



## Evaluación del rendimiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red: Caso de estudio campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina

Evaluation of the performance of a photovoltaic system connected to the grid: Case study campus of the  
National Agrarian University La Molina

Avaliação do desempenho de um sistema fotovoltaico conectado à rede: Estudo de caso campus da  
Universidade Nacional Agrária La Molina

### ARTÍCULO ORIGINAL

José Andrés Matos Salazar

<https://orcid.org/0009-0002-9335-2381>

Círculo de Investigación en Energías  
Renovables y Eficiencia Energética,  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Kenyi G. Cavalcanti Cárdenas

<https://orcid.org/0000-0001-9410-3577>

[kcavalcanti@lamolina.edu.pe](mailto:kcavalcanti@lamolina.edu.pe)  
Departamento Académico de Ordenamiento  
Territorial y Construcción, Facultad de  
Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional  
Agraria La Molina

José Luis Calle Maraví

<https://orcid.org/0000-0002-0765-9727>

Departamento Académico de Ordenamiento  
Territorial y Construcción, Facultad de  
Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional  
Agraria La Molina

Recibido 13 de Mayo 2024 | Arbitrado y aceptado 18 de Junio 2024 | Publicado el 24 de Junio 2024

#### RESUMEN

El artículo presenta la evaluación del rendimiento de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red de 3,25 kW de capacidad instalada ubicada en el techo del edificio perteneciente al Centro de Investigación y Prevención de Desastres de la Facultad de Ingeniería Agrícola en la Universidad Nacional Agraria La Molina. El artículo analiza la producción de la energía del sistema solar fotovoltaico y su contribución al consumo energético del edificio para el periodo 2019-2022. Se evalúa los datos de potencia diaria, así como factores ambientales que tengan impacto sobre el rendimiento del sistema fotovoltaico como la temperatura ambiental y la irradiancia. Adicionalmente, se cuantifica el beneficio económico, en términos de ahorro, generado por el uso de una fuente de energía renovable.

Los resultados muestran una disminución promedio de 13% en la generación de energía para el periodo de análisis, ligados a una falta de mantenimiento, el efecto de la sombra por polución originado por la acumulación de polvo en la superficie del panel fotovoltaico, etc. La producción energética promedio anual del sistema fotovoltaico fue de aproximadamente 4,000 kWh. El sistema fotovoltaico contribuyó aproximadamente con un 30% del consumo energético del edificio, sin contar la energía suministrada a la red. En promedio esto le permitió un ahorro del 0.83% de la tarifa anual de energía que paga la UNALM, logrando una prevención de 5.8 tn CO<sub>2</sub> al año.

#### ABSTRACT

The article presents the evaluation of the performance of a grid-connected solar photovoltaic system of 3.25 kW of installed capacity located on the roof of the building belonging to the Research and Disaster Prevention Center of the Faculty of Agricultural Engineering at the National Agrarian University La Molina. The article analyzes the energy production of the solar photovoltaic system and its contribution to the energy consumption of the building for the period 2019-2022. Daily power data is evaluated, as well as environmental factors that have an impact on the performance of the photovoltaic system such as ambient temperature and irradiance. Additionally, the economic benefit, in terms of savings, generated by the use of a renewable energy source is quantified.

The results show an average decrease of 13% in energy generation for the analysis period, linked to a lack of maintenance, the effect of shading due to pollution caused by the accumulation of dust on the surface of the photovoltaic panel, etc. The average annual energy production of the photovoltaic system was approximately 4,000 kWh. The photovoltaic system contributed approximately 30% of the building's energy consumption, not counting the energy supplied to the grid. On average, this allowed a saving of 0.83% of the annual energy rate paid by UNALM, achieving a prevention of 5.8 tn CO<sub>2</sub> per year.

#### RESUMO

O artigo apresenta a avaliação do desempenho de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede de 3,25 kW de capacidade instalada ubicada no equipamento do edificio pertencente ao Centro de Investigação e Prevenção de Desastres da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Nacional Agrária La Molina. O artigo analisa a produção de energia do sistema solar fotovoltaico e sua contribuição para o consumo de energia do edificio para o período 2019-2022. Os dados de potência são avaliados diariamente, assim como os fatores ambientais que podem afetar o desempenho do sistema fotovoltaico, como a temperatura ambiental e a irradiancia. Além disso, quantifica-se o benefício econômico, em termos de horror, gerado pela utilização de uma fonte de energia renovável.

