Horizonte Académico
Revista Multidisciplinaria
Recibido:09/12/2024 Aprobado:10/01/2025

DOI: https://doi.org/10.70208/3007.8245.v5.n1.64

Ubicaciones óptimas para instalaciones de paneles solares en la región de Puno: un análisis técnico

Marco Antonio Ramos González
marcoramos@unap.edu.pe
https://orcid.org/0000-0002-4216-6979
Universidad Nacional del Altiplano
Perú-Puno

Raul Ovidio Castillo Pinto
rcastillop@unap.edu.pe
https://orcid.org/0000-0001-8310-7644
Universidad Nacional del Altiplano
Perú-Puno

RESUMEN

La investigación busca los mejores sitios para instalar paneles solares en la región de Puno. La metodología tiene un enfoque cuantitativo y un diseño descriptivo. El objetivo general se logró mediante: a) la selección del lugar de estudio, b) la aplicación de restricciones y c) la identificación de áreas adecuadas. Se usó información de campo y datos del SENAMHI, organizados para su procesamiento en Excel. Se identificó la necesidad de buscar una solución a la falta de electricidad para mejorar la calidad de vida y disminuir la contaminación. Como resultado se encontró el lugar óptimo que está al este de la península de Capachica, en la comunidad de Cotos, en las coordenadas 15°38′22″S y 69°58′37″O. Este sitio reúne las condiciones necesarias: suelo plano y firme, excelente exposición solar durante todo el día y una ubicación central que puede suministrar energía a 22 familias, mejorar su calidad de vida y disminuir la contaminación. El aporte, a nivel técnico, es utilizar tecnologías emergentes; en lo social, apoyar a las familias de la comunidad de Cotos; y, en lo ambiental, promover el uso de energía renovable.

Palabras clave: energía solar, instalaciones, ubicaciones óptimas

Optimal locations for solar panel installations in the Puno region: a technical analysis

ABSTRACT

The research looks for the best sites to install solar panels in the Puno region. The methodology has a quantitative approach and a descriptive design. The general objective was achieved by: a) selecting the study site, b) applying restrictions and c) identifying suitable areas. Field information and SENAMHI data were used, organized for processing in Excel. The need to find a solution to the lack of electricity to improve the quality of life and reduce pollution was identified. As a result, the optimal site was found to be east of the Capachica peninsula, in the community of Cotos, at coordinates 15°38′22″S and 69°58′37″O. This site meets the necessary conditions: flat and firm soil, excellent solar exposure throughout the day and a central location that can supply energy to 22 families, improve their quality of life and reduce pollution. The contribution, at the technical level, is to use emerging technologies; at the social level, to support the families of the Cotos community; and, at the environmental level, to promote the use of renewable energy.

***Keywords**:* installations, optimal locations, solar energy

INTRODUCCIÓN

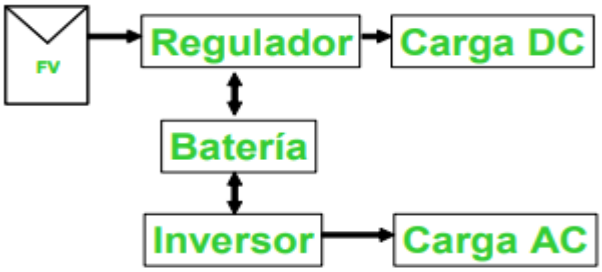
La eficiencia energética busca reducir el calentamiento global y la contaminación, proponiendo soluciones para frenar el deterioro ambiental.

La energía fotovoltaica se ha destacado en los últimos años como apoyo a los métodos tradicionales de generación de energía (Saeed et al., 2024), asimismo la tecnología fotovoltaica es fácil de instalar, limpia, automática, silenciosa, de bajo mantenimiento y ecológica. Además, puede ser autónoma o conectarse a la red eléctrica, lo que la hace muy útil.

