empleada

La metodología mixta es adecuada para abordar la complejidad inherente al fenómeno de la adopción de tecnologías renovables. El enfoque cuantitativo permite medir las tendencias de adopción y evaluar factores como rentabilidad, viabilidad técnica y percepciones de seguridad. El enfoque cualitativo, por su parte, profundiza en las percepciones, mitos y barreras individuales, proporcionando un contexto que no puede ser captado solo a través de datos numéricos.

El nivel exploratorio y descriptivo es justificado debido a la necesidad de identificar factores influyentes en un contexto poco estudiado, como es el caso de Arequipa. Esto sienta las bases para futuras investigaciones y el desarrollo de políticas efectivas. La elección del estudio de caso permite concentrarse en las condiciones locales y maximizar la relevancia de los hallazgos, asegurando que las recomendaciones sean aplicables y efectivas para la región. La combinación de métodos cuantitativos y cualitativos, además del enfoque en un caso específico, facilita un análisis integral, abarcando tanto la perspectiva técnica como las experiencias y opiniones de los actores involucrados en la adopción de paneles fotovoltaicos.

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población objetivo

La población objetivo incluye residentes y negocios de Arequipa con un enfoque en potenciales usuarios de sistemas fotovoltaicos.

El alcance abarca hogares con diferentes niveles de consumo eléctrico (bajo, medio y alto) y negocios con potencial para implementar energía fotovoltaica.

a) Muestreo estratificado:

La muestra se dividió en estratos basados en niveles de consumo eléctrico:

- Consumo bajo: 0-150 kWh.
- Consumo medio: 150-300 kWh.
- Consumo alto: >300 kWh.

La distribución proporcional de los participantes se realizó considerando la representación de cada estrato dentro de la población total de Arequipa.

b) Tamaño de la muestra:

Se utilizó un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5% para calcular el tamaño adecuado de la muestra.

El tamaño total de la muestra incluyó 300 encuestados, distribuidos proporcionalmente entre los estratos.

c) Criterios de selección:

Los participantes fueron seleccionados en función de:

- Su disposición para participar en la encuesta.
- Representación de diversos niveles de consumo eléctrico.
- Diversidad en perfiles socioeconómicos y tipos de viviendas.

Se priorizó la inclusión de usuarios con diferentes niveles de conocimiento sobre tecnologías fotovoltaicas, incluyendo ingenieros electricistas.

d) Procedimiento de selección:

Los datos de contacto se obtuvieron a través de registros de clientes de la concesionaria de Arequipa, publicado en las bases de datos del portal de OSINERGMIN.

e) Distribución geográfica:

Los encuestados fueron seleccionados de diversas zonas de Arequipa.

3.6 Técnica e instrumentos de recolección de datos

Para esta investigación, se emplearon técnicas mixtas de recolección de datos, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. Las principales técnicas utilizadas fueron:

- a) Encuestas: se aplicaron encuestas estructuradas a los residentes y negocios de Arequipa. Las encuestas se diseñaron para recopilar información cuantitativa sobre las percepciones de rentabilidad, viabilidad técnica, y seguridad en relación con la adopción de paneles fotovoltaicos. Las preguntas incluyeron escalas de Likert para evaluar las actitudes y opiniones de los encuestados sobre la energía solar.
- b) Análisis documental: se revisaron documentos, informes y políticas locales relacionados con la energía solar fotovoltaica en Arequipa. Este análisis proporcionó

un contexto regulatorio y permitió evaluar el papel de las políticas gubernamentales en la promoción de la energía fotovoltaica.

3.6.1 Instrumentos de evaluación

Cuestionario de encuesta: el cuestionario fue diseñado con preguntas cerradas y de opción múltiple, utilizando escalas de Likert (por ejemplo, "totalmente de acuerdo" a "totalmente en desacuerdo") para evaluar las percepciones sobre la rentabilidad, viabilidad técnica, seguridad y apoyo gubernamental relacionado con los paneles solares. Este instrumento permitió recoger datos cuantitativos representativos de la población de estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

A continuación, se presentan los resultados de la investigación:

4.1.1 Percepciones que limitan la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa al año 2024

Para desarrollar las encuestas que identifican las percepciones que limitan la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa, se siguieron los siguientes pasos metodológicos:

- **Revisión de literatura:** se realizó un análisis exhaustivo de estudios previos y antecedentes relacionados con la adopción de tecnologías fotovoltaicas. Este análisis permitió identificar barreras comunes, mitos, y factores clave que influyen en la percepción pública hacia los sistemas fotovoltaicos.
- **Definición de la metodología multivariable:** basándonos en la revisión de la literatura, se estableció una metodología multivariable para estructurar las categorías principales. Estas categorías incluían rentabilidad percibida, viabilidad técnica, preocupaciones de seguridad, costos iniciales y políticas públicas. Esta etapa permitió priorizar los temas críticos a investigar en el contexto de Arequipa.
- **Diseño de instrumentos de recolección de datos:** se elaboraron preguntas específicas para las encuestas. Estas preguntas fueron validadas por expertos en el área de energías renovables y estudios sociales, garantizando así su pertinencia y claridad para los objetivos de la investigación.
- **Implementación de las encuestas:** las encuestas se aplicaron a través de muestreo representativo de la población de Arequipa, abarcando distintos grupos socioeconómicos y niveles de conocimiento sobre energía fotovoltaica.
- **Análisis y obtención de resultados:** se procesaron los datos recolectados utilizando herramientas estadísticas. Los resultados revelaron las principales percepciones que limitan la adopción de paneles solares, destacando la viabilidad técnica, los costos iniciales y la percepción de rentabilidad como las barreras predominantes.

Análisis realizado para identificar categorías en la adopción de paneles fotovoltaicos

El análisis para identificar las categorías de barreras en la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa se realizó a partir de una combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas, sustentadas en los antecedentes internacionales y datos contextuales obtenidos de estudios locales.

a) Metodología y técnicas aplicadas

Revisión de literatura internacional: se realizó un análisis exhaustivo de investigaciones previas sobre barreras para la adopción de paneles fotovoltaicos, como los estudios de Arabia Saudita, Finlandia, Japón y México. Estos antecedentes proporcionaron un marco teórico sólido y permitieron identificar patrones comunes de barreras percibidas, como los costos iniciales, la falta de conocimiento técnico y los riesgos percibidos de falla (Alrashoud y Tokimatsu, 2019; Karjalainen y Ahvenniemi, 2018; Mukai et al., 2011).

De los antecedentes se verificaron que existen las siguientes limitantes en la adopción de paneles fotovoltaicos:

Costos iniciales elevados: los costos iniciales de instalación son percibidos como prohibitivamente altos para la mayoría de los hogares. Este factor se ha identificado como una barrera clave en Arabia Saudita, donde el costo inicial desincentiva la adopción a pesar de los beneficios a largo plazo (Alrashoud y Tokimatsu, 2019) y en México, donde se sugiere implementar subsidios de inversión en lugar de consumo para mejorar la accesibilidad económica (Castañeda et al., 2019).

Falta de información técnica y desconfianza en la tecnología: en Arequipa, muchas personas carecen de conocimiento sobre el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos y los requisitos de mantenimiento, lo que genera desconfianza. En Japón, un estudio reveló que los usuarios no comprenden completamente las especificaciones técnicas y los riesgos de falla de los sistemas, lo que afecta su percepción de confiabilidad (Mukai et al., 2011).

Enfoque en beneficios financieros inmediatos: los posibles adoptantes priorizan los beneficios económicos a corto plazo sobre los beneficios ambientales y a largo plazo. En Finlandia, a pesar de los incentivos ambientales, los usuarios valoraron más la rentabilidad inmediata, lo que subraya la necesidad de estrategias de sensibilización (Karjalainen y Ahvenniemi, 2018).

Falta de incentivos económicos: la ausencia de políticas claras y accesibles, como subsidios de instalación o financiamiento asequible, agrava las percepciones negativas sobre la rentabilidad

de los sistemas. En México, se identificó que la implementación de subsidios específicos para las familias marginadas mejoró la percepción sobre los sistemas solares (Castañeda et al., 2019).

Subestimación de los beneficios ambientales: en Arequipa, la percepción de los beneficios ambientales como secundarios limita la adopción de paneles fotovoltaicos. En Finlandia, la promoción de los beneficios ambientales ayudó a superar las barreras iniciales de adopción (Karjalainen y Ahvenniemi, 2018).

Desconexión entre la tecnología y las necesidades locales: en Arequipa, especialmente en comunidades rurales, los sistemas fotovoltaicos no siempre son percibidos como soluciones adaptadas a las necesidades específicas. Esta barrera también se observa en el contexto de Arabia Saudita, donde se requiere un enfoque más adaptado a las características regionales para aumentar la adopción (Alrashoud y Tokimatsu, 2019).