Os resultados mostram uma diminuição de 13% na geração de energia para o período de análise, limitada a uma falta de manutenção, o efeito da sombra pela poluição originada pelo acúmulo de pó na superfície do painel fotovoltaico, etc. a produção energética média anual do sistema fotovoltaico foi de aproximadamente 4.000 kWh. O sistema fotovoltaico contribuiu aproximadamente com 30% do consumo de energia do edificio, sem contar a energia fornecida à rede. Em seguida, foi permitido um adiamento de 0,83% da tarifa anual de energia que paga a UNALM, registrando uma prevenção de 5,8 tn CO<sub>2</sub> por ano.

## 1. Introducción

Las energías renovables, como la energía solar fotovoltaica, juegan un papel esencial en la transición energética de muchos países, incluido el Perú, y su uso significa una oportunidad para reducir la emisión de gases de efecto invernadero y su impacto en el ambiente (Campodónico y Carrera, 2022). En el Perú, se propuso una meta de reducción en su tasa de emisiones de gases de efecto invernadero del 40 por ciento para el 2030. Para lograr esto e implementar las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC), el Gobierno ha identificado al menos 62 medidas de mitigación, de las cuales 38 (más del 61 por ciento) corresponden al sector energético (Yaranga, 2020). Adicionalmente, se promulgó el Decreto Supremo n.º 003-2022-MINAM, donde se estableció el objetivo de llegar, en 2030, al 20 por ciento de participación de energías renovables no convencionales en la matriz de generación eléctrica (Campodónico y Carrera, 2022).

La generación de energía renovable, en general, y la energía solar fotovoltaica, en particular, está vinculada a parámetros atmosféricos que afectan la radiación solar superficial, como la cobertura de nubes, los aerosoles, material particulado y el vapor de agua (Vargas Gil et al., 2020). Adicionalmente, el Perú cuenta con un importante potencial en energía solar debido a su ubicación geográfica y clima favorable (Espinoza et al., 2019), especialmente en la sierra y en la parte sur del país, donde el potencial energético oscila entre 5 a 6 kWh/m<sup>2</sup> – día y en el 2020, la capacidad fotovoltaica instalada total del Perú alcanzó los 284.4 MW (Yaranga, 2020).

Así mismo, los beneficios de la energía solar fotovoltaica en el Perú abarcan distintos aspectos del bienestar humano, que no se restringen solamente al ámbito ambiental; también se relaciona con un beneficio social (Raihan y Tuspekova, 2022) Según el informe del Banco Mundial del 2015, el 40.5% de la población no tiene acceso a la energía (Miravet-Sánchez et al., 2022). En adición, al realizar las instalaciones de manera modular, se generan puestos de trabajo, donde se necesitará personal capacitado y con conocimientos para dirigir y manejar instalaciones de este tipo (Espinoza et al., 2019; Miravet-Sánchez et al., 2022). La mejora en la calidad de vida es un efecto directo de la electrificación rural por medio de sistemas fotovoltaicos representan una solución factible ante esta problemática actual y así asegurar un suministro eléctrico.

## 2. Métodos.

### 2.1. Diseño de la investigación

Para fines de evaluación se consideró un sistema solar fotovoltaico conectado a red de 3,25 kWp, de capacidad instalada y ubicada en el techo del edificio del Centro de Investigación y Prevención de Desastres de la Facultad de Ingeniería Agrícola en la Universidad Nacional Agraria La Molina y que entró en funcionamiento en noviembre del 2018.

**Figura 1. Imagen del SFV ubicado en la UNALM**



El sistema solar fotovoltaico contiene diez módulos fotovoltaicos Canadian Solar Inc. CS6U-325P conectados en serie, un inversor Sunny Tripower 5000TL-20, e instrumentos de medición y monitoreo. La figura 1 muestra el sistema solar fotovoltaico considerado para este trabajo.

La Tabla 1 muestra las especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico Canadian Solar Inc. CS6U-325P

**Tabla 1: Datos mecánicos del panel Canadian Solar Inc. CS6U-325P.**

Datos mecánicos	
Especificaciones	Datos
Tipo de célula	Policristalino, 6 pulgadas
Disposición de células	72 (6x12)
Dimensiones	1960 x992 x40 mm
Peso	22,4 kg
Cubierta Frontal	3,2 mm vidrio templado
Material del Marco	Aleación de aluminio anodizado
Caja de Conexiones	IP67, 3 diodos
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC) ó 4 mm <sup>2</sup> y 12 AWG 1000V (UL), 1160 mm(45.7 in)
Conector	T4-1000V ó serie PV2
Por Palé	26 unidades