Humberto (2014) destaca la importancia de las redes inteligentes y las energías renovables, especialmente la solar fotovoltaica, como alternativas limpias y económicas. Se analiza el contexto técnico, económico y social de la energía solar, resaltando la necesidad de un marco regulatorio y la influencia de las políticas y la reducción de costos en su adopción global. Un desafío para la energía fotovoltaica distribuida es cumplir con las normas de construcción, como instalar paneles en tejados, lo cual exige la aprobación de un ingeniero (Vandewetering & Pearce, 2024).

Una instalación solar fotovoltaica convierte la radiación solar en electricidad, generando corriente continua y transformándola en corriente alterna para su uso. Según (Feull & Fulp, 2010), una instalación solar fotovoltaica conectada a la red incluye: un sistema generador que convierte la luz solar en corriente continua, un inversor que la transforma en corriente alterna y un conjunto de protecciones y elementos de seguridad. Existen sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a la red, y las placas fotovoltaicas varían en costo y eficiencia según el material de sus células, como amorfas, policristalinas o monocristalinas (Lucarelli, 2010). El polvo en los paneles disminuye la eficiencia y la duración del sistema (Lu et al., 2019). Según Alonso (2002) la energía fotovoltaica es competitiva en áreas remotas, tanto económicamente como en fiabilidad, al satisfacer la demanda eléctrica. Por otro lado, impulsar proyectos de energía sostenible en ciudades (Dimitriou et al., 2024) y fomentar la instalación de paneles solares en casas ayuda a reducir la sobrecarga eléctrica en la red. Además, contribuye a los objetivos de sostenibilidad del país (Le & Tran, 2024).

Figura 1. *Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo AC*



Nota. Master en energías renovables y mercado energético tomado de Alonso (2002).

La energía solar fotovoltaica puede ser descentralizada, con sistemas independientes para cada usuario, o centralizada, con personal para su mantenimiento y suministro a comunidades enteras.

En Perú, la energía solar es constante a lo largo del año, con un promedio de 4-6 kWh/m2 día, lo que la convierte en una fuente útil para el desarrollo comunitario (Ängström, 1924). Zamfirescu & Dincer (2009) afirman que la energía solar se puede extraer de manera eficiente usando modelos termodinámicos y de sistemas de información geográfica.

La base de datos espacial de un SIG representa digitalmente el mundo real a través de objetos discretos. Los SIG utilizan dos modelos de datos básicos: ráster y vectorial (Sanchez, 2012). El Piranómetro mide la radiación solar total en su campo de visión hemisférico. Registra la radiación solar y calcula la energía incidente en un periodo específico (Aleman, 2014). El Pirheliómetro mide la radiación directa del sol y sus datos deben analizarse cuidadosamente al diseñar concentradores solares para altas temperaturas.

La Ley Nº 29151 establece que los bienes de dominio público son inalienables e imprescriptibles, y el Estado ejerce su control sobre ellos según la ley. La Ley N° 28611 establece que los proyectos fuera del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental deben cumplir con las normas ambientales correspondientes, y detalla los requisitos para los EIA (MINAM, 2005). La ley N° 28296 establece que los bienes del patrimonio cultural son públicos o privados, con limitaciones, y declara de interés social su identificación, protección, restauración y difusión (Cultura, 2016).

La electrificación solar en zonas rurales fracasó al no considerar las necesidades locales, demostrando que la participación local es esencial para adoptar la tecnología (Campen et al., 2000). Un informe del IFAD destaca que las fuentes renovables pueden impulsar el desarrollo rural, enfocado en energía solar

y eólica, biocombustibles y biogás (Poole, 2006). Los sistemas solares pequeños generan empleo rural y tienen aplicaciones agrícolas, como abrevaderos y riego por goteo. También se están explorando nuevos usos, como el control de plagas y la iluminación para acuicultura y avicultura (Campen et al., 2000).

