



Meta Análisis de los Sistemas Fotovoltaicos en Viviendas Rurales. Casos: Perú y Bolivia

Meta Analysis of Photovoltaic Systems in Rural Housing. Cases: Peru and Bolivia

Julio Oré García^{1*}, Carlos Olivares Navarro², Raysa Salazar López³, María Anany Casas Manosalva⁴, Allison Tapia⁵, Beatriz Allende León⁶, Madelina Vega Benavente⁷, Liz Marivel Arredondo Lezama⁸

RESUMEN

En este artículo se presenta una revisión del estado de arte de los sistemas fotovoltaicos (SFV) instalados en las zonas rurales de Perú y Bolivia. En base a ello se ha realizado un meta análisis histórico de los programas de electrificación con SFV, la parte normativa, el estado situacional y una perspectiva a futuro, hasta elevar una propuesta económica para la implementación de un SFV en una vivienda rural. Consideramos que hoy en día es viable y sustentable un proyecto de electrificación rural con SFV donde la intervención del Estado como ente promotor y garante entre las empresas suministradoras y financieras, permitirían que el usuario final el poblador de una comunidad rural mejore su calidad de vida.

Palabras clave: energía solar, sistemas fotovoltaicos, electrificación rural, políticas de electrificación, programas de electrificación.

ABSTRACT

This article presents a review of the state of the art of Photovoltaic Systems (SFV) installed in rural areas of Peru and Bolivia. Based on this, a historical meta-analysis of the electrification programs with SFV has been carried out, the normative part, the situational status and a future perspective, up to raising an economic proposal for the implementation of a SFV in a rural house. We consider that nowadays a rural electrification project with SFV is viable and sustainable where the intervention of the State as a promoter and guarantor between the supplying and financial companies, would allow the end user the inhabitant of a rural community to improve their quality of life.

Keywords: solar energy, photovoltaic systems, rural electrification, electrification policies, electrification programs.

¹Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Centro de Energías Renovables. Ayacucho, Perú.

²Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Química Escuela de Ingeniería Ambiental. Trujillo, Perú.

³Investigador independiente.

⁴Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ingeniería Ambiental, Geográfica y Ecoturismo. Lima, Perú.

⁵Universidad Mayor de San Simón, Facultad de ciencias y tecnología, Ingeniería Química. Cochabamba, Bolivia.

⁶Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura. Huánuco, Perú.

⁷Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Chachapoyas, Perú.

⁸Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Económicas, administrativas y Contables. Ayacucho, Perú.

* Autor de correspondencia. E-mail: julio.ore@unsch.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

La crisis energética es un problema que a todos nos afecta, un ejemplo de esto es el aumento de los costos de la energía eléctrica. Es por esto que desde un tiempo a esta parte ha surgido un gran interés por buscar alternativas que permitan reducir estos costos, y para esto pueden existir dos caminos: el primero es usar de forma eficiente y consciente la energía, esto a través de dispositivos eléctricos y electrónicos eficientes, aplicando medidas de ahorro como por ejemplo apagando las luces que no se están utilizando, etc. El segundo camino es utilizar algún tipo de energía alternativa disponible de forma natural (solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, etc.) y que pueda ser aprovechada para convertirla en energía eléctrica (Muñoz, 2019).

La mayor energía aprovechable es la fotovoltaica, por su casi nula emisión de CO₂ y gases de efecto invernadero; es prácticamente inagotable; es factible técnicamente para generar electricidad en zonas aisladas y vulnerables favoreciendo el acceso a la energía eléctrica; permite diversificar la matriz eléctrica disminuyendo la dependencia del suministro eléctrico y favoreciendo el autoconsumo.

El Banco Mundial en su informe de octubre del 2021, indica que los eventos de este año han puesto de relieve que las variaciones en los patrones meteorológicos causadas por el cambio climático constituyen un creciente riesgo para los mercados de energía, afectando tanto a la demanda como a la oferta. Desde la perspectiva de la transición energética, las inquietudes acerca de la naturaleza intermitente de la energía renovable subrayan la necesidad de lograr que la generación de electricidad básica y de respaldo sea confiable. No obstante, dicha electricidad se deberá generar, cada vez más, a partir de fuentes con bajas emisiones de carbono, como la energía hidroeléctrica o nuclear, o utilizando nuevos métodos para almacenar energía renovable. Al mismo tiempo, a raíz del alza de los precios del gas natural y el carbón que se produjo este año, los precios de la energía solar y eólica son aún más competitivos como fuente alternativa de energía. Los países pueden obtener beneficios si aceleran la

instalación de energía renovable y reducen su dependencia de combustibles fósiles.

En el Perú a inicios del presente siglo muchas entidades académicas en Latinoamérica realizaron convenios de investigación sobre la demanda de energía eléctrica utilizando sistemas fotovoltaicos (Morante, 2005), para ello recolectaron información sobre ciertas instalaciones de manera aislada con inversión privada como las experiencias de las islas de los Uros Puno y la Comunidad de Huancho Lima. Asimismo, el Ministerio de Energía y Minas, mediante la Dirección Ejecutiva de Proyectos (DEP), dio inicio a un programa de energías renovables donde se consideraba la generación de dichas energías con tecnología fotovoltaica (MINEM, 2016).

Las iniciativas mencionadas son sustentadas, dado que la energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio peruano, según lo establecido por Horn en el 2006. Por otro lado, en la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y uniforme durante todo el año, comparado con otros países, por lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, una incidencia solar de 4 a 5 KWh/(m²/día) en la costa y selva, y de 5 a 6 KWh/(m²/día) en la sierra, aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia. El problema es transformar esta energía solar en energía útil y con un costo aceptable (Horn, 2006).

Con respecto a las energías fotovoltaicas, hasta agosto de 2020, el Perú contaba en operación comercial con 230673 SFV, los cuales beneficiaban alrededor de 227694 domicilios, 2340 escuelas y 639 postas de salud, situadas en zonas de difícil acceso del territorio peruano (Vilvanqui, 2020). Por otro lado, para el caso de Bolivia, el desarrollo de las energías renovables es producto de un impulso inicial importante que se materializa con la creación del Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas. Entre las atribuciones explícitamente se le consigna: “Coordinar con los

gobiernos autónomos departamentales, regionales e indígena originario campesino, la implementación y desarrollo de proyectos eléctricos y energías alternativas con la competencia de incentivar la incorporación de nuevas tecnologías de electrificación tendientes al aprovechamiento sustentable de los recursos renovables y la atribución en las políticas para el desarrollo de tecnologías de energías alternativas, eólica, fotovoltaica y otras en coordinación con las universidades públicas del país”. Un cambio importante se dio en el año 2017, cuando el Ministerio de Hidrocarburos y Energías se dividió y se promovió la creación del Ministerio de Energías con el mandato de regir el sector eléctrico, desarrollar los proyectos de exportación de electricidad y promover el aprovechamiento de recursos estratégicos. De este modo, el Estado asumió formalmente la tarea de impulsar el uso y la aplicación de tecnologías que funcionen con energías renovables (Fernández *et al.*, 2020).