## 2.2. Recopilación de información.

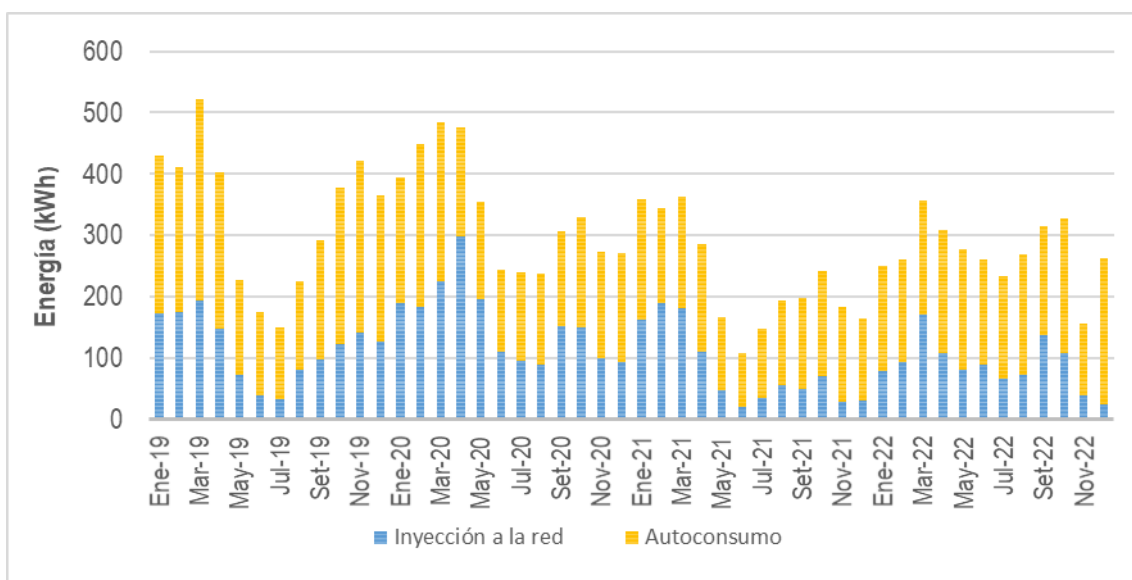
Los datos de generación y consumo de energía fueron descargados de la plataforma Sunny Portal (<https://www.sunnyportal.com>) que registra los datos del inversor Sunny Tripower 5000TL-20. Los datos de irradiancia y temperatura ambiental fueron descargados de la plataforma METEOCONTROL (<https://www1.meteocontrol.de/vcom>) que registra los datos de la estación meteorológica ubicada al lado del sistema solar fotovoltaico. El periodo de análisis va desde el 2019 al 2022. La información sobre la producción solar fotovoltaica y el consumo de la red eléctrica se registra cada 15 minutos durante 24 horas al día y los 365 días del año. La descarga de datos de las plataformas se realizó de manera mensual.

### 3. Resultados y discusión.

#### 3.1. Generación de electricidad fotovoltaica

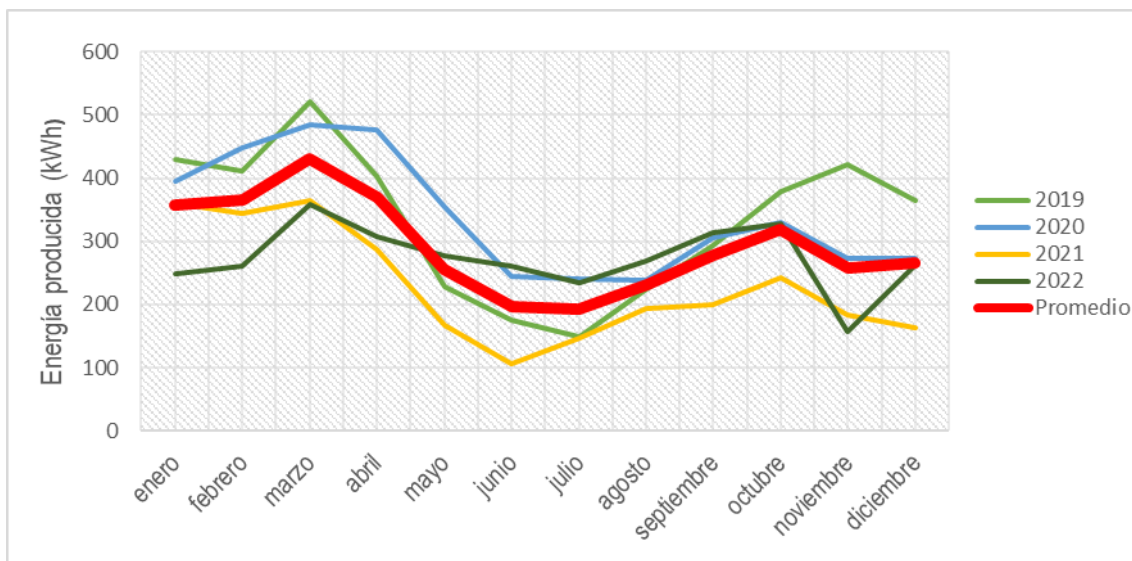
La producción de electricidad fotovoltaica ha ido cambiando a lo largo del periodo de evaluación. El promedio de generación de energía fotovoltaica mensual es de 293.71 kWh, con un máximo de generación de 521 kWh registrado en marzo del 2019 y un mínimo de 107.21 kWh registrado en junio del 2021. La figura 2 muestra la variación temporal de la generación, la cual incluye la energía inyectada a la red y la que fue utilizada para abastecer la demanda eléctrica del edificio del Centro de Investigación y Prevención de Desastres de la Facultad de Ingeniería Agrícola.