Problemática

En zonas rurales sin acceso a electricidad, los pobladores usan medios artesanales como velas y generadores pequeños, lo que aumenta los costos y contamina. La energía solar fotovoltaica es una alternativa limpia y económica. La investigación busca identificar lugares adecuados en Puno para instalar sistemas solares, evaluando su impacto social y ambiental. La región tiene condiciones favorables para proyectos solares, pero la implementación requiere recursos técnicos y económicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la región de Puno, al sur de Perú, con una extensión de 72,000 km². Se utilizó un muestreo no probabilístico, centrado en la provincia de Puno, específicamente en la estación de Capachica, a 3933 msnm, y en la comunidad de Cotos, que cuenta con 22 familias. Se definió el marco legal local para encontrar emplazamientos adecuados para energías renovables en la región de Puno, investigando y evaluando la normativa vigente para establecer restricciones en el área de estudio.

Figura 2. Procedimiento para identificar superficies adecuadas



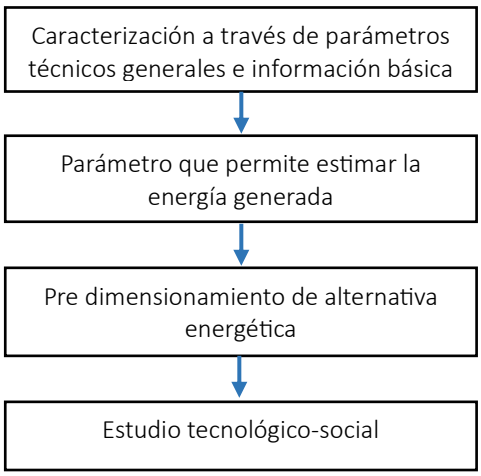
Nota. Modificado y adaptado a la investigación tomado de Sanchez (2012).

Se usó gvSIG para seleccionar la zona de estudio y procesar datos solarimétricos, evaluando el impacto técnico, social, visual y ambiental de instalar energías renovables (Sanchez, 2012).

Se identificaron restricciones que limitan la instalación y se delimitó el área de estudio para analizar posibles ubicaciones. Se consideraron datos de 17 estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú ubicadas en las provincias de Melgar (2), Lampa (1), Carabaya (1), Azángaro (4), Huancané (1), Moho (1), Puno (1), Chucuito (4), Callao (1), Yunguyo (1).

Para encontrar el mejor lugar, se usaron solarímetros. Primero, se identificaron restricciones ambientales, tecnológicas y humanas. Se midió la energía solar en un plano específico y se analizó su distribución. Estas mediciones son útiles para la energía solar y el estudio del cambio climático (Muneer, 2004). Las restricciones incluyen aspectos legales, ambientales, tecnológicas, de transporte y protección del patrimonio.

Figura 3. *Evaluación de energías renovables alternativas*



Nota. Elaboración propia.

Se evaluaron áreas aptas considerando impactos técnicos, económicos, ambientales y sociales. Se analizó que las ERNC son económicas, pero no generan ingresos significativos. La metodología compara la situación actual con la futura, destacando los beneficios de su implementación. Se utilizó el análisis de ciclo de vida (ACV) con el software Sima-Pro para evaluar el impacto ambiental de las ERNC en Puno, enfocándose en reducir el uso de materias primas, ahorrar energía y minimizar la contaminación. El método eco indicador 99 analiza 11 impactos, como carcinogénesis, cambio climático y uso de recursos. Se evaluaron tres daños: salud, ecosistemas y recursos. El método evaluó el impacto ambiental de cada tecnología para elegir la mejor.

En la recolección de datos para el objetivo de identificar los mejores lugares en la región de Puno para instalar sistemas de energía solar fotovoltaica. Se evaluaron leyes, selección de la zona, análisis SIG con gvSIG, restricciones, áreas aptas, tecnología para ERNC, encuestas de satisfacción social, análisis de

datos recopilados indirectamente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y análisis de ciclo de vida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Región de Puno se encuentra en el cinturón solar de la Tierra, lo que hace viable y necesario implementar energías renovables. La investigación descriptiva considera los paneles fotovoltaicos como propuesta y toma a la Comunidad de Cotos, con 22 familias, como muestra.