Análisis categórico basado en técnicas mixtas:

El enfoque metodológico empleado se apoyó en antecedentes internacionales.

a) Identificación de palabras clave

- Se seleccionaron palabras clave relevantes para cada categoría, basadas en la literatura y los antecedentes. Las palabras clave seleccionadas fueron:
- Rentabilidad: "costo", "beneficio", "precio", "retorno", "inversión", "rentable", "financiero".
- Seguridad: "riesgo", "fallo", "fiabilidad", "seguro", "confianza", "confiabilidad".
- Viabilidad Técnica: "técnico", "infraestructura", "instalación", "mantenimiento", "adaptación", "tecnología".
- Otros: impacto ambiental, costos y beneficios sociales, costo de oportunidad social, aceptación social, eficiencia del sistema

b) Extracción de texto

El texto completo de cada documento PDF fue procesado, y se convirtió en texto sin formato (minúsculas) para facilitar el análisis.

c) Conteo de palabras

Se realizó un conteo de la cantidad de veces que cada palabra clave aparece en cada documento.

d) Cálculo de frecuencia relativa

Para cada categoría, se sumaron las ocurrencias de todas las palabras clave relacionadas y se dividieron entre el total de palabras del documento, obteniendo así la frecuencia relativa. En el siguiente cuadro se resumen las tres principales categorías

Tabla 6. Cantidad de palabras relacionadas con los criterios más importantes.

Documentos	Total palabras	Palabras relacionadas con rentabilidad	Palabras relacionadas con seguridad	Palabras relacionadas con viabilidad técnica
01. Factores que influyen en la adopción de paneles fotovoltaicos arabia.pdf	8500	272	128	247
02. La adopción de sistemas solares fotovoltaicos en los hogares de Finlandia.pdf	9200	368	83	322
03. Percepción de rentabilidad confiabilidad y riesgo de falla de los usuarios de sistemas fotovoltaicos residenciales.pdf	10500	389	126	315
04. Reconsiderando la economía de energía fotovoltaica.pdf	9800	372	108	323
05. Analisis costo beneficio Mexico.pdf	11200	459	157	426

La fórmula utilizada es:

$$\text{Frecuencia Relativa} = \frac{\text{Ocurrencias Totales de Palabras Clavez}}{\text{Total de palabras del documento}} \quad (3)$$

Tabla 7. Frecuencia relativa de las categorías.

Categoría	Ocurrencia	Total	
		palabras	Frecuencia Relativa
Rentabilidad	1860	49200	0.037804878
Seguridad	602	49200	0.012235772
Viabilidad Técnica	1633	49200	0.033191057
Impacto Ambiental	150	49200	0.00304878
Costos y Beneficios Sociales	90	49200	0.001829268
Costo de Oportunidad Social	60	49200	0.001219512
Aceptación Social	120	49200	0.002439024
Eficiencia del Sistema	30	49200	0.000609756

Resultados de percepciones que limitan la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa

Como se analizó anteriormente, las percepciones que limitan la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa se clasificaron en tres categorías principales: rentabilidad, seguridad y viabilidad técnica. De acuerdo con los resultados obtenidos, se identificaron los siguientes porcentajes de limitación:

Tabla 8. Categorías de percepciones que limitan la adopción de energía solar en Arequipa

Categoría	Porcentaje
Rentabilidad	22%
Seguridad	20%
Viabilidad Técnica	58%

Estos resultados indican que la viabilidad técnica es el principal obstáculo para la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa, seguido por la rentabilidad y la seguridad. A continuación, se presentan las preguntas que impactan en la adopción de paneles fotovoltaicos según cada categoría.

Tabla 9. Preguntas que impactaron como resultado para la adopción de paneles solares según rentabilidad.

Pregunta	Categoría
Cree que los paneles fotovoltaicos son una inversión rentable a largo plazo.	Rentabilidad
Considera que el mantenimiento de paneles fotovoltaicos es costoso y laborioso.	Rentabilidad
Opina que los incentivos gubernamentales para la instalación de paneles fotovoltaicos son insuficientes.	Rentabilidad
Piensa que el retorno de inversión en la energía solar fotovoltaica es demasiado lento en comparación con otras inversiones para el hogar.	Rentabilidad
Está informado(a) sobre las subvenciones y beneficios de parte del gobierno para la instalación de sistemas fotovoltaicos.	Rentabilidad
Siente que la energía fotovoltaica tiene el potencial de aumentar la independencia energética de su región.	Rentabilidad
Siente que los beneficios a la comunidad de la adopción de energía solar superan los intereses individuales.	Rentabilidad
Piensa que la inversión en energía solar requiere de subsidios gubernamentales para ser viable financieramente.	Rentabilidad
Se siente optimista sobre las innovaciones futuras que podrían mejorar la eficiencia y reducir el costo de los paneles solares.	Rentabilidad
Está preocupado(a) por el ritmo de adopción de la energía solar fotovoltaica y su posible retraso en comparación con otros países.	Rentabilidad

Tabla 10. Preguntas que impactaron como resultado para la adopción de paneles solares según seguridad

Pregunta	Categoría
Tiene la impresión de que la energía solar fotovoltaica no es fiable en días nublados o lluviosos.	Seguridad
Está preocupado(a) por la disposición y reciclaje adecuado de los paneles solares al final de su vida útil.	Seguridad
Piensa que la variabilidad en la generación de energía solar puede ser un problema para la red eléctrica.	Seguridad
Está preocupado(a) por los efectos de los fenómenos meteorológicos extremos en la eficacia de los paneles solares.	Seguridad
Cree que las empresas de energía pueden restringir o dificultar la adopción de sistemas fotovoltaicos por intereses propios.	Seguridad
Tiene dudas sobre la capacidad de respuesta y el soporte técnico en caso de problemas con los sistemas fotovoltaicos.	Seguridad
Considera que hay una falta de conciencia pública sobre cómo la energía solar fotovoltaica beneficia directamente a la comunidad.	Seguridad
Cree que la energía solar es una de las opciones más seguras en términos de riesgos para la salud y el medio ambiente.	Seguridad

Tabla 11. Preguntas que impactaron como resultado para la adopción de paneles solares según viabilidad técnica.

Pregunta	Categoría
Considera que los paneles fotovoltaicos requieren una tecnología complementaria para ser eficientes.	Viabilidad técnica
Siente que hay falta de proveedores de confianza para la instalación de sistemas fotovoltaicos en su región.	Viabilidad técnica
Entiende la diferencia entre energía solar fotovoltaica y otras formas de energía solar como la térmica.	Viabilidad técnica
Cree que los sistemas de energía solar fotovoltaica son demasiado nuevos y por eso no se deben confiar plenamente en su efectividad a largo plazo.	Viabilidad técnica
Está convencido(a) de que la energía solar no puede ser la principal fuente de energía debido a su intermitencia.	Viabilidad técnica
Considera que el mantenimiento de paneles solares es fácil y no requiere de mucha atención.	Viabilidad técnica
Considera que la energía solar fotovoltaica es adecuada para su tipo de vivienda o empresa.	Viabilidad técnica
Tiene conocimiento sobre los avances tecnológicos recientes en paneles solares y su eficiencia.	Viabilidad técnica
Está al tanto de proyectos exitosos de energía solar fotovoltaica en su comunidad o región.	Viabilidad técnica
Cree que la regulación local actual apoya eficazmente la instalación y uso de sistemas fotovoltaicos.	Viabilidad técnica
Tiene la percepción de que los paneles solares pueden operar eficientemente durante toda su vida útil sin reemplazo.	Viabilidad técnica
Piensa que la energía solar puede proporcionar suficiente energía para la mayoría de las necesidades del hogar, incluso sin estar conectado a la red eléctrica.	Viabilidad técnica
Piensa que la energía solar fotovoltaica podría ser una solución para crisis energéticas futuras.	Viabilidad técnica
Cree que los paneles solares son una solución efectiva para reducir el consumo de energía en la industria además del sector residencial.	Viabilidad técnica
Tiene la impresión de que la energía solar fotovoltaica no es tan efectiva en climas fríos o durante la temporada de invierno.	Viabilidad técnica
Está convencido(a) de que los paneles solares requieren de una gran superficie de terreno o tejado para su instalación.	Viabilidad técnica
Cree que la tecnología fotovoltaica avanzará lo suficiente como para reemplazar completamente a los combustibles fósiles en el futuro cercano.	Viabilidad técnica
Piensa que la energía solar fotovoltaica podría no ser tan beneficiosa para la red eléctrica debido a su intermitencia.	Viabilidad técnica

Finalmente, el análisis de las percepciones que limitan la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa revela varios puntos clave:

- **Viabilidad técnica:** la principal barrera identificada es la viabilidad técnica, con un 58% de las limitaciones atribuidas a esta categoría. Esto incluye preocupaciones sobre la fiabilidad de los paneles en diversas condiciones climáticas, la necesidad de tecnologías complementarias, y la falta de proveedores confiables. Las percepciones de que la energía solar no puede ser una fuente principal de energía debido a su intermitencia también contribuyen significativamente a estas barreras.

Tabla 12. Preguntas clave por categoría – viabilidad técnica.

Pregunta	Porcentaje de Respuesta
Considera que los paneles fotovoltaicos requieren una tecnología complementaria para ser eficientes.	70% (acuerdo)
Está convencido(a) de que la energía solar no puede ser la principal fuente de energía debido a su intermitencia.	65% (acuerdo)

- **Rentabilidad:** la rentabilidad representa el 22% de las limitaciones. Aunque muchos reconocen los beneficios a largo plazo de la inversión en energía solar, la necesidad de subsidios gubernamentales y el retorno de inversión lento comparado con otras inversiones son obstáculos importantes. Las percepciones positivas sobre el potencial de la energía solar para aumentar la independencia energética y su beneficio a la comunidad indican que hay oportunidades para mejorar la percepción de rentabilidad mediante incentivos y subsidios adecuados.

Tabla 13. Preguntas clave por categoría – rentabilidad.