**Figura 2. Variación de la generación de energía por el Sistema Solar Fotovoltaico.**



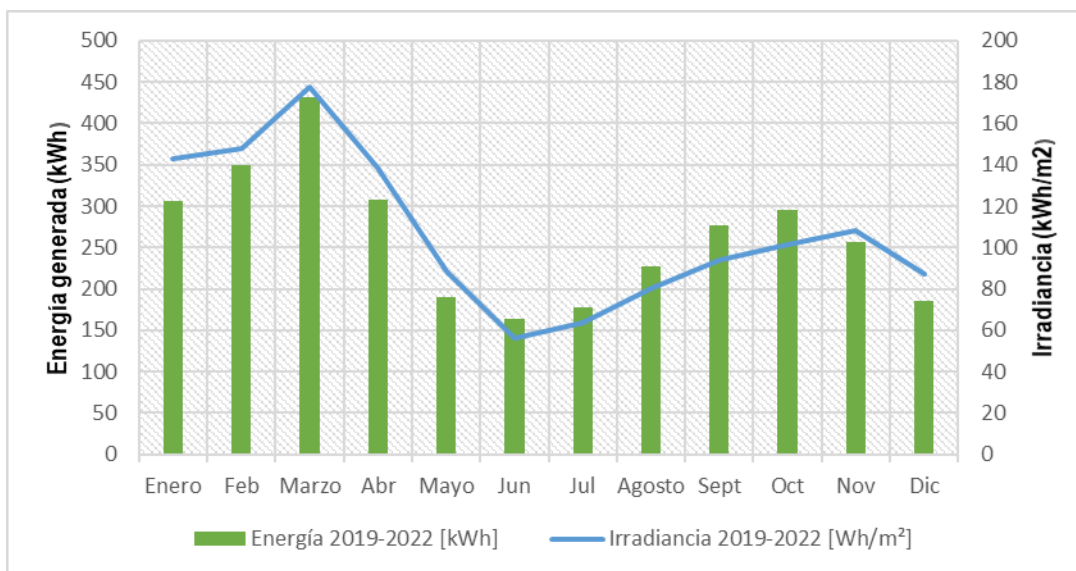
La figura 3 muestra la variación mensual de la producción fotovoltaica para el periodo 2019-2022. Se puede apreciar que en el 2019 la generación de energía estuvo por encima del promedio, principalmente durante el verano austral (noviembre- marzo). Esto podría deberse a múltiples factores, tanto aquellos que son dependientes del sistema y a factores externos como la temperatura y la irradiancia. Dentro de los primeros, se puede mencionar la cercanía a la fecha de instalación del sistema (noviembre 2018), las buenas condiciones de mantenimiento, la poca pérdida por envejecimiento de los componentes, entre otros.

**Figura 3. Variación mensual de generación fotovoltaica para el periodo 2019-2022**



Dentro de los factores externos que impactan directamente sobre el rendimiento del sistema, los más importantes son la temperatura ambiental y la irradiancia.