El distrito de Capachica tiene las coordenadas 15°38'22"S de latitud y 69°58'37"O de longitud, con una superficie de 117,06 km² y una altitud media de 3,860 m.s.n.m. Su población es de 7,540 habitantes, y la Comunidad Campesina de Cotos tiene 319 habitantes. La península de Capachica, ubicada junto al lago, presenta playas protegidas, formaciones rocosas y depresiones que actúan como barreras contra vientos y oleaje, especialmente por la tarde. La zona ribereña tiene una topografía irregular, con laderas, cerros rocosos, pampas y quebradas.

El clima en Capachica es frío y húmedo, con temperaturas de 8 a 12 °C y un máximo de 18.6 °C. Las fluctuaciones diarias de temperatura son más notorias que las mensuales, especialmente por la noche, cuando puede llegar a bajar hasta -3 °C. Las heladas ocurren entre mayo y julio. Las precipitaciones anuales oscilan entre 0.0 mm y 580 mm, siendo más abundantes de diciembre a marzo y escasas entre abril y noviembre.

Figura 4. Ubicación en Capachica, Comunidad de Cotos



Nota. Tomado de Google Maps.

Para dimensionar e instalar un sistema fotovoltaico en la península de Capachica, se determinó el perfil de carga y la radiación del lugar. La ubicación seleccionada en la Comunidad Campesina de Cotos cuenta con 245 m² (35m x 7m), inclinación de 7° y ángulo acimutal de 40°, ideal para cubrir un consumo anual de 313,357 kWh para 22 familias.

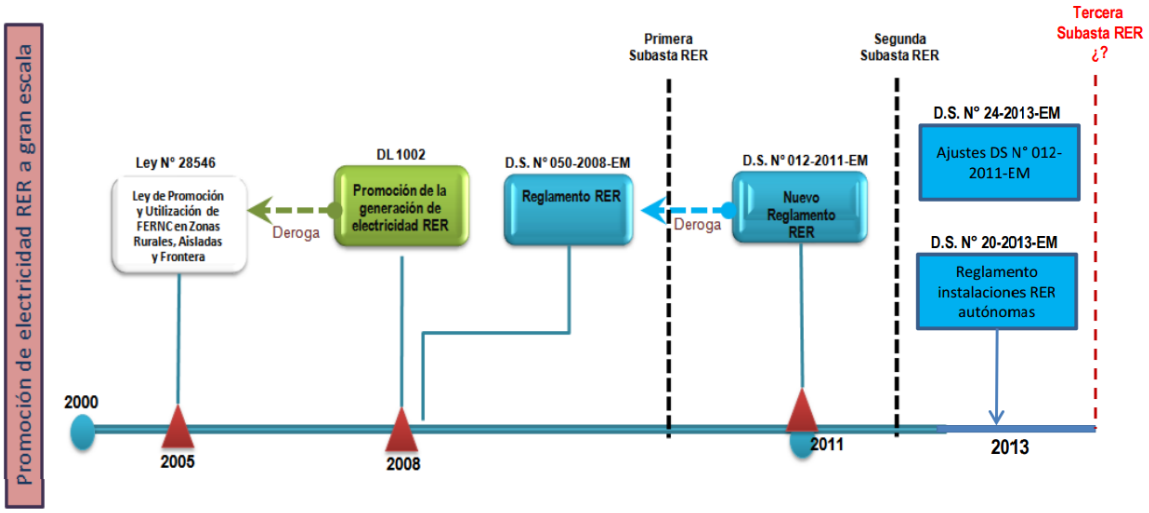
Tabla 1. Consumo por día

Mes	Nº de familias	Promedio diario por familia kWh	Promedio diario de consumo en Cotos (kWh)	Consumo mensual en Cotos (kWh)
Enero	22	34.03	748.66	23208.46
Febrero	22	30.54	671.88	18812.64
Marzo	22	32.98	725.56	22492.36
Abril	22	39.65	872.30	26169.00
Mayo	22	36.44	801.68	24852.08
Junio	22	40.32	887.04	26611.20
Julio	22	41.45	911.90	28268.90
Agosto	22	39.43	867.46	26891.26
Septiembre	22	39.76	874.72	26241.60
Octubre	22	46.65	1026.30	31815.30
Noviembre	22	43.25	951.50	28545.00
Diciembre	22	44.62	981.64	29449.20
TOTAL	22	469.12	10320.64	313357.00