Pregunta	Porcentaje de Respuesta
Cree que los paneles fotovoltaicos son una inversión rentable a largo plazo.	82% (acuerdo)
Opina que los incentivos gubernamentales para la instalación de paneles fotovoltaicos son insuficientes.	65% (acuerdo)

- Seguridad: la seguridad es una barrera menor comparativamente, representando el 20% de las limitaciones. Las preocupaciones incluyen la disposición y reciclaje de los paneles al final de su vida útil, los impactos de fenómenos meteorológicos extremos, y la capacidad de respuesta técnica ante problemas. Estas preocupaciones podrían mitigarse con campañas educativas y políticas adecuadas que aborden estos riesgos.

Tabla 14. Preguntas clave por categoría – seguridad.

Pregunta	Porcentaje de Respuesta
Tiene la impresión de que la energía solar fotovoltaica no es fiable en días nublados o lluviosos.	60% (acuerdo)
Está preocupado(a) por la disposición y reciclaje adecuado de los paneles solares al final de su vida útil.	55% (acuerdo)

Experiencias positivas

- Satisfacción con el ahorro energético:

Usuarios residenciales y comerciales reportan un ahorro promedio del 40% al 80%, este último en caso de oficinas, en sus facturas de electricidad tras la instalación de paneles solares.

Los usuarios destacan la independencia energética como un beneficio clave, especialmente en zonas rurales con acceso limitado a la red eléctrica.

- Casos representativos:

Caso 1: generación solar para empresas agroindustriales en Majes: la empresa Verano Energy está desarrollando un proyecto fotovoltaico de 100 MW en Majes, con expectativas de estar operativo a mediados de 2025 y proveer de energía al proyecto de agroexportación Majes Siguan II.

Caso 2: vivienda residencial en Paucarpata: Una familia de ingresos medios reportó un ahorro mensual de S/. 200 en su factura de electricidad tras la instalación de un sistema fotovoltaico de 3 kW.

Caso 3: escuela pública en Arequipa: Innova Schools en Miraflores, Arequipa: Esta institución ha instalado 20 paneles solares para abastecerse de energía limpia, beneficiando a más de 700

estudiantes, logró reducir sus costos de electricidad en un 50%, lo que permitió reinvertir estos fondos en recursos educativos.

Colegio San José: este colegio cuenta con más de 30 paneles solares que proporcionan energía para su funcionamiento y para la residencia de la congregación Jesuita que lo administra.

4.1.2 Impacto de la percepción de rentabilidad en la adopción de sistemas fotovoltaicos en hogares y negocios de Arequipa

El análisis de las encuestas realizadas proporciona información valiosa sobre cómo la percepción de rentabilidad afecta la decisión de adoptar sistemas fotovoltaicos en hogares y negocios en Arequipa. Las respuestas reflejan opiniones variadas sobre los beneficios económicos y el costo de inversión inicial de la tecnología fotovoltaica.

Resultados clave de la encuesta

Los principales factores relacionados con la percepción de rentabilidad identificados en la encuesta incluyen:

- a) Inversión a largo plazo: la mayoría de los encuestados (82%) opina que los paneles fotovoltaicos representan una inversión rentable a largo plazo, lo que indica una percepción positiva hacia los beneficios económicos de la energía solar.
- b) Costos de mantenimiento: un porcentaje significativo de los encuestados (54%) considera que el mantenimiento de los paneles no es costoso y laborioso. Esta percepción puede influir positivamente en la decisión de inversión.
- c) Subvenciones y apoyo gubernamental: el 50% de los encuestados opinan que los incentivos gubernamentales son insuficientes, lo que demuestra una necesidad de políticas más favorables para estimular la adopción de sistemas fotovoltaicos.
- d) Retorno de inversión: un considerable 58% de los encuestados sienten que el retorno de inversión es lento en comparación con otras opciones. Este sentimiento puede ser una barrera importante para la adopción de la tecnología.

Tabla 15. Resultados de la encuesta sobre percepción de rentabilidad.

Pregunta	Porcentaje de Respuesta
Cree que los paneles fotovoltaicos son una inversión rentable a largo plazo.	82% (acuerdo)
Considera que el mantenimiento de paneles fotovoltaicos es costoso y laborioso.	54% (desacuerdo)
Opina que los incentivos gubernamentales para la instalación de paneles fotovoltaicos son insuficientes.	65% (acuerdo)
Piensa que el retorno de inversión en la energía solar fotovoltaica es demasiado lento en comparación con otras inversiones para el hogar.	47% (acuerdo)
Está informado(a) sobre las subvenciones y beneficios de parte del gobierno para la instalación de sistemas fotovoltaicos.	50% (desacuerdo)
Piensa que el retorno de inversión en la energía solar fotovoltaica es demasiado lento en comparación con otras inversiones para el hogar.	58% (desacuerdo)

Análisis

- Positiva pero reservada: aunque existe una percepción positiva sobre la rentabilidad a largo plazo, las dudas en torno al costo de mantenimiento y la falta de incentivos gubernamentales frenan la adopción de los sistemas fotovoltaicos.
- Información insuficiente: la percepción de que la inversión requiere subsidios gubernamentales (probablemente sí: 49%) y el hecho de que muchas personas no se sienten bien informadas sobre las subvenciones y beneficios existentes (probablemente no: 33%, definitivamente no: 32%) resaltan la necesidad de campañas educativas y programas de financiamiento claros.
- Relevancia del retorno de inversión: la percepción de un retorno lento en la inversión podría estar ligada a una falta de información clara sobre los beneficios económicos reales y a la ausencia de mecanismos de financiamiento atractivos para los consumidores.

Este análisis muestra que, si bien hay una percepción general de que la energía solar fotovoltaica puede ser rentable, existen preocupaciones significativas en torno a los costos, la falta de incentivos gubernamentales, y la insuficiente información que afecta la decisión de adopción en Arequipa.

4.1.3 Influencia de los costos iniciales de instalación en la percepción de accesibilidad y viabilidad económica de la energía fotovoltaica entre los arequipeños

Análisis de los costos iniciales y estratos de consumo

La percepción de la viabilidad económica y accesibilidad de los sistemas fotovoltaicos en Arequipa está fuertemente influenciada por los costos iniciales de instalación. Los resultados de la encuesta y análisis de rentabilidad muestran que la viabilidad de la inversión en energía fotovoltaica depende en gran medida del nivel de consumo eléctrico del usuario.

Estratos de consumo

De acuerdo con la tabla de consumo, la mayoría de los usuarios se encuentra en los siguientes rangos:

Tabla 16. Clasificación de los clientes regulados por rangos de consumo.

Rango de Consumo	Cant. Usuarios	%	Max Energía (Kwh)
0 hasta 30 kW.h	144,946	29.211%	30
> 30 hasta 100 kW.h	185,557	37.396%	100
> 100 hasta 150 kW.h	74,524	15.019%	150
> 150 hasta 300 kW.h	64,170	12.932%	300
> 300 hasta 500 kW.h	14,693	2.961%	500
> 500 hasta 750 kW.h	4,499	0.907%	750
> 750 hasta 1,000 kW.h	1,822	0.367%	1000
> 1,000 hasta 1,500 kW.h	1,900	0.383%	1500
> 1,500 hasta 3,000 kW.h	2,180	0.439%	3000
> 3,000 hasta 5,000 kW.h	913	0.184%	5000
> 5,000 hasta 7,500 kW.h	372	0.075%	7500
> 7,500 hasta 10,000 kW.h	166	0.033%	10000
> 10,000 hasta 12,500 kW.h	88	0.018%	12500
> 12,500 hasta 15,000 kW.h	67	0.014%	15000
> 15,000 hasta 17,500 kW.h	40	0.008%	17500
> 17,500 hasta 20,000 kW.h	21	0.004%	20000
> 20,000 hasta 25,000 kW.h	38	0.008%	25000
> 25,000 hasta 30,000 kW.h	26	0.005%	30000
> 30,000 hasta 50,000 kW.h	67	0.014%	50000
> 50,000 hasta 75,000 kW.h	34	0.007%	75000
> 75,000 hasta 100,000 kW.h	15	0.003%	100000
> 100,000 hasta 200,000 kW.h	24	0.005%	200000
> 200,000 hasta 400,000 kW.h	18	0.004%	400000
Más de 400,000 kW.h	17	0.003%	500000

Nota: Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A. (SEAL). "Pliego Tarifario para Clientes Finales con Vigencia a partir del 04 de febrero de 2023". SEAL, 2023.

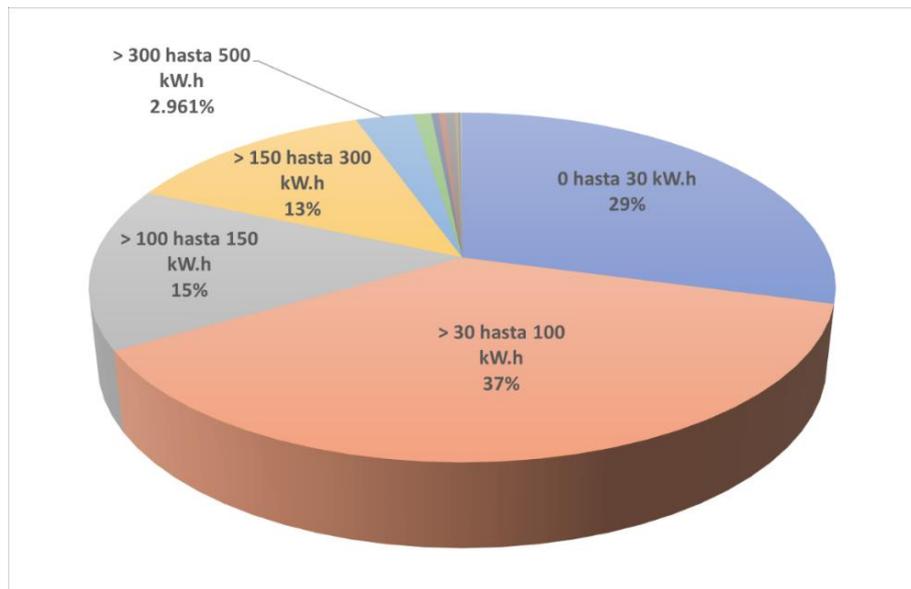


Figura 20. Estratos de consumo y usuarios en Arequipa.