Para el 2020, la potencia instalada fotovoltaica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y los Sistemas Aislados (SA) de Bolivia alcanzaron los 170,6 MW con la entrada en funcionamiento de la Planta de Oruro Fase II. Es decir, en un período de 6 años la energía fotovoltaica pasó de 5,6 MW a 170,6 MW. Por otro lado, la tasa de electrificación aumentó en las últimas décadas del 55 % al 93 % en los años 1990 y 2018 respectivamente (Fernández, 2021).

La cooperación académica y los programas de acceso a la energía renovables contribuyen a mejorar el índice de electrificación rural, generando un impacto directo en la calidad de vida en estos entornos alejados y la progresión de penetración del servicio eléctrico para impulsar el desarrollo económico de un país, siendo los SFV una alternativa tecnológica para cerrar brechas en el acceso a la energía eléctrica en zonas rurales y/o zonas donde técnicamente es difícil realizar el tendido de la red eléctrica (Peña La Torre, 2019).

Considerando lo mencionado anteriormente, este artículo tiene por objetivo revisar el estado de los sistemas fotovoltaicos en las comunidades rurales de Perú y Bolivia, así como las razones por la cual muchos de

estos proyectos de electrificación rural suelen fracasar bajo la premisa de que “es importante plantear alternativas que incentiven a cambios sociales permanentes” (RNE, 2007).

II. ANÁLISIS HISTÓRICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN PERÚ Y BOLIVIA

Perú

A finales de los años 70, luego de la crisis del petróleo, diversos países, así como Perú, empezaron a mostrar interés en el uso de energías renovables, sobre todo en la energía solar. El primer proyecto de electrificación rural con SFV en el Perú fue de la Cooperación Técnica Alemana que instaló en el Departamento Puno, entre los años 1986 y 1996, cerca de 500 Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios (SFD), en un marco “pre-comercial” en otras palabras sistemas subsidiados. Para el 2005, en el Perú había alrededor de 10 000 SFV instalados, con una potencia instalada total de 1,5 MW, donde el 65 % de esta potencia se instaló para sistemas de telecomunicaciones; el 29 % para iluminación interna de casas, incluyendo postas de salud, salas comunales, entre otros; y el 6 % restante se utilizó para refrigeración, bombeo de agua, etc. (Horn, 2006).

Al mismo tiempo que la implementación de los SFV iba creciendo en el Perú, la Universidad Nacional de Ingeniería creó el Centro de Energías Renovables (CER UNI) que estuvo ejecutando desde 1996 un proyecto piloto de electrificación fotovoltaica en la comunidad insular de Taquile, en el Lago Titicaca. En el marco de este proyecto se han instalado 427 SFD, todos funcionando hasta la fecha (Horn, 2006). A medida que los centros de investigación reportaban el gran potencial solar en Perú y el desarrollo de la tecnología fotovoltaica, el Estado Peruano a través de OSINERGMIN convocó al concurso público internacional de la primera subasta, denominado “Primera Subasta para Suministro de Energía a Áreas No Conectadas a Red”, el 20 de septiembre del 2013 por encargo del Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2016). En esta convocatoria se adjudicó como ganador a la empresa Ergon Perú

S.A.C. cuyas actividades serían principalmente instalar, operar y mantener las instalaciones con recursos energéticos renovables (RER) autónomas en las áreas no conectadas a red y cobrar una remuneración anual por dichas actividades. El 5 de julio de 2019, el Reporte de Análisis Económico Sectorial (RAES) presentó un informe actualizado con los resultados de Ergon Perú S.A.C. en la primera subasta mencionada, cuya fecha de culminación será el 31 de octubre de 2034. La empresa contaba con 133800 instalaciones RER autónomas para viviendas (SFA Tipo1), entidades de salud (SFA Tipo 2) y escuelas (SFA Tipo 3), lo cual representaba el 77.4 % de la cantidad mínima a implementar que era 172890 instalaciones. Las regiones beneficiadas fueron 20 de 24 (83.3 %); las provincias, 132 de 197 (67 %); los distritos, 669 de 1874 (35.7 %); y el total de centros poblados beneficiados fue de 9546. Además, los 3 departamentos con una mayor cantidad de instalaciones RER autónomas puestas en operación comercial fueron: a) Puno con 21618; b) Huánuco, 16016, y c) San Martín, 15314 (OSINERGMIN, 2019). Debido a ello, se puede afirmar que el Estado Peruano está incentivando la inversión en tecnología que, de manera eficiente e inmediata, puede ampliar la cobertura eléctrica en los lugares donde el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) no ha llegado. En consecuencia, es un excelente momento para abordar el desarrollo de tecnología ligada a sistemas de electrificación rural (Peña La Torre, 2019). Asimismo, la Agencia Internacional de Energía (IEA) prevé que la generación de electricidad renovable en 2021 para Perú se expanda en más del 8 % hasta alcanzar los 8300 TWh, el crecimiento interanual más rápido desde la década del 70; de igual manera, se prevé que la energía solar fotovoltaica y eólica contribuyan con 2/3 del crecimiento de las energías renovables. China por sí sola debería representar casi la mitad del aumento mundial de electricidad renovable en el 2021, seguida de Estados Unidos, Unión Europea e India (IEA, 2021) (Figura S1).

Bolivia

Bolivia, al igual que otros países, decidió realizar una

transformación de matriz energética, la cual hace énfasis en utilizar recursos hídricos como principal energía renovable. Sin embargo, debido a un análisis de las características geográficas y climatológicas del territorio de Bolivia, muestra que es uno de los países con niveles muy altos de radiación solar a nivel mundial, convirtiéndola en un escenario óptimo para explotar la luz solar mediante centrales fotovoltaicas. Si se toma el promedio anual de la radiación solar de Bolivia (IGH) entre los años 1999 al 2013, se observa que en el altiplano sur del país alcanza 2700 $KWh/(m^2/año)$ y en el oriente del país 1 800 $KWh/(m^2/año)$ (Fundación Solón, 2017).

A inicios de los años 90, la tecnología fotovoltaica se desarrolló en Bolivia, mediante los proyectos implementados por la Cooperación Española en zonas alejadas al lago Titicaca, departamento de La Paz. Posteriormente, se implementaron 2 proyectos que dieron un gran impulso a la tecnología en Bolivia. El primero, un proyecto universitario, denominado Proyecto de Energía Solar, implementado al interior de la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba, el cual permite validar varios aspectos de la tecnología y mostrar qué parte de la misma puede ser fabricada en el país. El segundo, el Programa para la Difusión de las Energías Renovables (PROPER) financiado por la GTZ de Alemania, facilita la transferencia de tecnología (baterías de uso fotovoltaico, reguladores de carga y lámparas) y permite la implementación de proyectos piloto (Quevedo, 2019).