Nota. Encuesta de consumo en Cotos.

El Decreto Legislativo 1002 promueve la inversión en energías renovables. El reglamento de esta ley es el Decreto Supremo 012-2011-EM. Existen también las Bases Consolidadas de la primera y segunda Subasta de Recursos Energéticos Renovables (RER), establecidas en las Resoluciones Viceministeriales N° 113-2009-MEM/VME y N° 036-2011-MEM/VME del MINEM. El D.L. Nº 1002 establece que el MINEM fijará cada 5 años un porcentaje de participación de electricidad generada a partir de RER, con un objetivo del 5% anual en el primer quinquenio (Rivera, 2012).

Figura 5. Regulación de energías no renovables desde 2008



Nota. Tomado de Mitma (2013).

La generación de electricidad mediante tecnologías disponibles afecta el entorno (Hung, 2011). Los equipos instalados afectan la zona oriental de Capachica. Las energías renovables no generan emisiones contaminantes ni residuos tóxicos o radiactivos. Su fabricación es segura, se adapta bien al terreno, tiene bajo impacto acústico y captura solo el 10% de la radiación solar.

Tabla 2. Impacto de los equipos fotovoltaicos

IMPACTO	ÍNDICE		
	Bajo (0-33,3%)	Medio (33,4%-66,6%)	Alto (66,7%-100%)
- Uso del espacio con impacto visual.	X		
- La instalación obstaculiza el paso de las poblaciones cercanas.		X	
- Se pierde terreno para cultivo o ganadería.		X	
- Impacto electromagnético de componentes solares.		X	

Nota. Análisis de campo propio.

Tabla 3. Satisfacción de necesidades según la vulnerabilidad

Grupos Humano	Cumplimiento de las necesidades humanas y sociales							
	Baja		Media		Alta		Total	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Vulnerable	2	9%	3	14 %	11	50%	16	73%
No vulnerable	1	5%	2	9%	3	14%	6	27%
TOTAL	3	14%	5	23 %	14	64%	22	100%

Nota. Elaboración propia de la encuesta.

Los paneles fotovoltaicos convierten la luz en electricidad usando el efecto fotovoltaico, generando corriente al crear un campo eléctrico entre semiconductores. Una celda de silicio de 6 cm produce entre 0,5 A y 0,5 V, con una eficiencia de 90 W/m². El arseniuro de galio es más eficiente pero más caro. Los paneles solares tienen una vida útil de 25 a 30 años antes de convertirse en desechos (Ovacen, 2017).

La potencia de salida de los paneles solares suele reducirse alrededor del 0.5% cada año. Sin embargo, los paneles solares de película delgada (a-Si, CdTe y CIGS) se degradan más rápidamente que los paneles monocristalinos y policristalinos (Tabla 4).

El uso de materiales debe ser mínimo para instalar energía eléctrica en los hogares, con el fin de promover una conciencia ambiental elevada y no dañar el ecosistema ni el paisaje turístico.

Tabla 4. Degradación de paneles fotovoltaicos

Tipo de célula solar	Pérdida anual de producción	
	Antes de su uso (%)	Primer año (%)
Silicio amorfo (a-Si)	0.96	0.87
Telurio de cadmio (CdTe)	3.33	0.40
Seleniuro de galio de indio y cobre (CIGS)	1.44	0.96
Silicio monocristalino (mono-Si)	0.47	0.36
Silicio policristalino (poli-Si)	0.61	0.64

Nota. Tomado de AUMA (2000).