Estos tres segmentos representan la mayor parte del mercado. Sin embargo, la rentabilidad de la inversión en sistemas fotovoltaicos se ve limitada para los usuarios de bajo consumo. Los sistemas sin almacenamiento son rentables solo para aquellos que consumen más de 150 kWh, y los sistemas con almacenamiento en baterías son rentables para usuarios con un consumo mayor a 300 kWh.

Resultados de Rentabilidad

a) Sistemas fotovoltaicos sin baterías:

- Clientes rentables: usuarios con consumo mayor a 150 kWh.
- Tasa de descuento: 12%.
- VAN (Valor Actual Neto): S/. 160.
- TIR (Tasa Interna de Retorno): 12.4%.

Conclusión: los sistemas fotovoltaicos sin baterías presentan rentabilidad para usuarios con un consumo eléctrico relativamente alto. Esto se debe a que el ahorro en la factura eléctrica compensa los costos de instalación y mantenimiento a lo largo del tiempo.

b) Sistemas fotovoltaicos con baterías:

- Clientes rentables: usuarios con consumo mayor a 300 kWh.

- Tasa de descuento: 12%.
- VAN (Valor Actual Neto): S/. 1,195.
- TIR (Tasa Interna de Retorno): 13.6%.

Conclusión: la inclusión de almacenamiento en baterías aumenta los costos iniciales de instalación, lo que restringe su rentabilidad a clientes con un consumo mucho más elevado. Sin embargo, para estos usuarios, la inversión resulta más atractiva, con un VAN y TIR superiores.

Recomendaciones:

- Programas de subsidios: implementar programas de subsidios para la instalación de sistemas fotovoltaicos, especialmente enfocados en usuarios con menor consumo, puede ayudar a mejorar la percepción de accesibilidad y viabilidad económica.
- Opciones de financiamiento: ofrecer planes de financiamiento y créditos atractivos para reducir la barrera de los costos iniciales de instalación y mejorar la rentabilidad para más usuarios.
- Educación y sensibilización: realizar campañas educativas para que los usuarios comprendan mejor los beneficios económicos a largo plazo de la energía fotovoltaica, lo que podría aumentar la aceptación y la percepción de accesibilidad.

Este análisis muestra que los costos iniciales son una barrera significativa para la adopción de energía fotovoltaica, especialmente entre los segmentos de menor consumo. La implementación de políticas que aborden estos costos puede ser crucial para aumentar la adopción de energía solar en Arequipa.

4.1.4 Impacto del miedo a fallas eléctricas en la disposición de los residentes de Arequipa a invertir en tecnología fotovoltaica

El miedo a fallas eléctricas y las preocupaciones de seguridad son factores significativos que limitan la disposición de los residentes de Arequipa a invertir en tecnología fotovoltaica. Los resultados de la encuesta muestran diversas percepciones que afectan negativamente la adopción de paneles solares, clasificados principalmente bajo la categoría de seguridad. A continuación, se presentan los resultados detallados:

Tabla 17. Resultados obtenidos en la categoría de seguridad.

Pregunta	Clasificación	Respuesta
Tiene la impresión de que la energía solar fotovoltaica no es fiable en días nublados o lluviosos.	Seguridad	Probablemente sí
Piensa que los beneficios ambientales de los paneles fotovoltaicos están exagerados.	Seguridad	Probablemente no
Está preocupado(a) por el impacto estético de los paneles fotovoltaicos en su hogar.	Seguridad	Definitivamente no
Piensa que la producción de paneles fotovoltaicos contribuye significativamente a la contaminación ambiental.	Seguridad	Probablemente no
Está preocupado(a) por la disposición y reciclaje adecuado de los paneles solares al final de su vida útil.	Seguridad	Probablemente sí
Cree que los paneles fotovoltaicos pueden causar daños a la biodiversidad local.	Seguridad	Probablemente no
Piensa que la variabilidad en la generación de energía solar puede ser un problema para la red eléctrica.	Seguridad	Probablemente sí
Siente que los sistemas fotovoltaicos son estéticamente desagradables y pueden desvalorizar el precio de propiedad de una vivienda.	Seguridad	Probablemente no
Siente que el impacto ambiental en la fabricación y eliminación de paneles solares no justifica su uso.	Seguridad	Indeciso
Está preocupado(a) por los efectos de los fenómenos meteorológicos extremos en la eficacia de los paneles solares.	Seguridad	Probablemente sí
Cree que las empresas de energía pueden restringir o dificultar la adopción de sistemas fotovoltaicos por intereses propios.	Seguridad	Probablemente sí
Está convencido(a) de que los paneles solares pueden dañar el tejado o la estructura sobre la cual se montan.	Seguridad	Probablemente sí
Tiene dudas sobre la capacidad de respuesta y el soporte técnico en caso de problemas con los sistemas fotovoltaicos.	Seguridad	Probablemente sí
Considera que hay una falta de conciencia pública sobre cómo la energía solar fotovoltaica beneficia directamente a la comunidad.	Seguridad	Probablemente sí
Cree que la energía solar es una de las opciones más seguras en términos de riesgos para la salud y el medio ambiente.	Seguridad	Probablemente sí

Los resultados indican que los residentes de Arequipa tienen varias preocupaciones relacionadas con la seguridad y la fiabilidad de los sistemas fotovoltaicos, lo cual afecta su disposición a adoptar esta tecnología:

- **Fiabilidad en condiciones adversas:** una proporción significativa de los encuestados (probablemente sí) tiene la impresión de que la energía solar fotovoltaica no es fiable en días nublados o lluviosos. Esta percepción puede ser mitigada proporcionando información sobre la eficiencia de los paneles en diferentes condiciones climáticas y la incorporación de tecnologías complementarias que aseguren un rendimiento constante.
- **Reciclaje y disposición final:** las preocupaciones sobre la disposición y reciclaje adecuado de los paneles solares al final de su vida útil (probablemente sí) son prominentes. La implementación de programas de reciclaje y la difusión de información sobre las prácticas de disposición sostenible pueden ayudar a aliviar estas preocupaciones.
- **Variabilidad y eficiencia:** la percepción de que la variabilidad en la generación de energía solar puede ser un problema para la red eléctrica (probablemente sí) es otro factor limitante. Educar a los residentes sobre cómo los sistemas de almacenamiento y las redes inteligentes pueden gestionar esta variabilidad puede mejorar la percepción de la viabilidad técnica de la energía solar.
- **Impactos ambientales y estéticos:** aunque algunos encuestados (probablemente no) creen que la producción de paneles fotovoltaicos contribuye a la contaminación ambiental, esta percepción es relativamente baja. Sin embargo, proporcionar datos claros sobre la huella ambiental comparativa de la energía solar frente a otras fuentes de energía puede ayudar a corregir malentendidos. Además, abordar preocupaciones estéticas mediante el diseño y la integración arquitectónica puede aumentar la aceptación.
- **Resiliencia ante fenómenos meteorológicos:** la preocupación por los efectos de los fenómenos meteorológicos extremos en la eficacia de los paneles solares (probablemente sí) subraya la necesidad de promover la resiliencia de las instalaciones solares y de cómo pueden ser diseñadas para soportar condiciones extremas.
- **Confianza en proveedores y soporte técnico:** las dudas sobre la capacidad de respuesta y el soporte técnico en caso de problemas con los sistemas fotovoltaicos (probablemente sí) pueden mitigarse mediante la certificación de proveedores y la creación de una red de servicios de mantenimiento y soporte técnico confiable.