Hasta la primera mitad de los años 90, se llegaron a instalar en Bolivia aproximadamente 5000 sistemas fotovoltaicos destinados principalmente a las telecomunicaciones y la electrificación de viviendas rurales. En la segunda mitad de esta década, inició la instalación de más de 5000 sistemas en el departamento de Santa Cruz, proyecto impulsado por la distribuidora CRE con financiamiento de la Embajada del Reino de los Países Bajos. Asimismo, se implementan proyectos financiados por NRECA en los Yungas del departamento de La Paz, mientras que, en Cochabamba, ENERGÉTICA ejecutó el Proyecto Chimboata e Inti-

kanchay que probó una tecnología nueva que incluye el concepto de crédito como mecanismo de sostenibilidad de este tipo de proyectos. Con el inicio del nuevo siglo, la instalación de SFV, alcanza uno de los puntos más altos, en cuanto a instalaciones se refiere; que, además, incorpora la tecnología en la infraestructura social, escuelas y puestos de salud, tal es el caso de proyectos ejecutados por el Fondo de Inversión Social (FIS) y la prefectura del departamento de La Paz (Chávez, 2021).

Según el anuario de la Autoridad de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear (AETN), la generación bruta en los sistemas aislados en Bolivia en la gestión 2020 alcanzó un valor de 824,49 GWh y estuvo conformada por la principal fuente de generación correspondiente a las centrales termoeléctricas (75,50 %), seguida por los generadores de biomasa (23,43 %), los sistemas fotovoltaicos (0,72 %) y por las centrales hidroeléctricas (0,35 %) (Figura S2), siendo la eólica aún es insignificante en su participación. De manera agregada se puede decir que el 70 % de la energía eléctrica está generada sobre una base térmica, mientras que el 30 % restante sería generación de base renovable (AETN, 2020)

Mediante el seguimiento a la cobertura del servicio básico de electricidad, el Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas, a través de la Dirección General de Energías Alternativas, declara que alcanzará, para la gestión 2021, un 83,5 % en el área rural y un 99,6 % en el área urbana, con un total de 94,6 % a nivel nacional (Figura S3). Según el análisis, la tasa de cobertura tuvo una tendencia creciente a partir del año 2005. De manera complementaria, en el marco del Programa de Electrificación Rural II (PER II), ejecutado por “El Programa Electricidad para Vivir con Dignidad” (PEVD), se han identificado 3 proyectos de usos productivos de la electricidad para comunidades rurales, 5 proyectos de electrificación rural en ejecución, 8 proyectos de electrificación rural evaluados y 9 proyectos en evaluación para aprobación e implementación respectiva (MHE, 2021).

La tendencia de la capacidad instalada de la tecnología

solar fotovoltaica en el mundo muestra una tendencia creciente en los últimos años, tal como se muestra en la Figura S4, mientras que en el Perú y Bolivia se muestran en las Figuras S5 y S6 respectivamente.

III. PROGRAMAS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL

La implementación del servicio de electricidad en zonas rurales busca hacer énfasis en la igualdad de derechos ciudadanos y a su vez, tiene como finalidad el mejoramiento de la infraestructura en estas áreas para así atraer futuras inversiones que permitan promover la inclusión social.

Perú

Evolución de programas de electrificación en Perú en el periodo 1993-1998

El Plan Nacional de Electrificación (PNER) del periodo 2016-2025 muestra los datos de cobertura eléctrica en el Perú obtenidos durante el censo del año 1993: a nivel nacional el 54,9 % de la población contaba con electricidad, el área urbana estaba cubierta al 77 % y solo el 7,7 % del área rural tenía acceso a la electricidad.

Posteriormente, entre 1995 y 1998, el Ministerio de Energía y Minas del Perú desarrolló un proyecto de carácter social con el cual lograron instalar 1500 SFD en áreas rurales alejadas y comunidades de la selva. Este proyecto buscaba involucrar al sector privado en la inversión fotovoltaica; sin embargo, se decidió involucrar a los pobladores, a quienes se les solicitó asumir los costos de mantenimiento.

Evolución de programas de electrificación en Perú posterior a 1998

Según Horn (2006) el Proyecto GEF MEM “Electrificación rural en base a energía fotovoltaica en el Perú”, tuvo como objetivo la instalación de 7500 SFV, mayormente domiciliarios, en diferentes regiones del Perú, pero sobre todo en la selva, y tuvo como fecha límite el primer semestre de 2007.

Por otro lado, el Plan Nacional de Energías Renovables 2016-2025 (PNER 2016-2025) nos muestra los resultados de la cobertura eléctrica obtenidas en el censo del año 2007: nacional 74,1 %, urbano 89,1 % y

rural 29,5 %; y del año 2015: nacional 93,3 % y rural 78 %. Hasta diciembre de 2015 se desarrollaron 6 proyectos de SFD los cuales comprendieron 20 proyectos de electrificación para 400 localidades y un total de 6930 viviendas. Adicionalmente, este documento expone la dificultad económica y técnica de conectarse a grandes sistemas eléctricos, por lo que señala la importancia de priorizar la implementación de SFV domésticos o comunales como alternativa tecnológica para la electrificación rural en las zonas de sierra y selva (MINEM, 2015).

Bolivia

Evolución de programas de electrificación en Bolivia en el periodo 1992-1996

El gobierno de Bolivia en la década de los 90 instituyó programas y proyectos de cooperación bilateral y multilateral con el objetivo de promover la electrificación rural enfocada en la utilización de energías renovables. Durante el periodo 1992 a 1996 se desarrolló uno de los programas a través de la entonces Secretaría Nacional de Energía y el gobierno de la república de Alemania, mediante la GTZ; dicho programa se denominó “Programa para la Difusión de Energías Renovables, PROPER Bolivia”. En 1992 se instalaron 1101 SFV y en 1995 incrementó a 1760 SFV, resultando un crecimiento de 60 % en 3 años y un promedio anual de instalaciones de aproximadamente 1300 SFV por año. Cabe mencionar, que los sistemas instalados estuvieron destinados a postas de salud, escuelas, hogares individuales y sistemas de apoyo para comunicaciones (Canedo, 2005).

Evolución de programas de electrificación en Bolivia en el periodo 1998-2003

Las estadísticas de sistemas instalados en los últimos cinco años, 1998 al 2003, mostraron la instalación de 5600 SFV como parte del proyecto de la CRE, en el año 2002 se contaba con 847 SFV del Proyecto FIS solar a cargo del FPS y 600 SFV con el proyecto PNUD. El incremento de instalaciones entre 1998 y 2002 fue de 46 % y un promedio anual de ventas de 2900 SFV.

Se puede notar que existe un incremento del promedio

anual de instalaciones, más del 100 % respecto al periodo 1992-1996. Asumiendo un costo promedio de \$750 por sistema, se puede observar que con un promedio de instalaciones de 2900 SFV por año se movilizan inversiones de aproximadamente \$2200000 por año (Canedo, 2005).