Para ahorrar energía, se recomienda reemplazar el 30% de los focos por bombillas de bajo consumo, usar electrodomésticos eficientes y monitorear el consumo en viviendas rurales para promover el uso responsable de la energía.

Tabla 5. Comparación del consumo antes y después de los paneles solares en Kw

	Antes	Después	Ahorro
1	30,54	14.76	15.78
2	20.06	16.91	3.15
3	60.08	40.67	19.41
4	10.34	14.56	4.22
5	20.06	11.89	8.17
6	21.09	06.54	14.55
7	34.04	12.38	21.66
8	14.08	10.92	3.16
9	29.18	05.34	23.84
10	32.99	09.52	23.47
11	13.06	04.76	8.30

12	28.09	12.49	15.60
13	31.24	09.99	21.25
14	60.76	40.03	20.73
15	29.87	05.81	24.06
16	35.95	11.93	24.02
17	13.07	10.43	2.64
18	36.89	08.05	28.84
19	22.87	09.94	12.93
20	30.46	16.09	14.37
21	24.75	08.46	16.29
22	72.42	63.00	9.42
Total	**641.35**	**344.47**	**327.42**
Promedio	**30.54**	**15.65**	**14.88**

Nota. Elaboración propia.

Tras la instalación de paneles solares, las 22 familias redujeron su consumo promedio en 15.65 kW, logrando un ahorro de 14.88 kW por familia. Para reducir la contaminación, se deben aplicar programas de forestación y charlas sobre el uso adecuado de la energía renovable.

CONCLUSIONES

El lugar ideal está en el este de la Península de Capachica, en la Comunidad de Cotos, con las coordenadas 15°38′22″S y 69°58′37″O. El lugar es ideal para un sistema solar fotovoltaico porque es plano, recibe sol todo el día y está en el centro de Capachica, beneficiando a 22 familias. Las zonas rurales sin acceso a la red eléctrica pueden desarrollarse de manera sostenible usando energía solar fotovoltaica. Los resultados muestran un impacto moderado (33,4% - 66,6%) en obstrucción de paso, pérdida de terreno y efectos electromagnéticos, pero el impacto en ocupación del espacio y contaminación visual es bajo (0% - 33%). El grupo más beneficiado es el vulnerable, con un 50% de satisfacción. La reducción de la contaminación depende de: a) usar menos materiales en la instalación de electricidad; b) fomentar el ahorro de energía; y c) implementar programas de forestación y charlas sobre el uso responsable de electricidad. La reducción de la contaminación depende de: a) usar menos materiales; b) promover el ahorro energético; y c) hacer programas de forestación y educación sobre el uso responsable de la energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aleman, Y. (2014). *Instalación y análisis de datos de la estación solarimetrica de la universidad de Quintana Roo*. Mexico, Chetumal Quintana Roo: Universidad de Quintana Roo, Division de Ciencia e Ingenieria. http://hdl.handle.net/20.500.12249/1378

Alonso, M. (2002). *Master en energias renovables y mercado energetico*. Madrid- España: Energia solar fotovoltaica, Escuela de organizacion industrial. https://www.academia.edu/download/38373658/SISTEMAS_FOTOVOLAICOS.pdf

Ängström, A. (1924). *Solar and Terrestrial Radiation*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. https://doi.org/10.1002/qj.49705021008

Campen, B., Guidi, D., & Best, G. (2000). *Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles.* Roma: FAO. Obtenido de http://www.fao.org/uploads/media/Solar%20photovoltaic%20for%20SARD%20ES.pdf

Cultura. (2016). *Marco legal de proteccion del patrimonio cultural*. Lima, Peru: Ministerio de Cultura, Direccion General de Defensa del Patrimonio cultural. https://cienciaycultura.ucb.edu.bo/a/article/view/272