**Figura 4. Variación mensual promedio de generación fotovoltaica y la irradiancia (2019-2022)**



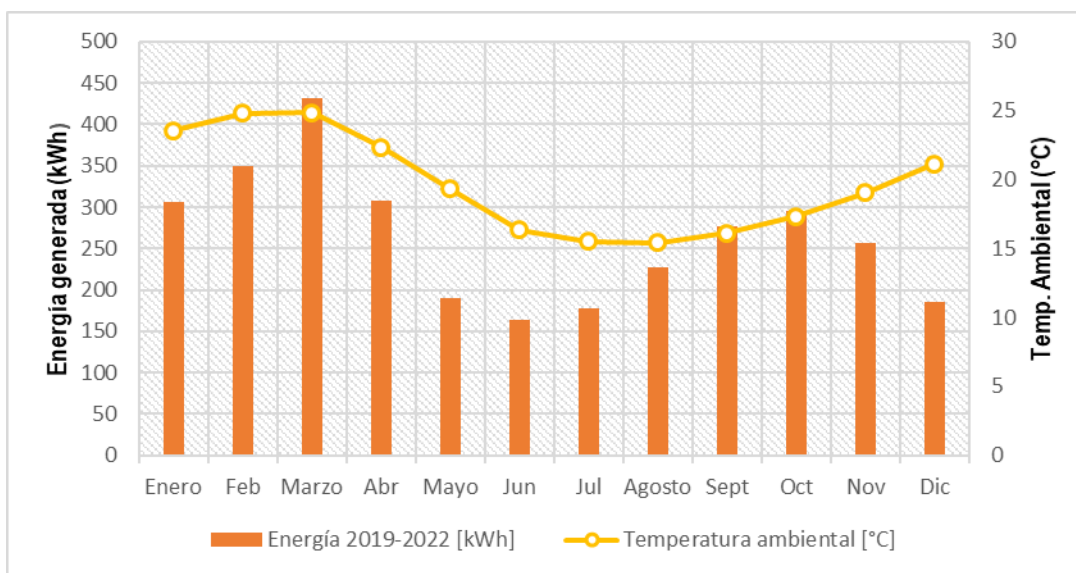
La figura 4 muestra la variación mensual promedio de la producción de energía por el sistema y la irradiancia mensual para el periodo de análisis. La figura muestra una alta



correlación entre la producción de energía y la cantidad de radiación que impacta sobre la superficie de los paneles.

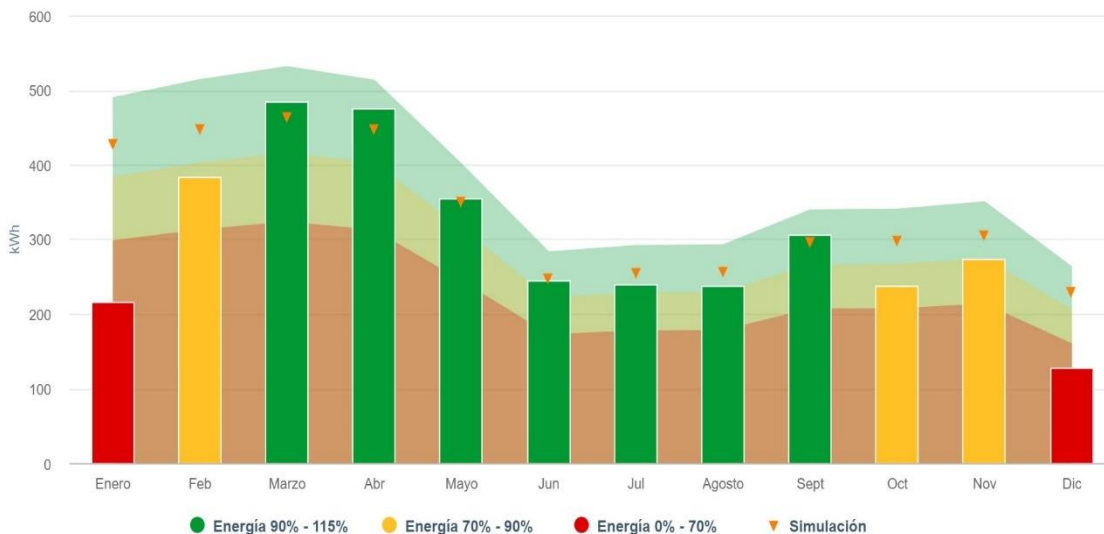
La figura 5, de igual forma, muestra la variación mensual de la generación de energía por el sistema y la temperatura ambiental promedio mensual para el periodo de análisis. La figura muestra el efecto de la temperatura ambiental sobre la producción energética del sistema fotovoltaico.