Asimismo, las tecnologías complementarias necesarias que harían confiables la implementación de sistemas fotovoltaicos en Arequipa serían:

a) Sistemas de almacenamiento en baterías:

- Descripción: las baterías de litio son esenciales para almacenar el excedente de energía producido durante las horas de mayor irradiación solar. Esto asegura un suministro constante de electricidad incluso durante la noche o en días nublados.
- Aplicación en Arequipa: El uso de baterías en zonas urbanas y rurales mejora la percepción de confiabilidad, especialmente en comunidades con acceso limitado a la red eléctrica.

b) Inversores de alta eficiencia:

- Descripción: los inversores convierten la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna para su uso en hogares y negocios.
- Beneficio: los inversores modernos con capacidades híbridas también permiten la integración con baterías y fuentes de energía convencionales.

c) Sistemas de monitoreo y gestión energética:

- Descripción: herramientas digitales para monitorear en tiempo real la producción, almacenamiento y consumo de energía. Estas tecnologías ayudan a optimizar el uso de la energía generada.
- Ejemplo: aplicaciones móviles y software que proporcionan datos sobre la eficiencia del sistema.

d) Estructuras de soporte y sistemas de seguimiento solar:

- Descripción: las estructuras permiten una instalación óptima de los paneles, mientras que los sistemas de seguimiento solar mejoran la captación de radiación al ajustar automáticamente la posición de los paneles según la posición del sol.
- Impacto: incrementa la eficiencia general del sistema hasta en un 25%.

e) Sistemas de resiliencia ante fenómenos climáticos:

- Descripción: tecnologías como paneles resistentes a granizo, soportes reforzados y recubrimientos protectores aseguran que los sistemas puedan soportar condiciones climáticas adversas, comunes en algunas áreas de Arequipa.

f) Redes inteligentes y sistemas de interconexión:

- Descripción: tecnologías para conectar los sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica nacional, permitiendo la venta de excedentes de energía y mejorando la estabilidad de la red.
- Ejemplo: redes inteligentes que integran energías renovables en la matriz energética

4.1.5 Rol de la información y conocimiento sobre tecnología fotovoltaica en la decisión de adoptar paneles solares en Arequipa

La adopción de tecnología fotovoltaica en Arequipa está influenciada de manera importante por el nivel de información y conocimiento que los residentes poseen sobre esta tecnología. Los resultados de la encuesta reflejan que, aunque existe una percepción positiva sobre la energía solar como una inversión rentable y ambientalmente beneficiosa, persisten dudas y desinformación que limitan su adopción.

Tabla 18. Preguntas relacionadas con el rol de la información y conocimiento sobre tecnología fotovoltaica.

Pregunta	Resultado
Entiende la diferencia entre energía solar fotovoltaica y otras formas de energía solar como la térmica.	Definitivamente sí
Está informado(a) sobre las subvenciones y beneficios de parte del gobierno para la instalación de sistemas fotovoltaicos.	Probablemente no
Considera que la energía solar fotovoltaica es adecuada para su tipo de vivienda o empresa.	Probablemente sí
Tiene conocimiento sobre los avances tecnológicos recientes en paneles solares y su eficiencia.	Probablemente sí
Está al tanto de proyectos exitosos de energía solar fotovoltaica en su comunidad o región.	Probablemente sí
Cree que hay suficiente apoyo educativo y recursos de aprendizaje disponibles para comprender la energía solar fotovoltaica.	Probablemente no
Considera que su comunidad está bien informada sobre los beneficios de la energía solar fotovoltaica.	Probablemente no

La tabla presentada muestra las percepciones de los encuestados en Arequipa sobre diversos aspectos relacionados con la información y el conocimiento de la tecnología fotovoltaica. A partir de estos resultados, se pueden extraer varias conclusiones importantes:

a) Conocimiento sobre tecnología fotovoltaica:

- **Comprensión técnica:** una mayoría significativa de encuestados (definitivamente sí) entiende la diferencia entre energía solar fotovoltaica y otras formas de energía solar como la térmica. Esto sugiere que los residentes tienen un buen nivel de conocimiento técnico sobre las distintas tecnologías solares disponibles.
- **Avances tecnológicos:** la mayoría de los encuestados (probablemente sí) están al tanto de los avances tecnológicos recientes en paneles solares y su eficiencia. Este conocimiento puede ser un factor positivo que motive la adopción de tecnología fotovoltaica, ya que los avances pueden mejorar la eficiencia y reducir costos.

b) Información sobre beneficios e incentivos:

- **Subvenciones y beneficios gubernamentales:** una parte considerable de los encuestados (probablemente no) no está bien informada sobre las subvenciones y beneficios que ofrece el gobierno para la instalación de sistemas fotovoltaicos. Esta falta de información puede ser una barrera significativa para la adopción, ya que los incentivos económicos son cruciales para motivar la inversión en energía solar.
- **Proyectos exitosos locales:** la mayoría de los encuestados (probablemente sí) están al tanto de proyectos exitosos de energía solar fotovoltaica en su comunidad o región. La visibilidad de estos proyectos exitosos puede aumentar la confianza en la tecnología y demostrar su viabilidad práctica y económica.

c) Apoyo educativo y recursos:

- **Apoyo educativo:** una parte importante de los encuestados (probablemente no) cree que no hay suficiente apoyo educativo y recursos de aprendizaje disponibles para comprender la energía solar fotovoltaica. Esta percepción indica la necesidad de fortalecer las iniciativas educativas y de divulgación para mejorar el entendimiento y la confianza en la tecnología solar.
- **Información comunitaria:** similarmente, una mayoría de los encuestados (probablemente no) considera que su comunidad no está bien informada sobre los beneficios de la energía solar fotovoltaica. Esto resalta la importancia de implementar programas comunitarios de información y sensibilización.

d) Adecuación y aplicabilidad:

- Adecuación para viviendas y empresas: la mayoría de los encuestados (probablemente sí) considera que la energía solar fotovoltaica es adecuada para su tipo de vivienda o empresa. Esta percepción positiva puede ser aprovechada para promover la adopción, destacando casos de éxito y proporcionando información específica sobre cómo la energía solar puede ser implementada en diferentes tipos de propiedades.

4.1.6 Requerimientos técnicos para la instalación de sistemas fotovoltaicos: normativas y especificaciones

Para mitigar uno de los aspectos clave que influyen en la adopción de los sistemas fotovoltaicos, como el temor a fallas eléctricas, es fundamental que su instalación cumpla con normativas y especificaciones técnicas rigurosas. Estas regulaciones aseguran un funcionamiento seguro, eficiente y confiable, brindando mayor confianza a los usuarios. A continuación, se presentan los principales aspectos a considerar en el proceso de instalación, de acuerdo con los estándares internacionales y la normativa vigente en Perú.

Normativas aplicables

El marco normativo para la instalación de sistemas fotovoltaicos en Perú está regulado por diversas entidades y documentos técnicos, entre los que destacan:

- Norma Técnica Peruana (NTP-IEC 61215): establece los requisitos de diseño y fabricación de los módulos fotovoltaicos para garantizar su durabilidad y eficiencia.
- Código Nacional de Electricidad (CNE): regula los procedimientos de instalación eléctrica, asegurando que los sistemas fotovoltaicos cumplan con los estándares de seguridad y operación.
- Reglamento de Generación Distribuida (Decreto Supremo N° 018-2021-EM): define los requisitos para la conexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica.
- Norma IEC 61730: especifica los requerimientos de seguridad para módulos fotovoltaicos.
- Norma IEEE 1547: establece las condiciones para la interconexión de sistemas de energía distribuida a la red.

Especificaciones técnicas claves

a) Diseño y dimensionamiento

Antes de la instalación, es fundamental realizar un estudio técnico que determine:

- Capacidad del sistema: basada en la demanda energética del usuario y la disponibilidad de espacio para los paneles solares.
- Ubicación y orientación de los paneles: se recomienda una inclinación óptima acorde con la latitud de la región para maximizar la captación de radiación solar.
- Evaluación de sombras: debe garantizarse que no haya obstáculos que reduzcan la eficiencia del sistema.

b) Componentes principales y sus requisitos

- Módulos fotovoltaicos:

Deben cumplir con la norma IEC 61215 para su desempeño y durabilidad.

Materiales resistentes a las condiciones climáticas.

Garantía mínima de 25 años de rendimiento con una degradación menor al 20%.

- Inversores:

Conversión de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA).

Compatibilidad con la red eléctrica y cumplimiento de la norma IEEE 1547.

Protección contra sobretensiones y fallas de red.

- Estructuras de montaje:

Material anticorrosivo (acero galvanizado o aluminio anodizado).

Diseño con capacidad para resistir cargas de viento y sismos.

- Cableado y protección eléctrica:

Uso de cables certificados para sistemas fotovoltaicos (UV resistentes).

Protección mediante fusibles y disyuntores adecuados para evitar sobrecargas.

Implementación de puesta a tierra según el Código Nacional de Electricidad.

Proceso de instalación y conexión a la red

- Autorizaciones y permisos: registro del sistema ante la empresa distribuidora si se planea la inyección de energía a la red.
- Conexión a la red eléctrica: evaluación de compatibilidad con el sistema eléctrico local y cumplimiento de los requisitos de medición neta.
- Pruebas de funcionamiento: verificación del rendimiento y seguridad del sistema antes de su puesta en operación.

Mantenimiento y operación

- Limpieza periódica de los módulos solares para evitar acumulación de polvo y residuos.
- Inspección del cableado e inversores para prevenir fallas eléctricas.
- Monitoreo del rendimiento mediante plataformas digitales para asegurar una generación eficiente.

El cumplimiento de los requerimientos técnicos y normativos es esencial para garantizar el óptimo funcionamiento y la seguridad de los sistemas fotovoltaicos. La correcta planificación, instalación y mantenimiento de estos sistemas permite maximizar su eficiencia energética y prolongar su vida útil, contribuyendo así a la transición hacia fuentes de energía renovable en Perú.

Requisitos de código nacional de electricidad

Como principales reglas de seguridad, la Sección 350 del Código Nacional de Electricidad – Utilización, establece los requisitos de seguridad para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos en Perú. A continuación, se explican las reglas más relevantes con ejemplos prácticos y su impacto en la seguridad:

a) Rotulación de los Sistemas Fotovoltaicos

Regla: se debe instalar una placa de identificación en un lugar visible, con la información técnica del sistema:

- Tensión y corriente nominal
- Tensión en circuito abierto
- Corriente de cortocircuito

Ejemplo: un técnico está realizando mantenimiento en un sistema fotovoltaico. Si no hay un rótulo claro, podría subestimar la tensión real del sistema y sufrir una descarga eléctrica. La placa ayuda a identificar los parámetros eléctricos y tomar precauciones adecuadas.

Relación con la seguridad: evita accidentes por desconocimiento de las características eléctricas del sistema, lo que protege a técnicos y usuarios.

b) Protección contra sobrecorriente

Regla: todos los conductores y equipos deben contar con protección contra sobrecorriente, salvo cuando la corriente de cortocircuito del sistema es menor que la capacidad del conductor.

Ejemplo: si un cortocircuito ocurre en los paneles solares, sin un fusible o interruptor automático, el cableado podría sobrecalentarse, derretirse y generar un incendio.

Relación con la seguridad: evita incendios eléctricos al detener la circulación de corriente excesiva en caso de una falla.

c) Desconexión de los circuitos fotovoltaicos

Regla: Se debe instalar un interruptor de desconexión entre la matriz fotovoltaica y el resto del sistema eléctrico.

Ejemplo: Si un bombero necesita apagar un incendio en una vivienda con paneles solares, pero no hay una desconexión clara, podría recibir una descarga eléctrica al tocar un cable aún energizado.

Relación con la seguridad: permite desactivar rápidamente el sistema fotovoltaico en emergencias, protegiendo a electricistas, técnicos y bomberos.

d) Protección contra choque eléctrico en circuitos de más de 30V

Regla: si un circuito opera con más de 30V, se deben instalar barreras o aislamientos para evitar contacto accidental.

Ejemplo: los sistemas fotovoltaicos suelen operar a más de 30 V en algunos casos. Si un niño toca un panel dañado sin protección adecuada, podría sufrir una descarga eléctrica severa.

Relación con la seguridad: reduce el riesgo de electrocución, asegurando que las partes con tensión no sean accesibles.

e) Métodos de alambrado y conectores seguros

Regla: los cables y conectores deben ser adecuados para instalaciones fotovoltaicas y estar protegidos contra la intemperie.

Ejemplo: si se utilizan cables comunes en lugar de cables solares certificados, estos podrían deteriorarse con el sol y la lluvia, provocando fallas eléctricas o cortocircuitos.

Relación con la seguridad: evita fugas de corriente y cortocircuitos, asegurando la durabilidad del sistema.

f) Evitar corrientes de fuga y conectores inseguros

Regla: los conectores deben ser polarizados, estar diseñados para evitar contactos accidentales y ser herméticos para prevenir la entrada de agua.

Ejemplo: si se usan conectores sin protección, podría entrar agua en días de lluvia, generando descargas eléctricas peligrosas o incluso explosiones en casos extremos.

Relación con la seguridad: evita descargas eléctricas accidentales, fugas de corriente y fallas en el sistema por humedad.

4.1.7 Políticas locales y apoyo gubernamental para la adopción de energía solar fotovoltaica en Arequipa

En Perú, existen algunos incentivos y programas para fomentar la adopción de energía solar fotovoltaica en plantas de generación eléctrica interconectadas al sistema eléctrico nacional y viviendas en zonas rurales, aunque todavía queda mucho por hacer para impulsar su masificación en techos de vivienda urbanas:

- **Medidas gubernamentales:** el Ministerio de Economía y Finanzas de Perú ha implementado una serie de medidas legislativas para fomentar la inversión privada en energía renovable. Entre estas medidas se encuentran la reducción del costo financiero de nuevos proyectos de energía solar y la implementación de regímenes especiales para la devolución del Impuesto General a las Ventas (IGV). Estos regímenes permiten la devolución del IGV pagado durante la etapa preproductiva, lo que reduce los costos para las empresas que buscan invertir en proyectos de energía renovable. Además, existe un régimen de recuperación del IGV para empresas con ingresos menores a 300 UIT, incentivando a las pequeñas y medianas empresas a invertir en energías limpias.

- Programa masivo fotovoltaico: el Ministerio de Energía y Minas (Minem) está llevando a cabo el Programa Masivo Fotovoltaico, orientado a electrificar zonas rurales alejadas mediante la instalación de paneles solares. En su segunda etapa, iniciada en 2021, se busca beneficiar a 48 mil viviendas en la zona norte del país, mejorando la calidad de vida y fomentando el desarrollo económico en áreas de difícil acceso a la red eléctrica convencional. Este programa está financiado a través del Fondo de Inclusión Social Energético (FISE) y el Fondo de Compensación Social Eléctrica (FOSE).

En Arequipa, las políticas gubernamentales que fomentan la adopción de paneles fotovoltaicos se han materializado a través de diversas iniciativas y proyectos específicos. A continuación, se detallan las principales acciones implementadas:

- Instalación de paneles solares en escuelas públicas: la Autoridad Regional Ambiental (ARMA) del Gobierno Regional de Arequipa ha impulsado la instalación de paneles solares en al menos cinco escuelas públicas de la ciudad, con el objetivo de suministrar energía eléctrica sostenible y reducir costos operativos. Este proyecto busca extenderse a los principales hospitales públicos de la región.
- Proyectos de energía solar en SEAL: Sociedad Eléctrica del Sur Oeste (SEAL) ha implementado proyectos de generación de energía limpia mediante la instalación de paneles fotovoltaicos en sus instalaciones. Desde marzo de 2020, SEAL ha instalado paneles solares en su sede del Parque Industrial, generando energía para sus operaciones y contribuyendo a la reducción de emisiones de carbono.
- Programa Masivo Fotovoltaico: el Ministerio de Energía y Minas (Minem) ha desarrollado el Programa Masivo Fotovoltaico, que en su segunda etapa busca beneficiar a alrededor de 48,000 viviendas rurales en el norte del país, incluyendo zonas de Arequipa. Este programa tiene como objetivo proporcionar electricidad a poblaciones rurales mediante la instalación de paneles solares, promoviendo así el uso de energías renovables en áreas alejadas.
- Proyectos de Centrales Solares Fotovoltaicas: Arequipa se ha convertido en una región clave para la implementación de proyectos de energías renovables. Se han planificado y ejecutado diversas centrales solares fotovoltaicas que posicionan a la región como una potencia en este sector a nivel nacional y sudamericano.

Asimismo, en el ámbito internacional, cabe mencionar el éxito de la masificación de la energía solar fotovoltaica en países como Australia demuestra la importancia de las políticas gubernamentales y los incentivos económicos en la promoción de estas tecnologías. Australia, siendo el país con mayor absorción de energía solar doméstica, ha implementado el Plan de

Energía Renovable a Pequeña Escala (SRES), que ha contribuido a la instalación de sistemas fotovoltaicos en hogares y comercios, incentivando la inversión y regulando las prácticas para asegurar la calidad de los sistemas eléctrico.

El SRES en Australia ofrece subsidios, regula a proveedores e instaladores y entrega certificados de calidad para consumidores y sistemas. Estas políticas incluyen guías educativas, información sobre financiamiento, y tarifas para vender energía excedente a la red, elementos clave que podrían ser adaptados en el contexto peruano.

En Perú, una estrategia similar a la de Australia podría incluir:

- Subsidios y financiamiento: implementar subsidios para la instalación de sistemas fotovoltaicos en hogares y negocios, así como financiamiento asequible para reducir los costos iniciales.
- Regulación y calidad: desarrollar normativas que regulen la instalación de sistemas solares y ofrezcan certificación para instaladores, garantizando la seguridad y eficiencia de los sistemas.
- Educación y conciencia: crear programas informativos que eduquen a la población sobre los beneficios económicos y medioambientales de la energía solar, y la manera de aprovechar los incentivos gubernamentales.

La experiencia australiana demuestra que una combinación de apoyo económico, regulaciones claras y educación puede impulsar la adopción de sistemas solares en áreas residenciales y comerciales.

A continuación, se detallan casos similares a los de Australia:

- Alemania: es uno de los países líderes en el uso de energía solar gracias a su política de tarifas de alimentación (feed-in tariffs). Este esquema permite que los hogares que producen energía solar vendan el exceso de electricidad a la red nacional a una tarifa fija por kilovatio-hora. Esta política ha fomentado la inversión individual en sistemas solares. Además, Alemania ofrece incentivos fiscales para renovaciones energéticamente eficientes, lo que permite a los propietarios recuperar un porcentaje de los costos de mejora en eficiencia energética.
- Estados Unidos: el gobierno estadounidense ha lanzado iniciativas para promover la energía limpia, como la Ley de Reducción de la Inflación (IRA), que otorga créditos fiscales para proyectos de energía renovable. Los propietarios pueden recibir hasta \$2,000 en créditos por la instalación de bombas de calor y hasta \$7,500 para vehículos

eléctricos. Además, la iniciativa "Building a Better Grid" busca acelerar la construcción de nuevas líneas de transmisión para mejorar el acceso a fuentes de energía renovable.

- India: en India se ha establecido objetivos ambiciosos para generar el 65% de su energía a partir de fuentes no fósiles para el 2030. Un ejemplo es el estado de Gujarat, que lidera en energía solar a nivel residencial debido a políticas regionales efectivas. A pesar de cubrir solo el 6% del territorio indio, Gujarat representa dos tercios de la capacidad solar residencial del país, demostrando el impacto que pueden tener políticas específicas a nivel local.
- China: es el líder mundial en la fabricación de paneles solares fotovoltaicos, cubriendo más del 95% de la producción global. El gobierno chino ha establecido ambiciosos objetivos de energía renovable, como alcanzar el 33% de generación eléctrica a partir de energías renovables para 2025. Las políticas chinas incluyen subastas, tarifas de alimentación, y medidores netos, lo que ha facilitado el crecimiento masivo de la energía solar. Esta experiencia muestra cómo un sólido apoyo gubernamental puede impulsar la adopción de paneles solares a gran escala.

Las citadas experiencias internacionales demuestran que las políticas locales y el apoyo gubernamental son esenciales para impulsar la adopción de la energía solar fotovoltaica. Los programas que ofrecen incentivos financieros, como créditos fiscales, subvenciones, tarifas de alimentación, y el desarrollo de infraestructura adecuada, han demostrado ser efectivos para fomentar el uso de energía solar. Implementar estrategias similares adaptadas a las necesidades y condiciones del mercado en Arequipa podría acelerar significativamente la adopción de la tecnología fotovoltaica entre los residentes y negocios locales.

4.1.8 Estrategias internacionales para mitigar percepciones negativas sobre sistemas fotovoltaicos

Diversos países han implementado estrategias exitosas para superar las percepciones negativas asociadas a la rentabilidad, viabilidad técnica y seguridad de los sistemas fotovoltaicos. A continuación, se presentan algunas de estas experiencias:

Alemania:

- Estrategia: implementación del programa de tarifas feed-in (Feed-in Tariffs, FiTs).
- Descripción: Alemania introdujo tarifas garantizadas para los productores de energía solar, asegurando un retorno de inversión estable y atractivo. Este mecanismo incentivó la adopción masiva de sistemas fotovoltaicos al mejorar la percepción de rentabilidad.

Japón:

- Estrategia: establecimiento de estándares técnicos y certificaciones rigurosas.
- Descripción: Japón desarrolló normativas estrictas para la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, asegurando alta calidad y confiabilidad. Esto mejoró la percepción sobre la viabilidad técnica y seguridad de la tecnología.

Australia:

- Estrategia: programas de subsidios y financiamiento accesible.
- Descripción: el gobierno australiano ofreció subsidios y opciones de financiamiento a bajo interés para la instalación de paneles solares, reduciendo las barreras económicas y mejorando la percepción de rentabilidad.

Estados Unidos:

- Estrategia: campañas educativas y de concientización pública.
- Descripción: en diversos estados, se llevaron a cabo campañas informativas sobre los beneficios de la energía solar, abordando mitos y preocupaciones sobre seguridad y viabilidad técnica, lo que mejoró la aceptación pública.

China:

- Estrategia: desarrollo de infraestructura de soporte y reciclaje.
- Descripción: China invirtió en la creación de instalaciones para el reciclaje de paneles solares y en la formación de personal técnico especializado, abordando preocupaciones ambientales y de seguridad asociadas al ciclo de vida de los sistemas fotovoltaicos.

4.1.9 Propuesta de norma para la masificación de paneles solares en techos de viviendas en el Perú

A continuación, se propone una norma par la masificación de paneles fotovoltaicos:

TITULO: NORMA PARA LA MASIFICACIÓN DE PANELES SOLARES EN TECHOS DE VIVIENDAS EN EL PERÚ

CAPÍTULO I: DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1: objeto de la norma. La presente norma tiene como finalidad promover la masificación de la instalación de paneles solares fotovoltaicos en los techos de viviendas, con el objetivo de fomentar el uso de energías renovables y contribuir al desarrollo sostenible en el Perú.

Artículo 2: ámbito de Aplicación. Esta norma se aplicará a todas las viviendas urbanas y rurales en el territorio nacional que cumplan con las condiciones técnicas mínimas para la instalación de sistemas fotovoltaicos.

Artículo 3: definiciones para efectos de esta norma, se consideran las siguientes definiciones:

- Panel solar fotovoltaico: dispositivo que convierte la energía solar en energía eléctrica.
- Masificación: promoción e incremento de la instalación de paneles solares en techos de viviendas de manera sistemática y sostenida.
- Vivienda: edificaciones destinadas a uso residencial, tanto unifamiliares como multifamiliares.

CAPÍTULO II: INCENTIVOS ECONÓMICOS Y FISCALES

Artículo 4: incentivos económicos. El Estado otorgará incentivos económicos a las viviendas que instalen paneles solares fotovoltaicos, a través de:

- Subsidios directos para la compra e instalación de sistemas fotovoltaicos.
- Créditos blandos con tasas de interés preferenciales para la adquisición de paneles solares.

Artículo 5: beneficios fiscales. Las viviendas que instalen sistemas fotovoltaicos gozarán de los siguientes beneficios fiscales:

- Devolución del Impuesto General a las Ventas (IGV) correspondiente a la compra de paneles solares y sus componentes.
- Exoneración del Impuesto Predial por un período de 5 años para viviendas que incorporen sistemas de energía solar en sus techos.

CAPÍTULO III: OBLIGACIONES Y CONDICIONES TÉCNICAS

Artículo 6: requisitos para la instalación. Las viviendas que deseen instalar paneles solares deberán cumplir con las condiciones técnicas establecidas por el Ministerio de Energía y Minas (Minem), incluyendo:

- Estructuras de techos con la capacidad de soportar el peso del sistema fotovoltaico.
- Disponibilidad de orientación y espacio adecuado para maximizar la captación de radiación solar.

Artículo 7: Certificación y mantenimiento

Las empresas instaladoras de paneles solares deberán estar certificadas por el Minem para garantizar la calidad y seguridad de las instalaciones.

Se requerirá un mantenimiento periódico de los sistemas fotovoltaicos para asegurar su eficiencia y durabilidad.

CAPÍTULO IV: PROMOCIÓN Y EDUCACIÓN

Artículo 8: campañas de sensibilización. El Estado, a través del Minem, promoverá campañas de sensibilización y educación dirigidas a la población sobre los beneficios ambientales, económicos y sociales del uso de la energía solar.

Artículo 9: programas de capacitación. El Minem implementará programas de capacitación para formar técnicos especializados en la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, fomentando el empleo en el sector de las energías renovables.

CAPÍTULO V: MONITOREO Y SUPERVISIÓN

Artículo 10: seguimiento del Programa de Masificación. El Minem será responsable de supervisar y monitorear la implementación de esta norma, asegurando que los incentivos y condiciones técnicas sean cumplidos por las viviendas beneficiarias.

Artículo 11: sanciones. Las empresas instaladoras y viviendas que incumplan con las condiciones técnicas o usen los incentivos de manera fraudulenta serán sancionadas conforme a la legislación vigente.

DISPOSICIONES FINALES

Primera disposición final: la presente norma entrará en vigencia a partir de su publicación en el diario oficial El Peruano.

Segunda disposición final: el Minem queda facultado para dictar las disposiciones reglamentarias necesarias para la implementación de esta norma.

Esta propuesta busca establecer un marco normativo para fomentar la masificación de los paneles solares en los techos de viviendas, considerando incentivos económicos, condiciones técnicas, y la necesidad de educación y sensibilización a la población sobre los beneficios de la energía solar.

4.2 Discusión de resultados

Los resultados presentados en esta investigación se basan en datos obtenidos a través de encuestas detalladas y análisis de percepciones sobre la energía fotovoltaica en Arequipa. La validez interna de los resultados se apoya en el enfoque metodológico mixto, que combinó datos cuantitativos y cualitativos. No obstante, es fundamental considerar ciertas limitaciones, como el tamaño y la diversidad de la muestra, que podrían haber influido en los resultados. La investigación se focalizó en una región específica y en un periodo temporal delimitado, lo que significa que futuros estudios deberían ampliar el alcance para incluir otras regiones y un análisis más prolongado en el tiempo.

La validez externa o generalización de estos resultados presenta algunas restricciones. Si bien Arequipa posee características particulares, como su alto potencial solar, los hallazgos pueden ser aplicables a otros contextos con condiciones solares similares. Sin embargo, la transferencia de los resultados a otras áreas geográficas con distintas condiciones socioeconómicas y climáticas debe realizarse con cautela. La generalización es viable principalmente en entornos con un potencial solar elevado, lo que sugiere que las conclusiones podrían ser más relevantes en regiones de similar irradiación solar.

Al comparar los resultados obtenidos con los de otros estudios internacionales, como los realizados en Arabia Saudita y Finlandia, se observan similitudes, especialmente en las percepciones sobre la rentabilidad y las preocupaciones de seguridad. Estas coincidencias sugieren que existen barreras comunes en la adopción de tecnologías fotovoltaicas. Las diferencias, por otro lado, se manifiestan en la influencia de las políticas locales y el conocimiento de la población, lo que indica la necesidad de ajustar estrategias según el contexto

local. El aporte nuevo del estudio reside en identificar las percepciones específicas que limitan la adopción en un entorno como Arequipa, proporcionando un marco para futuras intervenciones políticas y educativas.

La investigación permitió contrastar las hipótesis planteadas. Se aceptó parcialmente la hipótesis de que las percepciones sobre rentabilidad y riesgo de fallas eléctricas influyen en la adopción de paneles fotovoltaicos. No obstante, la percepción sobre la viabilidad técnica resultó ser el factor predominante, lo que sugiere que las barreras a la adopción están más relacionadas con el conocimiento técnico que con aspectos económicos o de seguridad. De este análisis surgen nuevas ideas para la investigación, como la necesidad de explorar más a fondo el rol del soporte técnico y la formación de proveedores locales en la masificación de la energía fotovoltaica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La percepción de rentabilidad es un factor importante para la adopción de paneles fotovoltaicos en Arequipa. Aunque hay una actitud positiva hacia la energía solar a largo plazo, existe preocupación respecto a los costos iniciales y el tiempo de retorno de inversión, lo que limita la adopción de esta tecnología. Se encontró que un mayor conocimiento sobre incentivos económicos y financiamiento podría mejorar esta percepción, incentivando la inversión en energía solar.