Evolución de programas de electrificación en Bolivia posterior a 2003

El 9 de julio de 2008 el gobierno de Bolivia crea “El Programa Electricidad para Vivir con Dignidad” (PEVD), a cargo del Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas (VMEEA); los objetivos del programa son incrementar la cobertura de electricidad en las áreas rural y urbana, mejorar las condiciones de vida, reducir la pobreza, generar empleos y consolidar una estructura productiva, económica y social cumpliendo la meta establecida en la Agenda Patriótica 2025. Asimismo, el PEVD integra a los programas de energías renovables financiados por la Cooperación Internacional, coordina las acciones que involucran a instituciones públicas y privadas y es el brazo operativo del VMEEA. El Plan de Desarrollo Económico y Social 2016-2020 plantea la meta de llegar al 90 % de cobertura rural hasta el 2020 (Pinto, 2017).

La primera planta fotovoltaica en Bolivia entró en operaciones en la ciudad de Cobija el año 2015. Hasta septiembre del año 2019, Bolivia contaba con 5 plantas de energía solar: 3 conectadas al Sistema Interconectado Nacional (SIN) y 2 como parte de sistemas aislados (SA). A lo largo de los últimos años se implementaron, la primera planta solar en Pando como SA en Cobija (5,2 MW) y El Sena (0,4 MW). En los últimos años ingresaron en operación las plantas solares de Yunchará (5 MW), Uyuni (60 MW) y El Sena (400 KW). En febrero de este 2021, se finalizó la planta solar fotovoltaica Oruro (100 MW). En el año 2018 entró en operación la planta solar híbrida (diésel energía solar) en el departamento de Beni que formó parte del SA. Por otro lado, en estudio se encuentran 2 plantas solares híbridas, una en el municipio de Riberalta (5,8 MW) y la otra planta en Guayaramerín (2,5 MW). A partir de entonces son muchos los proyectos imple-

mentados y otros tantos que se encuentran en ejecución con la finalidad de cambiar la matriz energética de Bolivia (Soto, 2021).

IV. ANÁLISIS NORMATIVO

Contexto legal del sector energético de Perú

En Perú, el relevante papel del Ministerio de Energía y Minas como impulsor y ejecutor de los programas de electrificación rural, dio como resultado la publicación de un primer reglamento técnico en el año 2005. Este primer reglamento fue revisado y completado durante la ejecución del proyecto “Programa de Electrificación Rural” (PER). El actual es el reglamento técnico y especificaciones técnicas y procedimientos de evaluación del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural R.D N° 003-2007-EM/DGE (2007.02.12). En él se establecen tanto las especificaciones técnicas como los procedimientos de evaluación que debe cumplir un SFV y sus componentes (módulo fotovoltaico, baterías de plomo ácido, controladores de carga, luminarias e inversores). Se especifica que las evaluaciones de componentes pueden ser realizadas en los laboratorios nacionales que cuenten con instrumentos de medición de uso común en el proceso de elaboración de los reglamentos técnicos, así como en la creación de capacidades locales en los laboratorios locales, La propuesta de norma universal, establecida por el Instituto Energía Solar de España, fue tomada como referencia para la elaboración del reglamento peruano actualmente en vigor (Camino, 2011).

Se debe tener en cuenta la norma técnica de edificación EM.080: Instalaciones con energía solar, donde se establezcan las mínimas condiciones técnicas para el diseño y construcción de una vivienda, en las que se incluya el aprovechamiento de energía solar haciendo uso de sistemas fotovoltaicos y fototérmicos (para el calentamiento del agua); sobre todo, la aplicación obligatoria a nivel nacional donde se describen las especificaciones técnicas y los procedimientos constructivos básicos (RNE, 2007).

Del mismo modo, para los proyectos de electrificación rural dependerá de las características del medio donde

operará, características climáticas y geográficas, régimen de consumo eléctrico y cada uno de sus componentes como refiere el Reglamento Técnico (RETE, 2007). El Decreto Legislativo del Perú N° 1002 del 2018, en su artículo 2 inciso 1, declara el interés nacional del desarrollo de nueva generación eléctrica mediante recursos energéticos renovables y establece que el 5 % de la energía eléctrica total debe provenir de recursos energéticos renovables (Peña La Torre, 2019).

Contexto legal del sector energético de Bolivia

En Bolivia continúa vigente la Ley N° 1604 de Electricidad, promulgada el 21 de diciembre de 1994, Esta Ley regula las actividades de la industria eléctrica, define los principios para el establecimiento y la fijación de los precios y tarifas de electricidad en el país en un marco de mercado abierto con libre competencia, en el que el rol estatal quedaría limitado a la planificación; regulación y administración de licencias y concesiones; su control y fiscalización; y a las políticas de electrificación rural y universalización del suministro eléctrico. Para la electrificación rural, la Ley de Electricidad prevé fundamentalmente el artículo 61 (Canedo, 2005).

Asimismo, Bolivia cuenta con normas propias que garantizan la calidad de las instalaciones fotovoltaicas. Éstas fueron desarrolladas por el proyecto BOL/97/G31, ejecutado por el Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas con financiamiento de PNUD/GEF y emitidas por el Instituto Boliviano de Normas y Calidad (IBNORCA); la norma boliviana: NB 1056, es la más importante para la instalación de sistemas fotovoltaicos (ENDE, 2021).

Actualmente, en marzo del 2021, se aprobó el Decreto Supremo N° 4477 que introduce la regulación de la generación distribuida (GD). La norma hace referencia a generación con fuentes renovables, principalmente en los SFV que se instalan en viviendas, aunque también podrá ser útil para quien decida instalar una pequeña planta de producción de energía, o para las empresas que quieran aprovechar sus infraestructuras para producir energía, sin mayor esfuerzo que la instalación de equipos para este fin, e inyectar sus exceden-

tes a la red eléctrica. Con esta regulación se espera un impacto positivo con la democratización en la producción de energía, reducción de costos de electricidad para los usuarios y una mayor participación de las energías alternativas amigables con el medio ambiente en la matriz energética (CBE, 2021).

V. ANÁLISIS DEL ESTADO SITUACIONAL DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Contexto situacional basado en experiencias de instalaciones fotovoltaicas en Perú

En el 2003, se llevó a cabo en Brasil la primera Conferencia Regional de Energías Renovables, en la cual 21 países latinoamericanos acordaron para el 2010 usar al menos un 10 % de energías renovables del consumo total energético. En el documento “Estado de situación de las energías renovables en América Latina y el Caribe” (2004), se mencionan experiencias exitosas, entre ellas el Plan de Electrificación Rural en el Perú, que durante su primera fase (1993-2002) logró que la cobertura nacional de los servicios eléctricos pasara de 57 % a 75 % (Adenauer, 2016).

La mayoría de los SFV usados para electrificación rural son del tipo SFD (en inglés: “solar home system”, SHS), con potencias típicas de 50-60 Wp, operando junto con una batería de plomo ácido, un regulador de carga, y 2 a 4 lámparas fluorescentes de 9-11 W, teniendo un costo del orden de \$600 (incluyendo impuestos e instalación). Un SFD satisface las necesidades usuales de electricidad de una familia en el campo (Horn, 2006).