**Figura 5. Variación mensual de generación fotovoltaica y la temperatura ambiental (2019-2022)**



La figura 6 muestra la comparación entre la energía generada por la planta y el valor esperado. Los valores simulados se calculan usando los datos técnicos de la planta y los datos meteorológicos actuales. Si el extremo superior de la barra se encuentra en el área verde, la planta funciona de manera óptima; si se encuentra en el área amarilla, funciona de forma satisfactoria y si se encuentra en el área roja, la planta debe ser inspeccionada.

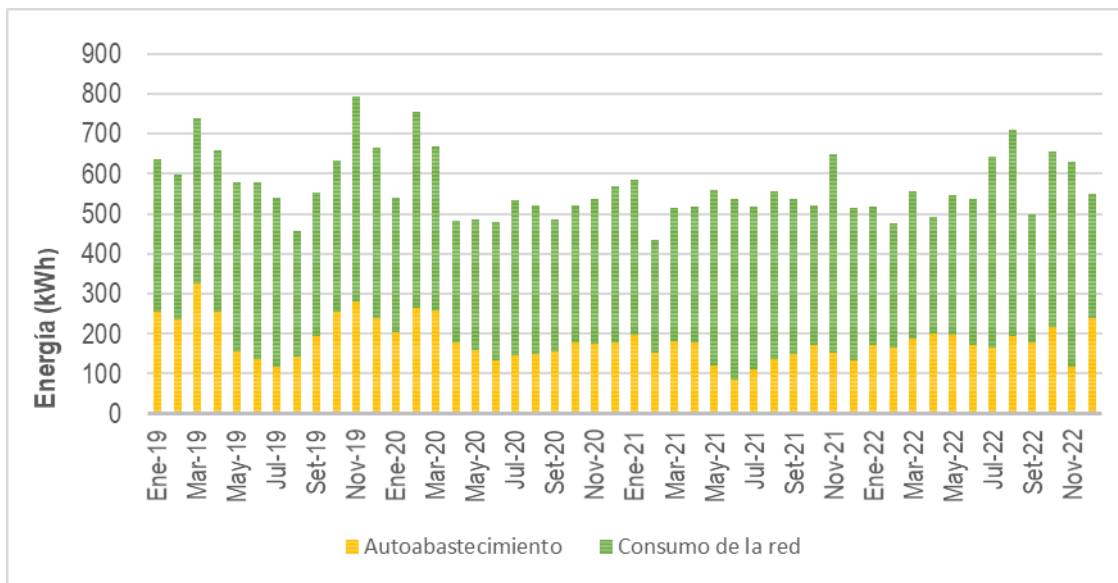
**Figura 6. Comparación de valores esperados y reales (2019-2022)**



### 3.2. Consumo de energía

El consumo de electricidad ha ido cambiando a lo largo del periodo de evaluación. El promedio del consumo eléctrico mensual es de 568.31 kWh, con un consumo máximo de 793.43 kWh registrado en noviembre del 2019 y un mínimo de 435.36 kWh registrado en febrero del 2021.

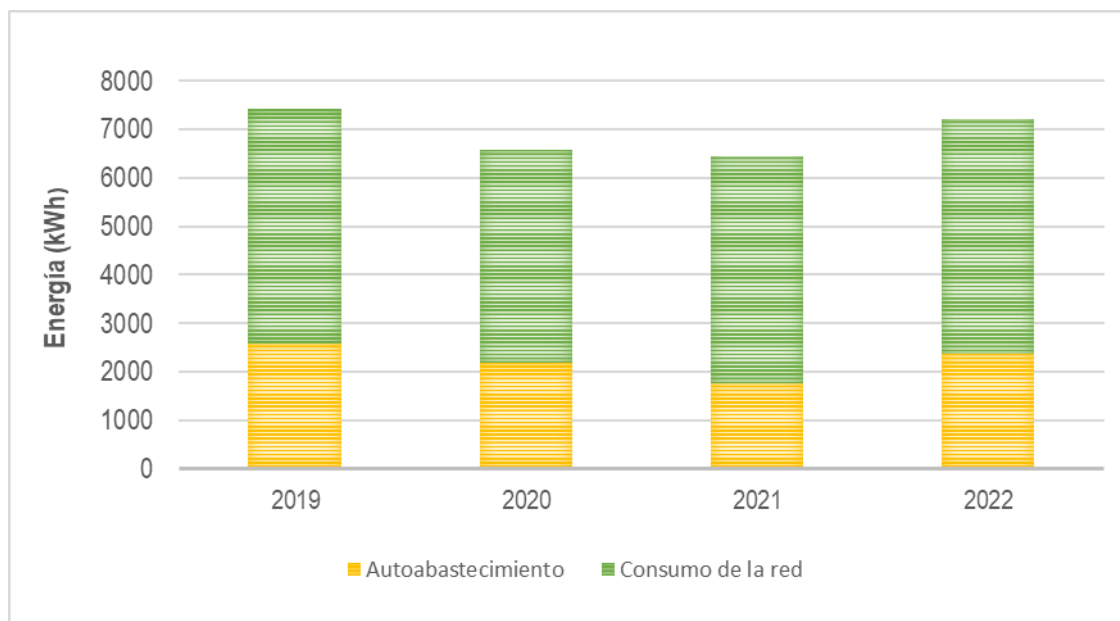
**Figura 7. Variación mensual del consumo eléctrico.**