La preocupación por fallas eléctricas y la seguridad del sistema fotovoltaico impactan negativamente en la decisión de inversión. Temores como la variabilidad de generación, la disposición final de los paneles y la fiabilidad en condiciones adversas requieren ser abordados con campañas educativas y mejores políticas de soporte técnico para aumentar la confianza de los residentes en la tecnología.

La falta de información adecuada y conocimiento sobre los beneficios, funcionamiento, y tecnologías fotovoltaicas es una barrera significativa. Las personas con más información tienden a percibir la energía solar como más viable y rentable. Esto resalta la necesidad de programas educativos y campañas de concienciación que brinden información clara y confiable para fomentar la adopción.

Los costos iniciales son una barrera importante para la adopción de paneles solares. La investigación muestra que la rentabilidad mejora considerablemente para consumidores con mayores niveles de consumo energético. Sin embargo, la falta de subsidios y apoyos financieros hace que los costos iniciales resulten prohibitivos para muchos residentes. Se concluye que la implementación de incentivos económicos y programas de financiamiento es esencial para mejorar la percepción de accesibilidad.

La investigación indica que las políticas locales y el apoyo gubernamental desempeñan un papel crucial en la percepción e incentivo para adoptar energía fotovoltaica. La falta de incentivos gubernamentales y programas de apoyo limita la masificación de la tecnología. Es necesario desarrollar normativas y políticas públicas que impulsen la adopción de paneles solares, siguiendo modelos exitosos en otros países.

Los sistemas fotovoltaicos sin almacenamiento en baterías son rentables para usuarios con un consumo superior a 150 kWh. Este segmento representa solo el 18.4% del total de usuarios en Arequipa.

Los sistemas con almacenamiento en baterías requieren un consumo aún mayor (superior a 300 kWh) para ser rentables, lo que limita su adopción a un grupo más reducido.

La alta proporción de usuarios con consumo menor a 150 kWh (66.6% del total) enfrenta dificultades para acceder a la tecnología fotovoltaica debido a los altos costos iniciales y a una menor percepción de ahorro.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que las futuras investigaciones sobre la adopción de paneles fotovoltaicos en contextos urbanos como Arequipa, consideren metodologías mixtas más amplias, incorporando entrevistas en profundidad y grupos focales con actores del sector energético, instaladores y autoridades municipales, a fin de complementar la percepción ciudadana con la visión de los actores institucionales. Asimismo, se sugiere aplicar esta metodología en otras regiones del sur peruano para realizar análisis comparativos que permitan identificar patrones geográficos o culturales específicos que influyen en la aceptación o rechazo de la energía solar.

Se sugiere a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica fomentar líneas de investigación orientadas al estudio del comportamiento del consumidor energético residencial y su interacción con nuevas tecnologías limpias. La temática abordada en este estudio — percepciones sobre la viabilidad técnica, rentabilidad y seguridad— abre nuevas oportunidades para tesis que profundicen en modelos predictivos de adopción tecnológica, evaluación del impacto de campañas informativas o análisis costo-beneficio desde una perspectiva social. Además, se recomienda incorporar cursos o seminarios especializados en energías renovables, con enfoque en percepción social y difusión tecnológica.

Considerando que la viabilidad técnica percibida fue la barrera más significativa identificada, seguida de la rentabilidad y los temores relacionados con la seguridad, se recomienda a las autoridades locales (como el Gobierno Regional y las municipalidades) y a los entes reguladores del sector energético, promover campañas de información pública que desmitifiquen los supuestos riesgos de los sistemas fotovoltaicos, resalten su rentabilidad a mediano plazo, y expliquen claramente los requerimientos técnicos y procedimientos de instalación. Asimismo, se sugiere que se diseñen programas de incentivos económicos específicos para los hogares con consumos entre 100 y 150 kWh mensuales, quienes

representan el grupo con mayor potencial para cambiar hacia el uso de la energía solar si se reducen los costos de entrada mediante subsidios, financiamiento accesible o descuentos tributarios.

Finalmente, se recomienda que las políticas públicas orientadas a la masificación de esta tecnología integren estrategias diferenciadas según el nivel de consumo y que se promueva la creación de normativas locales que obliguen a considerar instalaciones fotovoltaicas en nuevas edificaciones residenciales, sobre todo en zonas con alta exposición solar como Arequipa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALRASHOUD, K., y TOKIMATSU, K. Factors influencing social perception of residential solar photovoltaic systems in Saudi Arabia. *Sustainability* [en línea]. 2019, 11(19), 1-22. [Fecha de consulta: 09 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su11195259>.
- ALRASHOUD, K., y TOKIMATSU, K. Factors influencing social perception of residential solar photovoltaic systems in Saudi Arabia. *Sustainability* [en línea]. 2019, 11(19), 1-22. [Fecha de consulta: 09 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su11195259>.
- ASOCIACIÓN PERUANA DE ENERGÍAS RENOVABLES (APER). Tecnologías Renovables en Arequipa. APER [en línea]. 2023. [Fecha de consulta: 20 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://www.spr.pe/>
- BAZILIAN, M., ONYEJI, I., LIEBREICH, M., et al. Re-considering the economics of photovoltaic power. *Renewable Energy* [en línea]. 2013, 53, 329-338. [Fecha de consulta: 11 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.11.029>.
- BAZILIAN, M., ONYEJI, I., LIEBREICH, M., et al. Re-considering the economics of photovoltaic power. *Renewable Energy* [en línea]. 2013, 53, 329-338. [Fecha de consulta: 11 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.11.029>.
- CHIANG, C. *Physics of solar cells*. Springer [en línea]. 2016. [Fecha de consulta: 28 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-28292-0>.
- DUFFIE, J. A., y BECKMAN, W. A. *Solar engineering of thermal processes*. 4ª ed. Wiley [en línea]. 2013. [Fecha de consulta: 08 de abril de 2024]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118671603>
- INSTITUTO MEXICANO PARA LA COMPETITIVIDAD (IMCO). Análisis costo-beneficio de la instalación de paneles solares en las viviendas de la población más marginada de México. IMCO [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 08 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.cefp.gob.mx>.

- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Future of solar energy. IRENA [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.irena.org>.
- KARJALAINEN, S., y AHVENNIEMI, H. Pleasure is the profit - The adoption of solar PV systems by households in Finland. Renewable Energy [en línea]. 2019, 133, 44-52. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.011>.
- MARTÍNEZ, A., y LÓPEZ, J. Estrategias de análisis FODA para proyectos de energías renovables en América Latina [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2024].
- MARTÍNEZ, L., y LÓPEZ, A. Diseño de sistemas solares concentrados: análisis y perspectivas. Ediciones Solartec [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2024].
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM). Solar Atlas Perú. MINEM [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.minem.gob.pe>.
- MUKAI, T., KAWAMOTO, S., UEDA, Y., et al. Residential PV system users' perception of profitability, reliability, and failure risk: An empirical survey in a local Japanese municipality. Energy Policy [en línea]. 2011, 39, 5440-5448. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.019>.
- OFF-GRID SOLAR SYSTEMS INC. Off-Grid Solar Design. Off-Grid Solar Systems Inc. [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 27 de mayo de 2024].
- ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍAS RENOVABLES (OLER). Informe anual 2020. OLER [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.olade.org/publicaciones/precios-de-la-energ%EF%BF%BDa-en-america-latina-y-el-caribe-informe-anual-marzo-2020/>
- OSINERGMIN. Consumo eléctrico por estratos en el sur del Perú. OSINERGMIN [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.osinergmin.gob.pe>.

PÉREZ, J. Guía para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos aislados de la red (Off-Grid). Universidad de Antioquia [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10495/15377>

RENEWABLE ENERGY WORLD. Platos Stirling y su uso en energía solar. Renewable Energy World [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.renewableenergyworld.com>.

RODRÍGUEZ, L. Difusión de innovaciones: Aplicaciones en energías renovables. Instituto Nacional de Energía Solar (INES) [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2024].

ROGERS, E. M. Diffusion of innovations. 5ª ed. Free Press [en línea]. 2003. [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2024]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://teddykw2.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/07/everett-m-rogers-diffusion-of-innovations.pdf>

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI). Atlas de energía solar del Perú. SENAMHI [en línea]. 2003. [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2024]. Disponible en: https://www.senamhi.gob.pe/pdf/Atlas%20de_Radiacion_Solar.pdf.

SOCIEDAD ELÉCTRICA DEL SUR OESTE S.A. (SEAL). Pliego tarifario para clientes finales con vigencia a partir del 04 de marzo de 2019. SEAL [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.seal.com.pe>.

SOLAR ENERGY INDUSTRIES ASSOCIATION (SEIA). Solar energy technologies. SEIA [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.seia.org>.

VOLTAIKA PERÚ S.A. Las siete plantas solares fotovoltaicas en el Perú. Voltaika [en línea]. 2024. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.voltaika.pe>

WORLD BANK GROUP. Solar radiation mapping in Latin America. World Bank [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://documents.worldbank.org>.

ANEXOS