Una de las causas del bajo rendimiento de los paneles solares son las fallas técnicas que presentan los sistemas convencionales. El usuario no puede tener la certeza de que el panel no está dañado o produciendo un nivel bajo de energía. Las principales fallas son dos: acumulación de suciedad y fallas en el inversor (equipo que transforma la energía de DC a AC). Estos tipos de problemas son planteados a los usuarios como advertencias y recomendaciones escritas, que en muchos casos estos tienden a olvidar o dejar de lado (Mancco, 2015).

La investigación ha mostrado que las familias participantes son portadoras de manifestaciones culturales que vienen de tiempos inmemoriales. Es así, como se ha podido verificar la importancia de tomar en cuenta estos aspectos al insertar una tecnología moderna en el entorno sociocultural de las comunidades tradicionales. En otras palabras, la electrificación no puede ir separada de la cultura ni mucho menos ser impuesta (Morante, 2005).

Contexto situacional basado en experiencias de instalaciones fotovoltaicas en Bolivia

En los últimos años, de acuerdo con la experiencia en cuanto a la implementación en la instalación de sistemas fotovoltaicos en Bolivia, la generación de electricidad fotovoltaica comunitaria municipal y residencial, será de mayor rendimiento si se combina necesariamente con otras formas de generación eléctrica como la eólica, las pequeñas hidroeléctricas de pasada y las generadoras que utilizan desechos orgánicos que no amplían la frontera agrícola. Pero además de ello, dentro de la energía fotovoltaica se debe articular la producción de mediana y gran escala con la producción familiar, municipal y comunitaria. Un enfoque basado sólo en plantas fotovoltaicas privadas o estatales en Bolivia sería desaprovechar una gran oportunidad de contribuir a transformar la economía del país a partir de una aplicación real y actualizada del Vivir Bien.

La importación de “células fotovoltaicas, aunque estén ensambladas en módulos o paneles” está consignada en la partida arancelaria 85414010000 con un arancel cero y un impuesto al valor agregado (IVA) de 14,94 %. Un incentivo para abaratar el costo de instalación es suprimir el arancel a varios componentes involucrados en la generación de energía solar y crear un régimen especial impositivo más bajo para los productos necesarios en la instalación de energías alternativas.

Una reducción de impuestos puede aplicarse a las utilidades de empresas involucradas en la importación, instalación y provisión de servicios en energía solar, así como para las comunidades, pequeños emprendimientos e individuos que logren generar

alguna ganancia por la venta de energía solar a la red. Asimismo, se puede reducir o eliminar el impuesto a los bienes inmuebles para aquellas propiedades que instalen paneles solares en sus tejados. Estas reducciones arancelarias e impositivas pueden ser temporales o permanentes y sujetas a una serie de mecanismos de control que aseguren su buena utilización.

Una política nacional que incentive la instalación de paneles solares a nivel comunitario, municipal y residencial puede combinar varios de estos incentivos económicos para que exista una rentabilidad familiar y social que haga atractivo el emprendimiento (Fundación Solón, 2017).

VI. UNA PERSPECTIVA A FUTURO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA VIVIENDAS RURALES

Además, consideramos que este tipo de proyectos logran avanzar, gracias a la cooperación de los mismos usuarios, cuando los sistemas son idóneos para el área, cuando la implantación e instalación son adecuadas y además si existe un pago para su mantenimiento en mutuo acuerdo en su arancel. Sin embargo, existe un cierto vacío de información relacionado con la gestión de estos proyectos en relación a sus fortalezas y debilidades, buscando objetivos para lograr que sean sostenibles para el medio ambiente. Para llenar este vacío, se analiza y compara el impacto de diferentes modelos de gestión a través de una serie de estudios de caso en Perú, Ecuador y Bolivia después de 4 años de trabajo in situ. Es así como lograron la participación activa de la comunidad y la toma de acción en el cuidado y la gestión para el logro de un precio equilibrado, así como la conservación y sostenibilidad del proyecto (Lillo *et al.*, 2021).

Se entiende, que los países en desarrollo tienen un escaso acceso a electricidad, específicamente en las áreas rurales, comprendiendo que se tiene bajos recursos económicos y dificultad para implementarlos por la lejanía en la que se encuentran. Es por ello, que se logra esfuerzos en conjunto de gobiernos nacionales e internacionales con la intención de cerrar brechas

económicas para que la electricidad llegue a las áreas rurales andinas (López-González *et al.*, 2017).

Para lograr una mejor eficiencia de los sistemas autónomos se viene desarrollando avances tecnológicos como:

Seguidores solares

En 2020, se realizó una investigación para el desarrollo del diseño conceptual de un seguidor solar de dos ejes de libertad para paneles fotovoltaicos auto configurables. Esta última característica es debido a que el estudio responde a las poblaciones de localidades aisladas o de difícil acceso. Se conceptualizó diseños de solución tomando como referencia la norma alemana para el diseño de equipos mecatrónicos. Finalmente, en base a un análisis técnico económico, se escogió y desarrolló la opción más viable; obteniéndose el diseño conceptual de un seguidor solar que, a través de dos ejes de movimiento angular, acimut y altitud, permitió el movimiento total de la orientación de los paneles fotovoltaicos para que estos puedan recibir los rayos solares en un ángulo perpendicular. Además, el sistema contó con un algoritmo que permite iniciar el sistema sin la necesidad de una configuración inicial. Se logró así, asegurar el aprovechamiento del nivel de radiación incidente en los paneles fotovoltaicos en todas las horas solares y, por ende, asegurar la máxima captación de energía solar (Cárdenas, 2003).

Concentrador Rawlemon

Uno de los proyectos que causa eficiencia en un 35 % es el Generador Esférico construido con polímero acrílico (Rawlemon Solar Architecture) por André Broessel, el cual optimiza su captación por estar en un mismo punto, simétricamente en su geometría esférica translúcida (Cerón, 2021) (Figura S7).

Bio paneles solares

Este tipo de paneles, dentro de su composición, tiene microalgas y nanopartículas cuya función es captar el calor del sol y generar energía eléctrica, como también purificar el aire al lograr capturar el dióxido de carbono. Estos modelos fueron creados por Adán Ramirez, -director de Green Fluidics (Cerón, 2021) (Figura S8).

VII. ANÁLISIS A FUTURO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS

Propuesta económica

Nuestro país en los últimos años se ha preocupado por ampliar la cobertura de energía eléctrica, es así que en su Política Energética de Estado 2010 – 2040 aprobada según Decreto Supremo N° 064-2010-EM establece los lineamientos de diversificación de la matriz energética promoviendo las energías renovables. Según el MEF los proyectos de electrificación rural solo pueden ser realizado por el MINEM en localidades ubicadas fuera del área de alcance de las empresas concesionarias. En base a ello, proponemos la participación del MINEN sector privado (entidad financiera) población involucrada, en hacer posible la reducción de las brechas en electrificación rural mediante SFV en las zonas en la cual existen viviendas alejadas una de otra, imposibilitando acceder a la electrificación convencional.

En 1999 se presentó un estudio realizado por Intermediate Technology Development Group (ITDG) Perú sobre la sostenibilidad de proyectos de electrificación rural en el Perú, donde reconoce que los pequeños sistemas aislados constituyen una opción técnica y económica viable, mientras se eliminen las barreras, como los costos, la falta de mecanismos financieros, desconocimiento de los recursos disponibles, falta de capacitación local para la operación y mantenimiento y falta de un marco legal e institucional adecuado. Hoy en día muchas de estas brechas han sido superadas; sin embargo, persiste la falta de mecanismos financieros, esto debido a que los pobladores rurales no cuentan con las garantías para acceder a un financiamiento que les permita adquirir estos sistemas (Adenauer, 2016).

La Dirección General de Electrificación Rural del Ministerio de Energía y Minas (DGERMEM) viene utilizando, cada vez con mayor intensidad, los paneles solares como una alternativa de suministro de energía a localidades rurales y/o comunidades nativas muy aisladas, donde no es posible llegar con los sistemas convencionales, para atender las necesidades básicas

de energía eléctrica, priorizando las zonas de frontera y la Amazonía. Para ello se ha establecido el Plan Nacional de Electrificación Rural 2016 – 2025, se considera muy importante por la utilización de energías limpias en beneficio de la población; pero en experiencias anteriores se ha observado que los programas subsidiarios de electrificación con energías alternativas han tenido problemas en cuanto a su sostenibilidad, generando a que los modelos aplicados no dieran los resultados esperados para contribuir a mejorar el Índice de Desarrollo Humano (IDH) (Hernández *et al.*, 2019) de los pobladores rurales en cuanto a salud, educación, comunicación y más allá, se debe contribuir con el cuidado del medio ambiente. Según el INEI (2018), el 21 % del área rural no cuenta con energía eléctrica y la mayor parte de este porcentaje se encuentran en las regiones de Ucayali y Loreto, también se tiene información sobre los medios que utilizan para su alumbrado tales como: velas, petróleo, gas entre otros. Según Energía hoy 168000 residentes de las áreas rurales accederán al servicio eléctrico en el 2021 y según información del MINEM, 39000 viviendas del norte, centro y sur del país se beneficiarán de esta nueva inversión en infraestructura, donde el gobierno deberá invertir aproximadamente \$390 en promedio por cada persona, la cual asciende a más de S/1500. Como es sabido el servicio eléctrico ocasiona un pago mensual por parte de los pobladores; por ello, proponemos que el Estado, mediante sus ministerios, direcciones ejecutivas, programas el MINEM o equivalentes, garanticen la adquisición de cada poblador interesado que no puede acceder a la energía eléctrica convencional, a fin que pueda contar con energía eléctrica fotovoltaica mediante un Kid, al cual denominaremos “Kid SFV-Rural” con las siguientes características técnicas:

- 1 panel de 85 W
- 1 batería 40 AH
- 1 inversor de 300 W
- 1 controlador de 10 A

Según cotizaciones económicas de diferentes empresarios a la fecha, este kit costaría en promedio S/1000

en el mercado peruano, que le permitiría satisfacer su necesidad de energía básica según las características de un poblado rural típico. Como la inversión inicial sería considerada alta por los niveles de ingreso que cuentan los integrantes de las comunidades rurales, se propone que el MINEM o sus equivalentes, subsidie el 50 % del monto total y que garantice un préstamo del 50 % restante mediante el sistema financiero, el cual sería pagado de manera mensual por el poblador beneficiario, debido a que contar con dicho Kid no les generaría un pago mensual de consumo como normalmente ocasiona la instalación de la electrificación convencional. Como ya es sabido contar con energía en los hogares trae consigo muchos beneficios para un poblador rural, mejorando así sus condiciones de vida como ser humano, además reduce los gastos de otros medios que se tienen que adquirir cuando no se contaba con el servicio (velas, petróleo, motor, entre otros). Por ello la propuesta es que cada poblador adquiera un préstamo de S/500 de una entidad financiera con garantía del Estado, considerando una gama de alternativas, siendo la más extrema a un interés mensual de 2,5 %, la cual generaría un pago mensual de S/16,20 aproximadamente durante 5 años, que comparado a los beneficios del SFV le generaría un valor social de un sol diario, mostrando beneficio económico y social. En la Tabla S1 se muestra el flujo de ingresos y costos del Kid, considerando que los costos de instalación serán asumidos por la entidad pública. Se considera la depreciación como un egreso, a fin de que al cumplir el SFV su vida útil sea reemplazada y los pobladores continúen contando con el servicio. Considerando un horizonte de 10 años, una tasa de inflación anual de 3 % y una tasa de descuento de 14 % anual (que se utiliza en una evaluación de un proyecto de electrificación rural), se estima un VAN y TIR social, favorable para realizar la inversión y si añadimos la comparación con la opción de no realizar la inversión cuyo beneficio sería cero, nuestra propuesta sería recomendada. Por otro lado, debido a la dificultad que generaría en los pobladores trasladarse a las capitales de provincias para efectuar sus pagos, se podría optar por hacerles un

descuento para el pago del préstamo de los programas subsidiarios como son “Pensión 65” o “Juntos” u otros mecanismos, puesto que S/16,20 no es significativo frente a los considerables beneficios que generaría estos proyectos, no sólo en el aspecto económico, sino también en lo social, salud, educación, comunicación y ambiental, como una forma de contribuir es la reducción de brechas en servicios que es uno de los objetivos de los proyectos de inversión pública.

Consideramos que es importante involucrar a la población en proyectos que les beneficie y que sea sostenible en el tiempo, es por ello que se hace esta propuesta con la finalidad de que los propietarios de cada Kid, sean más cuidadosos y responsables en su uso y mantenimiento, donde se tiene que capacitar a las autoridades de las unidades vecinales para que la electrificación rural con energía fotovoltaica sea sostenible en el tiempo y no sólo sea un experimento más como ha ocurrido en muchos centros poblados por falta de interés en el mantenimiento por parte de los pobladores.

Análisis ambiental

Los sistemas fotovoltaicos son parte de una energía inteligente que permite la reducción de CO_2 . Es por ello que se busca alternativas que sean solventes para seguir cuidando nuestro medio ambiente. Con el uso de la energía solar en áreas rurales logramos estos propósitos con la intención de seguir cuidando sin afectar el ecosistema que los rodea (Bazán *et al.*, 2018). Estos sistemas permiten que la gran cantidad de afectación al medio ambiente, por gases de efecto invernadero, se reduzca provocando un impacto positivo en el mismo. Las grandes cantidades de gases de efecto invernadero, evitados por la no combustión de combustible fósil o incluso la afectación de las represas por movimiento de tierra en los proyectos de energía hidráulica, hacen de esta alternativa muy satisfactoria, ambientalmente hablando.

Hay que aclarar que, si bien se evitan diversos aspectos ambientales hacia el medio ambiente por el uso de estos sistemas fotovoltaicos, existen inevitablemente afectaciones indirectas al ambiente debido a la fabricación de los elementos que componen las partes de

dichos sistemas. Los paneles solares usan metales semiconductores, los que se obtienen mediante procesos que bien podrían generar gases de efecto invernadero. Se debe trabajar más para reemplazar esos materiales para que sean más inocuos para el ambiente y de esta manera cerrar la brecha ambiental y, de paso, la económica. La brecha económica junto con la ambiental debe cerrarse, más aún cuando estos sistemas fotovoltaicos son enfocados a la parte rural, donde existen pocos recursos y los traslados de materiales y condiciones diversas, dificultan su desarrollo y ejecución.

Análisis social

Es importante considerar los factores de desarrollo en áreas rurales, con la finalidad de buscar una socialización, donde se pueda implementar como primer factor el uso de SFV y aportar a la población. De este modo, se puede lograr la disminución de tarifas eléctricas con el uso de energía solar (Ladino, 2011).

Dentro de las implicancias que retiene el uso de SFV para las áreas rurales en la sociedad, una de ellas serían las normativas, ya que en lugar de avanzar e invertir en estas propuestas energéticas, ponen barreras en su aplicación y es donde la falta de conocimiento perjudica el avance en las zonas rurales, empezando por las zonas geográficas donde están ubicadas y este desarrollo se debe a las barreras políticas, económicas, financieras y fundamentalmente las técnicas (Flores, 2014).

Beneficios

La instalación de SFV en las diferentes comunidades de la región; por ejemplo, amazónica, contribuyen al mejoramiento del acceso a la energía renovable para las actividades económicas de la población, generando bienestar social, mejorando los ingresos económicos familiares y disminuyendo la deforestación asociada a la implementación de infraestructura energética. Este sistema contribuye en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en el contexto actual de aceleración del cambio climático, y suma al logro del objetivo: “Asegurar el acceso a energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas para todos”, de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Para el caso de Perú, y en específico Loreto, la implementa-

ción de proyectos de electrificación rural debe superar los retos que implican el desplazamiento a zonas inundables, distancias largas y costos elevados; por ello, se han venido dando esfuerzos a través de la implementación de paneles solares en comunidades rurales de Loreto.

- Algunos de los beneficios que las comunidades adquirieron mediante el uso de los paneles solares son:
- En la actualidad, la población cuenta con atención en casos de primeros auxilios, alumbramientos, entre otros, durante horas de la noche y madrugada.
- Los pescadores han incrementado su productividad e ingresos económicos, debido a que ahora pueden optimizar las actividades de selección, clasificación, limpieza y fileteo de los pescados destinados para la comercialización.
- Las actividades de monitoreo y vigilancia nocturna han mejorado. De igual manera, contar con estos paneles facilita la planificación de sus estrategias de intervención inopinada contra la tala ilegal forestal, minería, fauna silvestre que pone en riesgo la alimentación de la población y la dinámica económica.
- Se ha fortalecido el nivel organizacional debido a que más pobladores asisten a las reuniones que ahora se pueden realizar en horas de la noche; permitiéndoles así, tomar mejores decisiones conjuntas por el bien de la comunidad sin necesidad de interrumpir sus actividades diarias (crianza de hijos, pesca, caza, recolección y siembra de productos, entre otras).

La instalación de los SFV implementados, por los múltiples esfuerzos que se han realizado, suma a la ampliación de la cobertura de energía renovable fotovoltaica hacia los locales públicos de los centros poblados y a la reducción del cierre de brechas de los servicios de electricidad en la zona rural. Uno de estos esfuerzos se desarrolló en la cuenca del Nanay, beneficiando a 4 comunidades rurales, ubicadas en zona de influencia del Área de Conservación Regional Nanay

Pintuyacu Chambira. Fueron 11 los sistemas solares implementados en los locales públicos de las comunidades. De esta manera, se benefició directamente a 260 personas e indirectamente a 1855 personas del río Nanay y Pintuyacu, las cuales ahora tienen una experiencia vivencial sobre los beneficios que generan estos sistemas en el desarrollo de la población (Soto, 2021).

VIII. CONCLUSIONES

- Se realizó una revisión histórica, técnica, normativa y análisis de la situación de los SFV instalados en las zonas rurales de Perú y Bolivia.
- De la información recabada, las estadísticas muestran que muchos proyectos de los gobiernos en electrificación rural con SFV han tenido problemas en la sostenibilidad, ello amerita replantear las políticas gubernamentales al respecto.
- Se eleva una propuesta financiera a fin de que el usuario rural de los SFV se haga propietario de esta tecnología en la cual participen el Estado, entidades financieras, empresas suministradoras y el usuario final.
- Del meta análisis realizado en este artículo podemos concluir que hoy en día los SFV son técnicamente sustentables siempre y cuando se atienda la necesidad eléctrica del usuario y él se sienta propietario de los mismos.

IX. AGRADECIMIENTOS

Al Mg. Ing. Wildor Gosgot Ángeles, por su orientación en la elaboración de este artículo.

A Gina Gaete Sara, por ser gestora del Curso de Investigación Aplicado a Energías Renovables que concluyó con la elaboración de este artículo.

A la Mg. Ing. Beatriz Salvador Gutiérrez, por el curso de energía solar fotovoltaica impartido para la elaboración de este artículo.

X. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Julio Oré García, mentoría, resumen, introducción y conclusiones. Carlos Olivares Navarro, coordinación,

análisis ambiental y social.

Raysa Alexsandra Salazar López, introducción, análisis histórico, situacional, programa de electrificación peruana.

María Anany Casas Manosalva, redacción en Latex.

Allison Noelia Tapia, análisis histórico, situacional, programa de electrificación y normativa boliviana.

Beatriz Allende León, normativa peruana, modelamiento 3D y referencias bibliográficas.

Madelina Vega Benavente, una perspectiva a futuro de los sistemas fotovoltaicos para viviendas rurales.

Liz Marivel Arredondo Lezama, propuesta económica para la implementación de un SFV en una vivienda rural.

XI. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

XI. INFORMACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Este artículo surgió del Proyecto “Beca de Capacitación en Energías Renovables” organizado por la Red Energía Renovables Perú, con el apoyo de EnviroPro-Perú y la Fundación “The Social Change Agency”.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adenauer, S. 2016. *Línea del tiempo. Historia de las Políticas Ambientales, Climáticas y Energéticas en América Latina*. Lima (Perú): BIAM.

AETN (Autoridad de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear). 2020. *Anuario Estadístico del 2020*. Informe Técnico. La Paz (Bolivia)

Bazán, J., J. Rieradevall, X. Gabarrell, y I. Vázquez-Rowe. 2018. “Low-carbon electricity production through the implementation of photovoltaic panels in rooftops in urban environments: A case study for three cities in Peru”. *Science of the Total Environment* 622: 1448-1462. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.003.

Camino, M. 2011. “Contribución al aseguramiento de la calidad en la electrificación rural con energías renovables” Tesis de Doctorado.

- Universidad Pontificia de Madrid. Madrid (España).
- Canedo, W. 2005. *Diagnóstico del sector energético en el área rural de Bolivia - Proyecto: electrificación rural*. Informe Técnico. Santa Cruz (Bolivia)
- Cárdenas, C. 2003. Diagnóstico del sector eléctrico: 1990-2002. *Unidad de análisis de políticas sociales y económicas*. Informe Técnico. La Paz. (Bolivia)
- CBE (Cámara Boliviana de Electricidad). 2021. *Noticias Textil Reglamentación de la generación distribuida*. <https://cbe.com.bo/noticia/reglamentacion-de-la-generacion-distribuida> (Consultada 20 mayo de 2022)
- Cerón, O. 2021. *Ingeniería y tecnologías ambientales modernas disruptivas*. Informe Técnico. Mexicanos (EE. UU)
- Chávez, J. 2021. *Perú electrificará zonas rurales en 2021. Energía Hoy, 2021*. <https://energiyahoy.com/2021/01/22/peru-electrificara-zonas-rurales-en-2021/> (Consultada el 23 marzo de 2022)
- ENDE (Empresa Nacional de Electricidad de Bolivia). 2021. *Cambiando la matriz energética de Bolivia para proteger a la madre Tierra, Bolivia*. <https://www.ende.bo/noticia/noticia/483> (Consultada el 15 mayo de 2022)
- Fernández, M., E. Cardozo, J. Zambrana, G. Peña, S. L. Balderrama, C. Sánchez, y S. Quoilin. 2021. "Evaluación del costo de electrificación rural en Bolivia para alcanzar el ODS 7". *Journal Boliviano de Ciencias* 17(50): 1-24. DOI: 10.52428/20758944.v17i50.2
- Fernández, M., C. Fernández, y G. Rodríguez. 2020. *Situación Energética de Bolivia y Desafíos*. Informe Técnico. La Paz Bolivia (Bolivia)
- Flores, J. A. 2018. *Método para la mejora del suministro sostenible de energía eléctrica renovable con celdas fotovoltaicas en las zonas rurales de la Región Arequipa, 2018*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa (Perú)
- Fundación Solón. 2017. *Propuestas para una Bolivia Solar*. <https://fundacionsolon.org/2017/11/03/propuestas-para-una-bolivia-solar/> (Consultada el 25 de febrero de 2022)
- Hernández J., H. López A. Hernández, y J. Cabrera 2019. "Diseño e implementación de un sistema seguidor solar inteligente a dos ejes para optimizar la producción de energía fotovoltaica con una lente de fresnel y un sistema de limpieza robotizado a bajo costo". *Revista de Energías Renovables* 3 (11): 1-6 DOI: 10.35429/JRE.2019.11.3.1.6
- Horn, M. 2006. "El estado actual del uso de la energía solar en el Perú". *Perú Económico* 29 (11): 1-4
- IEA (International Energy Agency). 2021. *Aumento de la generación de electricidad renovable por tecnología, 2019-2020 y 2020-2022*. Informe Técnico. París (Francia)
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2019. *Acceso a los servicios básicos en el Perú 2013- 2018*. Informe. Lima (Perú)
- Ladino Peralta, R. E. 2011. *La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare*. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Javeriana. Bogota (Colombia).
- Lillo, P., L., Ferrer, and M. Juanpera. 2021. "Strengthening the sustainability of rural electrification projects: Renewable energy, management models and energy transitions in Peru, Ecuador and Bolivia". *Energy Research & Social Science*. 80: 1 - 12. DOI: 10.1016/j.erss.2021.102222
- López-González, A., B. Domenech, D. Gómez, and L. Ferrer .2017. "Renewable micro- grid projects for autonomous small-scale electrification in Andean countries". *Energy Research &*

- Social Science*. 79: 1-16. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.203
- Mancco, P. 2015. *Seguidor solar de paneles fotovoltaicos para electrificación rural aislada con aviso preventivo de mantenimiento*. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima (Perú).
- MHE (Ministerio Hidrocarburos y Energías). 2021. *Rendición Pública de Cuentas Inicial Gestión*. Informe Técnico. La Paz (Bolivia)
- MINEM (Ministerio de Energía y Minas). 2016. *Plan Nacional de Electrificación Rural*. Informe Técnico. Lima (Perú)
- Morante F., R. Zilles R. Espinoza, M. Horn. 2005. "Análisis del consumo de energía eléctrica en sistemas fotovoltaicos domiciliarios instalados en cuatro comunidades aisladas de la región de Puno" *Energía y desarrollo* 26 (2): 9-17.
- Muñoz, A. 2019. *Diseño e implementación de un sistema de energía inteligente para iluminación utilizando tecnología led de bajo consumo en Villa el Sol distrito de Yarabamba*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa (Perú).
- OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería). 2019. *Reporte de análisis económico sectorial-Resultados y avances de la primera subasta RER off-grid de sistemas fotovoltaicos autónomos en Perú*. Informe técnico. Lima (Perú)
- Pinto, A. D. G., y J. C. C. Santos. 2017. "Impacto de la electrificación rural en Bolivia". *Revista de Análisis del BCB* 26 (1): 83-102.
- Peña La Torre, W, y J. Nevado. 2019. *Desarrollo de un sistema de control que hace el seguimiento del máximo punto de potencia en paneles solares aplicado a sistemas de generación fotovoltaica para entornos rurales*. Tesis de Maestría. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima (Perú).
- Quevedo, C. 2019. *La eficiencia económica, social y ambiental en la producción de energía fotovoltaica con relación a la energía hidráulica de la mega represa balachepete*. Tesis de maestría. Universidad Andina Simón Bolívar, La Paz (Bolivia).
- RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones). 2007. *Norma Técnica E.M.080. Instalaciones con energía solar. Capítulo III: Instalaciones con sistemas fotovoltaicos*. Informe Técnico. Lima (Perú)
- RTET (Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas). 2007. *Procedimientos de evaluación del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural*. Informe Técnico. Lima (Perú)
- Soto, M. 2021. *Paneles Solares: una oportunidad para mejorar la calidad de vida en la población amazónica*. <https://dar.org.pe/paneles-solares-una-oportunidad-para-mejorar-la-calidad-de-vida-en-la-poblacion-amazonica/> (Consultada el 20 de junio de 2022)
- Vilcanqui, J. 2020. *Estudio para el desarrollo de un seguidor solar de dos ejes auto configurable para paneles fotovoltaicos*. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima (Perú).
- VEEA (Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas). 2019. *Programa de Asistencia Técnica de la Cooperación Alemana al Desarrollo*. Informe técnico. La Paz (Bolivia).