La figura 7 muestra la variación temporal del consumo, la cual incluye la energía tomada de la red y la que fue generada por el Sistema Solar Fotovoltaico.

**Figura 8. Variación anual del consumo eléctrico para el periodo 2019-2022**



La figura 8 muestra el consumo de energía anual por parte del edificio del Centro de Investigación y Prevención de Desastres de la Facultad de Ingeniería Agrícola. Así mismo, muestra que, en promedio, un 30% de la energía consumida por el edificio proviene del sistema fotovoltaico.

### 3.3. Balance energético.

La tabla 3 muestra los datos de generación y consumo anual para el periodo 2019-2022. Durante este tiempo, el sistema ha producido 1.42 MWh de energía.

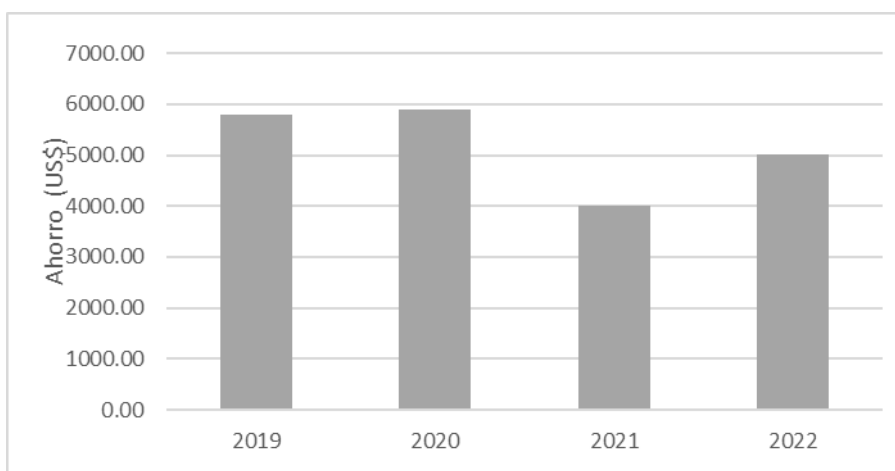
**Tabla 3. Datos de generación y consumo anual de energía.**

	Consumo total [kWh]	Autoabastecimiento [kWh]	Consumo de la red [kWh]	Generación fotovoltaica [kWh]	Inyección a la red [kWh]	Autoconsumo [kWh]
2019	7433,09	2595,58	4837,51	4001,45	1405,88	2595,58
2020	6582,82	2182,78	4400,03	4062,85	1880,06	2182,78
2021	6450,71	1773,06	4677,65	2757,37	984,31	1773,06
2022	7217,46	2361,21	4856,25	3454,14	1092,93	2361,21
TOTAL	27684,08	8912,63	18771,44	14275,81	5363,18	8912,63

### 3.4. Análisis económico.

Considerando una tarifa eléctrica local de 0.3570 S//kWh (1.32 US\$/kWh) para horas punta y 0.3034 S//kWh (1.14 US\$/kWh) para horas fuera de punta, el ahorro de costes anual es de 5175 US\$/año y el ahorro total para el periodo 2019-2022 es de 20700 US\$. Figura 9 muestra el ahorro por año para el periodo de análisis.