Dimitriou, I. C., Arsenopoulos, A., Trachanas, G. P., Sarmas, E., & Marinakis, V. (2024). *Assessing the adoption level of solar PV installations, on district scale of urban environment*. Renewable Energy, 237. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121676

Feull, & Fulp. (2010). *Eficiencia energética y medio ambiente en establecimientos hoteleros*. Fundación Empresa Universidad de La Laguna y Fundación Universitaria de Las palmas. https://www3.gobiernodecanarias.org/noticias/hemeroteca/category/consejeria-economia-conocimiento-y-empleo/conocimiento/page/199/

Humberto, L. (2014). *Smart Grid y la energía solar fotovoltaica para la generación distribuida: una rebvision en el contexto energetico mundial*. Colombia, Medellin: Ingenieria y Desarrollo. https://www.redalyc.org/pdf/852/85232596010.pdf

Hung, V. (2011). *Propuesta metodológica de selección de emplazamientos viables para instalaciones de energía solar fotovoltaica*: Lanzarote . Madrid: Universidad Complutense de Madrid. https://hdl.handle.net/20.500.14352/46433

Le, N. T. T., & Tran, K. T. (2024). *Predicting the intention to install solar photovoltaic panels in emerging market: The role of consumer innovativeness, knowledge, and support for government incentives*. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 10(4), 100423. https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100423

Lu, H., Lu, L., Zhang, L. Z., & Pan, A. (2019). Numerical study on polydispersed dust pollution process on solar photovoltaic panels mounted on a building roof. Energy Procedia, 158, 879–884. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.225

Lucarelli, M. V. (2010). *Eficiencia energética y energías renovables en los hoteles de Uruguay*. España: Universidad de Alicante. http://hdl.handle.net/10045/17078

MINAM. (2005). *Ley General del Ambiente*. Lima, Peru: Ministerio del Ambiente. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/PUYANGO.pdf

Mitma, R. (2013). *Regulación de las Energías Renovables en el Perú*. Recuperado el 16 de enero de 2018, de http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/uploads/Publico/OficinaComunicaciones/EventosRealizados/ForoTacna/2/6-Regulacion%20RER%20Peru-Riquel%20Mitma.pdf

Muneer, T. (2004). *Solar Radiation and Daylight Models*. https://doi.org/Obtenido de: https://doi.org/10.1016/B978-075065974-1/50015-2

Ovacen, G. (2017). *Qué haremos con todos los paneles solares cuando terminen su vida útil*. Recuperado el 14 de enero de 2019, de https://ovacen.com/paneles-solares-vida-util/

Poole, N. (2006). *La población rural pobre ante los retos, dificultades y posibilidades que plantea*. Roma: Internacional Found Agricultural Development. Obtenido de http://www.ifad.org/events/gc/29/panel/s/poole.pdf

Rivera, J. (2012). *¿Cuál es el marco legal de la energía solar en Perú?* Recuperado el 09 de setiembre de 2019, de Mineria y Responsabilidad Social: https://perumineria.wordpress.com/2012/12/30/cual-es-el-marco-legal-de-la-energia-solar-fotovoltaica-en-peru/

Saeed, A., Rehman, S., & Al-Sulaiman, F. A. (2024). *Study of a grid-connected floating photovoltaic power plant of 1.0 MW installed capacity in Saudi Arabia*. Heliyon, 10(16). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35180

Sanchez, J. (2012). *Búsqueda y evaluación de emplazamientos óptimos para albergar instalaciones de energías renovables en la costa de la región de murcia: combinación de sistemas de información geográfica (sig) y soft computing*. Universidad Politecnica de cartagena. https://doi.org/10.31428/10317/3238

Vandewetering, N., & Pearce, J. M. (2024). *Streamlining structural engineering compliance of rooftop solar photovoltaic installations using an open-source approach*. Solar Energy, 284. https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.113074

Zamfirescu, C., & Dincer, I. (2009). *How much exergy one can obtain from incident solar radiation*. Journal of applied physics (105, 044911). https://doi.org/10.1063/1.3081637