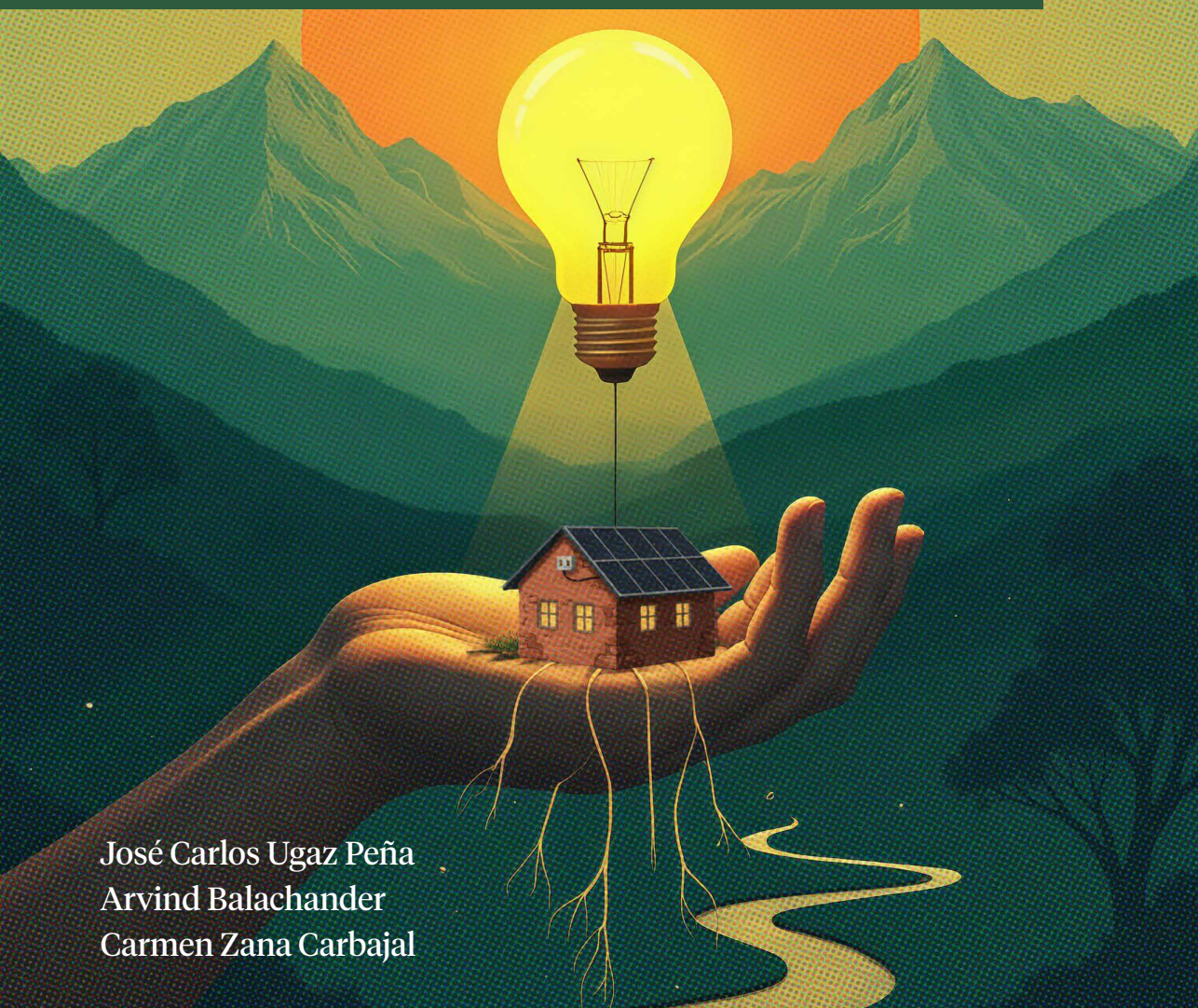


Oportunidades y límites para la transición energética justa en territorios indígenas

Estudios de caso en comunidades de Amazonas y el sur andino



José Carlos Ugaz Peña
Arvind Balachander
Carmen Zana Carbajal



Con el apoyo de:



GENERALITAT
VALENCIANA
Vicepresidència i Conselleria de
Serveis Socials, Igualtat i Vivenda



Oportunidades y límites para la transición energética justa en territorios indígenas

Estudios de caso en comunidades de Amazonas y el sur andino

José Carlos Ugaz Peña
Arvind Balachander
Carmen Zana Carbajal



Con el apoyo de:

Brot
für die Welt

People
Change
the World
Diakonia



**GENERALITAT
VALENCIANA**
Vicepresidencia y Conselleria de
Servicios Sociales, Igualdad y Vivienda



**Ford
Foundation**

Oportunidades y límites para la transición energética justa en territorios indígenas.

Estudios de caso en comunidades de Amazonas y el sur andino

Autores:

José Carlos Ugaz Peña

Arvind Balachander

Carmen Zana Carbajal

Corrección y edición de texto:

Luis Naters

Coordinación general:

Paul E. Maquet

Fotos de contra portada: Andina

Editado por:

© CooperAcción

Jr. Trujillo 678, Magdalena del Mar, LIMA 17 - PERÚ.

Teléfonos: (51) 39 47 212 / (1) 940 339 817

cooperaccion@cooperaccion.org.pe

<https://cooperaccion.org.pe/>

Primera edición: Setiembre de 2025

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2025-10646

ISBN: 978-612-5224-02-6

Tiraje: 250 ejemplares

Se terminó de imprimir en Sonimágenes del Perú

Av. Gral. Sta. Cruz 653, Jesús María, Lima. Perú

Publicación realizada por CooperAcción con el apoyo de Pan para el Mundo, Diakonia, Entrepueblos, Generalitat Valenciana y Ford Foundation.

Esta publicación ha sido realizada con el apoyo financiero de la Generalitat Valenciana.

El contenido de la publicación es responsabilidad exclusiva de CooperAcción y no refleja necesariamente la opinión de la Generalitat Valenciana

Resumen ejecutivo

El presente documento reúne dos estudios llevados a cabo en comunidades rurales del Perú que se enfrentan al reto, desde sus realidades particulares, de acceder a energía eléctrica limpia y sostenible. A pesar de que ambos se enfocan en la energía solar, sus aproximaciones, contextos y lecciones aprendidas se diferencian claramente.

La primera investigación se realizó en comunidades nativas del departamento de Amazonas, donde se inspeccionó sistemas fotovoltaicos autónomos ya instalados. Se analizó su funcionamiento actual, las dificultades a las que se han enfrentado con el tiempo y las posibilidades de mejora. El segundo estudio se basó en comunidades altoandinas de Chumbivilcas, Cotabambas y Espinar, en Cusco; su interés es evaluar la viabilidad de implementar sistemas de generación de energía solar, considerando factores como el clima, el terreno, las dinámicas sociales y los diversos modelos de gestión disponibles.

Se trata de dos estudios que se complementan entre sí. Juntos, muestran no solo el desafío técnico que implica llevar energía renovable a zonas rurales, sino también el reto social, económico y político que se debe asumir. Si se pretende llevar a cabo una transición energética justa, es necesario comenzar escuchando a las comunidades y considerando las particularidades de los territorios para arribar a soluciones coherentes para cada contexto.

La presentación de este estudio conjunto busca ser un aporte de ideas y evidencias para mejorar las políticas públicas, los proyectos y la discusión sobre el futuro energético del Perú.

Contenido

ABREVIACIONES.....	9
PRESENTACIÓN.....	13
INTRODUCCIÓN	17
 1. DEFINICIONES Y RELEVANCIA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA	 21
1.1. El concepto de <i>energías renovables</i>	21
1.2. Generación fotovoltaica rural	23
1.3. El concepto de <i>transición energética</i>	25
1.4. Políticas globales frente al cambio climático.....	27
1.5. Importancia de las energías renovables en el contexto peruano.....	31
1.5.1. Mitigación del cambio climático	31
1.5.2. Asequibilidad	33
1.5.3. Desarrollo económico	35
1.6. Funcionamiento del mercado eléctrico y su vínculo con los RER	38
1.7. Componentes clave de una política de transición energética	40
1.8. Consideraciones finales	41
 2. MARCOS NORMATIVOS.....	 43
2.1. Fundamento constitucional del derecho a la energía	43
2.2. Marcos normativos internacionales	43
2.3. Marco legal nacional general sobre energía	45
2.3.1. Decreto Ley 25844. Ley de Concesiones Eléctricas	45
2.3.2. Ley 28832. Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica	47
2.3.3. Ley 28749. Ley General de Electrificación Rural	48
2.4. Marco legal específico sobre Recursos Energéticos Renovables y subastas.....	49

2.4.1. Decreto Legislativo 1002. Decreto Legislativo de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables	49
2.4.2. Subastas RER y mecanismo de primas.....	50
2.5. Normativa técnica para sistemas fotovoltaicos.....	51
2.5.1. Rol del Instituto Nacional de Calidad y estandarización.....	51
2.5.2. Normas técnicas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas ..	52
2.5.3. Clasificación de sistemas fotovoltaicos autónomos rurales	53
2.6. Política y planes nacionales	53
2.6.1. Política Energética Nacional del Perú 2010-2040.....	53
2.6.2. Plan Energético Nacional 2014-2025 (Minem, 2014)	54
2.6.3. Plan Estratégico de Desarrollo Nacional (PEDN) al 2050	56
2.6.4. Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER 2013-2022 y 2024-2033).....	57
2.7. Programas y proyectos nacionales específicos	62
2.7.1. Programa Masivo Fotovoltaico	62
2.7.2. Programa de la Comisión Nacional para el Desarrollo e Integración Fronteriza (Conadif)	64
2.7.3. Programa de Usos Productivos de la Energía (“Juntos Producimos con Energía”)	65
2.7.4. Proyectos del PNER en Amazonas.....	66
2.7.5. Proyectos fuera del PNER (Acciona.org y Fondo de Promoción de las Áreas Naturales Protegidas del Perú)	68
2.8. Marcos regionales y subregionales	69
2.8.1. Plan de Desarrollo Regional Concertado de Cusco.....	69
2.8.2. Plan de Desarrollo Regional Concertado de Apurímac	71
2.8.3. Plan de Desarrollo Provincial de Cotabambas (Gobierno Provincial de Cotabambas, 2021).....	72
2.8.4. Plan de Desarrollo Provincial de Espinar	73
2.8.5. Plan de Ordenamiento Territorial Comunal de Asacasi	75
3. DIAGNÓSTICO TÉCNICO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DOMICILIARIOS EN COMUNIDADES NATIVAS DEL AMAZONAS	77
3.1. Lugares visitados	78

3.1.1. Datos generales	78
3.1.2. Datos meteorológicos referenciales	78
3.1.3. Contexto cultural y energético	80
3.1.4. Demanda energética domiciliar	80
3.2. Detalle de los SFA visitados	80
3.2.1. Comunidad nativa de San Antonio	80
3.2.2. Comunidades nativas de Nuevo Kanam (anexo Tutino) y Huampami	86
3.3. Diagnóstico	92
3.3.1. Principales observaciones	92
3.3.2. Principales riesgos	96
3.3.3. Identificación de tipos de instalaciones	97
3.4. Propuestas de SFA	97
3.4.1. Evaluación de la demanda energética	98
3.4.2. Oferta energética solar	102
3.4.3. Propuestas de sistemas fotovoltaicos autónomos	104
4. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE 3 COMUNIDADES CAMPESINAS EN EL SUR ANDINO	107
4.1. Selección de áreas de estudio	107
4.1.1. Descripción del proceso de selección	107
4.1.2. Selección final de las comunidades de muestra	108
4.2. Visitas al sitio	109
4.2.1. Propósito de las visitas al sitio	109
4.3. Descripción de las áreas de estudio	112
4.3.1. Situación actual de Taqllapampa	112
4.3.2. Situación actual de Paco Paco	114
4.3.3. Situación actual de Huancane Bajo	116
4.4. Potencial de generación de energía renovable	118
4.4.1. Metodología para evaluar el potencial de generación de energía solar	118
4.4.2. Ejemplo aplicado de estimación del potencial de generación solar: Paco Paco	121

4.5. Propuestas preliminares	124
4.5.1. Tipos de soluciones consideradas.....	124
4.5.2. Modelo 1: electrificación rural a través de la conexión a la red..	125
4.5.3. Modelo 2: sistema de energía solar fuera de la red.....	126
4.5.4. Modelo 3: sistema conectado a la red de propiedad comunitaria.....	128
4.6. Soluciones propuestas	130
4.6.1. Taqllapampa.....	132
4.6.2. Paco Paco	132
4.6.3. Huancane Bajo	133
5. CONCLUSIONES.....	135
5.1. La urgencia de una transición energética justa	135
5.2. Situación del Perú frente a la transición energética	135
5.3. Política de electrificación rural y marco normativo vigente.....	135
5.4. Limitaciones estructurales del modelo actual.....	136
5.5. Programas vigentes y desafíos institucionales	136
5.6. Estudio de caso: Condorcanqui, Amazonas	137
5.7. Diagnóstico regional: Comunidades del sur andino.....	137
5.8. Condiciones para avanzar desde lo local	138
6. BIBLIOGRAFÍA	139

Abreviaciones

AWG	<i>American wire gauge</i> (calibre de alambre estadounidense)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
°C	grados Celcius
CAR	Comisión Ambiental Regional
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO ₂	dióxido de carbono
CO ₂ eq	dióxido de carbono equivalente
COES	Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional
COP	Conferencia de las Partes
COVID	<i>Coronavirus Disease</i> (enfermedad por coronavirus)
CTI	ciencia, tecnología e innovación
DGER	Dirección General de Electrificación Rural
DL	decreto legislativo
DM	decreto ministerial
DRTCC	Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones del Cusco
DS	decreto supremo
ERSAP	Ente Regional de Servicios Públicos de la Amazonía Peruana
FISE	Fondo de Inclusión Social Energético
Foner	Fondo Nacional de Electrificación Rural
GD	generación distribuida
GEI	gases de efecto invernadero
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite (Satélite Ambiental Operacional Geoestacionario)
h	hora
IDH	índice de desarrollo humano
IEA	International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática

IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
IRENA	International Renewable Energy Agency (Agencia Internacional de Energías Renovables)
ITMO	<i>Internationally Transferred Mitigation Outcomes</i> (resultados de mitigación de transferencia internacional)
JRC	Joint Research Centre
km	kilómetro
kW	kilovatio
kWh	kilovatio-hora
LCE	Ley de Concesiones Eléctricas
LGER	Ley General de Electrificación Rural
m	metro
m ²	metro cuadrado
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MW	megavatio
MW	megavatios
NAMA	<i>Nationally Appropriate Mitigation Actions</i> (acciones de mitigación nacionalmente apropiadas)
NDC	<i>Nationally Determined Contributions</i> (contribuciones determinadas a nivel nacional)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica)
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
NSRDB	National Solar Radiation Database (Base de Datos Nacional de Radiación Solar)
OER	objetivo estratégico regional
OIT	Organización Internacional del Trabajo
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PAFE	Programa de Ampliación de la Frontera Eléctrica
PDLC	Plan de Desarrollo Local Concertado
PDRC	Plan de Desarrollo Regional Concertado

PEDN	Plan Estratégico de Desarrollo Nacional
PEN	nuevos soles peruanos
PIB	producto interno bruto
PIP	proyecto de inversión pública
PMI	Programa Multianual de Inversiones
PMSFV	Programa Masivo Fotovoltaico
PNER	Plan Nacional de Electrificación Rural
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
RD	resolución directoral
RE	Recursos Energéticos
REDE	Explorador de Datos de Energía Renovable
RER	Recursos Energéticos Renovables
RM	resolución ministerial
RREE	Relaciones Exteriores
s	segundo
SER	sistema eléctrico rural
SFA	Sistema Fotovoltaico Autónomo
SIG	sistema de información geográfica
TE	transición energética
USD	dólares estadounidenses
W	vatio
Wh	vatio-hora

Presentación

Mientras que desde el Perú salen cada año miles de toneladas de cobre y otros minerales utilizados para la electrificación del Norte Global, muchas comunidades rurales, y en especial los pueblos indígenas, se encuentran excluidas del acceso a la electricidad. Mientras en la mayoría de países industrializados la transición energética se viene enfocando en sostener, con otras fuentes de energía, el mismo estilo de vida de confort, sobreconsumo y derroche, en el Perú la población indígena no tiene, en muchos casos, ni siquiera la posibilidad de encender una bombilla para iluminar su vivienda durante la noche.

Esta paradoja muestra de manera palpable una transición energética injusta. Frente a ello, desde CooperAcción venimos formando parte de un movimiento global de organizaciones sociales y actores de la sociedad civil que impulsan una transición energética justa. Ello implica, sin duda, enfrentar la urgencia de la reducción del consumo de combustibles fósiles para frenar las peores consecuencias del cambio climático acelerado; pero garantizando los derechos de todos y de todas, incluyendo los derechos ambientales, sociales, económicos, así como los derechos colectivos de los pueblos indígenas. Esa agenda tiene múltiples ángulos: el cuestionamiento a un consumo energético exacerbado y al modelo extractivista que lo alimenta, la discusión de la política energética y de las condiciones para el abandono de combustibles fósiles, la justicia en términos laborales y económicos, entre otros. Pero uno de esos ángulos, sin duda, es atender la pobreza energética rural y avanzar hacia un acceso más justo al derecho a la energía. Más aún, en la medida en que ello es también una oportunidad para fortalecer la autonomía de las comunidades locales y los pueblos indígenas.

Inspirados por experiencias enriquecedoras de transición energética indígena, por ejemplo en Ecuador, Colombia y otros países de la región, nos planteamos contribuir a la discusión acerca de las oportunidades y desafíos para ello desde los territorios indígenas en el Perú. El documento que el gentil lector tiene entre sus manos es producto de ese esfuerzo.

Esta publicación es resultado de la edición conjunta de dos investigaciones realizadas en dos territorios distintos y en momentos diferentes, pero ambas enfocadas en las mismas preguntas: ¿cuáles son las oportunidades y di-

facultades que existen para impulsar una transición energética en territorios indígenas en el Perú? ¿El marco legal e institucional es adecuado, o hay aspectos que merecen ser debatidos y ajustados? ¿Qué condiciones técnicas y geográficas existen? ¿Cuáles son las condiciones sociales? ¿Cómo imaginar y viabilizar experiencias concretas que contribuyan a ello?

La primera investigación fue realizada por el ingeniero José Carlos Ugaz, con la contribución de Erick Alfaro Collazos para el trabajo de campo, entre el 2022 y 2023. La investigación incluyó revisión bibliográfica y análisis del marco legal e institucional, así como una visita a 4 localidades awajún de la provincia de Condorcanqui (región Amazonas). A partir de esos elementos, se propuso esquemas iniciales para una experiencia piloto de instalación de sistemas solares fotovoltaicos a nivel domiciliario, que respondieran a las condiciones identificadas. Esta investigación fue realizada gracias al aporte de Pan para el Mundo.

La segunda investigación fue realizada durante el año 2024 por el equipo de Amaru Renovables, conducido por el ingeniero Arvind Balachander y la economista Carmen Zana. También en este caso se realizó una revisión del marco regulatorio e institucional, y posteriormente un trabajo de campo en tres comunidades campesinas de las provincias de Cotabambas (Apurímac) y Chumbivilcas y Espinar (Cusco). Una de las características de esta zona es que, precisamente, es de donde se extrae buena parte del cobre utilizado para la electrificación en el mercado global, pero muchas de sus comunidades rurales no tienen acceso a la energía. A partir de este trabajo, los autores también proponen esquemas posibles para experiencias de generación fotovoltaica a nivel comunitario. Esta investigación fue realizada gracias al aporte de la Generalitat Valenciana y Entrepueblos.

Luego de realizadas ambas investigaciones, los textos fueron integrados con gran tino por el trabajo editorial de Luis Naters. Así, la revisión del marco legal e institucional realizada por los autores fue consolidada en un mismo hilo narrativo, encontrando elementos comunes en el análisis de los autores. Por su parte, la descripción de los casos, el diagnóstico y las propuestas de diseño fueron mantenidas como capítulos independientes. Por último, las conclusiones de ambos trabajos fueron también consolidadas en una única sección. El resultado final fue revisado por los autores.

El trabajo realizado permite identificar problemas en la regulación, en particular un marco regulatorio muy orientado al mercado y con un escaso rol es-

tatal de promoción de la transición energética. Por otro lado, se identifican desafíos comunes desde el ámbito técnico relacionados a la capacitación pero también a la gestión social de estos sistemas energéticos. Al mismo tiempo, se encuentran oportunidades importantes en términos de una gran potencialidad de generación de energía, por la alta irradiación en ambos territorios, que podría impulsar beneficios económicos y una diversificación productiva para las comunidades indígenas.

Este trabajo es una contribución al debate que esperamos permita seguir profundizando en estos desafíos y, en especial, avanzar hacia experiencias concretas hacia una transición justa.

Introducción

En las últimas décadas, la promoción de las energías renovables se ha convertido en una pieza clave entre las estrategias globales para enfrentar la crisis climática. Sin embargo, esta transición energética es un proceso que ocurre en condiciones desiguales en los distintos territorios. En países como el Perú, en el que se evidencian profundas brechas sociales, económicas y territoriales, la adopción de sistemas más sostenibles y limpios demanda no solo voluntad técnica: exige entender cuál es la verdadera distribución de los beneficios, quién define las prioridades y cómo se incluye —o excluye— a las poblaciones de interés.

El presente estudio surge como un modo de atender esa premisa. El objetivo no es entender la transición energética tan solo como un cambio tecnológico o ambiental, sino enfocarla como un proceso político, social y territorial. Con una mirada que articula el análisis normativo, la evaluación técnica de los sistemas fotovoltaicos y un trabajo directo en campo con comunidades del departamento de Amazonas y el sur andino peruano —Cusco y Apurímac—, este informe ofrece una mirada amplia y crítica acerca de la situación actual de la electrificación rural mediante fuentes de energía renovables.

El documento, lejos de proponer una visión homogénea y uniforme, observa la complejidad del escenario nacional: los marcos normativos en juego, las particularidades locales, las múltiples soluciones tecnológicas disponibles y, sobre todo, la diversidad de actores y sus múltiples necesidades.

Como advirtió el director ejecutivo de la Agencia Internacional de Energía, Fatih Birol, en 2021: “Nunca debemos olvidar que la transición hacia las energías limpias es para las personas y sobre las personas, por lo que los planes para avanzar hacia ellas deben tener políticas centradas en las personas en su núcleo” (IEA, 2021b)¹. La afirmación anterior resume de forma clara la preocupación que atraviesa este informe: no basta con cambiar la matriz energética; también está en juego el modo en el que se definen los derechos, se

1 “We must never forget that clean energy transitions are for and about people, so plans to advance transitions must have people-focused policies at their core” (traducción propia).

erigen las infraestructuras y se toman las decisiones en torno al acceso a la energía.

La pertinencia de la reflexión anterior se ratifica al constatar que, en pleno siglo XXI, inmensas zonas del Perú permanecen sin tener acceso garantizado a un servicio eléctrico continuo, seguro y asequible. Esta realidad persiste incluso luego de los avances que se han producido en las últimas décadas en relación con la tecnología y el cuerpo normativo, lo que evidencia los límites estructurales de un modelo de electrificación rural que continúa operando con una lógica centralizada, subsidiaria y orientada al mercado. Ante esa realidad, este estudio propone una mirada disruptiva: reconocer el protagonismo de las comunidades y sus propias capacidades como condición *sine qua non* para llevar a cabo una transición energética realmente justa.

A continuación, se presentan los ejes principales del estudio, se señala la relevancia del tema y se esboza una contextualización de los seis capítulos que lo componen.

En el capítulo primero, se presentan las definiciones que orientarán el análisis: ¿qué son las *energías renovables* —principalmente la generación fotovoltaica rural— y la *transición energética*? También se hace una revisión panorámica de las políticas climáticas globales y un análisis del rol que los recursos energéticos renovables (RER) pueden jugar en el Perú, no solo por su capacidad para mitigar las emisiones que producen el cambio climático, sino también por el potencial que poseen para la promoción de la equidad territorial y un desarrollo económico sostenible.

El segundo capítulo pone el foco en los marcos normativos que configuran la política energética nacional. En primera instancia, se reconoce que el acceso a la energía constituye un derecho, y se analizan las leyes, decretos y normas técnicas que regulan los sistemas fotovoltaicos autónomos. Asimismo, se recogen experiencias más allá del circuito estatal tradicional y se analizan los planes nacionales pertinentes, como el Plan Energético Nacional, el Plan Nacional de Electrificación Rural y el Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2050, junto con estrategias específicas de regiones como Cusco, Apurímac y Amazonas.

Los capítulos tercero y cuarto constituyen el núcleo del estudio, centrado en dos casos concretos. El capítulo 3 se enfoca en comunidades indígenas de la provincia de Condorcanqui, departamento de Amazonas, donde se realizó un diagnóstico técnico de los sistemas fotovoltaicos domiciliarios. Mediante

visitas de campo, se identificaron los tipos de instalaciones existentes, los niveles de demanda, los principales riesgos, entre otra información relevante. La observación pone en evidencia una realidad signada por la informalidad de muchas instalaciones, una escasa presencia de soporte técnico estatal, pero también la disposición comunitaria a adoptar soluciones más seguras y sostenibles. El capítulo 4 traslada la mirada al sur andino, a tres comunidades campesinas de Cusco y Apurímac. Luego de caracterizar el territorio de estas zonas —ubicadas en el llamado “corredor minero del sur”—, se realizaron mediciones técnicas para estimar el potencial solar y se plantearon diversas alternativas de electrificación. El estudio muestra tanto las oportunidades tecnológicas como los obstáculos institucionales y políticos que dificultan implementar estas propuestas.

El capítulo 5 presenta las conclusiones generales del informe. En primer lugar, se hace hincapié en que la transición energética no puede dirigirse únicamente bajo criterios de rentabilidad ni centrarse en grandes proyectos: para ser verdaderamente justa, debe incorporar dimensiones sociales, institucionales y territoriales. Entre las debilidades clave del modelo actual, se presenta la visión del servicio eléctrico como mercancía y la poca coordinación entre los diversos niveles de gobierno. No obstante, también se resaltan condiciones favorables para la transición: una demanda social explícita y experiencias comunitarias que ponen de manifiesto que existen otras formas de hacer las cosas.

En síntesis, el presente estudio pretende ser una herramienta útil para alimentar el debate informado, fortalecer las capacidades de las instituciones y mostrar rutas alternativas hacia una transición energética que tome en cuenta a regiones históricamente postergadas. Lejos de la pretensión de ofrecer respuestas cerradas, este documento pone sobre la mesa elementos que ayuden a construir una agenda energética de acuerdo con las necesidades locales, una que valore los saberes y capacidades de las comunidades, y que promueva formas más democráticas de gobernanza en el uso de los recursos energéticos renovables.

Para que la transición energética en el Perú sea sostenible y legítima, se requiere inclusión territorial, justicia social y participación efectiva. Y, en un país tan diverso como el Perú, eso exige mirar con los territorios y desde estos.

1. Definiciones y relevancia de las energías renovables y la transición energética

El presente capítulo tiene como objetivo ofrecer un marco conceptual que permita contextualizar de manera adecuada el análisis del marco normativo sobre energías renovables y electrificación rural en el Perú. Si bien el abordaje legal y político es fundamental para entender las condiciones de promoción, financiamiento y operatividad de estos sistemas, no pueden analizarse de manera aislada. Las energías renovables —particularmente la solar fotovoltaica— no solo representan una alternativa técnica al modelo tradicional basado en combustibles fósiles, sino también un punto de inflexión en los debates sobre justicia energética, desarrollo local y transición ecológica.

A través de esta introducción, se busca fundamentar por qué es necesario un marco conceptual que explique qué son las energías renovables, cuál es su relevancia social, ambiental y económica, y de qué manera se insertan en el proceso más amplio de transición energética. Solo desde esa base es posible interpretar críticamente los instrumentos normativos actuales y las limitaciones del modelo vigente. Asimismo, se pretende resaltar la conexión entre electrificación rural, justicia territorial y los procesos de autonomía energética, especialmente en contextos de exclusión histórica, como los territorios indígenas y campesinos de la Amazonía y los Andes.

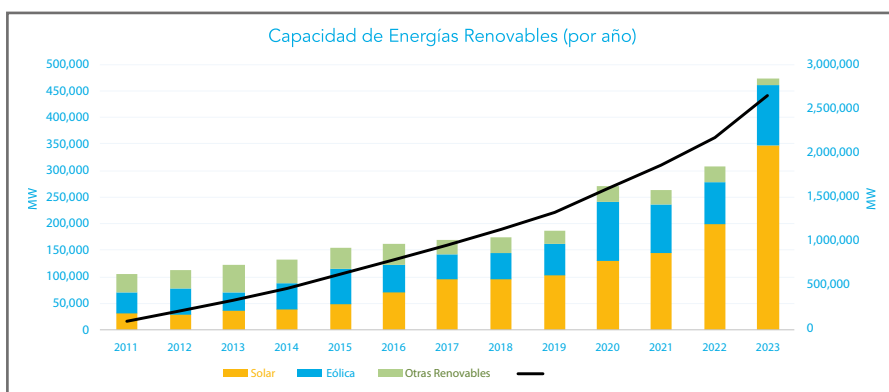
1.1. El concepto de *energías renovables*

La *energía renovable* se refiere a la energía generada a partir de fuentes naturales que pueden reponerse a un ritmo más rápido del que se consumen, a diferencia de la energía generada a partir de combustibles que tienen un suministro limitado. Ejemplos de energía renovable incluyen tecnologías ampliamente desplegadas como la energía solar fotovoltaica, la energía solar térmica, la energía eólica, la energía hidroeléctrica, la energía geotérmica y la bioenergía. Además, existen otras tecnologías en etapas iniciales de investigación y desarrollo, como la energía mareomotriz, la bioenergía de algas y muchas otras que podrían desempeñar un papel vital en la satis-

facción de las necesidades energéticas de una población mundial cada vez más hambrienta de energía.

Las tecnologías de energía renovable se suelen describir como “nuevas” o “emergentes”. Si bien algunos ejemplos, como la energía mareomotriz, entran en esa categorización, la energía solar, eólica e hidroeléctrica han existido durante varias décadas (especialmente la energía hidroeléctrica), y las tasas de despliegue de energía solar y eólica se dispararon en los últimos 10 a 15 años.

Figura 1. Evolución del despliegue de las energías renovables



Fuente: (IRENA,2023)

Entre las principales tecnologías de generación renovable se encuentran:

- Energía solar fotovoltaica, que convierte la luz solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico.
- Energía eólica, que transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica.
- Energía hidroeléctrica, que aprovecha la fuerza del agua en movimiento para accionar turbinas.
- Bioenergía, que utiliza residuos orgánicos como fuente de calor o electricidad.
- Energía geotérmica, que extrae el calor del subsuelo para usos térmicos o eléctricos.

Este informe se enfoca principalmente en la energía solar fotovoltaica, debido a sus características únicas que la convierten en la opción más pragmática para una transición energética justa en muchas regiones peruanas.

1.2. Generación fotovoltaica rural

En la actualidad, la generación fotovoltaica es una tecnología consolidada, con amplias herramientas para el estudio, análisis y diseño de proyectos. De manera muy resumida, el principio de operación consiste en que la energía de la luz incidente en un módulo fotovoltaico produce el movimiento de los portadores de carga (electrones y huecos) en cada celda del módulo, lo que genera corriente y tensión eléctrica. Este principio se conoce como *efecto fotovoltaico en semiconductores* y está determinado por las características de la luz incidente y las condiciones ambientales de operación, fundamentalmente la temperatura.

Para ser utilizada, la energía producida por los módulos fotovoltaicos debe ser procesada —convertida— mediante equipos electrónicos llamados *convertidores*², que, además, realizan funciones de protección y gestión de la generación. Las características de los convertidores, así como los componentes requeridos en un sistema fotovoltaico, dependen del tipo de instalación que se desea. Esta puede ser conectada a la red eléctrica (*grid-connected* u *on-grid*) o aislada (*off-grid*).

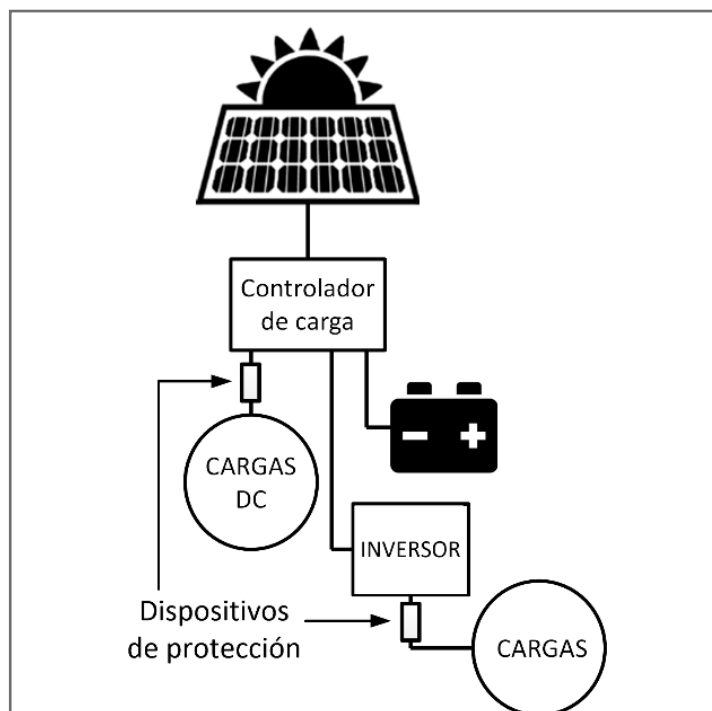
Los sistemas conectados a red son los más comunes, como resultado de las políticas de incentivo a la generación distribuida a nivel internacional. Están diseñados para funcionar conectados a una red comercial de distribución (suministro) para reducir el consumo de energía de fuentes convencionales, aprovechando la infraestructura eléctrica ya existente. Por otro lado, los sistemas aislados operan en ausencia de una red de suministro y requieren sistemas de almacenamiento de energía (baterías) para garantizar el suministro ininterrumpido local de electricidad. Esto se debe a que la energía generada por los módulos no siempre es suficiente para atender constantemente la demanda de las cargas porque el sol no siempre brilla cuando hay demanda de electricidad.

2 Los convertidores pueden ser inversores, cuando el sistema usa corriente alterna (CA), o controladores de carga en sistemas de corriente continua (CC).

Los principales componentes del sistema son los siguientes:

- **Paneles solares:** son los dispositivos que convierten la energía solar en electricidad. Están formados por células solares que se agrupan en módulos fotovoltaicos y se colocan en un lugar donde puedan recibir la mayor cantidad de luz solar posible.
- **Baterías:** son los dispositivos que almacenan la electricidad generada por los paneles solares. La capacidad y el tipo de batería dependerán de la cantidad de energía a almacenar y del sistema en uso. En caso de potencias bajas (inferiores a 1 kW), se suele trabajar con tensiones continuas entre 12 V y 48 V.
- **Controlador de carga:** es un convertidor electrónico que se encarga de proteger las baterías de sobrecargas o descargas profundas. Este dispositivo regula la cantidad de energía que se envía a las baterías para evitar que se dañen. Si bien su presencia no es obligatoria para el funcionamiento del sistema, se considera necesaria para garantizar una operación adecuada que aproveche eficientemente la energía generada y prolongue la vida útil de los componentes.
- **Inversor:** es el dispositivo que convierte la corriente continua generada por los paneles solares y las baterías en corriente alterna, que es la forma en que se utiliza normalmente la electricidad para alimentar electrodomésticos y equipos industriales. Debido a su elevado costo, este componente solo se requiere para instalaciones de potencias superiores a 1 kW, cuando se desea utilizar electrodomésticos y equipos industriales comunes, como ocurre para actividades comunitarias o productivas.
- **Cables:** son los dispositivos que conectan los diferentes componentes del sistema. Deben estar diseñados para soportar la corriente eléctrica y la carga.
- **Dispositivos de protección eléctrica:** son los dispositivos que protegen el sistema y a los usuarios de sobrecargas y cortocircuitos. Estos dispositivos incluyen interruptores y disyuntores (Arno et al., 2016).

Figura 2. Esquema básico de un sistema de generación fotovoltaica rural



Elaboración propia

1.3. El concepto de *transición energética*

La confirmación del aumento de la temperatura del planeta a mediados del siglo XX motivó a la comunidad científica internacional a realizar diversos estudios orientados a determinar la influencia de la actividad humana en este incremento, así como a ponderar sus efectos a corto, mediano y largo plazo. Estos estudios dieron origen al concepto de *calentamiento global*, que describe el aumento sostenido de la temperatura en la superficie terrestre con respecto a los niveles registrados en la etapa preindustrial. Además, se confirmó que la principal causa del calentamiento global es la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, tales como el CO_2 (Masson-Delmotte *et al.*, 2021). Si bien estos gases tienen origen natural, también están asociados a determinadas actividades humanas. Estas, particularmente tras las revoluciones industriales, han elevado la concentración de GEI a niveles nunca antes registrados.

Estudios recientes confirmaron que la contribución de la actividad humana a este incremento era de alrededor de 1 °C (entre 0.8 °C y 1.2 °C) para el año 2022, con una tasa de aumento de 0.2 °C por década (NOAA, 2023). A su vez, estudios como los de Masson-Delmotte *et al.* (2021), Alfieri *et al.* (2015) y Burkart *et al.* (2011) confirman que el incremento de la temperatura ha agravado la ocurrencia de periodos de temperaturas extremas (bajas y altas), inundaciones, sequías e incendios forestales, fenómenos de alto impacto económico y social. Esto último motivó la revisión del término *calentamiento global*, siendo reemplazado por *cambio climático*, que describe mejor la amplitud del fenómeno (IPCC, 1992).

Como respuesta, diversos sectores de la comunidad científica postularon la necesidad de transitar hacia una economía con menores emisiones de CO₂, en lo que se denomina *transición energética* (TE). De hecho, el concepto de *transición energética* proviene del estudio histórico del desarrollo económico, para referirse al cambio significativo —y a gran escala— en la forma en que se produce y consume la energía, cambio que, históricamente, ha estado determinado por razones económicas. Sin embargo, el concepto de *transición energética*, como respuesta al cambio climático, se halla motivado por razones de subsistencia y preocupaciones sociales, antes que por la búsqueda de lucro.

De esta forma, el actual concepto de *transición energética* plantea la necesidad de cambiar drásticamente la producción y el consumo de energía para reducir las emisiones de GEI, con el propósito de combatir el cambio climático. Para ello, integra tres ejes fundamentales:

- La integración de fuentes de energía alternativa al sistema eléctrico existente, para diversificar la matriz energética mediante sistemas de bajas o nulas emisiones.
- El aumento de la eficiencia energética en procesos industriales, es decir, la reducción del consumo energético industrial.
- En coherencia con los dos ejes anteriores, la electrificación de actividades de altas emisiones, tales como el transporte (Tian *et al.*, 2022; Fawzy *et al.*, 2020).

Se debe destacar que los mencionados ejes no limitan la acción a un determinado marco legal u ordenamiento económico-social. De hecho, sectores importantes de la comunidad científica —notoriamente el movimiento

Scientist Rebellion— consideran que una efectiva transición energética implica cambios en la estructura económico-productiva y de consumo mundial, y cuestionan el concepto de *crecimiento económico*³.

En resumen, la transición energética plantea cambios en el mercado energético, fuertemente vinculados con cuatro sectores fundamentales de la economía mundial: la producción y suministro de energía eléctrica; la industria (producción de mercancías); el transporte; y el sector de construcción y vivienda. El caso de la generación de electricidad mediante energías renovables está estrechamente ligado al sector y al mercado eléctrico. Sin embargo, una política de promoción del aprovechamiento de los recursos energéticos renovables (RER) para la TE no se limita al sector eléctrico, sino que debe plantearse en función de la atención de la demanda energética como un todo, y considerar, además, los factores económicos, sociales y culturales que condicionan dicha demanda, para plantear de manera coherente su atención mediante RER.

De esta forma, toda política de TE contempla una política específica de promoción de RER, pero no toda política —o marco normativo— de promoción de RER es, por sí sola, una política de TE.

1.4. Políticas globales frente al cambio climático

La preocupación de la comunidad científica por el cambio climático encontró respaldo en amplios sectores sociales que hicieron suyas las exigencias por una transición energética que permitiera revertir el incremento de la temperatura global. Esto dio origen a demandas sociales en varias economías avanzadas en las últimas décadas del siglo XX. Ante ello, algunos países implementaron políticas nacionales de transición energética incentivadas, además, por la necesidad de garantizar su propia seguridad energética con perspectivas geoestratégicas (Fawzy *et al.*, 2020; O'Connor, 2010; Nieto *et al.*, 2020).

El foco en la reducción de emisiones de GEI motivó el desarrollo tecnológico orientado a aumentar la eficiencia de procesos industriales, integrar energías renovables en la red eléctrica y tratar los residuos, entre otros ám-

3 Para mayores detalles, véase la página oficial del movimiento, donde se detallan sus posiciones y demandas en el siguiente enlace. (<https://scientistrebellion.org/about-us/our-positions-and-demands/>)

bitos. Todos estos avances tecnológicos requieren tiempo para su inclusión masiva en la sociedad, lo cual solo se consigue garantizando su viabilidad económica. Por ello, los primeros países en desarrollar políticas de TE fueron, mayoritariamente, aquellos con economías industrializadas y sectores de ciencia, tecnología e innovación (CTI) consolidados (O'Connor, 2010).

De esta forma, buena parte de las políticas iniciales de TE se enfocaron en la popularización de tecnologías de menores emisiones, para lo cual se adoptaron políticas específicas como la tasación de emisiones, límites de emisiones, certificación de consumo de equipos, entre otras. Entre estas medidas, la fundamental fue la masificación de la generación de RER, tanto a nivel centralizado como mediante generación distribuida. Por ello, se desarrollaron diversos mecanismos orientados a garantizar la viabilidad económica de los sistemas de generación de RER a distintas escalas, tanto en el ámbito regulatorio como en el no regulatorio. El primero se refiere a los mecanismos que regulan el mercado eléctrico, tales como la prioridad de despacho, el pago por uso de infraestructura (peajes), tarifas y primas (Fitch Ratings, 2019). Por otro lado, los mecanismos no regulatorios comprenden todos aquellos que operan por fuera de la regulación del mercado eléctrico, tales como exenciones tributarias, devoluciones parciales de inversión, depreciación acelerada, planes de capacitación, entre otros (Fitch Ratings, 2019). Todos estos mecanismos buscaban reducir el costo de las tecnologías con el fin de masificar la generación de RER y tuvieron importantes resultados. Sin embargo, la realidad globalizada del mercado energético demandaba políticas concertadas entre Estados.

El primer hito en la búsqueda concertada de estrategias para combatir el cambio climático fue la realización de la Primera Conferencia Mundial del Clima, desarrollada en 1979 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), instancia académica creada por la ONU en 1950. En esta conferencia, participaron dos delegados peruanos del Imarpe y del Senamhi. Recién una década después, tras la elaboración de las primeras políticas nacionales de TE en economías desarrolladas, se conformó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), a iniciativa de la OMM y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con el objetivo de formular políticas de Estado en materia climática. Esta instancia produjo el Primer Informe de Evaluación sobre Cambio Climático, en el que los Estados reconocieron la existencia de un problema latente que debía ser atendido mediante políticas concertadas.

Tras ello, se elaboró y adoptó en 1992 la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), de la cual Perú es adherente desde 1993. Este documento definió, por primera vez, el objetivo de reducción global de emisiones de GEI, aunque no estableció metas cuantitativas claras. Además, instituyó la realización periódica de reuniones de los países adherentes, conocidas como conferencias de las partes o COP (por sus siglas en inglés). La tercera COP, realizada en Japón, dio origen al Protocolo de Kioto, primer documento que estableció compromisos de reducción de emisiones para las economías desarrolladas durante un periodo de cinco años, además de orientaciones para la elaboración de políticas nacionales. No obstante, estas orientaciones partían de la realidad de los países desarrollados, que, por aquel entonces, ya habían avanzado significativamente en la masificación de la generación de RER y requerían instrumentos de mercado adecuados para el financiamiento de grandes proyectos de generación. Este enfoque de mercado es evidente en los documentos de la CMNUCC. Así se introducen los conceptos de *mecanismos de desarrollo limpio*, *mercado de emisiones* y *costo de emisiones*, presentes en la estructura normativa de varios países.

Sin embargo, la expansión del consumo energético durante los años de aplicación del Protocolo de Kioto confirmó que la reducción planeada para las emisiones de GEI resultaba insuficiente con el objetivo de contener el incremento de la temperatura global. En este contexto, la COP18, realizada en Qatar, propuso un segundo periodo de compromisos que no alcanzó consenso en la definición de objetivos.

Recién la COP21, realizada en París, en 2015, dio origen al conocido Acuerdo de París, donde se estableció el objetivo de limitar el incremento de temperatura a 2 °C para 2100, con la meta de reducirlo a 1.5 °C. Para ello, se plantearon algunos objetivos dentro de un horizonte temporal más cercano, como alcanzar el pico máximo de emisiones a la brevedad posible, sobre la base de lo cual se establecieron ciertos compromisos vinculantes y mecanismos de colaboración voluntaria. Todo ello se enmarcó siempre en una lógica de mercado y de incentivos financieros al desarrollo de proyectos. Particularmente, en el artículo 6, se definieron 2 nuevos mecanismos de mercado para las emisiones: los Resultados de Mitigación de Transferencia Internacional y las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (ITMO y NDC, respectivamente, por sus siglas en inglés). Además, durante las discusiones de este acuerdo, se desarrolló el concepto de NAMA (*Nationally Appropriate Mitigation Actions*, Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas). Las NAMA son acciones de miti-

gación de emisiones de GEI que los países en desarrollo se comprometen a implementar con el apoyo de la comunidad internacional con el objetivo de reducir su impacto ambiental y promover el desarrollo sostenible. Estas acciones pueden ser financiadas y apoyadas por organizaciones internacionales y por países desarrollados, e incluyen la transferencia de tecnología, la capacitación técnica y la transmisión de conocimientos⁴.

A pesar de los importantes avances por parte de la comunidad científica, se evidencia que las discusiones en espacios internacionales han desconocido buena parte de los aportes y han centrado la discusión en instrumentos muy puntuales orientados a hacer viable el desarrollo de grandes proyectos energéticos con menores emisiones. En paralelo, la creciente demanda energética ha hecho que los efectos de las políticas concertadas implementadas sean insuficientes para contener el incremento de la temperatura global, hecho que se viene agravando en el conexto de la reciente crisis postpandemia y la guerra en Europa⁵.

Este escenario ha motivado importantes críticas a las instancias intergubernamentales (Tian *et al.*, 2022), y ha impulsado incluso la acción política directa de la comunidad científica. Por lo tanto, si bien existen algunos instrumentos internacionales concertados de políticas de transición hacia una economía de menos emisiones, no se puede afirmar que dichos instrumentos sean efectivos para una transición energética real, menos aún para el caso de países en vías de desarrollo, cuyos desafíos de cara a una transición energética son muy distintos a los de economías industrializadas.

Mención particular merece el concepto de *NAMA*, que, si bien carece de perspectiva estratégica como para ser considerado un componente de una política de TE, ha servido para que iniciativas regionales accedan a financiamiento mediante mecanismos de cooperación.

4 Para mayores detalles, véase la página de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático sobre las NAMA en el siguiente enlace.

5 Si bien aún existe debate en torno a las consecuencias específicas de estos eventos en el mediano plazo, en el nivel agregado la tendencia muestra un incremento incesante de las emisiones globales totales.

1.5. Importancia de las energías renovables en el contexto peruano

“Al Imperio británico le tomó la mitad de los recursos del mundo para lograr su prosperidad. ¿Cuántos planetas necesitará un país como la India?”

Mahatma Gandhi

Esta cita de Mahatma Gandhi, aunque fue expresada en un contexto específico de la India hace casi un siglo, resulta aún más relevante en el contexto actual de crecientes necesidades energéticas mundiales y peruanas.

Los requerimientos de energía en todo el mundo —y en el Perú, en particular— están aumentando rápidamente debido al crecimiento del sector industrial y de otros sectores de alto consumo energético. Solo en el Perú, la electrificación ha pasado de un 82 % en 2007 a un 96 % en 2022 (INEI, 2022). En el país, el proceso de urbanización e industrialización de antiguas zonas rurales ha incrementado la demanda de recursos finitos y de alto impacto ambiental, como el carbón, el petróleo y el gas natural. Esta demanda seguirá aumentando, a menos que se adopten enfoques reflexivos y ponderados para implementar soluciones que utilicen recursos renovables y no contaminantes —como el sol, el viento y el agua— para facilitar esta transición.

En este contexto, se identifican tres dimensiones clave que fundamentan la relevancia de las energías renovables en los procesos de transición energética justa en el Perú:

- Mitigación del cambio climático
- Asequibilidad
- Desarrollo económico

1.5.1. Mitigación del cambio climático

Como se mencionó anteriormente, el cambio climático es causado por las emisiones antropogénicas de GEI, como el CO₂ y el metano. En el caso del CO₂, la mayor parte de emisiones provienen de la quema de combustibles fósiles o hidrocarburos para generar energía destinada al funcionamiento de electrodomésticos y maquinaria, iluminación, calefacción, cocina y necesidades de transporte.

Estas emisiones de GEI —que suman un total de 61 millones de toneladas de CO₂e al año solo en el Perú (Andrew & Peters, 2023)— provocan un calentamiento del aire y de los océanos, lo que se traduce en una mayor frecuencia de eventos climáticos severos, como tormentas, inundaciones por desbordamiento de lagos glaciares, sequías e incendios forestales.

La lucha contra el cambio climático requiere tres tipos de respuestas:

- a. **Mitigación:** medidas para reducir la cantidad de emisiones futuras de GEI.
- b. **Captura de carbono:** medidas para eliminar los gases de efecto invernadero existentes de la atmósfera y los océanos.
- c. **Adaptación:** medidas para hacer frente a los efectos de un clima cambiante, causados por los GEI ya emitidos que no han sido eliminados del aire o del océano.

Este estudio se centra en los esfuerzos de mitigación, es decir, en la búsqueda de soluciones alternativas a las necesidades energéticas de la población que no emitan GEI (o que, al menos, reduzcan sus emisiones) en lugar de utilizar soluciones convencionales, como el carbón, el gas natural y el petróleo.

Aunque, a primera vista, el uso de la energía solar para la generación de electricidad podría parecer que solo aborda la parte eléctrica de la ecuación climática, existen varios beneficios de segundo y tercer orden que surgen de la electrificación. Por ejemplo, la disponibilidad de electricidad solar limpia

- podría alimentar la calefacción de los hogares mediante bombas de calor eléctricas en lugar de la quema de leña u otra biomasa;
- podría satisfacer las necesidades de transporte a través de mototaxis, autobuses y automóviles eléctricos en lugar de vehículos impulsados por gasolina o diésel;
- podría cubrir las necesidades de cocina a través de hervidores de agua eléctricos y estufas eléctricas, en lugar del uso de gas, leña u otra biomasa; y
- podría satisfacer las necesidades energéticas del sector agrícola (bombeo de agua, invernaderos, transporte, etcétera) en lugar de la utilización de combustibles fósiles.

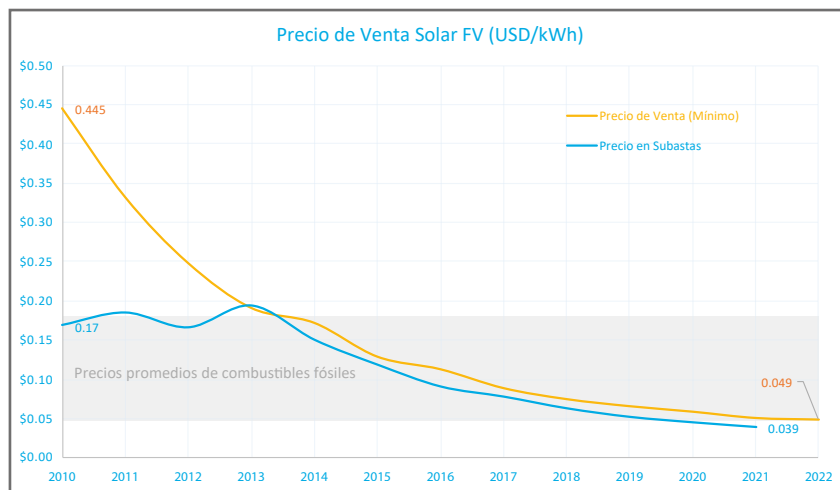
Si bien la viabilidad económica de estos diversos usos de segundo y tercer orden para la electricidad solar puede variar según el caso, el historial reciente de su creciente implementación en todo el mundo solo puede apuntar a un futuro energético más brillante, más limpio y más asequible, impulsado por las energías renovables.

1.5.2. Asequibilidad

Los beneficios de la energía solar para mitigar el cambio climático son indudables. Sin embargo, ninguna solución puede considerarse verdaderamente viable si el costo de su implementación no es, al menos, igual —y preferiblemente inferior— al de las opciones existentes. Esto es especialmente relevante para las comunidades rurales del Perú, dados los altos niveles de pobreza.

En este sentido, es importante destacar el rápido aumento en la asequibilidad de la energía solar en todo el mundo y, especialmente, en el país. El gráfico a continuación muestra la evolución de los precios de la electricidad solar a nivel mundial durante los últimos 15 años. Los precios no solo han disminuido, sino que prácticamente se han desplomado en un 90 %.

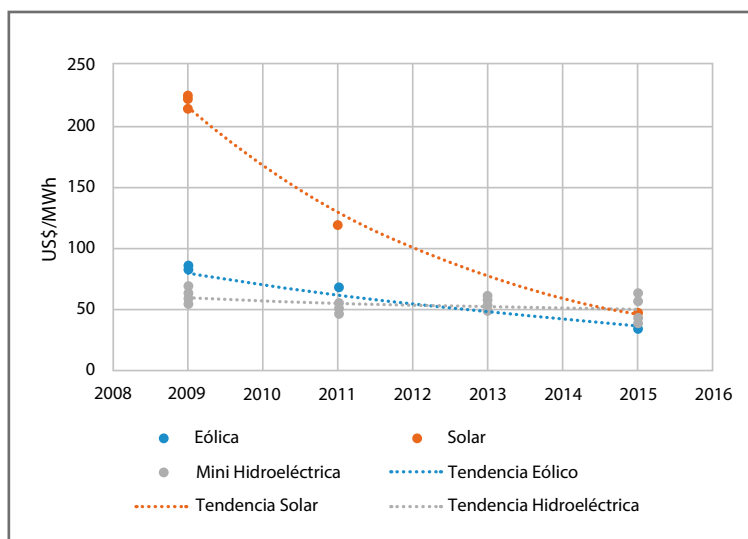
Figura 3. Evolución de los precios mundiales de la energía solar fotovoltaica



Fuente: IRENA (2023).

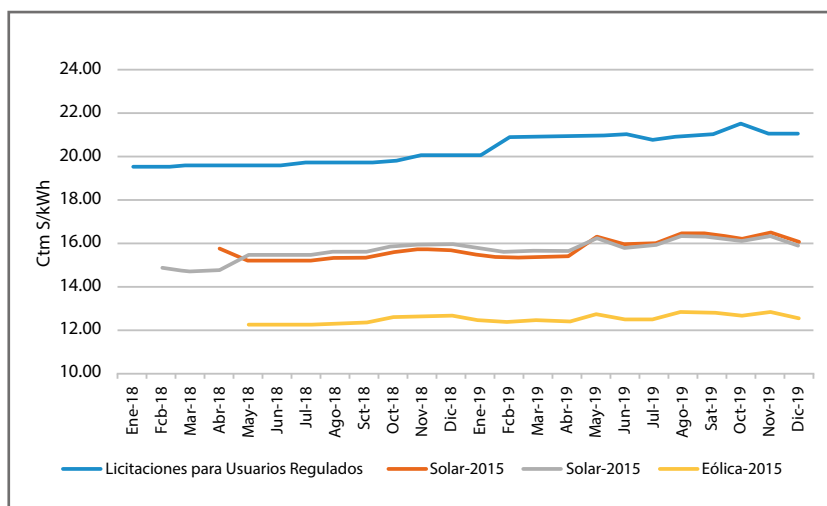
Afortunadamente, el Perú no ha quedado rezagado en este impresionante fenómeno de transformación energética global. Actualmente, la energía solar y la eólica son las fuentes más económicas de generación eléctrica.

Figura 4. Evolución de precios medios de contratos



Fuente: Osinerghin (como se cita en Grupo de Trabajo Especializado: Generación Eléctrica, 2020).

Figura 5. Evolución de precios medios de contratos de suministro



Fuente: Osinerghin (como se cita en Grupo de Trabajo Especializado: Generación Eléctrica, 2020).

La razón principal de esta asequibilidad es, quizás, el aspecto más obvio — pero también el menos apreciado— de las energías renovables: el combustible es gratuito. El sol brilla y el viento sopla sin costo alguno. En contraste, los combustibles fósiles requieren procesos muy costosos para ser extraídos del suelo, refinados hasta alcanzar una forma utilizable y, luego, transportados hasta los lugares donde se necesitan.

En el caso de las energías renovables, la mayor parte del gasto se produce al inicio del proyecto, durante la fabricación o adquisición del equipo, como un panel solar. Los costos operativos continuos son mínimos, y se limitan al mantenimiento del equipo sin incluir gastos constantes de combustible, ya que el “combustible” es gratuito.

Además, una de las características distintivas de la energía solar es su modularidad. En este contexto, la modularidad se refiere al hecho de que un sistema de generación de energía solar puede consistir en un solo panel que produzca suficiente electricidad para alimentar unas pocas luces, o en millones de paneles capaces de abastecer una ciudad entera del tamaño de Lima. En otras palabras, es posible implementar un sistema adaptado a las necesidades específicas de una comunidad, sin modificar drásticamente los componentes: basta con adquirir tantos paneles como sean necesarios para cubrir ese requerimiento concreto. Esta característica difiere de los sistemas de generación basados en combustibles fósiles, cuyos diseños, ingeniería y procesos de fabricación son específicos para diferentes escalas. No se puede, por ejemplo, simplemente acudir a una “tienda de plantas de energía de gas natural” y comprar una turbina de gas para alimentar unas cuantas bombillas.

Es importante señalar que los precios globales y nacionales de la energía solar están impulsados principalmente por grandes proyectos —algunos de más de 100 MW de capacidad— que se benefician de economías de escala que los proyectos pequeños difícilmente pueden alcanzar.

1.5.3. Desarrollo económico

A menudo, se considera que el advenimiento de la computadora personal, internet y el teléfono inteligente democratizó la economía de la información. Esta, que antes era dominio exclusivo de las instituciones educativas y las bibliotecas, pasó a estar al alcance de las masas a través de dichos avances tecnológicos. Esto ha permitido un acceso más amplio a las oportuni-

dades económicas, que antes estaban reservadas a los sectores más ricos y privilegiados.

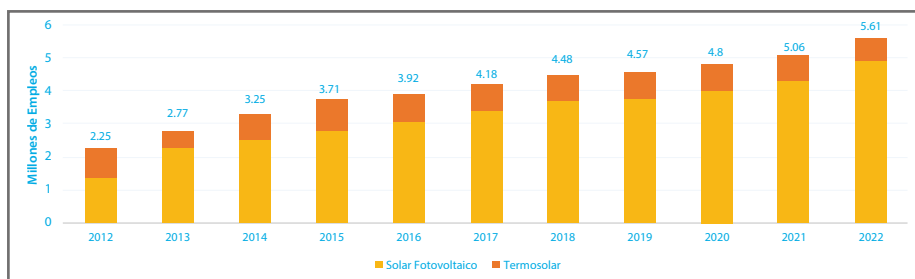
De manera similar, la aparición del panel solar y la posibilidad de generar electricidad en el propio hogar —utilizando la benevolencia del sol, que brilla de forma gratuita para todas y todos— podrían conducir a una democratización de la energía, en la que las personas no tengan que depender de grandes corporaciones o entidades gubernamentales para satisfacer sus necesidades energéticas. Este paradigma democratizado de generación podría abrir paso a un desarrollo económico que beneficie a muchas y muchos en lugar de solo a pocas y pocos.

Los beneficios del desarrollo económico de las energías renovables pueden adoptar muchas formas:

- **Empleos directos vinculados a las energías renovables**

El empleo en el sector de las energías renovables ha crecido significativamente en la última década; solo la industria de la energía solar ha experimentado un crecimiento de casi un 250 %. Se proyecta que, para 2030, se crearán más de 14 millones de nuevos puestos de trabajo en el sector de las energías renovables (IEA, 2021).

Figura 6. Empleos globales en la industria solar (PV y solar térmica)



Fuente: IRENA y OIT (2023).

- **Beneficios socioeconómicos directos e indirectos de las energías renovables (IEA, 2021)**

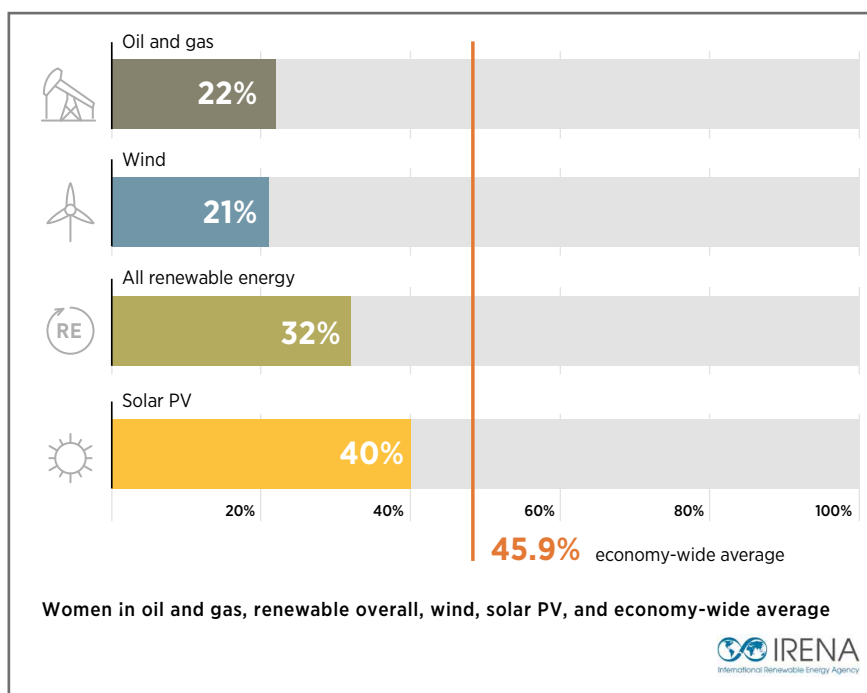
Como se mencionó anteriormente, existen beneficios económicos directos al utilizar energías renovables, ya que estas resultan más baratas que las fuentes convencionales de energía. Además, se identifican beneficios económicos indirectos asociados al desarrollo de proyectos de

energía renovable. Por ejemplo, duplicar la cuota mundial de energías renovables entre 2016 y 2030 podría generar:

- un aumento del producto interno bruto (PIB) mundial en un 1.1 %;
- un incremento del bienestar mundial en un 2.7 %; y
- la creación de 10 millones de puestos de trabajo adicionales como resultado de una mayor electrificación de los sectores del transporte, la calefacción y la industria (IRENA, 2016).

El sector de las energías renovables ya supera a otros sectores energéticos en términos de equidad de género en el empleo. En particular, el sector de la energía solar emplea a casi el doble de mujeres que el sector del petróleo y el gas.

Figura 7. Proporción de mujeres en la fuerza laboral del sector energético



Fuente: IRENA (2022).

1.6. Funcionamiento del mercado eléctrico y su vínculo con los RER

La política de generación de RER es un componente fundamental de toda política de TE. Sin embargo, las políticas concertadas internacionalmente para la generación de RER se han limitado a mecanismos de incentivo al mercado eléctrico. A pesar de que este mercado en el Perú opera bajo el concepto de *mercado competitivo* —común a la gran mayoría de economías—, los objetivos definidos de manera concertada resultan inapropiados para una política de TE en Sudamérica.

Como ejemplo, los escenarios del Acuerdo de París prevén que, de cumplirse las metas para el año 2030, un 30 % de la electricidad generada provenga de energías renovables. Sin embargo, ese indicador ya ha sido alcanzado en países como Perú, Colombia, Costa Rica o Brasil. Es más, en el caso brasileño, un cuarto de la demanda energética del sector transporte ya es atendida mediante combustibles renovables (biocombustibles), mientras que el sector agropecuario —el mismo que produce dichos biocombustibles— es responsable del 12 % de las emisiones de GEI. Estos ejemplos muestran que los objetivos de TE en Sudamérica no pueden abordarse mediante mecanismos e indicadores sectoriales diseñados para otras realidades.

No obstante, es necesario comprender de manera general el funcionamiento de los mercados eléctricos y cómo se aplican en ellos las políticas de promoción de generación de RER, a fin de valorar adecuadamente los instrumentos existentes.

El modelo actual de mercado eléctrico, vigente en la mayoría de los países, presenta los siguientes aspectos (Batlle *et al.*, 2012):

- **Separación de actividades del sector según régimen.** La transmisión y distribución se dan bajo régimen de monopolio natural, donde los operadores cuentan con una concesión y cobran una tarifa regulada por dicho servicio. Al cobro por acceso a la infraestructura se le denomina comúnmente *peaje*.
- **Mercado mayorista de generación en régimen de competencia.** Las empresas generadoras ofrecen la energía producida (o por producir) a un determinado precio, para que los clientes (empresas suministradoras) decidan cuál adquirir.

- **Libertad de contratación para el suministrador.** Esto significa que la empresa que suministra energía eléctrica bajo una concesión decide de qué empresa generadora contratar dicho suministro.

Bajo este modelo de mercado, el Estado cumple el rol de planificación, a través de lo que se conoce como *planificación energética*. Esta función se basa en realizar estudios de largo plazo continuamente, con carácter estratégico (horizontes mayores a veinte años), que definen la política energética del país valorando distintas opciones de desarrollo desde una perspectiva integral. Además, el Estado debe realizar estudios energéticos de mediano plazo (horizontes de cinco a quince años), orientados a establecer cronogramas de ampliación de infraestructura que garanticen la viabilidad económica de los objetivos estratégicos. Finalmente, debe también regular y supervisar el proceso competitivo de operación del mercado, mediante el despacho según los objetivos definidos.

En este contexto, los instrumentos concertados definen algunos criterios para la promoción de generación de RER en los mercados eléctricos:

- Definición de metas de generación de RER, típicamente como porcentaje del consumo eléctrico anual. Esto incluye tanto generación centralizada como generación distribuida (domiciliar o comercial).
- Mecanismos de subasta para proyectos de inversión, de acuerdo con cronogramas planificados por cada gobierno.
- Prioridad de despacho de la energía producida por adjudicatarios de subastas de RER y mecanismos de compensación para asegurar su ingreso (*ingreso garantizado*).
- Impulso de la generación distribuida.

Se evidencia que estos criterios se centran en políticas de mercado y parten de la premisa de que el rol planificador y regulador del Estado está garantizado. Este es el caso de países industrializados, donde la generación de RER ya constituye un componente fundamental de la política de TE, mediante el criterio de *generación distribuida* (GD), que ha sido adoptado recientemente por países de la región como Brasil, Chile y Colombia (REN21, 2020).

En el caso de Sudamérica, además de la GD, la electrificación rural representa un componente fundamental de la planificación energética. Para ello, los Estados han venido generando sus propios criterios, en coherencia con

una perspectiva de TE. En el caso peruano, la generación de RER ha sido promovida, principalmente, a través de mecanismos como subastas de largo plazo, contratos con ingreso garantizado y la progresiva incorporación de la GD. Sin embargo, existen barreras institucionales, técnicas y financieras que limitan una adopción más extendida, especialmente en zonas rurales aisladas.

1.7. Componentes clave de una política de transición energética

El cuadro presenta los principales componentes que conforman una política de TE, teniendo en cuenta las normativas y políticas aplicadas en algunos países.

Cuadro 1. Principales componentes de una política de transición energética

Componente	Detalle
Establecimiento de objetivos y metas	Objetivos y metas claras y alcanzables para la reducción de emisiones de GEI, la promoción de energías renovables, la eficiencia energética, entre otros
Identificación de recursos y tecnologías	Recursos y tecnologías disponibles y necesarios para la transición energética, incluyendo la evaluación de la capacidad instalada, la infraestructura necesaria y las posibles barreras tecnológicas o financieras
Incentivos y regulaciones	Incentivos para promover la producción y uso de energías renovables, como créditos fiscales, subsidios y aranceles, y regulaciones para reducir las emisiones de GEI, como estándares de eficiencia energética y límites de emisiones
Investigación y desarrollo	Fomento de la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, y soluciones innovadoras para la producción y uso de energía renovable, como el desarrollo de baterías de almacenamiento de energía y la integración de redes inteligentes
Participación y compromiso	Inclusión de los diferentes actores clave, incluyendo el sector privado, la sociedad civil y las comunidades locales, para garantizar un compromiso y colaboración efectivos en la transición energética

Elaboración propia en base a Battle et al. (2012)

Es importante destacar que este esquema puede variar según las características y necesidades específicas de cada país, y que la política de transición energética debe ser un proceso continuo y adaptativo para lograr una transición efectiva y sostenible.

1.8. Consideraciones finales

El estudio preliminar de los marcos conceptuales vinculados a la promoción de las energías renovables, así como el análisis de sus implicancias técnicas, económicas y sociales, permite fundamentar la necesidad de desarrollar políticas públicas específicas que articulen la electrificación rural con una perspectiva de TE.

Tal como se ha expuesto, los marcos normativos internacionales han promovido fundamentalmente mecanismos de mercado para el impulso de las RER, sin considerar adecuadamente las condiciones particulares de los territorios rurales, indígenas y aislados. En este contexto, resulta fundamental entender que la electrificación rural no equivale a una simple expansión de la red eléctrica, sino que debe pensarse como un proceso transformador que reconfigura las relaciones entre el territorio, el Estado y la energía.

Las energías renovables —especialmente los sistemas fotovoltaicos autónomos— ofrecen una oportunidad concreta para democratizar el acceso a la energía, fortalecer las capacidades comunitarias y construir alternativas de desarrollo económico con menor impacto ambiental. Sin embargo, para que esta oportunidad se materialice, es necesario replantear los enfoques actuales y avanzar hacia una TE con enfoque territorial, que reconozca los derechos, necesidades y saberes de las poblaciones locales.

Este capítulo ha permitido establecer el marco conceptual mínimo indispensable para comprender las relaciones entre los RER, la TE y la justicia territorial. A partir de esta base, en el siguiente capítulo, se analizará el marco normativo vigente, sus instrumentos principales, así como las limitaciones y oportunidades que ofrece para avanzar hacia una TE realmente inclusiva en el Perú.

2. Marcos normativos

El marco normativo en el que se inscriben las acciones de promoción, regulación e implementación de energías renovables en el Perú se construye en múltiples niveles: internacional, nacional, regional y local. Cada uno de estos niveles tiene implicancias específicas para la forma en la que se planifican y ejecutan los proyectos de electrificación rural y transición energética. Este capítulo presenta, en primer lugar, las normativas internacionales y compromisos multilaterales suscritos por el Estado peruano; en segundo lugar, el cuerpo normativo nacional en materia energética y ambiental; y, finalmente, estrategias y planes regionales específicos relevantes para las zonas de intervención de los estudios de caso.

La estructura sigue un criterio de generalidad y jerarquía territorial, priorizando primero el encuadre legal de carácter más amplio, para luego descender a los marcos normativos de escala regional y subregional. A lo largo del capítulo, se señalan los principales instrumentos jurídicos, técnicos y de planificación, así como los organismos responsables de su ejecución o supervisión.

2.1. Fundamento constitucional del derecho a la energía

Todos los ciudadanos del Perú tienen el derecho constitucional al acceso a la energía eléctrica, como un derecho social no enumerado. Todas las bases, leyes, reglamentos y planes posteriores derivan su existencia de este derecho fundamental⁶.

2.2. Marcos normativos internacionales

Tal como se analizó en el capítulo anterior, el surgimiento de marcos internacionales, como el Acuerdo de París, ha estado influenciado por una lógica de mercado, objeto de importantes críticas desde los países en desarrollo. En esta sección, se revisa cómo dichos instrumentos han sido incorporados

⁶ A través de la sentencia del expediente 2151-2018-PA/TC, el Tribunal Constitucional ha reconocido el acceso a la energía eléctrica como un derecho social no enumerado.

en los compromisos normativos asumidos por el Estado peruano, y cómo inciden en la formulación de las políticas energéticas actuales.

El Perú ha suscrito diversos instrumentos que comprometen al Estado a adoptar medidas que promuevan el uso de energías renovables y la mitigación del cambio climático. Estos compromisos configuran un marco general que influye directamente en la formulación de políticas energéticas nacionales y regionales, así como en los marcos normativos específicos. Entre ellos, destacan tres instrumentos clave: la Agenda 21, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el Acuerdo de París.

La Agenda 21 fue adoptada en la Cumbre para la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992. Se trata de un extenso plan de acción que puede ser implementado a nivel global, nacional y local por organizaciones del sistema de las Naciones Unidas, gobiernos y grupos principales en todos los ámbitos donde el ser humano impacta sobre el medio ambiente. Esta agenda establece recomendaciones específicas en torno al manejo ambiental, la participación ciudadana, el desarrollo sostenible y la promoción de fuentes de energía limpia.

Por otro lado, en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015, se establecieron los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). De ellos, el ODS 7 está directamente vinculado al tema energético y establece como metas:

7.1.° De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.

7.2.° De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.

7.a.° De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.

7.b.° De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo. (ONU, s.f.)

En relación con el Acuerdo de París⁷, este fue adoptado en 2015 durante la 21.^a Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En el marco de dicho acuerdo, los países deben presentar y actualizar periódicamente sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés). La NDC 2020 presentada por el Perú establece un objetivo de reducción del 30 % en las emisiones de GEI para 2030, de manera incondicional (208 toneladas métricas de CO₂e), y una reducción adicional del 10 % (179 toneladas métricas de CO₂e), condicionada a la disponibilidad de financiamiento internacional y a la existencia de circunstancias favorables. La NDC se centra en la reducción de varios sectores, entre ellos el energético (Minam, s.f.).

2.3. Marco legal nacional general sobre energía

2.3.1. Decreto Ley 25844. Ley de Concesiones Eléctricas

El Decreto Ley 25844, conocido como Ley de Concesiones Eléctricas (LCE), fue sancionado en 1992 para regular todo lo relacionado con la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. El Ministerio de Energía y Minas (Minem) y el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin) son las autoridades nacionales encargadas de velar por el cumplimiento de esta ley, la cual exige una concesión definitiva para los proyectos de energía renovable de más de 500 kW. Además, la ley designa a la Comisión de Tarifas Energéticas del Minem —integrada por miembros de la Presidencia del Consejo de Ministros, del Minem y de varios ministerios— para fijar la tarifa eléctrica.

Las concesiones definitivas se otorgan a través de una licitación pública realizada por el Minem, cuyo plazo se fija en la propia licitación por un máximo de treinta años. Asimismo, se otorgan concesiones temporales por un periodo de dos años, prorrogables por un año más, destinadas a la realización de estudios de factibilidad y de transmisión.

En cuanto a la solicitud de concesión, esta debe incluir los siguientes elementos para garantizar que el proyecto es realmente viable y no una especulación por parte del solicitante:

⁷ Para más detalles, véase el siguiente enlace: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>

- instrumento ambiental aprobado;
- prueba del compromiso de los inversores de aportar capital para el proyecto;
- informe favorable emitido por una Calificadora de Riesgos sobre la solvencia del solicitante; y
- certificado de conformidad del estudio preoperacional emitido por el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES).

Si bien estos requisitos garantizan la viabilidad del proyecto, la falta de financiamiento de las autoridades competentes para gestionar el proceso de aprobación de la concesión y de los documentos de apoyo puede causar retrasos excesivos, lo que incrementa significativamente el costo del proyecto y, por ende, el precio resultante de la electricidad renovable.

Los concesionarios de transmisión y distribución están sujetos al paradigma del acceso abierto, que les obliga a permitir que terceros utilicen sus líneas —dentro de los límites técnicos establecidos— a cambio de una compensación. Este mecanismo de reparto de los costos de transporte permite reducir el precio final de la electricidad renovable; sin embargo, exige que el concesionario original asuma todos los costos por adelantado. Aunque posteriormente puede ser reembolsado por los terceros usuarios, este reembolso diferido implica un costo financiero asociado.

Por su parte, la Comisión de Tarifas Eléctricas fija anualmente el precio de la parte regulada del mercado eléctrico, aquellos usuarios que no participan en el mercado libre, incluidas las zonas rurales. Este precio regulado no puede diferir en más de un 10 % respecto de los precios vigentes en el mercado libre. Gracias a ello, la tarifa regulada puede beneficiarse de los menores costos de la energía renovable, incluso si en el sector regulado no existen generadores de este tipo. En otras palabras, a medida que más proyectos de energía renovable barata ingresan al mercado libre, los consumidores del mercado regulado acceden también a precios más bajos, aunque no reciban directamente electricidad proveniente de fuentes renovables. Por otro lado, la manipulación del mercado por parte de actores con fines de lucro en el mercado libre podría generar aumentos inesperados en los precios de la electricidad para los usuarios del sector regulado, incluidos los clientes más pobres de las zonas rurales.

2.3.2. Ley 28832. Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica⁸

La Ley 28832, Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica, fue aprobada en 2006 con el objetivo de mejorar las normas establecidas en la LCE. Su propósito es garantizar la suficiencia de generación eficiente de electricidad, reducir la exposición a la volatilidad de los precios, ofrecer tarifas competitivas a los consumidores, promover una competencia efectiva en el mercado de generación, limitar la interferencia administrativa en la fijación de precios y, en su lugar, permitir que estos se determinen mediante mecanismos de mercado.

Además, se permite a las empresas de distribución convocar licitaciones para adquirir electricidad, definiendo sus propios requisitos, métodos de compra y duración de los contratos, preferentemente de largo plazo, con el fin de reducir la volatilidad de los precios. Los contratos con plazos menores a cinco años no pueden cubrir más del 25 % de la demanda de los clientes de la distribuidora, lo que puede llevar a que estos queden atrapados con precios más altos a largo plazo, sin acceder a los beneficios de la energía solar y eólica más barata.

La ley exige la venta conjunta de la capacidad firme (cantidad garantizada) y de la energía disponible o variable, requisito que penaliza los sistemas de energías renovables, como la solar y la eólica, ya que el sol brilla y el viento sopla de forma intermitente. Este requisito significa que los generadores solares y eólicos no pueden garantizar una capacidad firme, lo que produce que los clientes del mercado regulado paguen un precio superior al que ofrecen actualmente los proyectos solares y eólicos.

2.3.3. Ley 28749. Ley General de Electrificación Rural⁹

La Ley 28749, Ley General de Electrificación Rural, promulgada en 2006, establece el marco jurídico general para la electrificación rural en el Perú; otorga al Estado un rol planificador, promotor y regulador en esta materia. A través de esta norma, se confirma el carácter de necesidad nacional y utilidad

8 Para más detalles, véase el siguiente enlace: <https://spij.minjus.gob.pe/spij-ext-web/#!/detallenorma/H682746>

9 Para más detalles, véase el siguiente enlace: <https://spij.minjus.gob.pe/spij-ext-web/#!/detallenorma/H918202>

pública de la electrificación de zonas rurales priorizando el uso de recursos energéticos renovables.

Esta ley da origen a la Dirección General de Electrificación Rural (DGER), como órgano del Viceministerio de Electricidad, en reemplazo de la Dirección Ejecutiva de Proyectos (DEP). También consolida el rol de la Empresa de Administración de Infraestructura Eléctrica SA (Adinelsa) como empresa pública responsable de operar y mantener los sistemas eléctricos rurales (SER), y la faculta para recibir transferencias directas de la DGER.

La ley establece la creación del Fondo Nacional de Electrificación Rural (FONER), que canaliza recursos públicos bajo la lógica de fondos concursables para financiar los proyectos contenidos en el Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER), el cual se convierte en el principal instrumento de planificación. Estos fondos son inembargables y están destinados exclusivamente a financiar proyectos incluidos en el PNER, reservando una parte para actividades de capacitación y educación.

Además, introduce el concepto de *uso productivo de la electricidad*, asignando el 1 % del presupuesto total de electrificación rural para este tipo de iniciativas, y se reconoce la necesidad de garantizar subsidios a las tarifas eléctricas rurales y a las iniciativas privadas de instalación de nuevos SER. La norma también establece las condiciones tarifarias para zonas rurales operadas por empresas distribuidoras. Asimismo, se otorgan concesiones rurales exclusivas mediante subasta o contratos directos, permitiendo la participación de empresas públicas o privadas; el tamaño máximo de proyectos bajo esta ley es de 20 MW.

Respecto a su financiamiento, se establecen diversas fuentes:

1. transferencias anuales del Tesoro Público;
2. 100 % de las sanciones impuestas por Osinergmin a las concesionarias eléctricas;
3. hasta el 25 % de ingresos de privatización de empresas eléctricas públicas;
4. el 4 % de las utilidades de empresas eléctricas; y
5. aproximadamente PEN 0.01 por kWh de contribución de todos los usuarios.

La ley también obliga al Minem a publicar un Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER) cada diez años; el plan más reciente vigente al momento de la redacción del presente documento corresponde al periodo 2013-2022.

2.4. Marco legal específico sobre recursos energéticos renovables y subastas

2.4.1. Decreto Legislativo 1002. Decreto Legislativo de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables

El marco normativo de generación RER en Perú se crea mediante el Decreto Legislativo 1002, emitido en mayo de 2008 por el Minem. Desde entonces, la estructura normativa se ha establecido con un enfoque de promoción de mercado, centrado únicamente en la generación de condiciones financieras y comerciales que incentiven la gran inversión privada mediante una lógica de contratos de concesión (subastas) con precios garantizados. El Decreto Legislativo 1002, junto con las leyes, reglamentos y estatutos que lo acompañan, establece el marco legal para promover la inversión en la generación de energía eléctrica a partir de recursos energéticos renovables, como la energía solar, eólica, biomasa, geotérmica, mareomotriz e hidráulica (de menos de 20 MW). Establece que todos los proyectos de energía renovable deben obtener concesiones sujetas a lo establecido en el Decreto Ley 25844, Ley de Concesiones Eléctricas (LCE) y sus normas complementarias. También requiere que el Minem establezca un porcentaje objetivo mínimo de energía renovable en el consumo total de electricidad nacional, comenzando con al menos el 5 % y que se actualice cada cinco años. Este objetivo excluye todas las centrales hidroeléctricas de más de 20 MW.

Así, el marco normativo de promoción RER creado por el DL 1002 y las normas derivadas no incluye la promoción de sistemas fotovoltaicos rurales; sin embargo, debido a que establece el mecanismo de subastas, ha sido aplicado en los procesos de concesión para instalar nuevos sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA) rurales. Este contexto ha sido especialmente problemático para la promoción de sistemas fotovoltaicos rurales, ya que la política de electrificación rural es una política pública elaborada y ejecutada de manera casi exclusiva por el Minem.

Si bien dicho ministerio es la autoridad nacional designada para promover proyectos de energías renovables, los gobiernos regionales pueden promover estos proyectos en su jurisdicción territorial en el marco del Plan Nacional de Energías Renovables. El Minem define la oportunidad y los términos de las licitaciones o subastas para la adquisición de energía renovable, mientras que Osinergmin supervisa el proceso de licitación. Desde 2009, se han celebrado cuatro licitaciones, que han dado lugar a la adjudicación de concesiones (contratos de suministro) para 1257 MW de proyectos renovables. Desde 2016, no se han celebrado licitaciones.

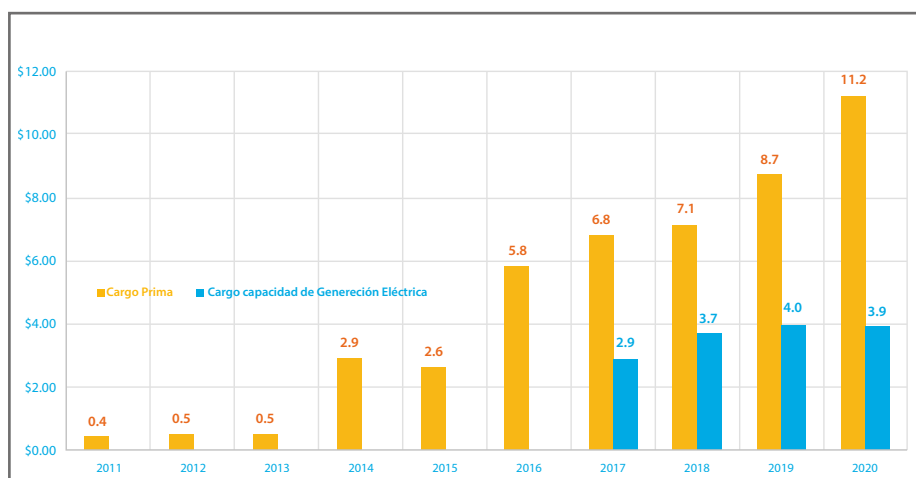
Esta particularidad del marco normativo y de promoción de RER es coherente con el marco regulatorio general del mercado eléctrico peruano, establecido a partir del proceso acelerado de privatizaciones durante los años noventa mediante el Decreto Ley 25844. Además de la adopción de una estructura de mercado competitivo, común a la mayoría de los países occidentales, esta norma debía definir los mecanismos para que el Estado peruano asumiera el rol planificador y regulador. Estos aspectos quedaron relativamente desatendidos hasta la creación de Osinergmin como ente regulador en 1996 y la propia emisión del DL 1002. Sin embargo, los esfuerzos posteriores no han logrado definir una visión estratégica para el sistema eléctrico peruano y su expansión, aspectos que han sido evaluados de manera crítica en estudios como el presentado por Batlle *et al.* (2018).

2.4.2. Subastas RER y mecanismo de primas

- En el marco del Decreto Legislativo 1002 se desarrolló el mecanismo de subastas de RER. Las tres primeras subastas despertaron un importante interés de grandes grupos económicos, atraídos por condiciones favorables a la inversión.
- Los proyectos de energía renovable tienen prioridad en el despacho en el mercado de corto plazo, operado por el COES y regulado por Osinergmin, con un costo marginal en licitación de 0. El mercado de corto plazo es un mercado de electricidad en el que cada generador ofrece un precio por la venta de su electricidad generada (costo marginal). El que ofrece el precio más bajo es el primero en ser despachado para satisfacer la demanda. Por lo tanto, al considerar el costo marginal de las energías renovables a efectos de licitación como 0, estas se despachan antes que otras formas de electricidad.

- Al mismo tiempo, dado que el costo marginal real no es 0, Osinergmin paga al generador de energía renovable una prima, es decir, la diferencia entre el costo marginal real y el precio de mercado resultante. De esta manera, se da prioridad a la electricidad renovable y, al mismo tiempo, se garantiza la capacidad de operar a un nivel rentable, tal como lo establece el Decreto Ley 25844.
- Si bien este mecanismo de “prima” es ventajoso para los propietarios de proyectos de generación de energía renovable, es un subsidio que, en última instancia, es pagado por el Gobierno del Perú. A medida que aumenta la cantidad de energía renovable en el *mix* de generación de electricidad, la magnitud de este subsidio podría crecer exponencialmente. Como señaló la Comisión Multisectorial para la Reforma del Subsector Eléctrico, esta prima casi se duplicó entre 2016 y 2020 (Grupo de Trabajo Especializado: Generación Eléctrica, 2020).

Figura 8. Evolución de la prima por energías renovables



Fuente: Grupo de Trabajo Especializado: Generación Eléctrica (2020).

2.5. Normativa técnica para sistemas fotovoltaicos

2.5.1. Rol del Instituto Nacional de Calidad y estandarización

El Instituto Nacional de Calidad (Inacal) es el organismo público técnico especializado responsable de administrar y desarrollar la infraestructura de la

calidad en el Perú. Entre sus funciones, se encuentran la emisión de normas técnicas peruanas, la promoción de su uso y el fomento de una cultura de calidad. Esto resulta especialmente relevante en el contexto de las energías renovables, ya que contar con normas técnicas adecuadas para los componentes de los SFA es fundamental para garantizar su calidad, durabilidad y eficiencia en zonas rurales.

En el caso de los sistemas solares fotovoltaicos, la estandarización promovida por el Inacal tiene un impacto directo en la difusión de tecnologías apropiadas y seguras para el entorno rural. Esta labor incluye especificaciones sobre módulos solares, baterías, inversores, estructuras de montaje, entre otros componentes clave.

2.5.2. Normas técnicas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas

El Minem ha emitido una serie de resoluciones directorales con el fin de establecer normas técnicas para la implementación y operación de sistemas solares fotovoltaicos en el ámbito rural:

- **RD 203-2015-MEM/DGE:** Establece las condiciones técnicas mínimas que deben cumplir los sistemas fotovoltaicos domiciliarios individuales. Se detallan especificaciones relacionadas con la potencia mínima del sistema, los componentes del sistema (panel, batería, controlador de carga, inversor, estructura de soporte), y los criterios de instalación y mantenimiento.
- **RD 272-2016-MEM/DGE:** Aprueba el formato de ficha técnica de los componentes que forman parte de los sistemas fotovoltaicos domiciliarios individuales como documento obligatorio para efectos de estandarización, validación técnica y monitoreo del cumplimiento de las condiciones técnicas previamente establecidas.
- **RD 132-2018-MEM/DGE:** Define el procedimiento técnico y administrativo para la verificación de los sistemas fotovoltaicos implementados en zonas rurales, y establece los requisitos mínimos de funcionamiento y servicio, así como los indicadores de desempeño que deben observar las empresas encargadas de su implementación y mantenimiento.

Estas normas son de cumplimiento obligatorio en el marco del Programa Masivo Fotovoltaico y de las nuevas licitaciones del Estado para sistemas

autónomos. A través de ellas, se busca garantizar que los sistemas implementados sean sostenibles técnica y operativamente a lo largo del tiempo.

2.5.3. Clasificación de sistemas fotovoltaicos autónomos rurales

Los SFA pueden ser clasificados en función del tipo de usuario al que se dirigen y la escala del servicio energético que ofrecen. En el contexto de las licitaciones promovidas por el Minem, se establecieron tres tipos de SFA:

- Tipo 1. Domiciliario: Provee un mínimo de 100 Wh/día, suficiente para iluminación básica, radio y carga de celulares.
- Tipo 2. Instituciones de salud: Incluye equipamiento adicional y respaldo de batería para asegurar continuidad del servicio.
- Tipo 3. Instituciones educativas: Suelen tener mayor capacidad de almacenamiento y capacidad de alimentar equipos adicionales, como computadoras o proyectores.

Esta clasificación fue utilizada como base para el diseño del Programa Masivo Fotovoltaico y las condiciones técnicas mínimas definidas por el Minem en las normas antes citadas.

2.6. Política y planes nacionales

2.6.1. Política Energética Nacional del Perú 2010-2040

La Política Energética Nacional del Perú 2010-2040 (PEN 2010-2040) fue aprobada mediante el Decreto Supremo 064-2010-EM, y representa el instrumento de orientación de la política energética de mediano y largo plazo. La PEN 2010-2040 establece como uno de sus principales lineamientos el acceso universal a la energía y la necesidad de generar electricidad a través de energías renovables no convencionales en zonas rurales y alejadas del país, con el objetivo de contribuir al desarrollo sostenible del país.

De acuerdo con el Decreto Supremo 064-2010-EM, los objetivos de la PEN 2010-2040 son los siguientes:

- acceso universal al servicio público de electricidad;
- diversificación de fuentes de energía;

- aprovechamiento eficiente de los recursos energéticos renovables y no renovables;
- impulso a la eficiencia energética;
- desarrollo tecnológico;
- planificación del desarrollo energético; y
- protección del medio ambiente.

Estos objetivos orientan la formulación de políticas, planes y programas de desarrollo energético y la implementación de instrumentos normativos e institucionales que garanticen la sostenibilidad del sector energético.

Como resultado de esta política, se promovió la elaboración de estudios como la Nueva Matriz Energética Sostenible y Evaluación Ambiental Estratégica, impulsado por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). También se aprobó el Plan de Acceso Universal a la Energía mediante la RM 203-2013-MEM/DM, y se impulsó el Programa Masivo Fotovoltaico (PMSFV) a través de subastas organizadas por el Estado.

2.6.2. Plan Energético Nacional 2014-2025 (Minem, 2014)

El Plan Energético Nacional 2014-2025 fue aprobado en 2014 con la finalidad de comprender el entorno y reformular estrategias para el desarrollo de la política sectorial de mediano y largo plazo. Durante el auge económico, el principal suministro de energía seguro fue el gas natural, que permitió atender la demanda de la población y, además, exportar el producto. En virtud de la elaboración del Plan Energético Nacional 2014-2025, se estableció como propuesta de política energética satisfacer la demanda nacional de energía de manera eficiente, considerando los tres objetivos fundamentales para el desarrollo de la electrificación:

- a. abastecimiento energético competitivo, que involucre la suficiencia en infraestructura y la garantía del abastecimiento;
- b. seguridad y acceso universal al suministro energético, impulsando el uso productivo de la energía en zonas aisladas, rurales y urbanas marginales; y

- c. desarrollo de los recursos energéticos de manera óptima, con mínimo impacto ambiental y bajas emisiones de carbono, en un marco de desarrollo sostenible (Minem, 2014).

El plan se enfoca en brindar acceso a la energía eléctrica a las zonas rurales y fronterizas como medio para mejorar la calidad de vida de las personas, trabajando en conjunto con la Ley 28749. El desafío fue llevar energía a 2.2 millones de peruanas y peruanos a través de la extensión de redes y de soluciones no convencionales, como paneles solares. Para ello, se adjudicó un proyecto de financiamiento, instalación y mantenimiento de hasta 500,000 paneles solares con el fin de elevar la cobertura energética. Hasta septiembre de 2019, se concluyeron 19 proyectos de electrificación rural usando energía solar, con una inversión de PEN 170.4 millones, con lo que se logró llevar electricidad a 18,000 viviendas de Áncash, Apurímac, Cajamarca, Cusco, Madre de Dios, Piura y Puno (Minem, 2014). La cobertura nacional de energía eléctrica logró un 96 % en 2013. Actualmente, los resultados muestran que el acceso a la energía eléctrica en el ámbito urbano es del 97.1 %, y del 82.6 % en el rural, cifras que reflejan una brecha importante en las zonas rurales. Para 2022, las estadísticas de electrificación mejoraron al 96.2 % en general, con un 99 % de electrificación urbana y un 85.1 % rural (INEI, 2022).

Si bien este plan funciona junto con la Ley 28749, que asigna a la DGER la ejecución de proyectos de electrificación rural, la responsabilidad final de la instalación de estos recae en las empresas distribuidoras de electricidad. Sus ingresos provienen de la venta de esta energía a los consumidores a un precio que incorpora un margen de beneficio sobre el costo de adquisición; en otras palabras, cuanto más alto es el costo de la electricidad, mayor es la ganancia para las empresas. Esto genera un incentivo perverso para que estas no favorezcan la electricidad solar, dado que representa la opción de menor costo. La instalación de paneles solares para abastecer de energía a las zonas rurales también elimina la posibilidad de que adquiera nuevos clientes, ya que los habitantes podrían generar su propia energía en lugar de comprarla. Por otro lado, la falta de una definición clara del término “rural” permite que empresas apliquen la Ley 28749 a clientes en lugares como, por ejemplo, Tacllapampa (Tuntuma, Velille, Chumbivilcas, Cusco)¹⁰, lo que contradice el propósito original de la Ley de Electrificación Rural.

¹⁰ Como se verá en el estudio de caso respectivo, en este mismo volumen.

Las energías renovables en Perú dieron un paso importante a partir de 2006, mediante la Ley 28832, que promueve la inversión en proyectos de generación de electricidad utilizando fuentes renovables. Actualmente, se ha logrado que el 8.1 % de la producción eléctrica nacional provenga de energías renovables, sin incluir la hidroelectricidad (Minem, 2024). Como parte de los esfuerzos para aumentar la cobertura de electrificación, en 2014 se realizó un estudio con el objetivo de lograr que las energías renovables representen progresivamente el 20 % de la generación eléctrica nacional para 2025, en combinación con las plantas hidroeléctricas. La simulación mostró que el costo medio de generación eléctrica del sistema aumentaría en USD 10/MWh, lo que representa un incremento del 20 % en los precios; en ese momento, se descartó su inclusión, aunque se dejó abierta la posibilidad para su evaluación en futuros planes. Mediante una revisión actual, tras 10 años, solo la hidroenergía representa el 53 % de la electricidad del país, lo que sugiere que integrar energías renovables no convencionales y la hidroeléctrica podría ser un desafío.

En síntesis, para el periodo 2014-2025, se espera una evolución del consumo final de energía vinculada con el desarrollo de la economía nacional, y con el compromiso hacia las energías renovables como una política de contribución en la lucha contra el cambio climático. Para ello, se requiere una mejor concertación entre los diferentes niveles de gobierno y la elaboración de estrategias más prometedoras.

2.6.3. Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2050

El Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2050 (PEDN) tiene como objetivo alcanzar el desarrollo sostenible de largo plazo, colocando a la persona como eje central de dicho proceso. Se fundamenta en la Agenda 2030, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las políticas nacionales e internacionales vigentes. Su implementación exige la participación articulada de los sectores y niveles de gobierno, así como revisiones periódicas cada década. Sin embargo, la rápida evolución tecnológica en sectores como el de energías renovables —donde los costos han caído de forma sostenida— exige ajustes más frecuentes para garantizar la pertinencia del plan.

En el ámbito energético, el PEDN establece metas de incremento progresivo en la participación de energías renovables, proyectando que la producción eléctrica con fuentes limpias alcance el 62.3 % en 2026. A pesar de estos esfuerzos, el panorama energético nacional aún está dominado por la hi-

droenergía (50.8 % en 2022) y las termoeléctricas (44.3 %), mientras que las fuentes solar y eólica representan apenas un 8.1 % conjunto en 2024. No obstante, la incorporación reciente de nuevos proyectos renovables sumará 507 MW al sistema interconectado, con una inversión superior a los USD 530 millones.

Uno de los principales desafíos identificados es el limitado acceso a financiamiento climático. En 2016, el Perú solo captó el 3.5 % de los fondos disponibles, y la pandemia de COVID-19 redujo el presupuesto público en cerca de 15 puntos porcentuales. A esto se suma una infraestructura energética deficiente en zonas rurales y una capacidad institucional restringida para proyectar tendencias, elaborar políticas sobre la base de evidencia y garantizar la continuidad de los planes. La debilidad del sistema científico-tecnológico nacional y la falta de incentivos para la innovación limitan aún más la capacidad del Estado para liderar una TE efectiva.

La inestabilidad política de los últimos años —con siete presidentes y 12 ministros de Energía y Minas desde 2018— ha obstaculizado la coordinación entre niveles de gobierno y el sector privado. Para que el PEDN se consolide como un instrumento real de transformación, es necesario fortalecer el liderazgo institucional, mejorar la gestión pública y establecer mecanismos que garanticen su continuidad. Solo así será posible construir un Estado moderno, capaz de cerrar brechas estructurales históricas y orientar el desarrollo del país hacia un futuro más justo y sostenible.

2.6.4. Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER 2013-2022 y 2024-2033)

El Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER) es el principal instrumento técnico de planificación de los proyectos de inversión pública en electrificación rural del país. La Dirección General de Electrificación Rural (DGER) es la entidad responsable de su formulación, implementación y evaluación.

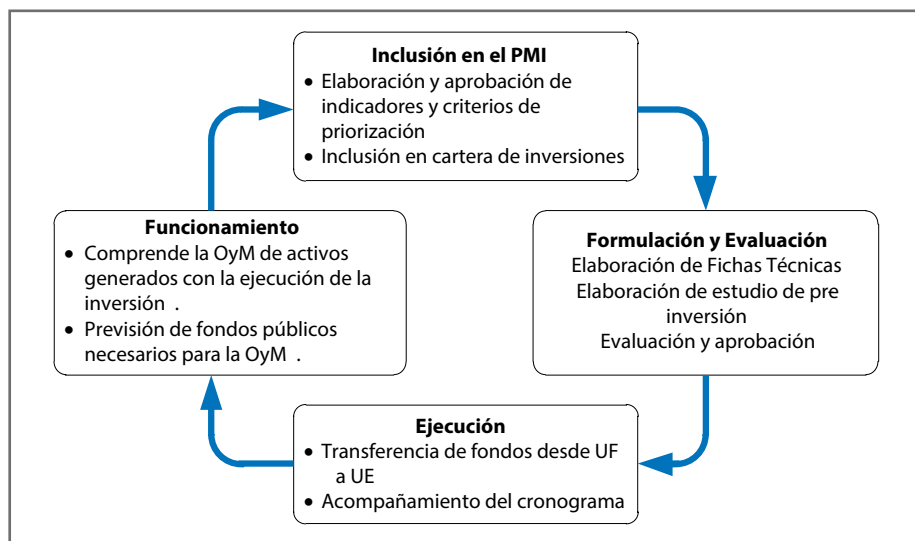
En su versión 2013-2022, el PNER articulaba una estrategia orientada a ampliar la cobertura eléctrica en zonas rurales, priorizando aquellas de mayor necesidad y dificultad de acceso. El enfoque del plan incluía tanto la extensión de redes convencionales como el despliegue de soluciones no convencionales, tales como sistemas solares fotovoltaicos domiciliarios. Su objetivo era cerrar la brecha en el acceso a la electricidad y contribuir al desarrollo económico y social de las comunidades rurales, incorporando además un

componente de fortalecimiento institucional y de sostenibilidad de los proyectos ejecutados.

El PNER se concibe y ejecuta mediante proyectos y programas que se aprueban con objetivos, alcances, plazos y presupuestos específicos. Los proyectos se determinan tras evaluaciones territoriales locales y regionales, mientras que los programas responden a objetivos estratégicos sin estar restringidos a territorios determinados. Tal es el caso del Programa de Usos Productivos de la Energía y el Programa Masivo Fotovoltaico.

Las experiencias acumuladas desde la adopción del marco normativo actual para la generación con RER en el Perú han definido un esquema común para los proyectos de sistemas fotovoltaicos incluidos en el PNER. Este esquema consta de cuatro etapas.

Figura 9. Esquema del ciclo de un proyecto de generación fotovoltaica rural a incluir en el PNER



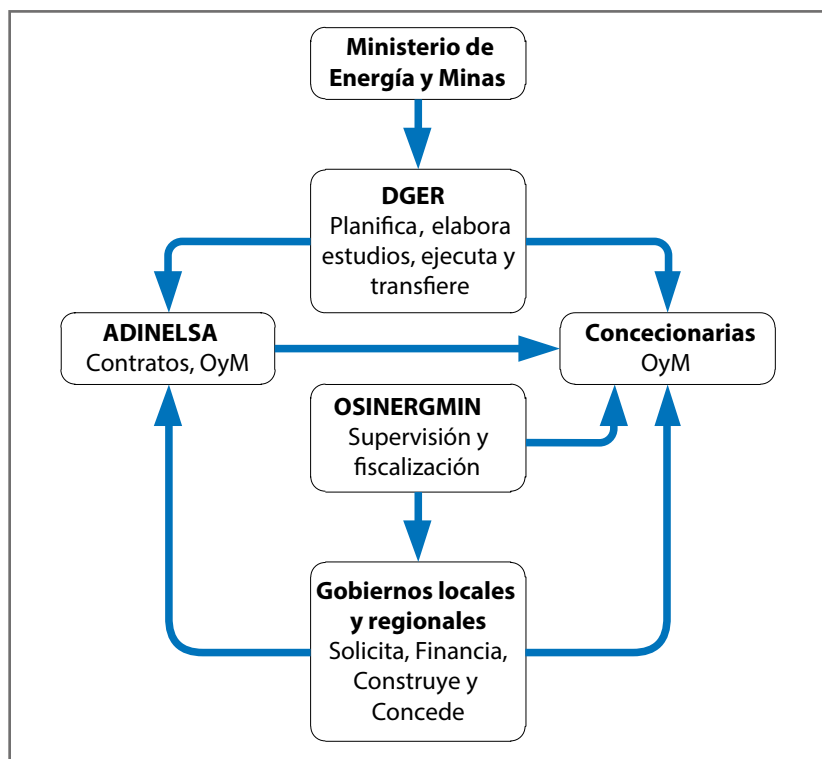
Elaboración propia

Se inicia con la inclusión del proyecto en el Programa Multianual de Inversiones (PMI), para lo cual debe contar con un perfil básico y presupuesto preliminar elaborado con participación de la comunidad rural, y los gobiernos regionales o locales. Dentro del perfil, se debe justificar el proyecto en función de las leyes y planes vigentes. Luego, se elabora técnicamente el proyecto, incluyendo plazos y presupuesto, y se define la unidad ejecutora (pública o

privada), que debe detallar el estudio de inversión. Si la DGER aprueba el plan, se incluye en el plan ejecutivo, lo que implica la transferencia de fondos desde la unidad de financiamiento (usualmente, el Proyecto de Mejoramiento de Electrificación Rural mediante Fondos Concursables, Foner) hacia la unidad ejecutora. Posteriormente, se lleva a cabo y se acompaña su funcionamiento, incluyendo el monitoreo técnico y la previsión de los requerimientos financieros para la operación y mantenimiento (OyM) en futuros PMI.

El actual enfoque del PNER considera a los proyectos como proyectos de inversión pública (PIP), que deben incluir los costos asociados al OyM. Esto ha llevado a que solo entidades con capacidad de planificar y ejecutar regularmente —principalmente las empresas de distribución eléctrica— sean las operadoras de los sistemas, incluso cuando no estén conectados a su red. Esta limitación proviene del marco normativo establecido en la Ley de Concesiones Eléctricas.

Figura 10. Instituciones participantes en la elaboración y ejecución de proyectos del PNER



Elaboración propia

El nuevo PNER 2024-2033 busca consolidar los esfuerzos de la primera edición como motor impulsor del desarrollo rural integral, mediante la expansión de la frontera eléctrica nacional a través de proyectos de electrificación en centros poblados rurales, aislados y fronterizos. La visión de este plan es lograr el acceso universal a los servicios públicos de electricidad, con el propósito de reducir la pobreza, y mejorar el nivel y la calidad de vida en estas áreas. Para ello, se priorizará la ejecución de proyectos que promuevan la eficiencia y sostenibilidad de los servicios eléctricos, incorporando tecnologías de energías renovables y promoviendo la participación de actores locales en el proceso. El PNER establece los siguientes componentes de política:

- Atención prioritaria a la electrificación rural mediante fuentes renovables;
- Promoción de inversiones privadas en electrificación rural;
- Mecanismos de subsidio para garantizar la sostenibilidad;
- Participación de gobiernos regionales y locales;
- Promoción del uso productivo de la electricidad; y
- Fortalecimiento institucional de la DGER.

El plan reconoce los costos prohibitivos de electrificar los hogares rurales mediante la conexión a grandes sistemas de distribución eléctrica, por lo que privilegia el uso de energía solar, pequeñas centrales hidroeléctricas y energía eólica en aquellas zonas donde estos recursos resultan más económicos, como las áreas de la selva, los Andes y las regiones costeras.

A finales de 2022, se encontraban en ejecución 36 proyectos que proporcionaban acceso a electricidad a 347,644 personas en 2921 hogares rurales, con una inversión de PEN 940 millones, lo que equivale a más de PEN 320,000 por hogar. A ello se suman más de PEN 753 millones destinados a proyectos de electrificación para 2300 hogares que se encuentran en etapas de selección, preinversión y estudios finales (PEN 32,000 por hogar). El plan presenta una lista de 1852 proyectos para brindar electricidad a más de 900,000 hogares a un costo cercano a los PEN 7000 millones (equivalente a PEN 7400 por hogar). La discrepancia entre estos costos y los de los planes 2013-2022 —PEN 32,000 y PEN 320,000 por hogar— refleja la influencia de las empresas de distribución eléctrica motivadas por el lucro, que han ignorado el potencial de las soluciones de energía solar fuera de la red en el programa de electrificación rural. Compárese, por ejemplo, con el caso de

una región con altos costos de materiales y mano de obra, como California (EE. UU.), donde el costo de electrificar un hogar con energía solar con un consumo anual de 500 kWh¹¹ es de aproximadamente PEN 3000¹².

El plan también reconoce que la infraestructura eléctrica existente está saturada y, por ello, ha transferido S/ 807 millones a empresas distribuidoras —principalmente subsidiarias de ElectroPerú— para ampliar dicha infraestructura, bajo el ámbito del Fondo Nacional de Financiamiento de la Actividad Empresarial del Estado (Fonafe) y Adinelsa. Esta transferencia de fondos públicos al gasto discrecional de entidades privadas motivadas por el lucro desvía el objetivo central del plan de lograr el acceso universal a la electricidad en todo el Perú.

El diagnóstico que atribuye a los bajos niveles de consumo unitario y al limitado poder adquisitivo de los habitantes las dificultades para implementar la electrificación rural contradice los beneficios de la energía solar, pero se alinea más con las perspectivas de las empresas privadas con fines de lucro, cuyos ingresos dependen del volumen de electricidad vendida. Cuando Adinelsa instala un sistema solar fuera de la red utilizando fondos de Fonafe, no existe dependencia del nivel de consumo. En cambio, las empresas privadas con fines de lucro sí dependen del consumo y la solvencia crediticia de los usuarios.

El plan también señala que los sistemas de medición individual para los hogares —una parte crítica para motivar a las empresas privadas de distribución eléctrica en la electrificación rural— aún no han sido implementados. Debido a que las soluciones propuestas por estas empresas para la instalación de los medidores no son lo suficientemente específicas, han sido consideradas no pertinentes para los objetivos del plan. Esto evidencia una desatención hacia un componente clave del PNER y una desviación de la implementación de soluciones de energía renovable, las cuales eliminarían la necesidad de sistemas de medición individual.

11 A partir de las facturas de electricidad obtenidas por el equipo de Amaru Renovables de los residentes de Tuntuma y Paco Paco, se pudo averiguar que el consumo promedio anual fue inferior a 100 kWh/año. El uso de 500 kWh/año se emplea como una estimación muy conservadora y elevada de un consumo intenso de electricidad en los hogares rurales (visita de campo a las provincias de Chumbivilcas, departamento de Cusco, y Cotabambas, departamento de Apurímac).

12 Cotización obtenida de una familia que reside en California, EE. UU., como referencia comparativa.

2.7. Programas y proyectos nacionales específicos

2.7.1. Programa Masivo Fotovoltaico

- Este programa se crea en el marco del Plan de Acceso Universal a la Energía 2013-2022, aprobado mediante la Resolución Ministerial 203-2013-EM/DM, y pasa a ser incorporado al PNER. Establece como objetivo la instalación de 285,000 nuevos sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA) rurales para 2022, meta que fue actualizada en 2016, fijando como nuevo objetivo la implementación de 500,000 sistemas.
- En 2013, el Minem promovió un proceso de licitación para electrificar zonas rurales y aisladas mediante sistemas fotovoltaicos individuales. Este proceso fue adjudicado a la empresa Ergon Perú, la cual asumió el compromiso de instalar y mantener sistemas SFA para más de 150,000 viviendas rurales durante un período de 15 años, con una retribución económica garantizada por el Estado.
- En ese contexto, se impulsó la adopción de la lógica de subastas para proyectos de electrificación rural, a través de la emisión del Decreto Supremo 020-2013-EM, Reglamento para la Promoción de la Inversión Eléctrica en Áreas No Conectadas a Red, el cual establece que las instalaciones adjudicadas conllevan una retribución económica por 15 años a la empresa ganadora.
- Bajo este nuevo marco, se convocó la primera —y única, hasta la fecha— subasta de SFA rurales, en la que se licitaron 151,890 nuevas instalaciones agrupadas en tres bloques geográficos y tres categorías, conforme con el cuadro.

Cuadro 2. Requerimiento mínimo de nuevas instalaciones SFA en la primera subasta *off-grid*

Zona	Departamentos	Requerimiento mínimo de nuevas instalaciones			
		Tipo 1 (domiciliar)	Tipo 2 (salud)	Tipo 1 (educativa)	Total
Norte	Amazonas, Cajamarca, Lambayeque, Ancash, La Libertad, Loreto, San Martín, Piura y Tumbes	55,000	280	1200	56,480
Centro	Ayacucho, Huancavelica, Huánuco, Junín, Pasco, Lima, Ica y Ucayali	47,000	175	650	47,825
Sur	Arequipa, Apurímac, Cusco, Madre de Dios, Moquegua y Puno	47,000	175	410	47,585
Total	24	149,000	630	2260	151,890

Fuente: Osinergmin (s.f.).

El proceso contó con apenas dos postores, y todas las zonas fueron asignadas a la misma empresa, Ergon Perú SAC, por un total mínimo de 172,890 nuevas instalaciones. Según reportes actualizados a 2019, se ha constatado la operación de 133,800 instalaciones, lo que corresponde a una ejecución del 77.4 %.

Este programa, conocido como Programa Masivo Fotovoltaico, forma parte del modelo de concesiones adjudicadas mediante subasta, bajo el marco normativo descrito anteriormente (Decreto Legislativo 1002 y Decreto Supremo 020-2013-EM). El Minem, a través de la DGER, supervisa la ejecución del programa y establece las condiciones técnicas mínimas mediante resoluciones directorales específicas (ver 2.5.2).

Existe una tarifa por el uso del sistema, cubierta parcialmente por el usuario y mayoritariamente por fondos públicos del Fondo de Inclusión Social Energético (FISE), los cuales son transferidos directamente al concesionario. Además, las empresas públicas de distribución pueden presentar proyectos para ampliar la cobertura eléctrica en zonas rurales no comprendidas dentro del área del concesionario. Estos proyectos pueden ser financiados mediante fondos públicos concursables a través del Foner. En estos casos,

las municipalidades o los gobiernos regionales pueden cofinanciar parte de los proyectos, los cuales deben ser aprobados por el Minem. Sin embargo, la figura de la concesión dificulta este procedimiento, debido a la imposibilidad práctica de transferir fondos de operación y mantenimiento a entidades distintas de las empresas distribuidoras o Adinelsa.

El padrón de usuarios del Programa Masivo Fotovoltaico fue elaborado por Ergon Perú sobre la base de información proporcionada por las empresas distribuidoras, que recopilaron datos acumulados por la DGER en años anteriores. Los beneficiarios reciben un sistema —con autonomía de hasta tres días sin sol— compuesto por un panel solar, batería, controlador de carga, luminarias LED y tomacorrientes para equipos de bajo consumo.

Desde el año 2010, Adinelsa ha tercerizado estas actividades en algunas localidades como Ucayali, Cajamarca, Loreto, Pasco y Ayacucho, a través de empresas como Global Energy Management Perú SAC, Desarrollo Energético Sostenible SAC, Tecnologías Renovables SAC y Selsolar & Ingenieros SAC (Adinelsa, s.f.). No obstante, informes de la Contraloría General de la República y de organizaciones de la sociedad civil han señalado problemas en la ejecución del PMSFV, incluyendo demoras en la instalación, fallas técnicas, deficiencias en el mantenimiento y ausencia de capacitación a los usuarios. A pesar de estas dificultades, el programa ha representado el mayor esfuerzo de electrificación rural mediante energías renovables en la historia del Perú y ha sentado precedentes para futuros proyectos de alcance nacional.

2.7.2. Programa de la Comisión Nacional para el Desarrollo e Integración Fronteriza (Conadif)

Este programa es una iniciativa del Ministerio de Relaciones Exteriores (RREE) dirigida a los 9 departamentos fronterizos del territorio nacional, y se desprende de la Política Nacional de Desarrollo e Integración Fronterizos, aprobada mediante el Decreto Supremo 019-2018-RE. Hacia finales de 2020, el Ministerio de RREE anunció una primera cartera de 13 proyectos, en la que se priorizó a los departamentos de la frontera norte. Para 2021, dicha cartera se amplió a 32 proyectos, que contemplaban la instalación de sistemas fotovoltaicos en 14,708 viviendas, 46 puestos de salud y 251 colegios de Amazonas, Cajamarca, Loreto, Madre de Dios, Puno, Tacna y Ucayali (Agencia Andina, 2022).

Estos proyectos se desarrollan bajo la modalidad común del PNER, detallada en la sección 2.6.4. Un ejemplo representativo es el proyecto Instalación del Sistema de Electrificación Rural de las Cuencas de los Ríos Cenepa, Comaina, Numpatay y Santiago, que abarca los distritos fronterizos del Cenepa, Imaza y Río Santiago. Este proyecto contemplaba la instalación de 6658 nuevos sistemas, distribuidos en 125 distritos, bajo la modalidad de adjudicación al Consorcio Numpatay, con inicio de obras previsto para 2022.

Sin embargo, el consorcio no ha cumplido con los plazos establecidos, y la obra se encuentra actualmente retrasada, en medio de disputas legales entre el ministerio y el consorcio, además de acusaciones relacionadas con el impedimento de este último para contratar con el Estado (*La República*, 2022).

2.7.3. Programa de Usos Productivos de la Energía (“Juntos Producimos con Energía”)

Es el programa vigente de mayor antigüedad, cuyo origen se remonta a la misma Ley General de Electrificación Rural (LGER) y se ejecuta desde la emisión del primer reglamento. Debido a que estos proyectos son distintos a los contemplados en los programas anteriores —más orientados a instalaciones básicas—, su elaboración suele realizarse en coordinación directa con Adinelsa, que pone a disposición una plataforma detallada para consultas y formulación de propuestas¹³.

Se considera que el uso es productivo cuando

- contribuye a la realización de beneficios económicos (ingresos, empleo) directamente para los emprendedores locales que la usen;
- mejora el Índice de Desarrollo Humano (IDH) de la población en general; y
- mejora la sostenibilidad económica y financiera de las empresas que ejecutan proyectos de electrificación rural.

Este programa ha adoptado distintos nombres en las diversas gestiones gubernamentales; el más reciente es “Juntos Producimos con Energía”. Por

13 Puede consultarse en el siguiente: <https://www.adinelsa.com.pe/adinelsaweb/index.php/gestion-social/usos-productivos/usos-prod-sub-menu-1>

su naturaleza, presenta *a priori* una mayor cantidad de fuentes de financiamiento, ya que puede recurrirse a instancias del Ministerio de la Producción o del Ministerio de Desarrollo Agrario. Bajo este programa, se desarrolló parcialmente el proyecto Electrificación Rural a base de Energía Fotovoltaica en el Perú (Proyecto PER/98/G31), así como otros proyectos dentro del Programa de Ampliación de la Frontera Eléctrica (PAFE) en departamentos del norte y oriente del Perú, particularmente en Loreto.

2.7.4. Proyectos del PNER en Amazonas

En el PNER vigente, se registran 10 proyectos para el departamento de Amazonas. Según la información disponible, 3 de estos proyectos ya se han ejecutado para diciembre de 2022, mientras que quedan 7 pendientes de ejecución. En el cuadro, puede verse la relación de estos proyectos.

Cuadro 3. Proyectos en el PNER vigente para el departamento de Amazonas

Proyecto	Estado
Creación del Servicio Eléctrico Rural en las Comunidades Nativas de Kusu Kubaim y Huampami, distrito de El Cenepa, provincia de Condorcanqui, departamento de Amazonas	Pendiente de elaboración de estudio definitivo
Sistema Eléctrico Rural Chachapoyas IV Etapa	Estudio definitivo
Electrificación Rural de los Caseríos de El Porvenir, El Rejo, Carbajales, Buenos Aires-Cumba y el CP Jorobamba con sus Caseríos Las Pircas, Los Arrayanes, El Milagro, Utcub	Finalizado RD 098-2021-MINEM/DGER
Electrificación de las Localidades del Sauce, Cruz Baja, Vista, Florida, Las Mercedes, Laguna El Pato, San Lorenzo, San José, El Verde, El Balcón, La Esperanza, La Tabla, El Nogal, Campo Alegre y San Juan De Chota	Finalizado RD 039-2021-MINEM/DGER
Instalación del Servicio de Energía Eléctrica mediante Ampliación de Redes de los Caseríos Galeras, Nueva Independencia, Bellandina, Sr. De Huamantanga y Sectores Limoncito, Tres Marias y la Amp. Cruz Roja del CP Ñunya Jalca, Bagua Grande, Utcubamba, Amazonas	Finalizado
Sistema Eléctrico Rural Nuevo SEASME III etapa.	Finalizado RD 133-2022-MINEM/DGER

Proyecto	Estado
Ampliación de Electrificación Rural de las Localidades de Limapampa, Tunshe, Agua Blanca-Ramos, Huancayo y El Tingo de Cuispes, distrito de Cuispes, Bongara, departamento de Amazonas	Pendiente, ampliación presupuestal
Instalación del Sistema de Electrificación Rural de las Cuenecas de los Ríos Cenepa, Comaina, Numpatkay y Santiago, distritos fronterizos de El Cenepa, Imaza y Río Santiago.	Licitado, atraso ejecución no iniciada
Ampliación de Redes de Distribución en el departamento de Amazonas	En ejecución
Creación, Mejoramiento y Ampliación del Servicio de Energía Eléctrica mediante Sistema Convencional en las Localidades de Palenque Grande, Huanabamba, Tulpac, Llumbuy, La Colpa, Pampa La Arena, Pinduc, Vista Alegre, Bellavista, Cochamba, Challuacancha, Chuquibamba, Data, Atuen y La Joya, 11 Localidades del distrito de Chuquibamba, provincia de Chachapoyas, departamento de Amazonas	Pendiente de ejecución

Elaboración propia

El Minem, a través de la DGER, establece un esquema de priorización basado en criterios técnicos, sociales y económicos. Entre ellos, figuran el índice de pobreza, la densidad poblacional, el acceso previo a servicios básicos y la factibilidad técnica de conexión a la red. Según la información reportada, para la región Amazonas, se contemplan proyectos en provincias como Bagua, Bongará, Chachapoyas, Condorcanqui, Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba. Las tecnologías empleadas incluyen principalmente sistemas fotovoltaicos domiciliarios, diseñados para atender la demanda básica de iluminación, comunicación y pequeños aparatos eléctricos.

En el caso de Condorcanqui, por ejemplo, se han priorizado dos importantes intervenciones:

- Creación del Servicio Eléctrico Rural en las Comunidades Nativas de Kusu Kubaim y Huampami, en el distrito de El Cenepa.
- El proyecto Instalación del Sistema de Electrificación Rural de las Cuenecas de los Ríos Cenepa, Comaina, Numpatkay y Santiago, distritos fronterizos del Cenepa, Imaza y Río Santiago, con antecedentes de ejecución dentro del Conadif (mencionado en el apartado 2.7.2.).

Ambos proyectos se vinculan a zonas de frontera y poblaciones indígenas en situación de pobreza energética, donde la cobertura eléctrica es mínima o inexistente.

Asimismo, el PNER articula estos proyectos con otros programas nacionales, como el PMSFV y las iniciativas de usos productivos de la energía, lo que permite una mayor coherencia e integración en las intervenciones. Se destaca también la necesidad de fortalecer los mecanismos de operación y mantenimiento (OyM), así como la participación de los gobiernos regionales y locales en la implementación.

2.7.5. Proyectos fuera del PNER (Acciona.org y Fondo de Promoción de las Áreas Naturales Protegidas del Perú)

En la región Amazonas, se han desarrollado algunas intervenciones que, si bien no son promovidas directamente desde el PNER, merecen mención por su carácter innovador.

En primer lugar, Acciona.org —fundación corporativa de la empresa española Acciona— promueve el acceso a energía, agua e infraestructura básica mediante modelos de gestión sostenibles y replicables. En Perú, a través de Acciona.org Perú, su intervención más conocida es el programa Luz en Casa Amazonía, implementado en comunidades indígenas amazónicas de las cuencas de los ríos Napo y Ucayali (Loreto), y, en menor medida, en Amazonas (dato registrado en la web oficial de Acciona.org, aunque no existen datos públicos sistematizados para Amazonas). Bajo este programa, se implementaron sistemas fotovoltaicos domiciliarios, compuestos por panel solar de tercera generación, batería y luminarias LED. Los usuarios pagan por el servicio eléctrico a una microempresa local encargada del mantenimiento y la reposición de equipos, lo que busca garantizar la sostenibilidad económica y técnica.

En 2023, Acciona.org Perú anunció la instalación de una microrred solar de 33.5 kW, con respaldo de baterías de 110 kWh, en la comunidad de Copal Urco, distrito de Teniente Manuel Clavero (Loreto), con lo cual se benefició a 40 hogares e instalaciones públicas, como un centro de salud, una escuela, una iglesia y un local comunal. Esta intervención piloto se ejecutó en alianza con el BID Lab, con el respaldo de la Fundación Acciona Microenergía y con el Ente Regional de Servicios Públicos de la Amazonía Peruana (ERSAP).

Otra experiencia destacada corresponde al Fondo de Promoción de las Áreas Naturales Protegidas del Perú (Profonanpe), que ha impulsado dos proyectos relevantes para el acceso sostenible a la energía en contextos de alta vulnerabilidad ambiental:

- El primero, denominado Instalación de Dos Plantas de Producción de Hielo con Energía Fotovoltaica en Comunidades Indígenas, tiene como objetivo atender las necesidades de conservación de productos alimentarios en zonas sin acceso a la red eléctrica. La primera planta fue inaugurada en 2020 y la segunda se encuentra en proceso de construcción.
- El segundo proyecto, Creación de un Modelo de Bionegocios Basado en la Energía Solar, se desarrolla desde 2021 con apoyo del Fondo Verde para el Clima y la Agencia de Cooperación Internacional de Corea (Koica). Consiste en dotar de equipamiento fotovoltaico a emprendimientos productivos liderados por mujeres en zonas de amortiguamiento de áreas naturales protegidas. Además, incluye acciones de capacitación, enfoque de género, articulación a cadenas de valor y fortalecimiento institucional.

2.8. Marcos regionales y subregionales

La planificación territorial en el Perú se articula a través de diversos instrumentos regionales y locales que orientan el desarrollo sostenible con enfoque territorial. En el marco de la electrificación rural, los planes de desarrollo regionales y provinciales permiten identificar brechas, priorizar intervenciones, coordinar con actores sectoriales y alinear esfuerzos con las metas nacionales. A continuación, se presenta una sistematización de los principales planes vigentes en la región sur andina vinculados al acceso a energía y servicios básicos.

2.8.1. Plan de Desarrollo Regional Concertado Cusco al 2033

Uno de los objetivos estratégicos regionales del Plan de Desarrollo Regional Concertado de Cusco al 2033 (Gobierno Regional de Cusco, 2022) es mejorar la infraestructura de desarrollo en el departamento. Para medir su cumplimiento, se considera como indicador el porcentaje de viviendas particulares en el ámbito rural que cuentan con acceso a la energía eléctrica a través de

red pública En ese marco, se identifican diversos problemas que afectan el logro del objetivo:

- inadecuadas condiciones de vivienda y limitado confort térmico en los hogares;
- déficit de cobertura del servicio eléctrico en la población rural;
- desequilibrio territorial en el sistema urbano del departamento; y
- escasos lineamientos de política de ordenamiento territorial regional y local.

Asimismo, deben mencionarse las potencialidades de la población de zonas rurales y periurbanas, que cuenta con conocimientos previos en la construcción de viviendas.

Por otro lado, las acciones estratégicas por implementar están orientadas a mejorar las condiciones de habitabilidad urbana y rural en el departamento, mediante programas, acciones y estrategias dirigidas al desarrollo de ciudades planificadas, viviendas adecuadas y servicios básicos óptimos y suficientes. Entre estas se encuentran:

- diseñar e implementar el plan de electrificación de comunidades rurales y urbanas marginales; y
- ejecutar programas de cierre de brechas en el acceso a la electrificación rural y promover el uso de energías renovables.

Según lo analizado, el Plan de Desarrollo Regional Concertado Cusco al 2033 no guarda coherencia con la situación futura de las variables priorizadas, dado que algunas metas porcentuales propuestas ya han sido alcanzadas, según datos del INEI, y los indicadores establecidos no proyectan cambios significativos. Además, el plan no especifica los mecanismos de articulación ni de cumplimiento de las acciones.

El presupuesto gestionado por el gobierno regional se adapta a las necesidades de los proyectos más urgentes, lo cual impide el cumplimiento del plan trazado. En relación con el presupuesto 2024, solo el 0.85 % de los fondos totales asignados a proyectos ha sido destinado a iniciativas de electrificación en la región Cusco. Esta baja asignación evidencia una desatención significativa al sector, así como una deficiente gestión para promover más proyectos orientados al cierre de brechas en electrificación rural.

2.8.2. Plan de Desarrollo Regional Concertado Apurímac al 2033

El Plan de Desarrollo Regional Concertado Apurímac al 2033 (Gobierno Regional de Apurímac, 2022) es un instrumento de gestión del Estado orientado al planeamiento estratégico de mediano y largo plazo, que guía el desarrollo integral y sostenible del territorio, buscando articular las zonas urbanas y rurales. Cuenta con 9 objetivos estratégicos regionales (OER) que se pretende alcanzar hacia el 2033, a través de 17 indicadores principales de medición.

El OER 6 consiste en mejorar las condiciones de conectividad, lo que implica aumentar el porcentaje de red vial pavimentada al 36.88 % en 2026, ampliar el servicio de telecomunicaciones en un 59.8 % y desarrollar un 10 % de infraestructura ferroviaria. Se trata de un objetivo clave para el desarrollo continuo de la región en términos de infraestructura, ya que facilita el acceso a otro tipo de proyectos de inversión. Actualmente, las provincias de Antabamba, Grau y Cotabambas presentan baja conectividad mediante redes viales. Entre las acciones estratégicas del OER 6 se incluye mejorar los niveles de competitividad en la región, promover el uso de energías renovables e incrementar las fuentes de energía al 2033. Por otro lado, en Apurímac se espera alcanzar una calidad ambiental adecuada y resiliente frente al cambio climático. Para ello, se plantea que el 28 % de los ecosistemas degradados sean remediados hacia 2025; el 33 %, para 2029; y el 40 %, para 2033.

En cuanto a los servicios de electricidad, la provincia de Cotabambas registra un promedio de viviendas sin acceso a electricidad del 30.71 %, con el distrito de Haquira como el caso más crítico, con un 39.35 %.

La Comisión Ambiental Regional (CAR) Apurímac identificó los siguientes problemas:

- débil institucionalidad ambiental;
- escasa cultura ambiental en la población;
- inadecuado manejo de residuos sólidos;
- débil articulación intergubernamental;
- limitada implementación del ordenamiento territorial; y
- limitada ejecución de instrumentos de gestión ambiental.

Para enfrentar estos desafíos, se espera fortalecer el desempeño ambiental de la CAR mediante políticas públicas y programas estratégicos. No obstante, en la evaluación de riesgos realizada por el gobierno regional, la variable “acceso a electricidad” no ha sido considerada prioritaria, a pesar de los porcentajes previamente señalados. Del mismo modo, el riesgo de baja gobernabilidad no ha sido clasificado como un problema estratégico, lo que resulta llamativo, considerando los múltiples conflictos sociales, ambientales y mineros registrados en la región durante los últimos cinco años.

2.8.3. Plan de Desarrollo Local¹⁴ Concertado de la Provincia de Cotabambas 2021-2030

El Plan de Desarrollo Local Concertado de la Provincia de Cotabambas 2021-2030 (Gobierno Provincial de Cotabambas, 2021) cuenta con un análisis de tendencias, riesgos y oportunidades, orientado a contribuir con la planificación y ejecución de las actividades comprendidas en el proceso, así como con la gestión del desarrollo del territorio. En este documento, se establecen nueve objetivos de desarrollo, que integran y orientan las visiones del futuro deseado, mediante indicadores clave para su medición, junto con las acciones estratégicas que forman parte del monitoreo de la ruta de desarrollo de Cotabambas.

El objetivo 1 propone mejorar las condiciones de habitabilidad de la población, lo que implica, entre otras acciones estratégicas, ampliar el acceso a los servicios de energía eléctrica. Los indicadores que medirán su cumplimiento son el porcentaje de viviendas urbanas sin acceso a alumbrado por red eléctrica —cuya meta es reducirlo al 25.8 % hacia el año 2026—, y el porcentaje de viviendas rurales sin acceso a alumbrado por red eléctrica —con un objetivo de 36.7 %—. En ese marco, se ha definido como prioridad 4 “mejorar las condiciones de habitabilidad de la población mediante el acceso a servicios básicos”. Para ello, se requiere incrementar el acceso a energía eléctrica en la provincia, dado que muchos pobladores aún no cuentan con este servicio o disponen de él solo por periodos reducidos. Esta situación limita el uso de herramientas y servicios que dependen de la electricidad, así como el funcionamiento de centros de salud, instituciones educativas, entidades públicas y sistemas de comunicación, entre otros.

¹⁴ Los planes analizados son los que se pudieron recopilar hasta la fecha de elaboración del informe.

Entre las potencialidades, se cuenta con expedientes técnicos elaborados en el marco de las mesas de diálogo para la implementación del Plan Integral de Cotabambas y de la PCM, referidos a infraestructura vial y sistemas de riego. Se identifica como una oportunidad de aprovechamiento el financiamiento ya previsto para dicho plan, aunque persisten carencias significativas, como la libre disponibilidad de terrenos, y la limitada capacidad de articulación y alineamiento intergubernamental. Otra oportunidad destacada son las regalías mineras, que pueden ser utilizadas por los gobiernos locales y regionales.

La implementación de estas acciones es fundamental para el cumplimiento de los objetivos estratégicos, ya que están orientadas a mejorar la principal actividad económica de la provincia. El trabajo articulado entre el Gobierno Regional de Apurímac, los ministerios y la Municipalidad Provincial de Cotabambas resulta esencial, pues son los principales actores responsables de impulsar las acciones estratégicas hacia el año 2030.

2.8.4. Plan de Desarrollo Provincial de Espinar

El Plan de Desarrollo Local Concertado (PDLC) de la provincia de Espinar al 2021, con prospectiva al 2030, articula los objetivos y la visión de desarrollo de la provincia con prioridades de inversión orientadas al desarrollo humano.

Los objetivos que presenta el PDLC están vinculados a los del Plan de Desarrollo Regional Concertado (PDRC) de la región Cusco, con énfasis en garantizar la sostenibilidad ambiental, estableciendo como meta la reforestación de 714 hectáreas anualmente hacia el año 2026. Las estrategias propuestas en el plan se dividen en dos fases: la fase prospectiva y la fase estratégica.

- a. **Fase prospectiva.** Permite analizar la realidad del territorio y el desempeño actual de sus indicadores a través de seis sistemas: poblacional, ambiental, relacional, productivo, equipamental y patrimonial. De estos, se destacan tres sistemas:
 - Sistema poblacional. El crecimiento de la población es de 1.2 % a nivel provincial; sin embargo, existen tres distritos expulsores de población joven que busca nuevas oportunidades económicas y educativas en otras ciudades. Este fenómeno es un factor clave a considerar al realizar estudios de demanda en zonas rurales.

- Sistema relacional. Representa el conjunto de redes de infraestructura vial, telecomunicaciones, red de fibra óptica y energía eléctrica, que posibilita el desarrollo de las poblaciones. Según la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones de Cusco (DRTCC), el 24 % de los centros poblados están conectados y el 57.47 % aprovecha esta conectividad; es decir, cuentan con un buen nivel de transitabilidad.
- Sistema productivo. Espinar destaca principalmente por la actividad minera: el 40.6 % de su territorio está concesionado al complejo minero Antapaccay (PDLC, 2017), situación que se extenderá, aproximadamente, hasta 2036; además, la provincia se considera parte del Corredor Minero del Sur. En relación con este tema, el 100 % del abastecimiento eléctrico de la minera proviene de fuentes de energía renovables, principalmente de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila, lo que contribuye a reducir su huella de carbono y a mitigar el cambio climático (*Desde Adentro*, 2022). Según *Rumbo Minero* (2024), el proyecto de electrificación rural en Espinar cuenta con un avance del 97 %, lo que beneficia a más de 6000 pobladores en 11 localidades de la provincia.

b. Fase estratégica. Presenta indicadores de los objetivos estratégicos y las metas al 2021 y al 2030, definidos sobre la base de variables estratégicas para la provincia de Espinar.

Se identifican cinco variables estratégicas y se priorizan once indicadores de desarrollo, entre los que destacan el aseguramiento de la calidad ambiental, el desarrollo económico sostenible y la gestión ambiental. No obstante, esta fase no presenta mayor análisis respecto de las energías renovables, a diferencia de la fase prospectiva, donde sí se aborda con mayor detalle.

Se puede concluir que la provincia de Espinar posee una importante capacidad para el desarrollo de energías renovables, especialmente energía fotovoltaica, que podría ser gestionada para contribuir al cierre de brechas y al mejoramiento de las condiciones de vida. Se debe destacar que Espinar ocupa el 50.º puesto en el *ranking* del IDH entre las 195 provincias del Perú, y su población es cada vez menos pobre.

Actualmente, la provincia enfrenta los impactos del Corredor Minero, que genera serios problemas socioambientales, entre los que se incluyen la contaminación del agua, la degradación del suelo y la alteración de ecosistemas.

Esto afecta directamente a las comunidades y a sus medios de vida, como la agricultura y la ganadería (Valdivia, 2024). Abordar estos problemas, que requieren atención inmediata, puede desviar los esfuerzos destinados al desarrollo de un plan estructurado, como el propuesto en el Plan de Desarrollo Local de Espinar.

2.8.5. Plan de Ordenamiento Territorial Comunal de Asacasi

El Plan de Ordenamiento Territorial Comunal de la Comunidad Campesina de Asacasi, distrito de Tambobamba, provincia de Cotabambas (Comunidad Campesina de Asacasi & CooperAcción, 2018), se realizó por la necesidad de hacer uso y aprovechar los recursos naturales de manera sostenible. El plan, como instrumento de gestión, permitirá administrar adecuadamente el territorio y sus recursos naturales para cumplir la misión de promover el desarrollo individual y colectivo de la comunidad de Asacasi, lo que garantizará su sostenibilidad en el tiempo.

Los objetivos estratégicos que se plantean se basan en propuestas y ejes de visión, entre los que destaca el primer eje, referido al uso adecuado de los recursos naturales del territorio, basado en su cultura y adecuándose al cambio climático. En vista de lo anterior, el plan cuenta con una propuesta de programa de inversiones territoriales, que incorpora como acciones la formación de promotores municipales y comunales, la validación del plan mediante una ordenanza municipal y el trazado de una hoja de ruta para formalizar el proceso en el distrito de Tambobamba.

El Plan de Ordenamiento Territorial Comunal propone ser difundido en toda la comunidad y presentado a los aliados para que apoyen en el financiamiento de los proyectos identificados. Finalmente, sugiere continuar formando una cadena de trabajo con una visión de desarrollo territorial rural.

Estudios de caso: diagnóstico y propuesta

Los dos estudios de campo realizados en zonas rurales del Perú abordan el despliegue de energías renovables con enfoques claramente distintos. El primero se desarrolló en comunidades indígenas del departamento de Amazonas y presenta un diagnóstico técnico detallado de los sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA) ya instalados en viviendas, con especial atención a su estado actual, los riesgos identificados y las propuestas de mejora. El segundo se centra en tres comunidades altoandinas de las provincias de

Chumbivilcas, Cotabambas y Espinar, departamento de Cusco, donde se evalúa la factibilidad de implementar sistemas de energía solar, considerando variables climáticas, técnicas, sociales y económicas, así como diversos modelos de transición energética.

Ambos capítulos ofrecen miradas complementarias sobre las posibilidades, limitaciones y aprendizajes asociados al uso —o potencial uso— de tecnologías solares en contextos peruanos diversos. No buscan establecer comparaciones entre sí, sino contribuir, desde sus respectivos objetivos, a la reflexión sobre rutas viables hacia una transición energética justa.

3. Diagnóstico técnico de sistemas fotovoltaicos domiciliarios en comunidades indígenas de Amazonas

En este capítulo, se presentan los resultados de la visita de campo a cargo del bachiller en ingeniería, Erick Alfaro Collazos, realizada entre los días 14 y 18 de febrero de 2023, en las comunidades indígenas amazónicas awajún de San Antonio, Nuevo Kanam, anexo de Tutino y Huampami, todas ubicadas en la provincia de Condorcanqui, departamento de Amazonas. La información recopilada se utilizó para realizar un diagnóstico preliminar de la adopción y el estado de los sistemas fotovoltaicos implementados en las comunidades de estos territorios, incluyendo detalles del uso de la tecnología y las condiciones de la zona para el desarrollo de estos sistemas.

Si bien la idea inicial era la evaluación de SFA asociados al PNER, a la fecha de realización de la visita no existían estos sistemas instalados en el marco del PNER en las localidades de interés. Por esta razón, el diagnóstico se enfocó en los existentes, todos instalados por iniciativa particular.

En total, se visitaron 6 viviendas con SFA en las tres localidades. En la comunidad de San Antonio se visitaron 4 viviendas, mientras que en las comunidades restantes solo se reconoció una vivienda por localidad.

Además del diagnóstico situacional, la visita de campo permitió levantar la información necesaria para elaborar propuestas piloto de SFA domiciliarios, las cuales son presentadas también en esta sección. Tanto el diagnóstico como las propuestas se realizaron tomando en cuenta las normas técnicas internacionales (IEC) y nacionales.

3.1. Lugares visitados

3.1.1. Datos generales

- Localidades: comunidad nativa de San Antonio, comunidad nativa Nuevo Kanam, anexo de Tutino y comunidad nativa de Huampami
- Provincia: Condorcanqui
- Departamento: Amazonas
- País: Perú
- Fecha de la visita de campo: del 14 al 18 de febrero de 2023
- Ruta de acceso desde Bagua: carretera de Bagua a Santa María de Nieva y luego por vía fluvial (río Marañón y río Cenepa) a Huampami
- Ubicación en mapa: véase figura 12.

3.1.2. Datos meteorológicos referenciales

- Clima: tropical, caracterizado por Senamhi como “lluvioso con abundante humedad todas las estaciones del año”
- Temperatura ambiente: valores máximos mensuales entre 31 °C y 33 °C
- Precipitaciones anuales: entre 2000 y 3500 mm.
- Los datos corresponden al registro histórico de Senamhi en la localidad de Santa María de Nieva entre 1991 y 2020, presentado en la figura 13.

Figura 11. Ubicación en el mapa de las comunidades visitadas.

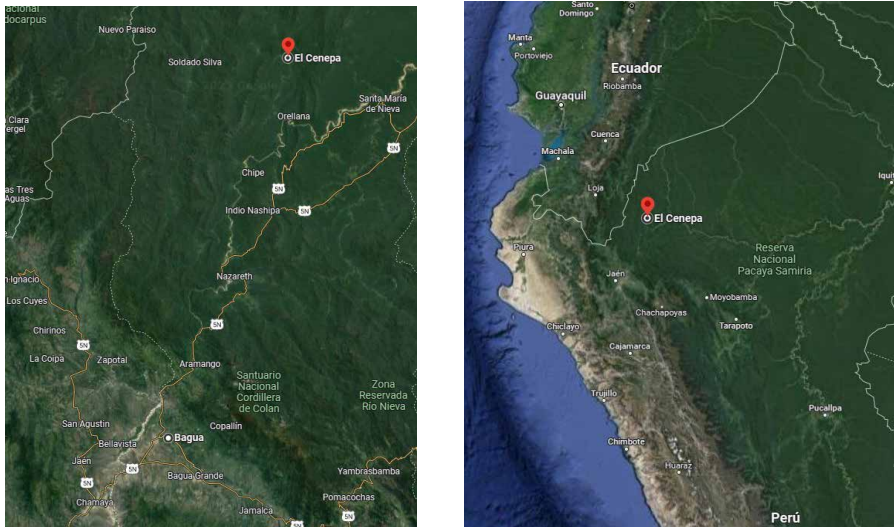
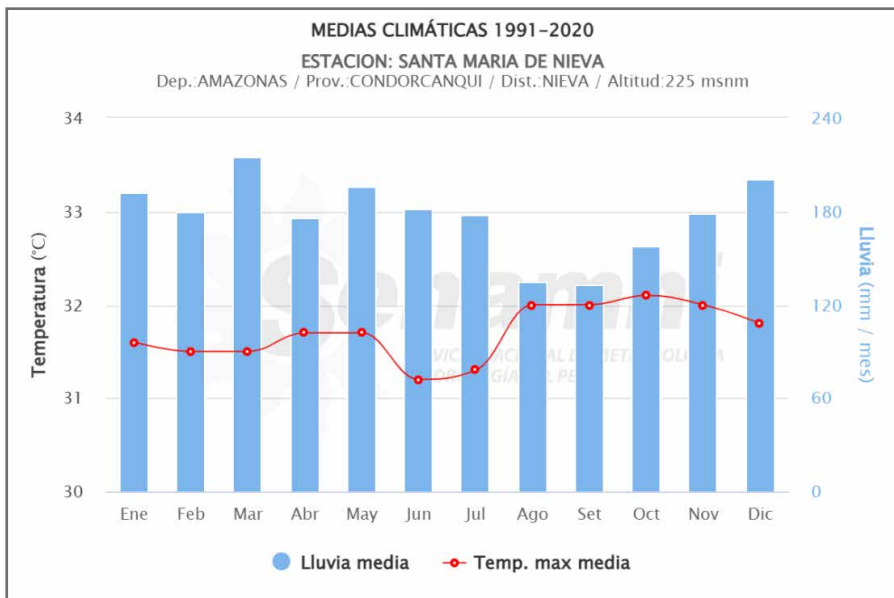


Figura 12. Histórico de medidas climáticas 1991-2020 (temperatura ambiente y precipitaciones) registrados en la estación meteorológica Santa María de Nieva, provincia de Condorcanqui, departamento de Amazonas



Fuente: Senamhi (s.f.)

3.1.3. Contexto cultural y energético

En las comunidades visitadas, no existen líneas de distribución de empresas concesionarias eléctricas públicas ni privadas. Las necesidades de iluminación son atendidas de manera autónoma mediante velas, generadores a gasolina o diésel, y, recientemente, mediante pequeños sistemas de generación fotovoltaica implementados de manera precaria por la escasez de conocimientos sobre estos sistemas.

3.1.4. Demanda energética domiciliar

Se identifican viviendas adecuadas para el desarrollo de sembríos y la crianza de animales o piscigranjas, ubicadas en las riberas del río Cenepa. La vía de transporte es única, a través del río, en embarcaciones fluviales como las *chulpas* y los *pekepeke*. La mayoría de las viviendas consta de una cocina-comedor al que denominan “cocina”, un dormitorio, un baño, una ducha y un patio.

Actualmente, el consumo energético domiciliario se destina principalmente a la iluminación y a la carga de dispositivos electrónicos, como celulares. Por su parte, el consumo energético se concentra en 2 franjas horarias: entre las 6 horas y las 8 horas, y entre las 18 horas y las 22 horas. En algunos casos, las viviendas cuentan con electrodomésticos y equipos de entretenimiento: refrigeradores, neveras, televisores y *routers* de señal satelital.

3.2. Detalle de los SFA visitados

A continuación, se muestran los datos recogidos sobre el estado de los SFA de las 6 viviendas visitadas. Para mayor claridad, los resultados de la comunidad nativa de San Antonio (viviendas 1 a 4) se presentan de manera independiente, mientras que los correspondientes a la comunidad nativa de Nuevo Kanam, anexo de Tutino, y a la comunidad nativa de Huampami (viviendas 5 y 6) se presentan de manera conjunta.

3.2.1. Comunidad nativa de San Antonio

La primera visita se realizó a la comunidad nativa de San Antonio, ubicada en las coordenadas -4.491725, -78.150982. En esta comunidad, se visitaron 4 viviendas con SFA operativos, todos de tipo domiciliar; los detalles de presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Datos generales de las SFA visitados en la comunidad nativa de San Antonio

	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Vivienda 4
Características del lugar y edificación	• Terreno arcilloso predominantemente irregular, con vegetación y árboles circundantes de hasta 8 metros de altura. • Viviendas construidas con materiales rústicos: estructura y paredes de palos de huacapu o pona; techos a dos aguas cubiertos con hojas de yarina o calaminas; culatas o frontones del techo abiertas para permitir la iluminación del interior			
Componentes de los sistemas fotovoltaicos instalados	• 1 módulo fotovoltaico de 15 Wp. • 1 batería de 12 V/18 Ah.	• 1 módulo fotovoltaico de 80 Wp. • 1 batería de 12 V/100 Ah. • 1 un controlador de carga.	• 1 módulo fotovoltaico de 60 Wp. • 1 batería de 12 V/7 Ah.	• 1 módulo de 20 Wp. • 1 batería de 12 V/18 Ah.
Cargas alimentadas y cargas requeridas	• 1 adaptador de carga para celulares y 2 focos de 5 W. • Hace falta iluminar 6 ambientes.	• 1 adaptador de carga para celulares y 6 focos de 5 W. • Hace falta iluminar 6 ambientes.	• 1 foco de 5 W. • Hace falta iluminar 3 ambientes.	• 2 focos de 5 W. • Hace falta iluminar 4 ambientes.

• **Estado del módulo fotovoltaico**

Se realizó la inspección del estado de los módulos fotovoltaicos instalados; el detalle se presenta en el cuadro 5.

Cuadro 5. Detalle del estado de los módulos fotovoltaicos en los SFA visitados en la comunidad nativa de San Antonio

	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Vivienda 4
Inspección visual de cambios ópticos	• Formación de moho en el vidrio y marco, sobre todo del lado inferior • Rayaduras por frotación en múltiples zonas del vidrio			
Inspección visual de daños mecánicos	No se evidencian.			
Acumulación de suciedad en la superficie fotovoltaica	Escasa acumulación de polvo impregnado en el vidrio	Capa gruesa de polvo en la parte inferior del vidrio	Acumulación de polvo impregnado en el vidrio	Escasa acumulación de polvo impregnado en el vidrio

	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Vivienda 4
Lámina posterior	Presenta arañazos	En buen estado	En buen estado	En buen estado
Limpieza del módulo	Mensual	No se limpia.	Anual	No se limpia.

• Estado de la estructura de montaje

Se realizó la inspección de las estructuras de montaje; el detalle se presenta en el cuadro 6.

Cuadro 6. Detalle del estado de las estructuras de montaje de los SFA visitados en la comunidad nativa de San Antonio

	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Vivienda 4
Soporte utilizado para el módulo fotovoltaico	Palo de Huacapu	Inexistente: módulo sobrepuesto en el techo de calamina	Inexistente: módulo sobrepuesto en el techo de calamina	Inexistente: módulo sobrepuesto en el techo de calamina
Daños mecánicos	Ninguno	-	Uno de los palos que soporta el techo se encuentra apollado.	-
Fijación de los módulos	Clavado en un marco de madera	Sobrepuesto en techo, sin fijación	Sobrepuesto en techo, sin fijación	Amarrado a un clavo del techo
Puesta a tierra	Inexistente	Inexistente	Inexistente	Inexistente
Bordes afilados	Astillas	Sí, de la calamina	Sí, de la calamina	Sí, de la calamina

- **Estado del controlador de carga**

Se realizó la inspección del controlador electrónico de carga de las baterías; el detalle se presenta en el cuadro 7. Se debe mencionar que, en contra de las recomendaciones técnicas, tres de los cuatro SFV visitados carecen de controlador de carga y los módulos se conectan de manera directa a las baterías.

Cuadro 7. Detalle del estado del controlador de carga de los SFV visitados en la comunidad nativa de San Antonio

	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Vivienda 4
Mantenimiento de rutina (según especificaciones del fabricante)	-	No se realiza.	-	-
Inspección visual	-	No muestra daños ni deterioro; presenta telarañas.	-	-
Luces de advertencia	-	No se comprueban.	-	-
Verificación de torque de apriete	-	No se comprueban.	-	-
Marcas y etiquetas	-	No se comprueban.	-	-
Sistema de ventilación	-	Inexistente	-	-
Puesta a tierra	-	No cuenta con línea a tierra.	-	-
Resistencia de aislamiento	-	No se comprueban.		-
Conectores	-	No se comprueban.	-	-
Fusibles y seccionadores	-	Inexistentes	-	-
Limpieza	-	No se realiza.	-	-

- **Estado del cableado**
Se realizó la inspección de las conexiones eléctricas de los SFA; el detalle se presenta en el cuadro 8.
- **Protección contra rayos y puesta a tierra**
Las viviendas visitadas no cuentan con ninguna de estas protecciones.
- **Sistema de suministro auxiliar**
Las viviendas visitadas no cuentan con sistema de suministro auxiliar.

Cuadro 8. Detalle del estado del cableado de los SFA visitados en la comunidad nativa de San Antonio

	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Vivienda 4
Tipo de cable	Cable mellizo 18 AWG	Cable vulcanizado 18 AWG	Cable de empotrado 16 AWG	Cable mellizo bi-color 18 AWG
Aislamiento	No se comprueba.	No se comprueba.	No se comprueba.	No se comprueba.
Etiquetado	No se puede identificar.	No se puede identificar.	No se puede identificar.	Grabado en el cable
Ductos protectores	Inexistente	Inexistente	Inexistente	Inexistente
Fijación de los cables	No se comprueban: cables atados a los palos.	No se comprueban: cables con grapas en los palos.	No se comprueban: cables sueltos.	No se comprueban: cables sueltos.
Conectores	Inexistentes: conexiones con conductor desnudo; conexión a batería con terminales codrilo (presenta oxidación)	Inexistentes: conexiones con conductor desnudo	Inexistentes: conexiones con conductor desnudo	Inexistentes: conexiones con conductor desnudo; conexión a batería con terminales codrilo.
Sujetacables	Inexistente	Inexistente	Inexistente	Inexistente

- **Sitio en general**
Los detalles generales de los sitios de instalación de los SFA visitados se presentan en el cuadro 9.

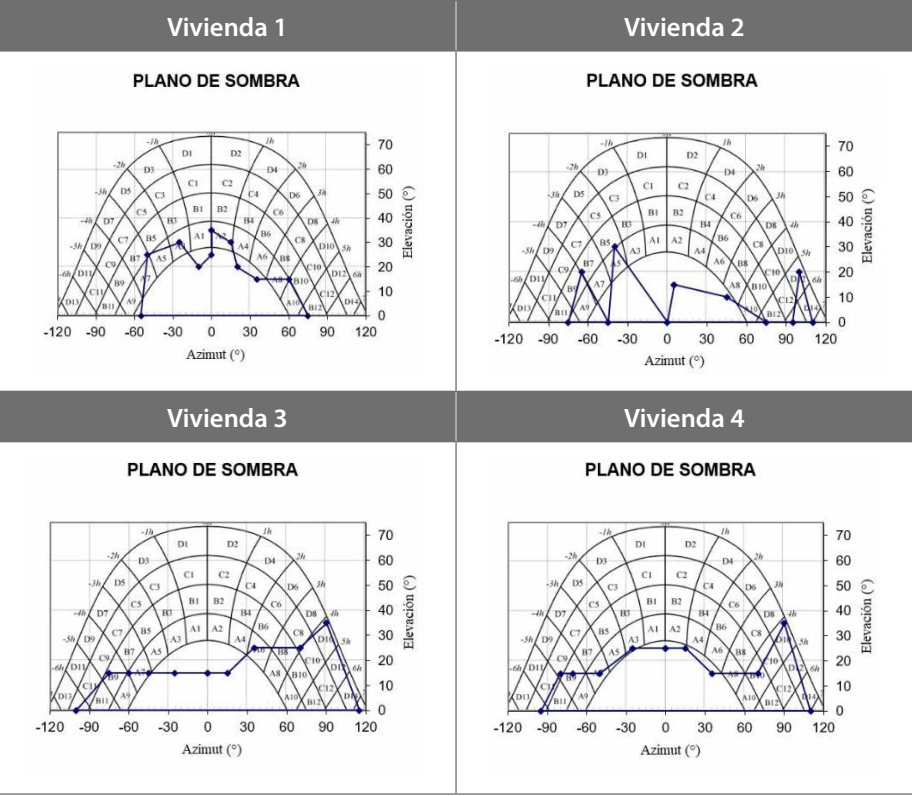
Cuadro 9. Detalles generales de sitio de los SFA visitados en la comunidad nativa de San Antonio

	Vivienda 1	Vivienda 2	Vivienda 3	Vivienda 4
Área disponible	3.20 m × 3.50 m	3 m × 7 m	5 m × 5 m	4 m × 6 m
Caminos de acceso	Accesible, al alcance desde el suelo	Accesible con escalera	Accesible, al alcance desde el suelo	Accesible con escalera
Vegetación	Poda insuficiente, lo que provoca sombreamiento	Poda insuficiente, lo que provoca sombreamiento	Poda insuficiente, lo que provoca sombreamiento	Poda insuficiente, lo que provoca sombreamiento
Cerca perimetral	Inexistente	Inexistente	Inexistente	Inexistente
Erosión	Potencial en épocas de lluvias	Potencial en épocas de lluvias	Potencial en épocas de lluvias	Potencial en épocas de lluvias
Sistema de drenaje	Inexistente: terreno presenta vías formadas como consecuencia de lluvias	Inexistente: terreno presenta vías formadas como consecuencia de lluvias	Inexistente: terreno presenta vías formadas como consecuencia de lluvias	Inexistente: terreno presenta vías formadas como consecuencia de lluvias
Cantidad de partes de reemplazo	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Medidas contra roedores	No se implementan medidas contra roedores.	Se implementan fumigaciones periódicas.	No se implementan medidas contra roedores.	Se implementan fumigaciones esporádicas.

- **Perfil de sombreado sobre campo disponible**

Durante las visitas, se realizó la toma de datos para elaborar el perfil de sombreado sobre el área disponible para la instalación de los módulos fotovoltaicos. Ello es importante porque determina la irradiancia que incide en el módulo y, por tanto, en la generación de energía. Cabe indicar que esta información es únicamente referencial, puesto que, para una evaluación adecuada del potencial, se requiere realizar mediciones durante periodos más prolongados. Los resultados de los perfiles obtenidos se presentan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Perfil de sombreado sobre área disponible para instalación SFA en las viviendas visitadas en la comunidad nativa de San Antonio



3.2.2. Comunidades nativas de Nuevo Kanam (anexo Tutino) y Huampami

Se realizaron visitas en dos viviendas adicionales, ubicadas en dos localidades distintas:

- Comunidad nativa Nuevo Kanam, anexo de Tutino (coordenadas: -4.525518, -78.174868) (vivienda 5)
- Comunidad nativa de Huampami (coordenadas: -4.455753, -78.158316) (vivienda 6)

Los datos generales de los SFA de estas dos localidades, por simplicidad denominadas 2 y 3, se presentan en el cuadro 11. Debe destacarse que ambas viviendas cuentan con pequeños comercios.

Cuadro 11. Datos generales de las SFA visitados en las localidades 2 y 3

	Vivienda 5	Vivienda 6
Características del lugar y edificación	• Terreno arcilloso predominantemente irregular, con vegetación, árboles circundantes de hasta 8 metros de altura • Viviendas de construcción con material noble: estructuras de concreto; paredes exteriores de bloques de concreto y paredes internas de madera; techos a dos aguas cubiertos con calaminas o con las hojas de chikaun.	
Componentes de los sistemas fotovoltaicos instalados	• 2 módulos fotovoltaicos de 150 Wp. • 1 batería de 12 V/100 Ah. • 1 controlador de carga	• 1 módulo fotovoltaico de 150 Wp. • 1 batería de 12 V/200 Ah. • 1 controlador de carga • 1 inversor de onda modificada de 2000 W
Cargas alimentadas y cargas requeridas	• 13 focos de 5 W. • 1 TV LCD	• Cuenta con 6 focos de 5 W • 1 TV LED • 1 equipo de sonido • 1 refrigeradora • 2 neveras • 1 router • 1 decodificador satelital para señal de TV

• **Estado del módulo fotovoltaico**

Se realizó la inspección del estado de los módulos fotovoltaicos instalados; el detalle se presenta en el cuadro 12.

Cuadro 12. Detalle del estado de los módulos fotovoltaicos en los SFA visitados en las localidades 2 y 3

	Vivienda 6	Vivienda 6
Inspección visual de cambios ópticos	• Formación de moho en el vidrio y marco, sobre todo del lado inferior • Rayaduras por fricción en múltiples zonas del vidrio	
Inspección visual de daños mecánicos	No se evidencian.	
Acumulación de suciedad en la superficie fotovoltaica	Acumulación de polvo impregnado en el vidrio	
Lámina posterior	En buen estado	En buen estado
Limpieza del módulo	No se realiza.	No se realiza.

• Estado de la estructura de montaje

Se realizó la inspección de las estructuras de montaje; el detalle se presenta en el cuadro 13.

Cuadro 13. Detalle del estado de las estructuras de montaje de los SFA visitados en las localidades 2 y 3

	Vivienda 5	Vivienda 6
Soporte utilizado para el módulo fotovoltaico	Inexistente (módulo sobrepuesto en el techo de calamina)	Inexistente (módulo sobrepuesto en el techo de calamina)
Daños mecánicos	Ninguno	Ninguno
Fijación de los módulos	Sobrepuesto en techo, sin fijación	Sobrepuesto en techo, sin fijación
Puesta a tierra	Inexistente	Inexistente
Bordes afilados	Sí, de la calamina	Sí, de la calamina

• Estado del controlador de carga

Se realizó la inspección del controlador electrónico de carga de las baterías; el detalle se presenta en el cuadro 14.

Cuadro 14. Detalle del estado del controlador de carga de los SFA visitados en las localidades 2 y 3

	Vivienda 5	Vivienda 6
Mantenimiento de rutina (según especificaciones del fabricante)	No se realiza.	No se realiza.
Inspección visual	No muestra daños ni deterioro; presenta telarañas.	No muestra daños ni deterioro; presenta telarañas.
Luces de advertencia	No se comprueban.	No se comprueban.
Verificación de torque de apriete	No se comprueban.	No se comprueban.
Marcas y etiquetas	No se comprueban.	No se comprueban.
Sistema de ventilación	Inexistente	Inexistente
Puesta a tierra	Inexistente	Inexistente

	Vivienda 5	Vivienda 6
Resistencia de aislamiento	No se comprueban.	No se comprueban.
Conectores	No se comprueban.	No se comprueban.
Fusibles y seccionadores	Inexistentes	Inexistentes
Limpieza	No se realiza; presenta telarañas.	No se realiza.; presenta telarañas.

- **Estado del inversor**

Como se mencionó, la instalación de la vivienda 6 contempla aspectos de una pequeña instalación comercial con sistema de suministro auxiliar y cargas en corriente alterna. En este caso, correspondía realizar la inspección del respectivo inversor de acuerdo con el detalle presentado en el cuadro 15.

Cuadro 15. Detalle del estado del Inversor de los SFA visitados en las localidades 2 y 3

	Vivienda 5	Vivienda 6
Tipo de onda		Sinusoidal modificada
Mantenimiento de rutina conforme a las especificaciones del fabricante	-	No se realiza.
Inspección visual	-	No muestra daños ni deterioro; presenta telarañas.
Luces de advertencia	-	No se comprueban.
Verificación de torque de apriete	-	No se comprueban.
Marcas y etiquetas	-	No se comprueban.
Aire acondicionado o sistema de ventilación	-	Inexistente
Puesta a tierra		Inexistente
Resistencia de aislamiento	-	No se comprueban.
Conectores	-	No se comprueban.
Fusibles y seccionadores	-	Inexistente
Limpieza	-	No se realiza; presenta telarañas.

- **Estado del cableado**
Se realizó la inspección de las conexiones eléctricas de los SFA; el detalle se presenta en el cuadro 16.
- **Protección contra rayos y puesta a tierra**
Las viviendas visitadas no cuentan con ninguna de estas protecciones.
- **Sistema de suministro auxiliar**
La vivienda 6 dispone de un generador a gasolina, que utiliza como respaldo en caso de ausencia de generación fotovoltaica.

Cuadro 16. Detalle del estado del cableado de los SFA visitados en las localidades 2 y 3

	Vivienda 5	Vivienda 6
Tipo de cable	Cable mellizo 18 AWG	Cable empotrado 18 AWG
Aislamiento	No se comprueba.	No se comprueba.
Etiquetado	No se puede identificar.	No se puede identificar.
Ductos protectores	Inexistentes	Inexistentes
Fijación de los cables	No se comprueban, cables atados a los palos	No se comprueban, cables sueltos
Conectores	Inexistentes: conexiones con conductor desnudo; conexión a batería con terminales cocodrilo (presenta oxidación)	Inexistentes: conexiones con conductor desnudo
Sujetacables	Inexistente	Inexistente

- **Sitio en general**
Los detalles generales de los sitios de instalación de los SFA visitados se presentan en el cuadro 17.

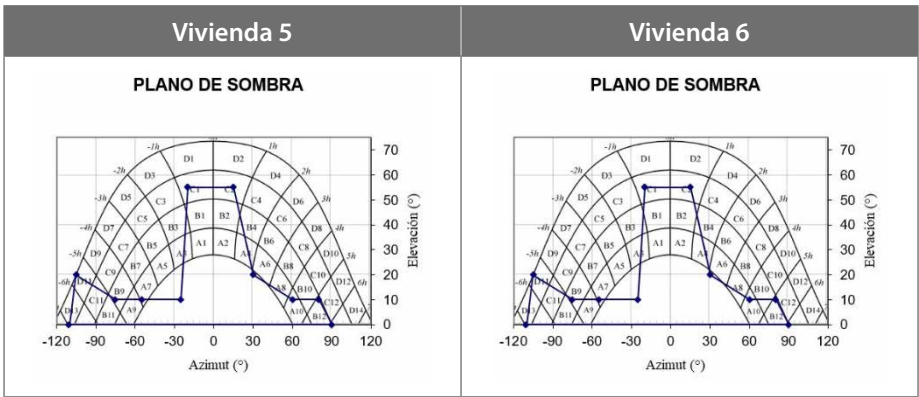
Cuadro 17. Detalles generales de sitio de los SFA visitados en las localidades 2 y 3

	Vivienda 5	Vivienda 6
Área disponible	6 m × 5 m	7.2 m × 5 m
Caminos de acceso	Accesible con escalera	Accesible con escalera con riego debido a la altura
Vegetación	Poda insuficiente, lo que provoca sombreamiento	Poda insuficiente, lo que provoca sombreamiento
Cerca perimetral	Inexistente	Inexistente
Erosión	Potencial en épocas de lluvias	Potencial en épocas de lluvias
Sistema de drenaje	Inexistente; el terreno presenta vías formadas como consecuencia de lluvias.	Inexistente; el terreno presenta vías formadas como consecuencia de lluvias.
Cantidad de partes de reemplazo	Ninguna	Ninguna
Medidas contra Roedores	No se implementan medidas contra roedores.	Se implementan fumigaciones periódicas.

• **Perfil de sombreado sobre campo disponible**

Los perfiles de sombreado sobre campo disponibles para las viviendas 5 y 6 se presentan en el cuadro 18. Como se mencionó antes, esto es importante pues determina la irradiancia que incide en el módulo y por tanto en la energía generada. Los perfiles presentados en el cuadro 12 corresponden a las viviendas de la primera localidad (se trata de valores solo referenciales).

Cuadro 18. Perfil de sombreado sobre área disponible para instalación SFA en las viviendas visitadas en las localidades 2 y 3



3.3. Diagnóstico

En la visita de campo realizada a las comunidades nativas de San Antonio, Nuevo Kanam (anexo de Tutino) y Huampami, se confirmó la ausencia de sistemas fotovoltaicos instalados dentro de los proyectos contemplados en el PNER. Todos los sistemas visitados son instalaciones realizadas de manera particular y empírica, sin el apoyo de una guía de montaje en particular. Si bien estos sistemas producen energía eléctrica, presentan importantes faltas técnicas que configuran un uso inadecuado (subutilización y reducción de vida útil) e importantes riesgos para los usuarios.

3.3.1. Principales observaciones

- Las faltas observadas se listan a continuación, presentándose como evidencia el registro fotográfico de la visita:
- Los módulos fotovoltaicos están sin anclaje a una estructura de montaje (se encuentran superpuestos) y no cuentan con conexión a tierra ni con dispositivos de protección y control.
- Los módulos fotovoltaicos no tienen la orientación correcta, lo cual reduce la radiación incidente y limita la producción de energía a una fracción del potencial disponible.
- Cableado inadecuado para las condiciones de intemperie, carente de protección, con recorridos mayores a 8 metros y con calibres inferiores a los recomendados (16 AWG o 18 AWG).
- Ausencia o mal estado de terminales de conexión eléctrica. Se evidencia que 5 de las 6 instalaciones realizan la conexión —con los módulos, controlador de carga o baterías— mediante conductor desnudo, sin usar terminales. Esto implica un ajuste mecánico inadecuado que puede desprenderse fácilmente o deteriorarse, y producir falsos contactos.
- Baterías en ubicaciones inadecuadas, expuestas a la manipulación o contacto accidental de terminales.
- Controladores de carga —e inversor, en un caso— sin caja de protección adecuada para climas húmedos, de acuerdo con la norma IEC 60529. Esto expone los equipos al deterioro por corrosión y a accidentes por presencia de insectos y arácnidos.
- Controladores de carga —e inversor, en un caso— sin conexión a tierra, sin sistema de ventilación, y sin dispositivos de protección y maniobra.

- Inversor con salida de onda sinusoidal modificada, inadecuado para cargas electrónicas como televisores, computadoras, equipos de sonido, etc.

Figura 13. Módulo fotovoltaico sobrepuesto en calamina y con limpieza inadecuada



Figura 14. Módulo fotovoltaico orientado al oeste con una inclinación de 50° (a las 16 horas).
Tiene poca captación en el día por la incorrecta orientación



Figura 15. Módulo montado sobre calamina con difícil acceso para inspección y limpieza



**Figura 16. Uso de cables mellizos para la conexión al controlador ubicado a 15 metros.
Cable expuesto a la alta temperatura de la calamina en días soleados y a potenciales cortes
debidos al borde afilado**



Figura 17. Cableado suelto (expuesto), sin señalización y conectado a la batería sin terminales (cable desnudo), lo que no garantiza adecuado ajuste

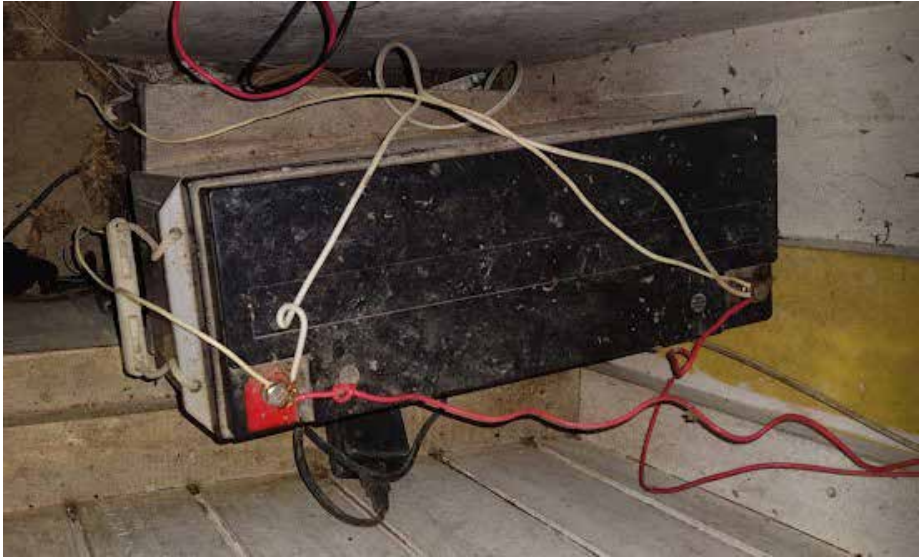


Figura 18. Controlador sin caja de protección y cableado expuesto



3.3.2. Principales riesgos

Las características mencionadas reducen la energía producida por los sistemas, comprometen la vida útil de los componentes y acarrear importantes riesgos para el usuario final, como los siguientes:

Riesgos mecánicos

- Riesgo de caída de los módulos fotovoltaicos no sujetos, debido a la pendiente de los techos, y acción del viento o del usuario (por jalado de cables), que podrían ocasionar lesiones por impacto, punción y corte. El mismo módulo fotovoltaico podría sufrir daños que lo inhabilitarían.
- Riesgo de caída de las baterías, debido a que los módulos son trasladados o puestos sobre troncos, lo que puede producir lesiones por impacto en pies, así como el daño de la batería.

Riesgos térmicos

- Riesgo de quemaduras en días de soleados al contacto con los módulos fotovoltaicos. La temperatura de operación de los módulos es mayor a la del ambiente, debido a las calaminas y a la circulación de la corriente eléctrica producida. Por ello, se requiere de sistemas de ventilación natural, mediante la inclusión de espacios para la circulación del aire. La operación sin ventilación acelera la degradación de las celdas fotovoltaicas, lo que disminuye la potencia del módulo fotovoltaico.

Riesgos eléctricos

- Quemaduras por corriente eléctrica a causa de contacto accidental en caso de controladores de carga o baterías expuestas.
- Incendio por formación de arcos eléctricos, por “falso contacto” como consecuencia de la corrosión en los puntos de conexión. Este riesgo aumenta debido a conexiones realizadas con conductor desnudo.
- Riesgos de la carga estática por no tener línea a tierra. Durante su operación, el chasis de determinados componentes (controlador de carga y módulos fotovoltaicos) adquiere una carga eléctrica que puede descargarse accidentalmente, lo que puede generar perjuicio. Por ejemplo, puede energizar la calamina metálica, un hecho potencialmente

riesgoso para el usuario. Para evitar este tipo de situaciones, dichos componentes deben tener un sistema de puesta a tierra.

- Explosión por sobretensión en las baterías. En caso de no utilizar controladores de carga (conexión directa de módulos fotovoltaicos a baterías), se produce la aplicación de tensión excesiva en la batería, lo cual reduce su vida útil, las deforma y genera el riesgo de explosión por sobretensión.

Riesgos químicos

- Contaminación con plomo, que puede emanar de las baterías deterioradas (chasis con filtraciones), producto de golpes o de la deformación por sobretensión.
- Quemadura, irritación e intoxicación por la emanación de ácido de las baterías deterioradas.

3.3.3. Identificación de tipos de instalaciones

A pesar de tratarse de una muestra reducida de instalaciones, se pueden distinguir dos tipos: domiciliarias sin negocio (viviendas 1 a 4) y con negocio (viviendas 5 y 6):

- En las viviendas sin negocio, la demanda energética está destinada prioritariamente a la iluminación. En todos los casos, los usuarios indican que la generación es insuficiente, ya que requieren ampliar la iluminación a más ambientes y utilizar equipos de refrigeración para la conservación de alimentos, así como herramientas (máquinas) que potencien sus trabajos, tales como la elaboración de vasijas cerámicas, contenedores, tejido artesanal o trabajos en madera.
- En el caso de las viviendas con negocio, los usuarios manifiestan la necesidad de ampliar la capacidad de generación, ya sea para incluir más equipos, principalmente de refrigeración, o para reducir el consumo de gasolina utilizada para la generación mediante grupo electrógeno.

3.4. Propuestas de SFA

Debido a su amplia utilización, existen procedimientos estandarizados para el diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos, los cuales dan origen a las

referencias normativas mencionadas en la sección anterior. Además de los criterios establecidos por las normas, particularmente la IEC 62124, los detalles del procedimiento de diseño básico para sistemas fotovoltaicos autónomos se presentan en el libro *Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems* (2016) del profesor Ollindo Isabella.

3.4.1. Evaluación de la demanda energética

La demanda responde al estilo de vida y a las actividades desarrolladas actualmente en la zona, tales como la alfarería y las piscigranjas en el caso de las viviendas sin negocio, y, en el caso de las viviendas con negocio, los servicios prestados: venta de pescados congelados, venta de comidas, bebidas e internet por wifi.

Distribución de cargas

En el caso de las viviendas sin comercio, se considera la demanda actual y la demanda potencial necesaria, como para la conservación de alimentos, así como equipos, accesorios o herramientas que contribuyen a potenciar actividades de producción. El detalle se presenta en el cuadro 19.

Cuadro 19. Demanda energética de viviendas sin comercio

Ambiente	Carga(s)
Cocina-comedor	2 focos de 12W, 1 refrigeradora de 180W y 1 TV de 60W
Dormitorio (padres e hijos)	2 focos de 12W
Baño (letrina)	1 foco de 12W
Ducha	1 foco de 12W
Patio	4 focos distribuidos de 12W
Espacio de la caja eléctrica del sistema fotovoltaico	1 foco de 12W
De producción (piscigranja, alfarería)	Atrapa insectos, torno de alfarero, de 150W

En el caso de las viviendas con comercio, el principal objetivo de la instalación es reducir o reemplazar el uso de generadores a gasolina o diésel; el detalle de demanda energética se presenta en el cuadro 20.

Cuadro 20. Demanda energética de viviendas con comercio

Ambiente	Carga(s)
Cocina-comedor	2 focos de 12 W, 1 refrigerador de 180 W y una nevera 200 W
Dormitorio (padres e hijos)	2 focos de 12 W
Baño (letrina)	1 foco de 12 W
Ducha	4 foco de 12 W, TV con decodificador de 90 W, equipo de sonido de 100 W
Patio	4 focos distribuidos de 12 W
Espacio de la caja eléctrica del sistema fotovoltaico	1 foco de 12 W
De producción (piscigranja, alfarería)	1 router satelital de 20 W

Requerimiento energético

Este parámetro fue evaluado considerando las características técnicas de las cargas (equipos) que alimentan —o desean alimentar— los entrevistados, así como la distribución horaria del uso de estos equipos a lo largo de un día. En el caso de las viviendas sin comercio, la tabla de cargas se presenta en el cuadro 21, en la que se detalla el tiempo de uso promedio de los principales equipos durante un día, para estimar la demanda energética diaria promedio.

Cuadro 21. Tabla de cargas para la localidad sin comercio

Aparato	Cantidad	Potencia (W)	Horas de uso diario (h/día)	Energía diaria (Wh/día)
Focos LED	11	12	4	528
TV	1	60	3	180
Refrigeradora	1	230	4	920
Torno de alfarero o atrapa insectos	1	150	3	450

Demanda energética total diaria: 2102 Wh

La proyección de la distribución horaria del consumo de las viviendas sin comercio se presenta en las figuras.

Figura 19. Distribución horaria de demanda por carga para viviendas sin comercio

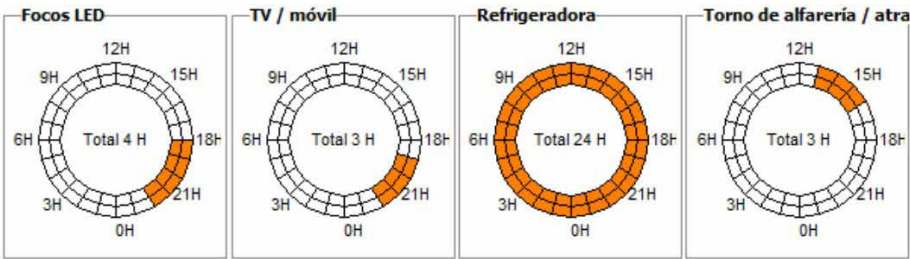
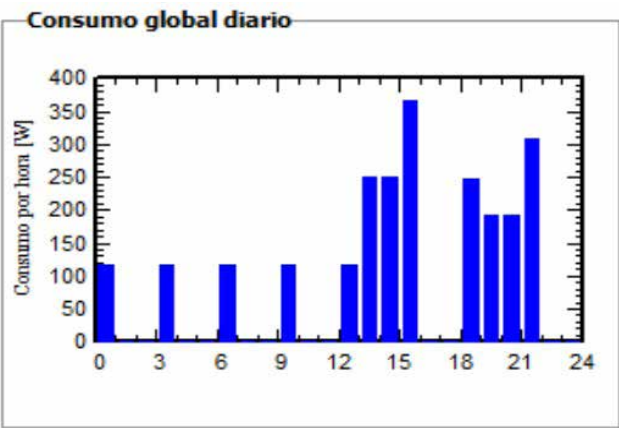


Figura 20. Distribución horaria de consumo (potencia) para viviendas sin comercio



Para el caso de las viviendas con comercio, la tabla de cargas se presenta en el cuadro 22 y las respectivas distribuciones horarias de consumo se presentan en las figuras siguientes.

Cuadro 22. Cargas para la localidad con comercio

Aparato	Cantidad	Potencia (W)	Horas de uso diario (h/día)	Energía diaria (Wh/día)
Focos LED	14	12	4	672
TV	1	90	6	540
Refrigeradora	1	230	4	920
Nevera	1	250	4	1000
Equipo de sonido	1	100	8	800
Router	1	20	6	120

Demanda energética total diaria: 4052 Wh

Figura 21. Distribución horaria de demanda por carga para viviendas con comercio

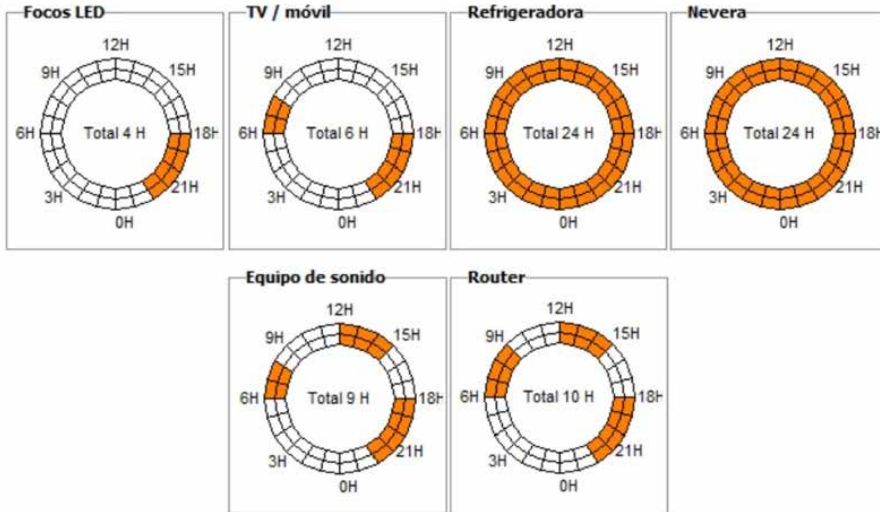
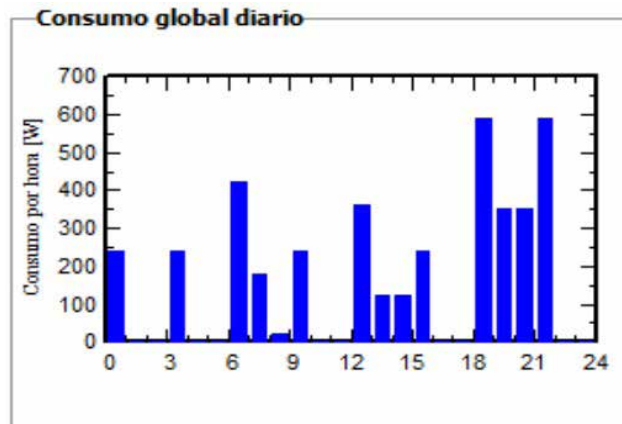


Figura 22. Distribución horaria de consumo (potencia) para viviendas con comercio



Se aprecia que el consumo energético esperado para una vivienda con comercio es aproximadamente el doble del correspondiente a una vivienda sin comercio. No obstante, se debe considerar que para las viviendas sin comercio se ha tomado en cuenta la electrificación de la actividad alfarera, cuya demanda constituye aproximadamente el 20 %.

3.4.2. Oferta energética solar

Datos meteorológicos

Se ha tomado información de la base de datos de Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), un *software* del Joint Research Center de la Comisión Europea, orientado al estudio del recurso solar y el potencial fotovoltaico¹⁵, que permite utilizar información específica de dicho potencial, obtenida a partir de las instituciones de los Estados colaboradores. En el caso peruano, la información es suministrada por el Senamhi, cuya estación meteorológica se encuentra en Santa María de Nieva. Cabe mencionar que, en caso de que el ente que suministra los datos no pueda entregar todas las mediciones requeridas, PVGIS dispone de modelos estadísticos que permiten estimar los datos faltantes. Los principales datos meteorológicos se presentan en el cuadro 23, los cuales son coherentes con los registrados durante la visita de campo (véase figura 24).

Cuadro 23. Datos meteorológicos considerados para el diseño

Mes	Irradiación horizontal (kWh/m2·día)	Temperatura media (°C)	Velocidad del viento (m/s)	Humedad relativa media (%)
Enero	3.34	23.5	0.56	89.2
Febrero	4.18	23.6	0.59	88.7
Marzo	3.97	23.3	0.62	88.9
Abril	4.57	23.0	0.59	87.2
Mayo	4.39	23.0	0.60	89.0
Junio	4.27	22.3	0.59	87.9
Julio	4.11	22.1	0.63	85.8
Agosto	4.73	23.3	0.65	86.4
Septiembre	5.10	24.4	0.67	83.6
Octubre	4.83	24.5	0.63	88.6
Noviembre	4.82	24.5	0.60	88.9
Diciembre	4.33	23.0	0.62	86.1

15 Se puede acceder al software mediante el siguiente enlace.

Figura 23. Muestra de las condiciones ambientales alcanzadas en el lugar:
irradiancia, temperatura ambiente y humedad relativa.



Criterios empleados

Para efectos de diseño de los sistemas, se aplicaron los siguientes criterios:

- Se ha tomado la irradiación más baja —3.34 kWh/m²·día— es decir, el peor mes para conseguir un mayor número de días abastecidos energéticamente por el sistema fotovoltaico. La sobregeneración en los días o meses de mayor irradiación abastecerá al sistema de climatización de las baterías, para evitar la reducción de su vida útil.
- Debido a que las temperaturas ambientales superan los 30 °C durante el día en esta región, es necesario dotar de climatización la cabina que contendrá las baterías y los equipos electrónicos: las baterías son afectadas significativamente en su vida útil, y los equipos electrónicos decaen en su potencia y eficiencia.
- El sistema será de tipo autónomo, con sistema de acumulación y un grupo generador auxiliar de emergencia.
- Por su ubicación en inmediaciones de la línea ecuatorial, el plano del generador deberá estar orientado en la dirección norte-sur y tener la opción de dos inclinaciones: 15° mirando al norte en otoño e invierno, y 15° mirando al sur en primavera y verano a fin de maximizar la producción energética.

3.4.3. Propuestas de sistemas fotovoltaicos autónomos

Sobre la base de los criterios mencionados y la información obtenida de PV-GIS, se proponen a continuación sistemas fotovoltaicos autónomos domiciliarios y los resultados obtenidos en el *software* de simulación:

Vivienda sin comercio

Según la simulación, el sistema permitirá atender el requerimiento energético de iluminación de todos sus ambientes y, de acuerdo con la entrevista, abastecer equipos de conservación de alimentos perecibles como refrigeradoras, así como herramientas que potencien sus actividades productivas, tales como la construcción de vasijas cerámicas y la elaboración de contenedores de tejido artesanal o en madera. La sumilla del sistema propuesto para viviendas sin comercio se presenta en el cuadro 24.

Cuadro 24. Sumilla del sistema fotovoltaico propuesto para las viviendas sin negocio

Parámetro	Valor
Energía demandada	2102 Wh
Irradiación diaria media mensual más baja	3340 Wh/m ² -día
Índice de rendimiento (PR)	0.7
Potencia pico requerida por el generador	2460 W
Voltaje nominal del arreglo de baterías	48 V
Capacidad nominal del arreglo de baterías a C20	155 Ah
Profundidad de descarga de las baterías	70 %
Potencia de carga y descarga del controlador	2000 W
Potencia del inversor	1500 W
Parámetros de red del inversor	Monofásico/220 V/60 Hz

El diseño fue simulado para estimar la producción energética anual y se obtuvieron los resultados del cuadro.

Cuadro 25. Resultados de la simulación en PVGIS del diseño
propuesto para las viviendas sin comercio

Resumen de resultados	
Tipo de sistema	Sistema independiente con baterías
Producción del sistema	2892 kWh/año
Producción específica	1176 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento	0.223
Producción normalizada	0.98 kWh/kWp/día
Pérdidas del conjunto	3.02 kWh/kWp/día
Pérdidas del sistema.	0.39 kWh/kWp/día

Viviendas con comercio

El diseño se realizó con el objetivo de reducir el consumo actual de generación mediante gasolina, estimado a partir de la información de las entrevistas. La sumilla del sistema fotovoltaico propuesto para las viviendas con negocio se presenta en el cuadro 26, mientras que los respectivos resultados de simulación se presentan en el cuadro 27.

Cuadro 26. Sumilla del sistema fotovoltaico propuesto para las viviendas con negocio

Parámetro	Valor
Energía demandada	4052.0 Wh
Irradiación diaria media mensual más baja	3340 Wh/m2-día
Índice de rendimiento (PR)	0.7
Potencia pico requerida por el generador	3400 W
Voltaje nominal del arreglo de baterías	48 V
Capacidad nominal del arreglo de baterías a C20	190 Ah
Profundidad de descarga de las baterías	70 %
Potencia de carga y descarga del controlador	3500 W
Potencia del inversor	1500 W
Parámetros de red del inversor	Monofásico/220 V/60 Hz

Cuadro 27. Resultados de la simulación en PVGIS del diseño
propuesto para las viviendas con comercio

Resumen de resultados	
Tipo de sistema	Sistema independiente con baterías
Producción del sistema	4031 kWh/año
Producción específica	1172 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento	0.270
Producción normalizada	1.18 kWh/kWp/día
Pérdidas del conjunto	2.81 kWh/kWp/día
Pérdidas del sistema.	0.40 kWh/kWp/día

4. Diagnóstico Energético de 3 comunidades campesinas en el sur andino

Esta sección es un estudio diagnóstico de la situación del suministro eléctrico en tres zonas de las provincias de Chumbivilcas, Cotabambas y Espinar, y un estudio de la factibilidad de implementar la energía solar para ayudar en la transición de la generación de energía de los sistemas tradicionales basados en combustibles fósiles a una fuente más sostenible.

4.1. Selección de áreas de estudio

4.1.1. Descripción del proceso de selección

El objetivo fue seleccionar una muestra de comunidades campesinas de las provincias de Chumbivilcas, Cotabambas y Espinar en coordinación con CooperAcción. El proceso de selección implicó una combinación de análisis de escritorio de las tres provincias utilizando sistemas de información geográfica (SIG), un estudio estadístico con datos del INEI, un análisis visual de las áreas mediante imágenes satelitales y, de manera central, el profundo conocimiento sobre el terreno del equipo de CooperAcción. A continuación, se presenta una breve descripción de los criterios utilizados en el proceso de selección y la metodología aplicada para combinar estos criterios con el objetivo de seleccionar las comunidades adecuadas para el estudio.

Los criterios que se emplearon para la selección fueron los siguientes:

- cantidad y calidad de la luz solar;
- topografía del terreno;
- características demográficas (como población y densidad poblacional);
- acceso actual a la electricidad;
- infraestructura de interconexión eléctrica;
- carreteras y otras infraestructuras de acceso; y

- proximidad a grandes centros de carga.

4.1.2. Selección final de las comunidades de muestra

Utilizando la metodología de selección de sitios descrita anteriormente, se generó una matriz de factibilidad que clasificó cada ubicación potencial mediante 6 indicadores de viabilidad de diferentes modelos de implementación de energía solar (explicados más adelante en este estudio).

Cuadro 28. Matriz de factibilidad

Criterios	Taqllapampa	Paco Paco	Huancané Bajo
Cantidad y calidad de la luz solar	✓	✓	✓
Topografía del terreno	—	✓	✓
Características demográficas	✓	—	✓
Infraestructura de interconexión eléctrica	✓	✗	✓
Carreteras y otras infraestructuras de acceso	—	✗	✓
Proximidad a grandes centros de carga	—	✗	✓

Clave de clasificación

✓	Excelente para la implementación de sistemas grandes y pequeños de energía solar
✗	Pobre para la implementación de grandes sistemas de energía solar
—	Neutro para la implementación de grandes sistemas solares

Tras el análisis, se seleccionaron como muestra para el estudio las comunidades campesinas de Taqllapampa, Paco Paco y Huancané Bajo. Es importante tener en cuenta que, si bien algunas ubicaciones no son ideales para la

instalación de sistemas grandes, siguen siendo excelentes candidatas para sistemas más pequeños fuera de la red. Más adelante, en este estudio, se explorarán los diferentes modelos de implementación de energía solar más adecuados para cada una de estas tres ubicaciones.

4.2. Visitas al sitio

4.2.1. Propósito de las visitas al sitio

La gran cantidad de información recopilada durante el análisis de escritorio utilizando SIG y el conocimiento transmitido por el equipo de CooperAcción fue aprovechada durante las visitas al sitio. El propósito general de estas visitas fue confirmar los hallazgos del análisis de escritorio con respecto a los siguientes parámetros:

- topografía;
- infraestructura eléctrica existente;
- acceso;
- densidad de población; y
- proximidad a cargas eléctricas.

Además, estas también se diseñaron para recopilar información sobre las necesidades energéticas actuales y futuras de los residentes, con el fin de diseñar un sistema de energía renovable que las satisfaga, teniendo en cuenta las limitaciones de la infraestructura existente.

4.2.2. Preparación para las visitas al sitio

Con el fin de planificar de manera efectiva las visitas al sitio, se realizó un análisis SIG preparatorio para recopilar lo siguiente:

- datos de insolación solar;
- información del terreno;
- datos de infraestructura eléctrica existente y propuesta;
- infraestructura de acceso vial; y
- estadísticas demográficas.

Estos análisis permitieron evaluar la prefactibilidad de las ubicaciones antes de la visita al sitio. Los resultados incluyeron las ubicaciones potenciales para la instalación de sistemas de energía renovable. A continuación, se muestra un ejemplo de los resultados de los análisis SIG realizados antes de la visita al sitio.

Figura 24. Análisis SIG previo a la visita de Huancané Bajo



Figura 25. Análisis SIG previo a la visita de Huancané Bajo



Figura 26. Análisis SIG previo a la visita de Huancané Bajo



Además de los SIG previos y de los análisis estadísticos, también se preparó una lista de verificación/cuestionario para registrar nuestras conversaciones con los residentes de estas comunidades. El contenido principal de la lista de verificación es el siguiente:

- Cuestionario de auditoría energética
- Facturas de electricidad
- Fuentes actuales de energía (electricidad/calor/luz), incluido el combustible utilizado y el costo del combustible
- Necesidades energéticas futuras para:
 - Calefacción de espacios
 - Calentamiento de agua
 - Bombeo de agua
 - Invernaderos
 - Carga de vehículos eléctricos
 - Cocción
 - Instalaciones públicas

- Cercas eléctricas
- Idoneidad del terreno para la instalación de sistemas de energía solar
- Costo de un terreno adecuado

La gran cantidad de trabajo realizado antes de las visitas permitió cubrir los tres sitios —repartidos a grandes distancias— de manera eficiente y rápida.

4.3. Descripción de las áreas de estudio

4.3.1. Situación actual de Taqllapampa

Taqllapampa se encuentra dentro de la comunidad originaria de Tuntuma, en el distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas, región Cusco. Se visitó específicamente uno de los 6 sectores de la comunidad de Taqllapampa; este se encuentra a 11 km de Velille, y a una altitud de 3852 metros sobre el nivel medio del mar. Como se ve en la imagen satelital, el terreno en el área es ondulado.

Figura 27. Vista aérea de Taqllapampa (Google Earth)



Aparte de las áreas sombreadas en azul (centro de la población) en la imagen satelital de arriba, la población de Taqllapampa y Tuntuma está dispersa en un área amplia y no concentrada. Ambas localidades están conectadas con Velille por la ruta 127. La mayoría de los residentes utiliza vehículos privados y motos para desplazarse hacia esta localidad.

Asimismo, aproximadamente el 70 % de los hogares tiene acceso a energía eléctrica suministrada por ElectroSur Este mediante líneas de baja tensión. Los residentes pagan entre PEN 0.30 y PEN 0.80 por kWh, y, además, a pesar de tratarse de una zona rural, deben abonar una tarifa adicional destinada a apoyar la electrificación rural. El alto costo de la electricidad ha resultado en un uso muy bajo del servicio por parte de los miembros de la comunidad (véase la foto de la factura de electricidad).

A partir de las entrevistas con residentes de la zona, se pudo determinar que, hace unos diez años, antes de que la zona se conectara a la red eléctrica, ElectroSur había instalado paneles solares en la comunidad y cobraba una cuota fija mensual de aproximadamente S/ 10. Sin embargo, unos años más tarde, sin explicación alguna, ElectroSur retiró estos paneles solares e instaló conexiones por cable a aproximadamente el 70 % de los hogares de la comunidad.

Figura 28. Recibo de luz de un residente de Taqllapampa



Los miembros de la comunidad consumen, en mayor proporción, energía proveniente del gas licuado de petróleo, empleado para cocinar y suministrado en cilindros. El hogar promedio utiliza aproximadamente dos cilindros de gas por mes, a un costo de alrededor de PEN 58 por cilindro.¹⁶

Cuadro 29. Resumen del área de estudio e infraestructura de Taqllapampa

Ubicación	Tuntuma, distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas, región Cusco
Acceso	A 11 km Velille, conectado con por la ruta 127
Transporte	Autos privados y motos
Topografía	Ondulante
Conexión a red eléctrica	Conectada a la red eléctrica de ElectroSur a través de líneas de baja tensión, electrificadas en un 70 %
Cocción	Bombonas de gas
Acceso a agua	Acceso al agua entubada

Solicitudes de la comunidad para el uso futuro de la electricidad

- Iluminación
- Calefacción
- Cocción
- Cercas eléctricas
- Invernadero

4.3.2. Situación actual de Paco Paco

Paco Paco se encuentra dentro de la comunidad de Asacasi, en el distrito de Tambobamba, provincia de Cotabambas, en la región Apurímac. La visita se realizó específicamente al sector de Pampocorral, dentro de la comunidad de Asacasi. Este sector está ubicado a 5 km de Asacasi y a 15 km de Tambobamba, a una altitud de 4300 metros sobre el nivel medio del mar.

16 Información obtenida de entrevistas a residentes.

Figura 29. Vista aérea de Paco Paco (Google Earth)



En la localidad, hay entre 25 y 30 viviendas permanentes, con un promedio de 3 a 4 habitantes por vivienda. Como se observa en la imagen satelital y en las fotografías —y según se confirmó durante las visitas al sitio— las casas se encuentran separadas entre sí por aproximadamente 1 km. La tierra intermedia sirve como terreno de pastoreo comunitario para el ganado, principalmente llamas. Paco Paco está conectado por carreteras en mal estado con Asacasi (a 5 km) y Tambobamba (a 15 km). La mayoría de los residentes se desplazan a pie hasta ambas localidades.

La comunidad no cuenta actualmente con acceso a electricidad, salvo por un par de residentes que disponen de lámparas solares, las cuales funcionan durante unas pocas horas tras cargarse durante el día. Los miembros de la comunidad emplean principalmente el estiércol como fuente de energía, para cocinar y calentarse.

Cuadro 30. Resumen del área de estudio e infraestructura de Paco Paco

Ubicación	Comunidad de Asacasi, distrito de Tambobamba, Provincia de Cotabambas, región Apurímac
Acceso	A 5 km de Asacasi y a 15 km de Tambobamba (15 km), conectado por una carretera en ruinas
Transporte	Andante
Topografía	Plano
Conexión a red eléctrica	Sin acceso a la electricidad
Cocción	Estiércol de llama
Acceso a agua	Caminata hasta el manantial a unos 3 km de distancia para el transporte manual

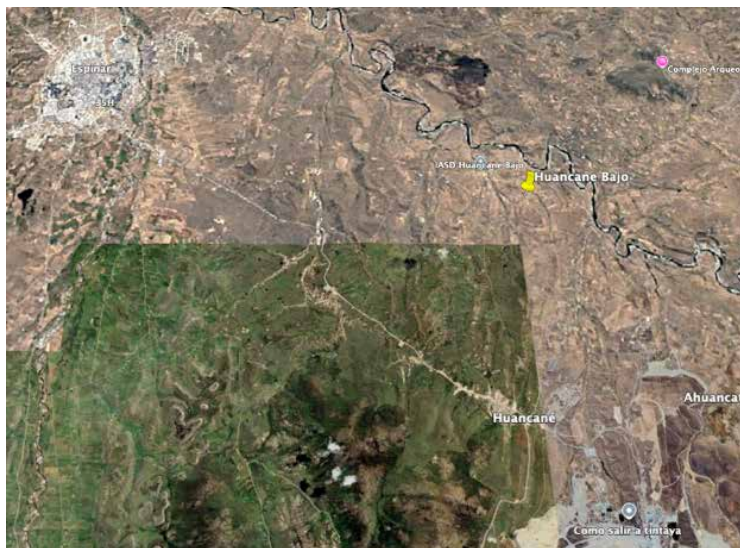
Solicitudes de la comunidad para el uso futuro de la electricidad

- Iluminación
- Calefacción
- Cocción
- Bombas de agua
- Estaciones de carga de patinetes eléctricos
- Telemedicina
- Escuelas virtuales
- Cercas eléctricas
- Invernadero

4.3.3. Situación actual de Huancané Bajo

Huancané Bajo se encuentra en el distrito de Yauri, provincia de Espinar, región Cusco. La visita se realizó específicamente a una de las comunidades del sector Coccareta, ubicada a 2 km de Tintaya Marquiri y a 15 km de Espinar, a una altitud de 3924 metros sobre el nivel medio del mar. Como se observa en la imagen satelital, el terreno en el área es extremadamente plano.

Figura 30. Vista aérea de Huancane Bajo (Google Earth)



Hay alrededor de 70 casas en esta comunidad, de las cuales entre 15 y 20 corresponden a residentes permanentes de la zona. Las viviendas están ubicadas bastante cerca unas de otras. Se encuentra conectada con Espinar (a 15 km) por la carretera PE3S, ubicada a solo 2 km de distancia. La mayoría de los residentes utiliza autobuses, coches privados y motos para viajar a Espinar.

Además, la mina Tintaya se localiza a menos de 1 km, la cual está conectada a la red eléctrica mediante líneas de transmisión de alta tensión (220 kV y 138 kV), que pasan por una subestación de 138 kV. Si bien se instalaron líneas de baja tensión justo en la entrada de la comunidad, estas aún no han sido energizadas. Todas las casas fueron provistas de paneles solares con baterías, instalados por la municipalidad con fondos recolectados de la mina Tintaya. Estos sistemas son capaces de alimentar algunos dispositivos de baja potencia, como luces, por hasta 3 días con una sola carga a través de los paneles solares.

Los miembros de la comunidad emplean como fuente de energía, en su mayor parte, gas licuado de petróleo, para cocinar, suministrado en cilindros. El hogar promedio utiliza aproximadamente un cilindro cada 3 o 4 meses, a un costo de alrededor de PEN 50 por unidad. Este consumo se complementa con estiércol animal, que también es utilizado como combustible para cocinar.

Cuadro 31. Resumen del área de estudio e infraestructura de Huancane Bajo

Ubicación	Distrito de Yauri, provincia de Espinar, región Cusco
Acceso	Conectado con Espinar (a 15 km) por la autopista 3S (a 2 km)
Transporte	Autobuses, autos privados y motos
Topografía	Plano
Conexión a red eléctrica	Sin conexión a la red eléctrica energizada, paneles solares con baterías
Cocción	Bombonas de gas y estiércol de animales
Acceso a agua	Depósito de agua de 15 m3 en el centro de la comunidad

Coccareta ha formado la Asociación de Productores Agropecuarios de Río Tintaya Coccareta, pero actualmente está evaluando separarse de la comunidad de Huancané Bajo, lo que podría impactar la implementación de un

proyecto de energía solar, especialmente por la intervención de las autoridades rectoras de las tierras comunitarias.

Solicitudes de la comunidad para el uso futuro de la electricidad

- Iluminación
- Calefacción
- Televisión
- Mezcladores
- Cocción
- Bombas de agua
- Cercas eléctricas
- Invernadero

4.4. Potencial de generación de energía renovable

A continuación, se evalúa el potencial de generación de energía renovable en las tres áreas de estudio. Si bien estas comunidades podrían ser alimentadas por una variedad de fuentes, como energía microhidráulica, eólica, biomasa, geotérmica y solar, este estudio se centra únicamente en la generación de electricidad a partir de paneles solares.

Caba anotar que, como la energía solar es altamente modular, el sistema puede escalarse según las necesidades específicas de una comunidad, ya sea una ciudad grande como Lima o una comunidad muy pequeña como Paco Paco. Otros sistemas de energía renovable requieren una demanda eléctrica mínima —a menudo en el rango de una pequeña ciudad o industria— para ser financieramente viables.

4.4.1. Metodología para evaluar el potencial de generación de energía solar

La evaluación del potencial de generación de energía solar implica múltiples pasos.

1. Se estimó la cantidad de luz solar disponible en las áreas de estudio. Esta estimación constituye la línea de base para la evaluación, ya que la

cantidad de luz solar —que es, en efecto, el “combustible” para los paneles solares— determina el tamaño del sistema necesario para satisfacer las necesidades energéticas actuales y futuras de la comunidad. La estimación se realiza utilizando conjuntos de datos de insolación solar disponibles públicamente, los cuales combinan mediciones sobre el terreno con extrapolaciones basadas en imágenes satelitales a nivel mundial.

En los casos específicos de las tres áreas de estudio, se utilizaron datos del Satélite Ambiental Operacional Geoestacionario (GOES), procesados por la Base de Datos Nacional de Radiación Solar (NSRDB) y accesibles a través del Explorador de Datos de Energía Renovable (REDE) del National Renewable Energy Laboratory (NREL), para evaluar la cantidad de luz solar. Dicha cantidad se expresa en kilovatios hora (kWh) de energía solar que incide sobre cada metro cuadrado de tierra en el área de estudio por día.

2. A continuación, se estima el tipo ideal de paneles solares y el tipo de estanterías que se instalarán en las zonas de estudio. Existen distintos tipos de paneles solares según los materiales utilizados para fabricarlos. Cada uno presenta niveles de eficiencia variables, determinados tanto por el tipo de panel como por la temperatura ambiente en la que opera. Cuanto mayor sea la eficiencia del panel para convertir la luz solar en electricidad, menor será el número de unidades necesarias para satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad, considerando una cantidad fija de luz solar incidente.

Las estanterías son la estructura sobre la cual se montan los paneles solares. Estos pueden instalarse sobre varillas y pilotes, fijando su orientación (sistemas de inclinación fija), o bien sobre estanterías con engranajes móviles que permiten que los paneles sigan el movimiento del sol a lo largo del día (sistemas de seguimiento).

Dado que los sistemas de seguimiento tienen partes móviles, su instalación suele ser entre un 10 % y un 20 % más costosa. Sin embargo, al seguir al sol durante todo el día, permiten que los paneles generen entre un 20 % y un 30 % más de electricidad. Esto se debe a que los paneles convierten la luz solar de forma más eficiente cuando incide perpendicularmente sobre ellos, en comparación con aquella que llega en ángulo.

En este caso, se optó por paneles de silicio cristalino, ya que son los más ampliamente disponibles y ofrecen buen rendimiento a grandes altitudes, bajo luz solar intensa y temperaturas bajas.

En cuanto a las estanterías, la solución ideal depende del propósito y del tamaño del sistema instalado. Los sistemas de mayor escala, diseñados para exportar o vender el excedente de electricidad, se benefician de la mayor generación (20 %-30 %) que ofrece el sistema de seguimiento. En cambio, los sistemas más pequeños, destinados únicamente a cubrir la demanda eléctrica de un hogar individual, resultan más adecuados con un sistema de inclinación fija, debido a su menor costo y menor generación. Estas compensaciones se consideran al momento de tomar decisiones técnicas específicas para cada una de las áreas de estudio.

3. A continuación, se estimó la demanda eléctrica actual y futura de cada una de las zonas de estudio. Esta estimación se realiza utilizando dos métodos: primero, revisando las facturas de electricidad actuales y el consumo de los hogares incluidos en la muestra de las áreas de estudio, así como mediante entrevistas con los miembros de la comunidad sobre los posibles usos futuros de la electricidad; segundo, empleando el consumo promedio de electricidad en hogares ubicados en zonas del Perú con un 100 % de electrificación. Esta es otra variable importante que interviene en la estimación del tamaño del sistema de energía solar requerido.
4. Luego, utilizando la cantidad de luz solar, el tipo de paneles solares y estanterías, así como la demanda de electricidad actual y futura estimada, se calcula el tamaño del sistema de energía solar + batería a instalar. A modo de ejemplo ilustrativo:

[A]: si la cantidad de sol es de 6 kWh/m²/día,

[B]: la eficiencia de los paneles solares es del 25 %;

[C]: entonces, la producción de cada 1 m² de paneles solares [C] sería de 1,5 kWh/día

$[C = A \times B = 6 \times 25 \% = 1,5 \text{ kWh/día}]$

[D]: Cada panel solar tiene aproximadamente 2 m² de área. Por lo tanto, cada panel generaría 3 kWh/día

[E]: Si la demanda estimada de una comunidad es de 30 kWh/día

[F]: entonces el número de paneles solares necesarios sería 10

[F = E ÷ D = 30 ÷ 3 = 10 paneles].

5. Finalmente, se estimó la cantidad de almacenamiento de batería requerido. Esto es importante, porque el momento en el que se demanda electricidad puede no coincidir con el momento en que los paneles solares generan electricidad (por ejemplo, iluminación durante la noche), ya que el sol solo brilla durante el día.

En el ejemplo anterior, 10 paneles solares generarían 30 kWh/día, lo cual cubriría exactamente una demanda de 30 kWh/día. Sin embargo, si el 10 % de esa demanda se produce por la noche, la batería necesita cargarse durante el día con 3 kWh de electricidad solar para poder liberar esa energía por la noche.

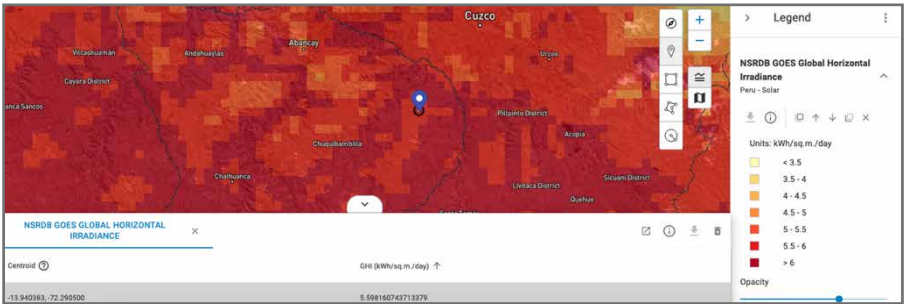
Dado que es casi imposible estimar con precisión la demanda eléctrica por hora sin un medidor que registre y almacene datos de consumo horario, se utilizaron algunas reglas generales y estándares de la industria para calcular el tamaño del almacenamiento de batería necesario.

4.4.2. Ejemplo aplicado de estimación del potencial de generación solar: Paco Paco

Como ejemplo de aplicación de la metodología descrita en la sección anterior, se presenta a continuación el análisis realizado para la comunidad de Paco Paco. La estimación del potencial solar, como se comentó antes, se basó en datos satelitales de irradiación solar provistos por la NSRDB, accesibles a través de la herramienta REDE del NREL.

En la figura, se muestra un ejemplo de salida de dicha herramienta para el caso de Paco Paco. Este resultado indica que, en promedio, la cantidad de energía solar que incide sobre cada metro cuadrado de terreno por día es de aproximadamente 5,6 kWh.

Figura 31. Mapa de irradiación solar de Paco Paco (NSRDB)



Fuente: NREL (s.f.)

A continuación, estos datos de irradiación solar se introdujeron en PVGIS, eligiendo el tipo de paneles solares, el tipo de instalación o estantería, y optimizando otros parámetros técnicos de la instalación, como el ángulo de inclinación de los paneles y la cantidad de pérdidas del sistema. El resultado de este análisis es la cantidad de electricidad que se puede generar en este lugar en el transcurso de un año, desglosada por mes.

Como se puede ver en las figuras, mientras que el sistema de inclinación fija tiene el potencial de generar 1775 kWh/año, el sistema de seguimiento puede generar 2212 kWh/año en Paco Paco, lo que representa un aumento del 25 % en la producción. Este análisis se realiza para 1 kW de capacidad solar instalada, que luego se escala adecuadamente al tamaño exacto del sistema propuesto en la siguiente sección.

Figura 32. Potencial de generación solar en Paco Paco con sistema de inclinación fija



Fuente: JRC (s.f.)

Figura 33. Potencial de generación solar en Paco Paco con sistema de seguimiento



Fuente: JRC (s.f.)

Este análisis se realizó para las tres ubicaciones, utilizando distintas configuraciones de tipos de paneles solares, sistemas de instalación y parámetros técnicos optimizados. Los resultados correspondientes se presentan en el cuadro.

Cuadro 32. Potencial anual de generación solar de las áreas de estudio por tecnología de paneles solares y sistema de estanterías (unidades: kWh generados por año por un sistema de energía solar de 1 kW)

Instalación solar		Taqllapampa	Paco Paco	Huancane Bajo
Silicio cristalino	Sistema fijo	1895	1775	1994
	Seguimiento	2528	2212	2756
Película delgada	Sistema fijo	1858	1753	1961
	Seguimiento	2485	2184	2706

Como se puede ver en los resultados anteriores, los paneles solares de silicio cristalino generan aproximadamente un 2 % más de electricidad al año, y los sistemas de seguimiento producen entre un 25 % y un 40 % más electricidad que los sistemas de inclinación fija.

Es importante considerar que, si bien la generación adicional de los sistemas de seguimiento (25 %-40 %) compensa con creces su mayor costo en comparación con los sistemas de inclinación fija (10 %-15 %), la presencia de partes móviles exige mayor mantenimiento, que debe ser realizado por técnicos especializados. Este es un criterio relevante al momento de diseñar

sistemas de energía solar en zonas remotas como Paco Paco. Esta compensación se analizará más a fondo en la siguiente sección.

Otro aspecto importante es que las estimaciones de generación se basan en datos satelitales, no en mediciones reales tomadas *in situ*. Si bien la precisión de estos datos ha mejorado con los años, aún no reemplaza por completo la instalación de torres meteorológicas en el lugar ni la medición continua durante varios años. Esta limitación —que implica que la generación real podría ser mayor o menor que la estimada— debe tenerse en cuenta al momento de instalar el sistema y monitorear sus resultados.

4.5. Propuestas preliminares

4.5.1. Tipos de soluciones consideradas

Al proponer una solución de transición energética justa, la consideración más importante es, evidentemente, la disponibilidad de recursos renovables en el lugar de interés, como la cantidad de luz solar —para la energía solar—, la disponibilidad de energía eólica —para dicho tipo de energía—, la cantidad y frecuencia del flujo de agua —para la hidroeléctrica— o la disponibilidad de materia prima —para la energía de biomasa—, por nombrar algunos ejemplos. Sin embargo, también resulta relevante tener en cuenta los siguientes factores:

Económicos

- El costo financiero de la implementación de la solución propuesta
- El costo y la logística de operación y mantenimiento de la solución

Ambientales

- La sostenibilidad ambiental de la solución

Sociopolíticos

- La facilidad logística y política de la implementación
- El estímulo económico (creación de empleo, creación de riqueza)
- La energía de propiedad y gestión comunitaria
- La diversificación económica
- La sostenibilidad económica/replicabilidad de la solución

Teniendo en cuenta estas consideraciones, este estudio analiza tres modelos potenciales de electrificación rural.

4.5.2. Modelo 1: electrificación rural a través de la conexión a la red

En este modelo, la electrificación de las áreas de estudio se realiza a través de un programa estatal, administrado por la DGER e implementado por ElectroSur, mediante fondos recaudados a través de la tasa instituida por la Ley de Electrificación Rural. Dado que el suministro eléctrico de Perú es principalmente hidroeléctrico —más del 60 %—, el cual resulta barato y libre de emisiones de carbono, este modelo generalmente cumple con los requisitos financieros y ambientales de una transición energética justa.

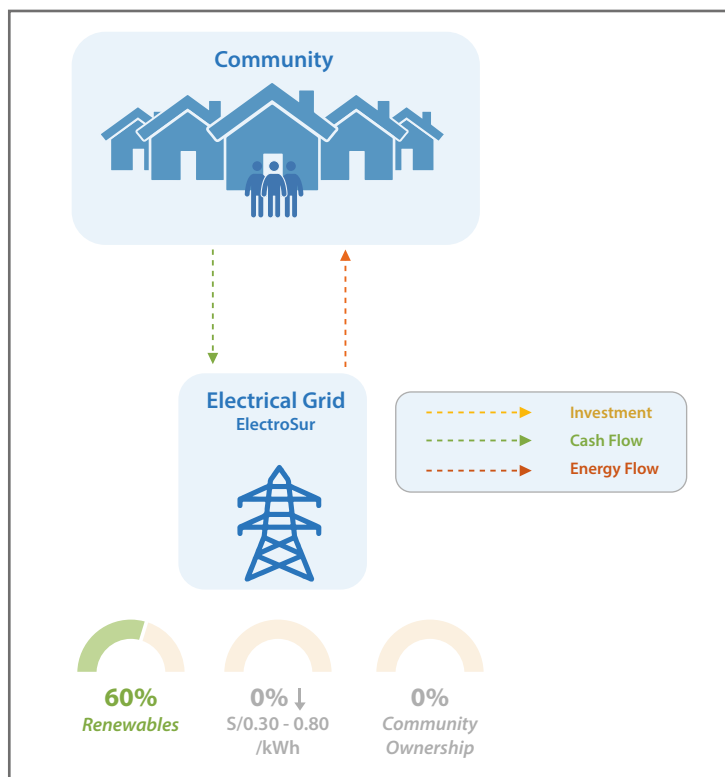
En términos de factores sociopolíticos, un mayor acceso a la electricidad permitiría el estímulo económico y la diversificación. Sin embargo, no existe la posibilidad de que la comunidad sea propietaria o administradora del sistema, ya que la infraestructura pertenece a la empresa de distribución de electricidad y es operada por esta. No obstante, existen inconvenientes en cuanto a la velocidad de implementación y la sostenibilidad económica del modelo. Como se señaló en la revisión de la Ley de Electrificación Rural y su implementación, la inestabilidad política en el Perú durante la última década ha sido un obstáculo para la rápida ejecución del programa. Además, la falta de un incentivo financiero para que ElectroSur mantenga la infraestructura eléctrica en áreas remotas con muy baja demanda de electricidad —y, por lo tanto, ingresos y ganancias muy reducidos— representa otro obstáculo para la implementación de este modelo. Asimismo, al tratarse de un programa administrado por el Gobierno, que requiere coordinación entre varios niveles —nacional, regional y local— y entidades privadas, como ElectroSur, se suman complejidades burocráticas que ralentizan su ejecución.

Un factor adicional que complica la situación es que este modelo requiere de la construcción de infraestructura de transmisión y distribución eléctrica en zonas montañosas remotas, lo que incrementa los costos del sistema y también introduce retrasos en su ejecución. Esto hace que el modelo resulte bastante difícil de aplicar en comunidades muy alejadas.

Si bien no se trata de un modelo que deba descartarse o abandonarse de plano, debe complementarse con otros que sean más fáciles y rápidos de

implementar, y que, al mismo tiempo, cumplan con los requisitos sociopolíticos de una transición energética verdaderamente justa.

Figura 34. Modelo 1: electrificación rural a través de la conexión a la red



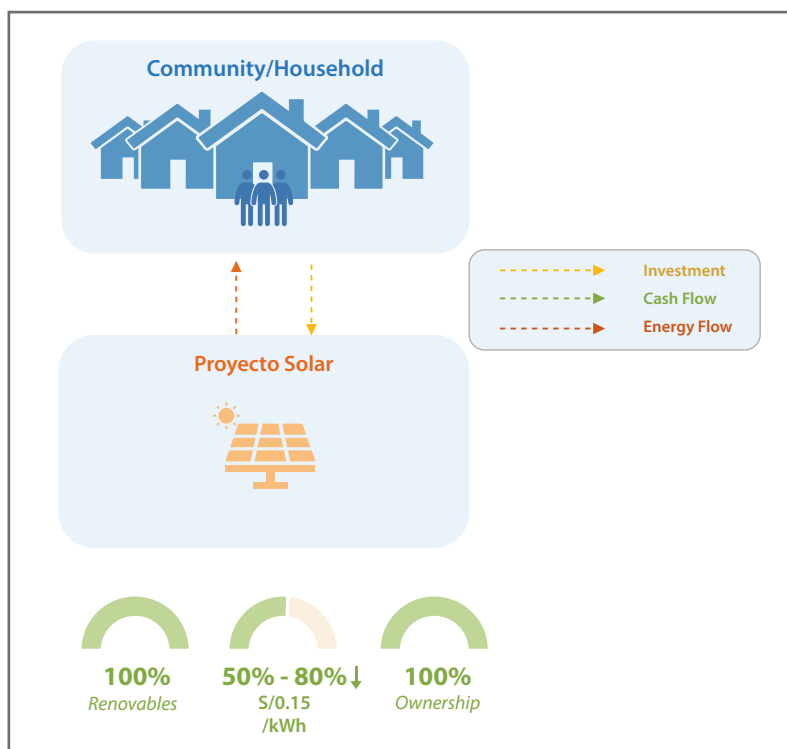
4.5.3. Modelo 2: sistema de energía solar fuera de la red

En este modelo, las comunidades rurales pueden electrificarse mediante la instalación de sistemas de energía solar independientes, ya sea en el centro de la comunidad o en cada vivienda individual. Este modelo requiere una inversión inicial, ya sea directamente por parte de la comunidad o a través de subvenciones o subsidios para adquirir los equipos e instalarlos. También hacen falta fondos para mantener y operar el equipo, aunque, en general, los paneles solares no necesitan mucho mantenimiento, excepto la limpieza periódica. En este punto, es importante tener en cuenta que no existe un costo de combustible para operar un sistema de energía solar. Además, dado que toda la electricidad es generada exclusivamente por los paneles

solares, que son 100 % libres de carbono¹⁷, este modelo se ubica entre las opciones más favorables en términos de impacto ambiental.

En cuanto a los indicadores sociopolíticos, este modelo es fácil y rápido de implementar, y estimula y diversifica la economía local a través de un mayor acceso a la electricidad. También permite que la comunidad sea propietaria y administre el sistema de generación de energía por sí misma. Sin embargo, dado que requiere una inversión inicial —ya sea por parte de comunidades rurales empobrecidas con fondos limitados o mediante subvenciones para el desarrollo—, es difícil replicar este modelo en todo el país. Al mismo tiempo, la naturaleza de los sistemas autónomos de energía solar fuera de la red permite una implementación rápida y elimina la necesidad de construir infraestructura de red eléctrica costosa y lenta. Esto hace que este modelo sea más fácil de implementar en comunidades muy remotas y aisladas.

Figura 35. Modelo 2: Sistemas de energía solar fuera de la red



17 Al menos durante su operación y vida útil, sin tomar en cuenta las emisiones generadas en la etapa de fabricación (nota del editor).

4.5.4. Modelo 3: sistema conectado a la red de propiedad comunitaria

Este modelo busca superar los inconvenientes del modelo 1 y del modelo 2 mediante una estructura híbrida que combina la implementación de sistemas de energía solar con una conexión a la red eléctrica. En este caso, el sistema solar no solo se dimensiona para satisfacer la demanda eléctrica de la comunidad, sino que se sobredimensiona con el fin de permitir la exportación del excedente de generación, el cual puede ser vendido a la empresa distribuidora de electricidad o directamente a grandes centros de carga, como las industrias.

El modelo 3 requiere de una inversión inicial para la adquisición e instalación de los equipos; sin embargo, el gran tamaño de los sistemas permite aprovechar economías de escala, lo que reduce el costo unitario. Además, facilita el acceso a financiamiento o préstamos bancarios, lo que disminuye aún más la inversión inicial necesaria. A su vez, dichas economías de escala contribuyen a reducir el costo de mantenimiento continuo del proyecto. La venta del excedente eléctrico, ya sea a la red o a un centro de carga, genera ingresos para la comunidad. Este flujo adicional de ingresos, combinado con los beneficios derivados del mayor acceso a la electricidad, favorece un estímulo económico y una diversificación más significativa que en los modelos 1 y 2.

Existen diversas estructuras de propiedad posibles dentro de este modelo: desde la propiedad comunitaria total hasta esquemas compartidos entre la comunidad y un productor independiente de energía encargado de la implementación y operación de la planta solar. Además, un proyecto solar de gran escala bajo esta modalidad podría abastecer de electricidad limpia y de bajo costo a múltiples comunidades, al tiempo que les brinda ingresos adicionales mediante la venta del excedente. Estos ingresos también podrían destinarse a financiar futuras instalaciones autónomas fuera de la red en comunidades remotas y aisladas.

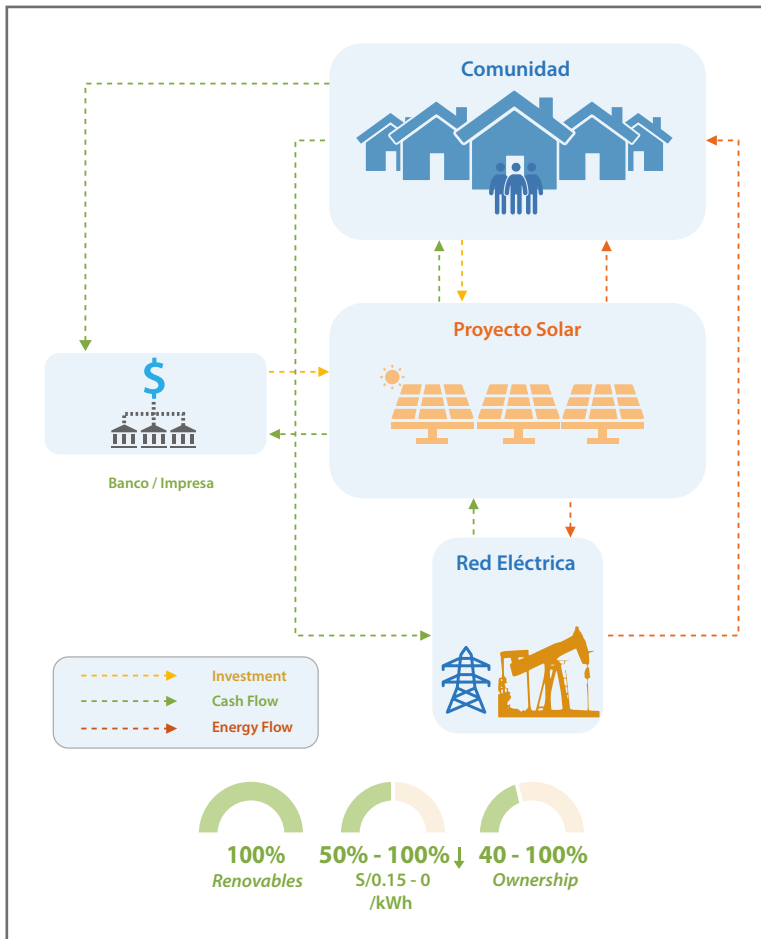
No obstante, este modelo exige la coordinación entre múltiples entidades, tales como:

- Gobiernos nacionales, regionales y locales, para permisos y autorizaciones;
- instituciones financieras, para la obtención de préstamos;

- entidades corporativas como compradores del excedente eléctrico; y
- productores independientes de energía (como Enel Power o Engie, etc.), que se encargarían de coordinar la construcción y operación de las centrales con las distintas entidades y la comunidad.

La necesidad de articular a todos estos actores añade complejidad burocrática, lo que puede incrementar tanto el tiempo como el capital requeridos para la implementación del proyecto. Asimismo, este modelo exige que el sistema solar de gran escala se ubique cerca de un centro industrial o de infraestructura eléctrica existente, lo cual limita su viabilidad en comunidades remotas y aisladas.

Figura 36. Modelo 3: Sistema conectado a la red de propiedad comunitaria



En síntesis, cada modelo presenta ventajas y desventajas en términos de implementación y de factibilidad para cada lugar de estudio. A continuación, se resumen estos análisis y se evalúa la factibilidad de cada modelo en las diferentes áreas de estudio.

Cuadro 36. Comparación de los tres modelos de implementación

		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Económico	Costo de instalación	✓	✗	✓
	Costo de mantenimiento	✓	✓	✓
Medioambiental	Porcentaje renovable	✓	✓	✓
Socio-político	Estimulación / Diversificación Económica	✓	✓	✓
	Facilidad/Velocidad Logística	✗	✓	✗
	Propiedad comunitaria	✗	✓	✓
	Repetibilidad	✗	✗	✓
Factible para:		Taqllapampa y Huancané Bajo	Los 3	Huancané Bajo

4.6. Soluciones propuestas

Las soluciones propuestas para cada ubicación se basan en lo siguiente:

- Características actuales de cada área de estudio
- Estimación de la demanda actual y futura de cada comunidad

- Aplicabilidad de cada modelo para las características de cada comunidad

Estimación de la demanda

El consumo actual de los hogares muestreados durante las visitas a Taqllapampa es inferior a 100 kWh/año, debido al alto costo de la electricidad en la zona. Como se explicó previamente, para estimar el uso potencial total de la electricidad, es prudente observar el promedio en las áreas que actualmente tienen acceso ilimitado a la electricidad, como las zonas urbanas. Este promedio equivale a aproximadamente 500 kWh por persona al año. Si se asume una ocupación media de 3 personas por vivienda, se calcula una demanda potencial máxima de 1500 kWh por hogar al año.

Dimensionamiento de paneles solares

Dado que 1 kW de paneles solares instalados generaría entre 1775 kWh/año y 2756 kWh/año —dependiendo de la ubicación y de si se trata de un sistema de inclinación fija o de seguimiento—, un hogar necesitaría entre 600 W y 800 W de paneles solares. Actualmente, los paneles disponibles en el mercado oscilan entre 300 W y 400 W, lo cual implica un requerimiento aproximado de 2 paneles solares por hogar.

Tamaño de la batería

Como se mencionó anteriormente, es difícil estimar con precisión el momento de la demanda eléctrica sin instalar medidores de auditoría de energía que monitoreen el uso horario de la electricidad. Además del desajuste temporal entre el momento de generación de electricidad solar y el momento de su consumo, también debe considerarse la escasa luz solar durante días lluviosos o nublados. En general, se recomienda contar con una batería de respaldo para 2 o 3 días, a fin de cubrir dichos periodos. Si bien los paneles solares siguen generando electricidad incluso cuando está nublado o llueve, su potencia disminuye. Por este motivo, y de manera conservadora, se ha asumido una batería de respaldo de 3 días.

El tamaño de la batería equivale, esencialmente, a la cantidad de electricidad consumida por día [A], multiplicada por el número de días de respaldo [B], y considerando la eficiencia de la batería entre la carga y la descarga [C]. Esto da como resultado un requisito de 15 kWh de baterías.

$$\begin{aligned}\text{Tamaño de la batería} &= A \times B \div C \\ &= 1500 \text{ kWh/año} \div 365 \text{ días/año} \times 3 \text{ días} \div 82 \% \\ &\quad \text{de eficiencia de la batería}^{18} \\ &= 15 \text{ kWh de capacidad}\end{aligned}$$

4.6.1. Taqllapampa

Con una demanda anual estimada de 1500 kWh/año, 1 kW de paneles solares en Taqllapampa generaría entre 1895 kWh/año y 2528 kWh/año, según el tipo de instalación. Dada la facilidad de acceso a la comunidad por carretera y la proximidad a Velille, no sería muy difícil encontrar técnicos calificados para realizar el mantenimiento periódico del sistema de seguimiento. Por lo tanto, resulta factible instalar un sistema de seguimiento para montar los paneles solares, alcanzando una generación de 2528 kWh/año. Cada hogar necesitaría 600 W de paneles solares, por lo que la configuración óptima sería el uso de 2 paneles de 300 W por vivienda. Para una copia de seguridad de 3 días, cada hogar requeriría una capacidad de batería de 15 kWh. Dada la naturaleza dispersa de la población, la ausencia de infraestructura eléctrica de alto voltaje y la falta de grandes centros de carga cercanos, el modelo 2, sistema de energía solar fuera de la red, representa la solución ideal para esta ubicación.

4.6.2. Paco Paco

Los paneles solares en Paco Paco generarían entre 1775 kWh y 2212 kWh al año, dependiendo del tipo de instalación: inclinación fija o seguimiento. Dada la lejanía de la zona y la posible dificultad para encontrar técnicos calificados que realicen el mantenimiento periódico de las partes móviles del sistema de seguimiento, sería más conveniente instalar únicamente sistemas de inclinación fija. 1 kW de paneles solares con una inclinación fija generaría 1775 kWh/año. Para satisfacer la demanda eléctrica promedio de un hogar —estimada previamente en 1500 kWh/año— cada casa requeriría 850 W de paneles solares. La configuración óptima sería instalar 3 paneles de 300 W. Esto se combinaría con una batería de 15 kWh para proporcionar un respaldo de 3 días. Dada la naturaleza dispersa de la población, la

18 Este dato se basa en el análisis de eficiencia realizado sobre más de 25 proyectos de almacenamiento en baterías implementados por Amaru Renovables.

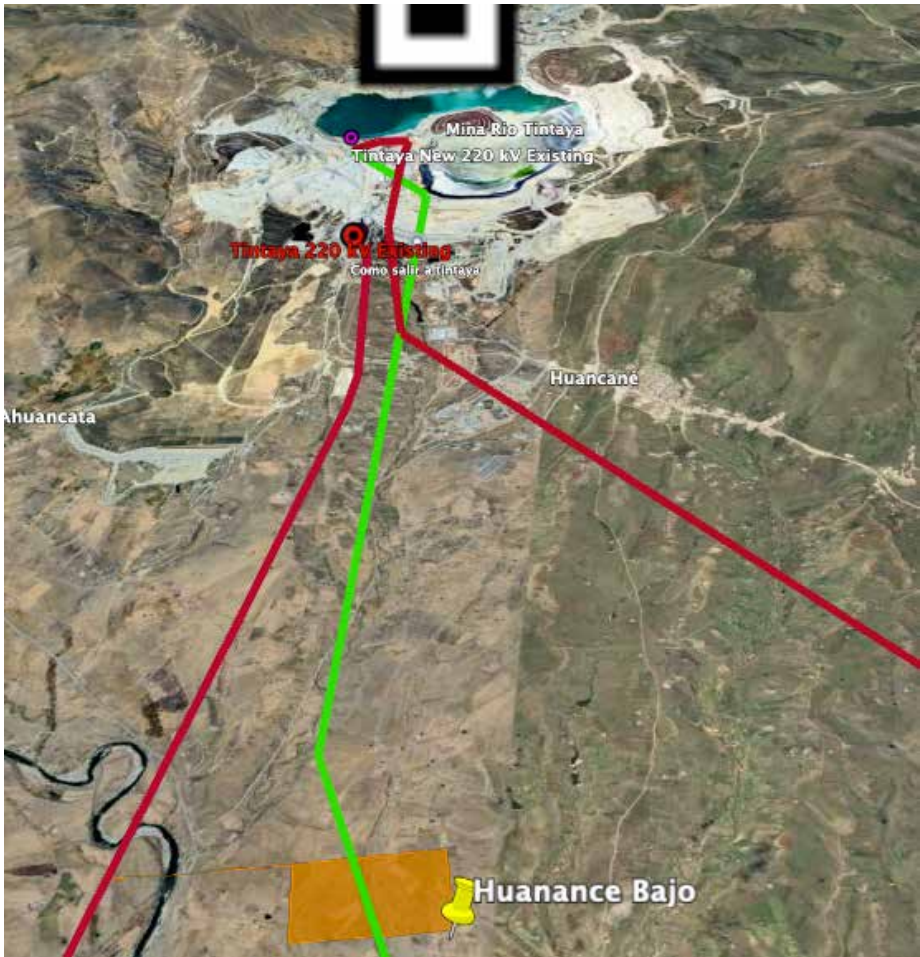
ausencia total de infraestructura eléctrica y la falta de grandes centros de carga cercanos, el modelo 2, sistema de energía solar fuera de la red, sería la solución ideal para esta ubicación.

4.6.3. Huancané Bajo

Los paneles solares en Huancané Bajo generarían entre 1994 kWh y 2756 kWh por año, según el tipo de instalación: inclinación fija o seguimiento. Dada la cercanía de la comunidad a la carretera nacional y a la ciudad de Espinar, sería bastante fácil encontrar técnicos calificados para realizar el mantenimiento periódico de las partes móviles del sistema de seguimiento. Por lo tanto, la solución más eficiente sería instalar paneles solares con sistema de seguimiento, con una generación estimada de 2756 kWh/año. Para satisfacer la demanda eléctrica promedio de un hogar —estimada previamente en 1500 kWh/año—, cada casa requeriría 540 W de paneles solares. La configuración óptima sería instalar 2 paneles de 300 W, junto con una batería de 15 kWh para proporcionar un respaldo de 3 días. Dada la proximidad entre las viviendas y la presencia de la mina Tintaya a menos de 1 km, una combinación del modelo 2 para el consumo individual del hogar y del modelo 3, sistema conectado a la red de propiedad comunitaria, sería la solución ideal para esta ubicación para la exportación de electricidad e ingresos adicionales.

Para el diseño del sistema de energía solar utilizando el modelo 3, se realizó un análisis SIG del terreno alrededor de la comunidad y de la infraestructura eléctrica circundante. La confluencia de terrenos planos con buena calidad de suelo, sumada a la proximidad tanto de la carretera como de las líneas de transmisión de 220 kV y 138 kV (alta tensión), da como resultado el potencial para construir un proyecto solar de 20 MW (20,000 kW)

Figura 37. Gran potencial de proyecto solar en Huancané Bajo



5. Conclusiones

5.1. La urgente transición energética

La necesidad de impulsar una transición energética justa y sostenible se ha vuelto cada vez más evidente a nivel mundial, especialmente por los efectos crecientes del cambio climático. Instrumentos como el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas ofrecen una base importante para orientar las acciones en este campo. No obstante, su eficacia está condicionada a la existencia de planes, normativas y mecanismos de implementación claros y coherentes en los ámbitos nacional, regional y local. A pesar de algunos avances, el modelo vigente, centrado en asegurar la rentabilidad de grandes proyectos mediante mecanismos de mercado y penalizaciones a las emisiones de GEI, ha mostrado limitaciones serias, particularmente en el escenario posterior a la pandemia.

5.2. Situación del Perú frente a la transición energética

En comparación con algunos países latinoamericanos como Brasil, Costa Rica o Chile que han comenzado a adaptar la transición energética a sus contextos particulares, Perú es un caso aún más complejo. Hasta la actualidad, el país carece de una política nacional de transición energética adecuadamente delineada, así como de un debate productivo acerca del tema. Las medidas adoptadas se han limitado a incorporar algunos lineamientos internacionales, en su mayor parte orientados a la promoción de la inversión privada; mientras tanto, postergan visiones más integrales o de interés público.

5.3. Política de electrificación rural y marco normativo vigente

Desde hace ya algunos años, el Perú dispone de una política de electrificación rural que enfatiza el uso de energías renovables, principalmente a través de sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA). Esta se encuentra respaldada por un plan centralizado (PNER), un marco legal (LGER) y una serie de instituciones como la DGER y la empresa Adinelsa. Asimismo, se cuenta con

varios instrumentos normativos y de planificación que deben ser tomados en cuenta, como las leyes sectoriales, los decretos legislativos y los planes estratégicos nacionales y subnacionales; conjuntamente, integran la arquitectura legal del sector. Entre estos, destacan:

- Decreto Legislativo 1002
- Decreto Ley 25844. Ley de Concesiones Eléctricas
- Ley 28832. Ley de Desarrollo de la Generación Eficiente de Energía
- Ley 28749. Ley de Electrificación Rural
- Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2050
- Plan Energético Nacional 2014-2025
- Plan Nacional de Electrificación Rural
- Planes regionales, provinciales, distritales y comunales

5.4. Limitaciones estructurales del modelo actual

No obstante, el modelo que subyace a esta estructura adolece de series limitaciones. Aún se considera la infraestructura eléctrica como un bien de mercado, de modo que el Estado es relegado a jugar un papel subsidiario mientras que solo las empresas concesionarias pueden tener la categoría de propietarias, incluso cuando son fondos públicos los que financian los proyectos. Además, la inexistente visión a largo plazo impide que se articulen metas cuantitativas con objetivos de sostenibilidad, y que se generen mecanismos para integrar la regulación técnica, la formación de profesionales y el acceso a componentes adecuados para las áreas rurales.

5.5. Programas vigentes y desafíos institucionales

Por otro lado, entidades como Adinelsa y la DGER exhiben limitadas capacidades de operación. Con frecuencia, se terceriza la supervisión técnica, y no ha sido posible la consolidación de una estructura para garantizar ni la modernización tecnológica ni una gestión eficiente. Si bien se busca extender el acceso a la energía mediante programas como el PMSFV, Conadif y Usos Productivos de la Energía, una frecuente carencia de capacidades técnicas y administrativas ralentizan la efectiva ejecución de estos.

5.6. Estudio de caso: Condorcanqui, Amazonas

Estas limitaciones estructurales del modelo se hacen evidentes de manera particularmente crítica en el estudio llevado a cabo en la provincia de Condorcanqui, departamento de Amazonas. En dicha región, las instalaciones operativas asociadas al PNER son inexistentes; de forma similar, no se evidencia un impacto significativo en la promoción de sistemas fotovoltaicos domiciliarios instalados de manera formal. Ante la falta de orientación por parte del Estado, gran cantidad de usuarios deciden realizar las instalaciones por cuenta propia, incumpliendo tanto estándares técnicos mínimos como la normativa vigente; de este modo, la seguridad personal y el uso eficiente del recurso solar se ponen en riesgo.

Pese a esta realidad, se constató una demanda clara por parte de la población para contar con sistemas nuevos o ampliar los existentes, principalmente para apoyar actividades productivas. Asimismo, resulta fundamental el establecimiento de relaciones institucionales fluidas para facilitar la capacitación, el soporte técnico y la asesoría permanente a las comunidades. En conjunto, los hallazgos de este estudio indican que, más allá de las limitaciones del marco vigente, existen condiciones objetivas y una voluntad local significativa para desarrollar proyectos de pequeña escala fuera de los esquemas tradicionales.

5.7. Estudio de caso: Comunidades del sur andino

En el sur andino, el diagnóstico pone de manifiesto una situación crítica y con características particulares. Taqllapampa, Paco Paco y Huancané Bajo sufren las brechas abiertas por la pobreza, la precariedad en la infraestructura y la falta de respaldo del Estado. Se añade a este panorama su ubicación en el llamado corredor minero del sur, que agrava los impactos ambientales.

Sin embargo, la región cuenta con un recurso natural invaluable: radiación solar abundante y de gran calidad. Este potencial hace del sur andino un escenario privilegiado para ensayar soluciones solares, tanto en sistemas autónomos como en sistemas conectados a la red. Hasta el día de hoy, lamentablemente, las dificultades políticas, la asimetría entre niveles de gobierno y la falta de incentivos para empresas con fines de lucro, como Electro Sur Este, han bloqueado la posibilidad de que ese potencial se convierta en soluciones tangibles para las comunidades.

5.8. Condiciones para avanzar desde lo local

Este estudio, ante dicho contexto, pone sobre la mesa un conjunto de opciones para sortear las limitaciones del esquema actual. Estas alternativas van desde sistemas solares de menor complejidad fuera de red hasta modelos híbridos que combinen sistemas conectados con propiedad compartida, en colaboración con empresas de la región. No se trata solo de aportar en la lucha contra los efectos del cambio climático, sino también de consolidar una estructura y economía sólidas para lograr una transición energética realmente justa, confiable, asequible y sostenible.

Para poder implementar estas alternativas, es necesario tomar en consideración los contextos particulares de las regiones estudiadas. En ambas, es imprescindible asegurar un apoyo técnico constante, robustecer las capacidades locales para operar y dar mantenimiento, y fomentar marcos institucionales flexibles para facilitar que diversos actores participen en el proceso, incluyendo a los gobiernos locales, las organizaciones comunitarias y cooperantes.

6. Bibliografía

Agencia Andina. (2022, 7 de marzo). Impulsarán mayor cobertura eléctrica en pueblos ubicados en zonas de frontera. Agencia Andina. <https://andina.pe/agencia/noticia-impulsaran-mayor-cobertura-electrica-pueblos-ubicados-zonas-frontera-867630.aspx>

Alfieri, L.; Feyen, L.; Dottori, F.; & Bianchi, A. (2015). Ensemble Flood Risk Assessment in Europe under High end Climate Scenarios. *Global Environmental Change*, 35, 199–212. 10.1016/j.gloenvcha.2015.09.004

Andrew, R. & Peters, G.P. (2023). The Global Carbon Project's fossil CO2 emissions dataset: 2023 release [internal version]. The Global Carbon Project <https://doi.org/10.5281/zenodo.10177738>

Arno Smets, M. Z.; Jäger, K.; Isabella, O.; & Van Swaaij, R. (2016). *Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems*. UIT Cambridge.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2020). Transición energética en América Latina y el Caribe: retos y oportunidades. <https://www.iadb.org>

Batlle, C.; Barroso, L.; & Echevarría, C. (2012). Evaluación del marco normativo e institucional del Perú para la promoción de energía eléctrica a partir de recursos renovables. Nota técnica IDB TN-480. <http://dx.doi.org/10.18235/0009967>

Burkart, K.; Schneider, A.; Breitner, S.; Khan, M. H.; Krämer, A.; & Endlicher, W. (2011). The Effect of Atmospheric Thermal Conditions and Urban Thermal Pollution on All-Cause and Cardiovascular Mortality in Bangladesh. *Environmental Pollution*, 159(8-9), 2035-2043. 10.1016/j.envpol.2011.02.005

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). Transición energética en América Latina y el Caribe: el papel de las energías renovables. <https://www.cepal.org>

Comunidad Campesina de Asacasi & CooperAcción. (2018). Plan de Ordenamiento Territorial Comunal de Asacasi.

Decreto Legislativo 1002. Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables. (2008). Ministerio de

Energía y Minas, Perú. <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/733891-1002>

Decreto Ley 25844. Ley de Concesiones Eléctricas. (1992). Congreso de la República del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/727777-25844>

Decreto Supremo 064-2010-EM. Aprueban la Política Energética Nacional del Perú 2010-2040. (2010, 23 de noviembre). Ministerio de Energía y Minas. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898446/DS-064-2010-EM.pdf>

Desde Adentro. (2022, 21 de abril). Antapaccay recibe certificación internacional por uso de energía renovable. Desde Adentro. <https://www.desdeadentro.pe/2022/04/antapaccay-recibe-certificacion-internacional-por-uso-de-energia-renovable/>

Dirección General de Electrificación Rural (DGER). (s.f.). Información sobre infraestructura eléctrica rural en el Perú. Ministerio de Energía y Minas. <https://www.minem.gob.pe>

Empresa de Administración de Infraestructura Eléctrica S.A. (Adinelsa). (s.f.) Acerca de Adinelsa. <https://www.adinelsa.com.pe/adinelsaweb/index.php/conocenos/acerca-de-adinelsa>

European Commission. (s.f.). Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/

Fawzy, S.; Osman, A. I.; Doran, J.; & Rooney, D. W. (2020). Strategies for Mitigation of Climate Change: A Review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(6), 2069–2094. 10.1007/s10311-020-01059-w

Fitch Ratings. (2019). Latin American Power Overview. Outlook, Financial Performance, Regulatory Risk and Investments. https://your.fitch.group/rs/732-CKH-767/images/Fitch_10086090.pdf

Gobierno Regional de Apurímac (2022). Plan de Desarrollo Regional Concertado Apurímac al 2033. <https://app.regionapurimac.gob.pe/transparencia/wp-content/uploads/2023/01/PLAN%20DE%20DESARROLLO%20REGIONAL%20CONCERTADO%20-%20PDRC%20APUR%C3%8DMAC%20AL%202033.pdf>

Gobierno Regional de Cusco. (2022). Plan de Desarrollo Regional Concertado Cusco al 2033. https://transparencia.regioncusco.gob.pe/transparencia/planeamiento_organizacion/plan_desarrollo_regional_local/Masbtn/TEXTO%20-%20PDR.pdf

Grupo de Trabajo Especializado: Generación Eléctrica. (2020). Separación de compras para el suministro eléctrico por potencia y energía. https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/5_200727-Informe-Separacion-P-E.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2022). Compendio Estadístico Perú 2022. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1872/cap17/ind17.htm

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2023). Condiciones de vida en el Perú: informe técnico octubre-noviembre-diciembre 2022. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/01-informe-tecnico-condiciones-de-vida-oct-nov-dic-2022.pdf>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (s.f.). Compendio estadístico sobre servicios básicos y población. <https://www.inei.gob.pe>

International Electrotechnical Commission (IEC). (2016). IEC 62124: Photovoltaic stand-alone systems – Design verification. <https://webstore.iec.ch>

International Electrotechnical Commission (IEC). (varios años). Normas técnicas IEC 62509, 60364, 61427, 60529. International Electrotechnical Commission. <https://www.iec.ch>

International Energy Agency (IEA). (2021). La importancia de centrarse en el empleo y la equidad en las transiciones a la energía limpia. <https://www.iea.org/commentaries/the-importance-of-focusing-on-jobs-and-fairness-in-clean-energy-transitions>

International Renewable Energy Agency (IRENA) y Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2023). Energías renovables y empleo: revisión anual 2023. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Sep/IRENA_Renewable_energy_and_jobs_2023.pdf

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2016). Beneficios de las energías renovables: medición de la economía. IRENA.

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). Solar PV: A Gender Perspective. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Sep/IRENA_Solar_PV_Gender_perspective_2022.pdf

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). Statistics Time Series. <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series>

Joint Research Centre (JRC). (s.f.). Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Comisión Europea. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

La República. (2022, 15 de mayo). Ministerio de Energía y Minas tendría negociaciones con empresas chinas impedidas de contratar con el Estado. La República. <https://larepublica.pe/politica/2022/05/15/ministerio-de-energia-y-minas-tendria-negociaciones-con-empresas-chinas-impedidas-de-contratar-con-el-estado>

Lenton, T. M.; Rockström, J.; Gaffney, O.; Rahmstorf, S.; Richardson, K.; Steffen, W.; & Schellnhuber, H.J. (2019). Climate Tipping Points — Too Risky to Bet Against". *Nature*, 575(7784), 592-595. 10.1038/d41586-019-03595-0

Ley 28749. Ley General de Electrificación Rural. (2006). Congreso de la República del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/738525-28749>

Ley 28832. Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica. (2006). Congreso de la República del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/732274-28832>

Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); Cambridge University Press. 10.1017/9781009157896

Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & Waterfield, T. (eds.). (2019). *Global warming of 1.5 °C*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>

Ministerio de Energía y Minas (Minem). (2014). *Plan Energético Nacional 2014-2025*.

Ministerio de Energía y Minas (Minem). (2016). *Plan Nacional de Electrificación Rural 2016-2025 (PNER)*. Dirección General de Electrificación Rural. <https://www.minem.gob.pe>

Ministerio del Ambiente (Minam). (s.f.). Contribuciones Nacionalmente Determinadas. <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/ndc/>

Municipalidad Provincial de Cotabambas (2021). Plan de Desarrollo Local Concertado 2021-2030. <https://muniprovincialcotabambas.gob.pe/wp-content/uploads/2023/04/PDLC-PLAN-DE-DESARROLLO-LOCAL-CONCERTADO-COTABAMBAS-2021-2030-2.pdf>

Municipalidad Provincial de Espinar. (2017). Plan de Desarrollo Local Concertado-Provincia de Espinar al 2021.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2023). Monthly Global Climate Report for Annual 2022. <https://www.ncei.noaa.gov/access/metadata/landing-page/bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00672>

National Renewable Energy Laboratory (NREL). (s.f.). National Solar Radiation Database (NSRDB). Departamento de Energía de los Estados Unidos. <https://nsrdb.nrel.gov/>

National Renewable Energy Laboratory (NREL). (s.f.). RE Data Explorer. <https://www.re-explorer.org/>

National Renewable Energy Laboratory (NREL). (s.f.). RE Data Explorer. <https://data.re-explorer.org/>

Nieto, J.; Carpintero, Ó.; Miguel, L. J.; & De Blas, I. (2020). Macroeconomic Modelling under Energy Constraints: Global Low Carbon Transition Scenarios. *Energy Policy*, 137. 10.1016/j.enpol.2019.111090

O'Connor, P. A. (2010). Energy Transitions. www.bu.edu/pardee

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin). (s.f.). Primera subasta RER para suministro de energía a áreas no conectadas a red (instalaciones RER autónomas). <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/subastas/primera-subasta-off-grid>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (s.f.). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). (1992) Cambio climático: las evaluaciones del IPCC de 1990 y 1992. Primer informe de evaluación del IPCC resumen general y los resúmenes para responsables de

políticas, y suplemento de 1992 del IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc_90_92_assessments_far_full_report_sp.pdf

Plan Energético Nacional 2014-2025. (2014). Ministerio de Energía y Minas (Minem). <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4821287-plan-energetico-nacional-2014-2025>

Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2050-PEDN 2050. (2022). Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (Ceplan), Perú. <https://www.gob.pe/institucion/ceplan/campa%C3%B1as/11228-peru-plan-estrategico-de-desarrollo-nacional-al-2050>

Plan Nacional de Electrificación Rural 2016–2025 (PNER 2016–2025). (2016). Ministerio de Energía y Minas (Minem). Dirección General de Electrificación Rural (DGER). <https://www.gob.pe/institucion/dger/informes-publicaciones/5003343-plan-nacional-de-electricacion-rural-pner>

Renewables Now (REN21). (2020). Renewables 2020 Global Status Report. <http://www.ren21.net/resources/publications/>

Rumbo Minero. (2024, 20 de agosto). Cusco: Proyecto de electrificación rural en Espinar cuenta con un avance del 97 %. Rumbo Minero. <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/cusco-proyecto-de-electricacion-rural-en-espinar/>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). (s.f.). Normales climáticas estándares y medias 1991-2020. <https://www.senamhi.gob.pe/?dp=lima&p=normales-estaciones>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senhami). (s.f.). Datos climatológicos e irradiancia solar en el Perú. <https://www.senamhi.gob.pe>

Tian, J.; Yu, L.; Xue, R.; Zhuang, S.; & Shan, Y. (2022). Global Low-Carbon Energy Transition in the Post-COVID-19 Era. *Appl Energy*, 307. 10.1016/j.apenergy.2021.118205

Tribunal Constitucional del Perú. (2022). Sentencia del expediente 02151-2018-AA/TC. <https://tc.gob.pe/jurisprudencia/2022/02151-2018-AA.pdf>

Valdivia, D. (2024, 15 de agosto). Cusco: provincia de Espinar da 72 horas al Gobierno para resolver crisis socioambiental o iniciará paro indefinido. Infobae Perú. <https://www.infobae.com/peru/2024/08/16/cusco-provincia-de-espinar-da-72-horas-al-gobierno-para-resolver-crisis-socioambiental-o-iniciara-paro-indefinido/>

**Oportunidades y límites para la transición energética justa
en territorios indígenas**

Se termino de imprimir en los talleres
de Sonimágenes del Perú SCRL
en el mes de setiembre de 2025

ISBN: 978-612-5224-02-6



9 786125 224026



Con el apoyo de:

Brot
für die Welt

People
Change
the World

Diakonia



**GENERALITAT
VALENCIANA**

Vicepresidencia y Conselleria de
Servicios Sociales, Igualdad y Vivienda



**Ford
Foundation**