**Figura 9. Variación anual del ahorro por consumo eléctrico para el periodo 2019-2022**



De acuerdo a los resultados de Zapata Mandujano (2019) el potencial energético solar de las edificaciones de la UNALM tiene una superficie total aprovechable de 36804.85 m<sup>2</sup> (47 % de la superficie disponible). Si tomamos como referencia la densidad energética promedio del sistema fotovoltaico analizado 1979 kWh/m<sup>2</sup>, la cantidad de energía que podría generar la Universidad Nacional Agraria La Molina es de 7284 MWh. Al calcular el beneficio económico que se obtendría por la generación de energía este asciende a US\$8 303 760, tomando como referencia el valor de la energía en horas fuera de punta (1.14 US\$/kWh) que representa

### 4. Conclusiones

La contribución del sistema fotovoltaico al consumo energético del Centro de Investigación y Prevención de Desastres de la Facultad de Ingeniería Agrícola en la Universidad Nacional Agraria La Molina ha ido variando a lo largo del periodo de análisis, de 35% en el 2019 al 33% en el 2022. Durante este periodo, el consumo total del edificio fue de

27 684,08 kWh, de los cuales 8 912,63 kWh (32%) fue proporcionado por el sistema fotovoltaico y 18 771,44 kWh (68%) fue tomado de la red pública. Así mismo, durante el periodo de análisis, el sistema solar fotovoltaico generó 14 275,81 kWh, de los cuales 5 363,18 kWh (37%) fue inyectado a la red y 8 912,63 kWh (63%) fue utilizado para abastecer el consumo del edificio.

La evaluación del rendimiento del sistema fotovoltaico, sobre la base del índice PR (Performance Ratio), indica que las pérdidas son mayores en verano y menores en invierno, es decir, a pesar que la radiación es alta y por lo tanto mayor la generación eléctrica, las pérdidas son mayores debido a las altas temperaturas existentes en las celdas FV. Lo contrario sucede en invierno cuando la radiación es más baja y por lo tanto la generación eléctrica, en cuyo caso las pérdidas son más bajas debido a las menores temperaturas en las celdas, es decir, el índice PR es mayor. En cuanto a su impacto ambiental, el sistema ha permitido el ahorro de aproximadamente 2,3 toneladas de CO<sub>2</sub> al año con una producción aproximada de 5.502 kWh (1.693 kWh/kWp).

### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido apoyado y financiado por el Laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

### **Referencias bibliográficas.**

- Beyaztas, U., Salih, S. Q., Chau, K. W., Al-Ansari, N., & Yaseen, Z. M. (2019). Construction of functional data analysis modeling strategy for global solar radiation prediction: application of cross-station paradigm. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 13(1), 1165-1181. <https://doi.org/10.1080/19942060.2019.1676314>
- Campodónico, H., & Carrera, C. (2022). Energy transition and renewable energies: Challenges for Peru. *Energy Policy*, 171(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113261>

- Espinoza, R., Muñoz-Cerón, E., Aguilera, J., & de la Casa, J. (2019). Feasibility evaluation of residential photovoltaic self-consumption projects in Peru. *Renewable Energy*, *136*, 414–427. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.003>
- Miravet-Sánchez, B. L., García-Rivero, A. E., Yuli-Posadas, R. A., Inostroza-Ruiz, L. A., Fernández-Guzmán, V., Chávez-Juanito, Y. A., Rutti-Marin, J. M., & Apestequia-Infantes, J. A. (2022). Solar photovoltaic technology in isolated rural communities in Latin America and the Caribbean. *Energy Reports*, *8*, 1238–1248. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.12.052>
- Raihan, A., & Tuspekova, A. (2022). The nexus between economic growth, renewable energy use, agricultural land expansion, and carbon emissions: New insights from Peru. *Energy Nexus*, *6*(March), 100067. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100067>
- Vargas Gil, G. M., Bittencourt Aguiar Cunha, R., Giuseppe Di Santo, S., Machado Monaro, R., Fragoso Costa, F., & Sguarezi Filho, A. J. (2020). Photovoltaic energy in South America: Current state and grid regulation for large-scale and distributed photovoltaic systems. *Renewable Energy*, *162*, 1307–1320. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.022>
- Zapata Mandujano, L. A. (2019). *Potencial fotovoltaico en los techos de las edificaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina*.
- Yaranga, M. (2020, junio 19). Potencial energético del Perú. <https://mocicc.org/noticias/potencial-energetico-del-peru/>.

### **Financiamiento de la investigación**

Con recursos propios.

### **Declaración de intereses**

Declaro no tener ningún conflicto de intereses, que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas.

### **Declaración de consentimiento informado**

El estudio se realizó respetando el Código de ética y buenas prácticas editoriales de publicación.

### **Derechos de uso**

Copyright© 2024 por **José Andrés Matos Salazar, Kenyi G. Cavalcanti Cárdenas, José Luis Calle Maraví**



[Este texto está protegido por la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que cumpla la condición de atribución: usted debe reconocer el crédito de una obra de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace.