

ANÁLISIS INTEGRAL DE DESEMPEÑO, EFICIENCIA E IMPACTO ECONÓMICO-AMBIENTAL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Fabricio Manuel Tipantocca Pillajo

ftipantocca@tecnologicosucre.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4880-8725>

Instituto Superior Universitario Sucre - Ecuador

Christian Andrés Ortega Hidalgo

cortega@tecnologicosucre.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9032-6797>

Instituto Superior Universitario Sucre - Ecuador

Carlos Germánico Rivera Liger

crivera@tecnologicosucre.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4599-8703>

Instituto Superior Universitario Sucre - Ecuador

Recibido: 18/11/25

Aceptado: 21/12/25

Publicado: 01/01/26

RESUMEN

Este artículo analiza el rendimiento de un sistema fotovoltaico híbrido de 3.3 kW instalado en el Instituto Superior Tecnológico Sucre (ISTS), compuesto por paneles solares, un inversor SP1800 y bancos de baterías de plomo-ácido, destinado a alimentar cargas críticas como un datacenter y sistemas de vigilancia. Mediante el monitoreo de 4119 registros entre julio y agosto de 2025, se evaluaron indicadores técnicos, económicos y ambientales. Los resultados muestran una generación total de 168.97 kWh, con una eficiencia global del 92.9% y un ahorro económico de \$16.90 a \$ 20.28 USD. Se evitaron 60.8 toneladas de CO₂, equivalentes a la absorción anual de 40.8 árboles. El sistema operó de forma autónoma y estable, aunque el período de recuperación de la inversión (~35 años) resalta la necesidad de añadir más carga. El estudio demuestra la viabilidad técnica de sistemas fotovoltaicos híbridos en entornos educativos, proporcionando un marco replicable para instituciones similares en Ecuador y reducir su huella de carbono.

PALABRAS CLAVE: sistema fotovoltaico, energía solar, eficiencia energética, sostenibilidad.

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF PERFORMANCE, EFFICIENCY AND ECONOMIC-ENVIRONMENTAL IMPACT OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM**ABSTRACT**

This paper analyzes the performance of a 3.3 kW hybrid photovoltaic system installed at the Instituto Superior Tecnológico Sucre (ISTS), composed of solar panels, an SP1800 inverter, and lead-acid battery banks, designed to power critical loads such as a data center and surveillance systems. Technical, economic, and environmental indicators were evaluated by monitoring 4,119 records between July and August 2025. The results show a total generation of 168.97 kWh, with an overall efficiency of 92.9% and cost savings of \$16.90-\$20.28 USD. 60.8 tons of CO₂ were avoided, equivalent to the annual absorption of 40.8 trees. The system operated autonomously and stably, although the investment payback period (approximately 35 years) highlights the need to add more load. The study demonstrates the technical feasibility of hybrid photovoltaic systems in educational settings, providing a replicable framework for similar institutions in Ecuador and reducing their carbon footprint.

KEY WORDS: Solar energy, energy efficiency, sustainability, photovoltaic system.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel global, la energía solar fotovoltaica ha registrado un avance notable en los últimos años, impulsada por la mayor eficiencia de los paneles y una drástica reducción de sus costos, lo que ha ampliado su adopción global (García, 2020; Palacios & Figueroa, 2025; Pizarro & Tapia, 2025). Este avance ha hecho que la energía solar fotovoltaica sea una opción más competitiva frente a otras fuentes de energía. La adopción de esta tecnología ha sido un componente clave en las estrategias de muchos países para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 7: "Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos" (Choloquinga, 2023; Nazareno, 2025; ONU, 2020). En este sentido, los sistemas fotovoltaicos no solo contribuyen a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también juegan un papel crucial en la transición hacia recursos energéticos más limpios y accesibles (Bermeo Ayala et al., 2025a; del Carmen, 2025).

En cuanto a su impacto económico, diversos estudios han demostrado que los sistemas fotovoltaicos pueden generar ahorros significativos a largo plazo. Según varias indagaciones, la aceptación de energía solar fotovoltaica en entornos institucionales puede resultar en una disminución del 40% en el coste energético anual (Bermeo Ayala et al., 2025a; del Carmen, 2025; López, 2020). Además, la eficiencia y la viabilidad de los sistemas fotovoltaicos han sido objeto de numerosos estudios, los cuales coinciden en señalar que el costo de los sistemas ha disminuido en un 80% desde 2010, haciendo más accesible su implementación, incluido en países en desarrollo (Arias et al., 2024; Bermeo Ayala et al., 2025b; González, 2019).

El sistema eléctrico de Ecuador está compuesto por diversas fuentes de energía y la predominante es la hidroeléctrica 78.58% (Cenace, 2023). Esto la hace vulnerable a sequías y fenómenos climáticos. En este contexto, la energía solar distribuida aún representa una porción mínima del total generado (<2% de capacidad instalada), debido en parte a barreras regulatorias y falta de estudios técnico-económicos adaptados a contextos institucionales.

Esta investigación analizó el rendimiento de un sistema fotovoltaico instalado en el edificio del campus norte del Instituto Superior Tecnológico Sucre, compuesto por 6 paneles solares de 550 W cada uno (3.3 kW en total), un inversor SP1800 y dos bancos de baterías de plomo-ácido de 48 V y 100 Ah cada uno. El sistema alimenta cargas prioritarias, incluyendo un datacenter y cámaras de videovigilancia, lo que lo transforma en un referente clave para evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar energía solar en instituciones educativas que dependen de un suministro eléctrico esencial.

Este artículo se orienta en un análisis integral del sistema fotovoltaico situado, evaluando tanto su desempeño técnico como su impacto económico y ambiental (Rodríguez Villar et al., 2025; Romero Paguay et al., 2024). A través de un análisis de datos fidedignos, se realiza un estudio detallado de los parámetros operantes, como la potencia generada, el voltaje de las baterías, la eficiencia de

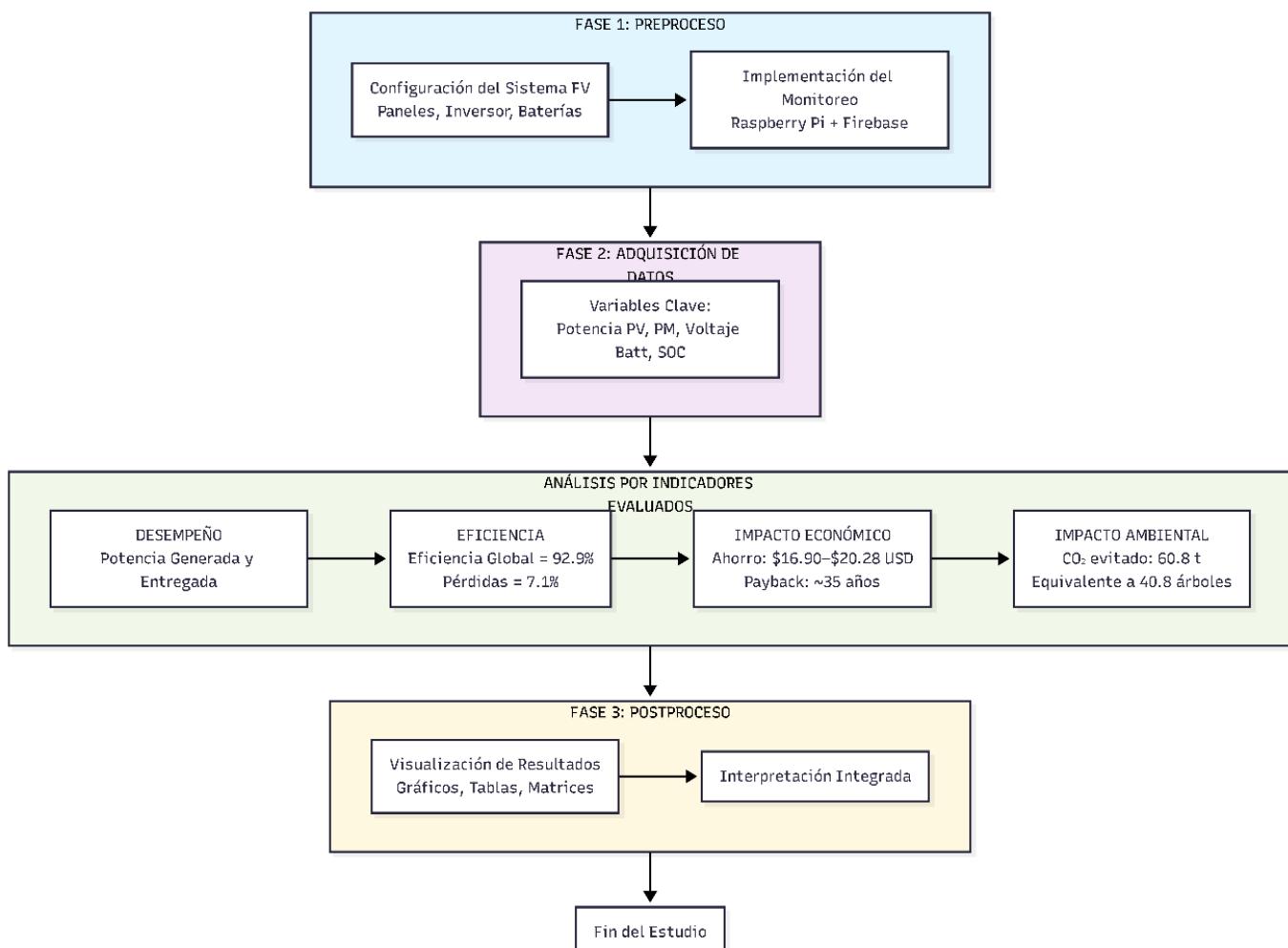
conversión de energía y la relación entre la potencia fotovoltaica y la potencia entregada. Asimismo, se aborda la viabilidad económica del proyecto mediante el cálculo de ahorros estimados, el tiempo de recuperación de la inversión y el estudio de reducción de emisiones de CO₂, proporcionando una visión completa de esta tecnología en el argumento educativo y de investigación del instituto.

2. METODOLOGÍA

El sistema fotovoltaico está compuesto por seis paneles solares de 550W, conectados a un inversor SP1800 con dos bancos de baterías de 48V y 100A cada uno. En la Figura 1 se muestra el diagrama de preproceso, proceso y postproceso del sistema analizado.

Figura 1

Diagrama de preproceso, proceso y postproceso del análisis del sistema fotovoltaico.



Fuente: autoría propia.

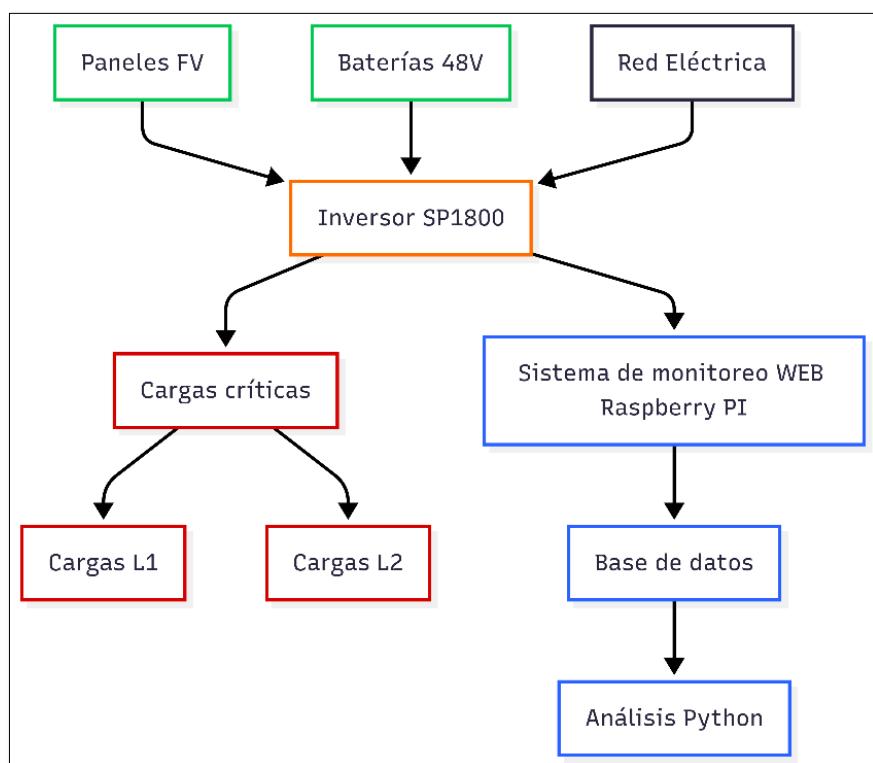
A continuación, se presenta a detalle la estructura completa del sistema fotovoltaico y su análisis.

Tipantocta Pillajo, F., Ortega Hidalgo C. y Rivera Liger, C. (2026). Análisis integral de desempeño, eficiencia e impacto económico-ambiental de un sistema fotovoltaico. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 20-36. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/213>
enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

Representación del sistema fotovoltaico. El sistema fotovoltaico sigue una arquitectura híbrida on/off-grid (García, 2020; González, 2019) que integra múltiples componentes clave: 6 paneles FV (3.3 kW) generan energía en corriente continua (150V) manejada por el inversor SP1800 que regula la conversión a AC y prioriza el suministro a las cargas críticas (datacenter y videovigilancia). Las baterías de 48V/100Ah proporcionan respaldo durante cortes de red, mientras que la red eléctrica convencional actúa como respaldo secundario (Aristizábal, 2020; López, 2020). También, se combina con un sistema de monitoreo, basado en una Raspberry Pi, que recopila en tiempo real datos de potencia, voltaje y estado de carga (SOC), guardándolos en una base de datos para su posterior estudio con herramientas Python. Las cargas están estratificadas en niveles de prioridad (L1: críticas, L2: opcionales), permitiendo una gestión eficiente ante fluctuaciones energéticas. Esta configuración garantiza operación ininterrumpida de servicios esenciales, cumpliendo con normativas locales y estándares técnicos (IEC 62109) (ver Figura 2).

Figura 2

Distribución del sistema fotovoltaico implementada en el edificio del campus norte del IST Sucre.



Fuente: autoría propia.

Descripción de las cargas instaladas. El sistema fotovoltaico del ISTS distribuye las cargas en dos líneas diferenciadas por prioridad y función. La línea 1 (783-809W) agrupa equipos esenciales de uso general, como switches para la red interna (65W), cámaras de vigilancia (23W), computadoras administrativas (25W) y un calefactor variable (325-660W). Estas cargas garantizan operaciones básicas y Tipantocta Pillajo, F., Ortega Hidalgo C. y Rivera Liger, C. (2026). Análisis integral de desempeño, eficiencia e impacto económico-ambiental de un sistema fotovoltaico. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 20-36. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/213> enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

seguridad en áreas comunes, con un consumo estable y predecible (Aristizábal, 2020; López, 2020).

Tabla 1

Valores técnicos de cargas instaladas línea 1 para su diseño en el edificio.

Equipo	Ubicación	Consumo Watts
Switches Tp-Link SG2428P (Planta 7)	Planta 7	32,24
Switches Tp-Link SG2428P (Planta baja)	Planta baja	33
Cámaras Hikvision (Planta 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1)	Diversas plantas	15,4
Cámara Hikvision tubo exterior (Planta 2)	Planta 2	3
Cámara Hikvision varifocal (Garita del guardia)	Garita del guardia	5
Computadora DELL onein-all (secretaría)	Secretaría	25
Cargador laptop HP	Común	25,85
Cargador celular Xiaomi	Común	9,24
Calefactor 2 celdas	Común	324.5 - 660
Total línea 1	Total	783.73 ~ 808.73

Fuente: autoría propia.

La línea 2 (1,164-1,249W) está dedicada al Data Center y equipos críticos, incluyendo servidores (60W), sistemas de almacenamiento (NVR/DVR de 168W), dispositivos de red (147W) y periféricos (27W). Esta línea concentra el 60% de la demanda total y es prioritaria para la continuación operativa del instituto. La segmentación permite una gestión de la energía, optimizando el uso del sistema fotovoltaico y las baterías según la criticidad de cada carga (Ávila Paredes et al., 2023).

Tabla 2

Datos técnicos de cargas instaladas línea 2 para su diseño en el edificio.

Equipo	Ubicación	Consumo en Watts
Computadora DELL one-in-all (Rector)	Rector	25
Switches Tp-Link SG2428P (Data Center)	Data Center	76,8
Switches Tp-Link SG2428P (Lugar de clases virtuales)	Data Center	31,8
UPS Powest 2kva (Data Center)	Data Center	40
Omada cloud controller (Data Center)	Data Center	5
Tp-Link TL-SG1024 (Data Center)	Data Center	14,6
DVR AcuSense iDS-7208HQHI-M1/FA (Data Center)	Data Center	18
Monitor AOC (Data Center)	Data Center	27
Tp-Link TL-POE2412G (Data Center)	Data Center	14,6
DS-K1T320MFWX (Data Center)	Data Center	6
NVR HIKVISION DS-7616NI-Q2 (Data Center)	Data Center	150
Dell PowerEdge T430 (Data Center)	Data Center	60
Cargador laptop HP	Común	25,85
Cargador celular Xiaomi	Común	9,24

Calefactor 2 celdas	Común	324.5 - 660
Total línea 2	Total	1163.59 ~ 1249.09

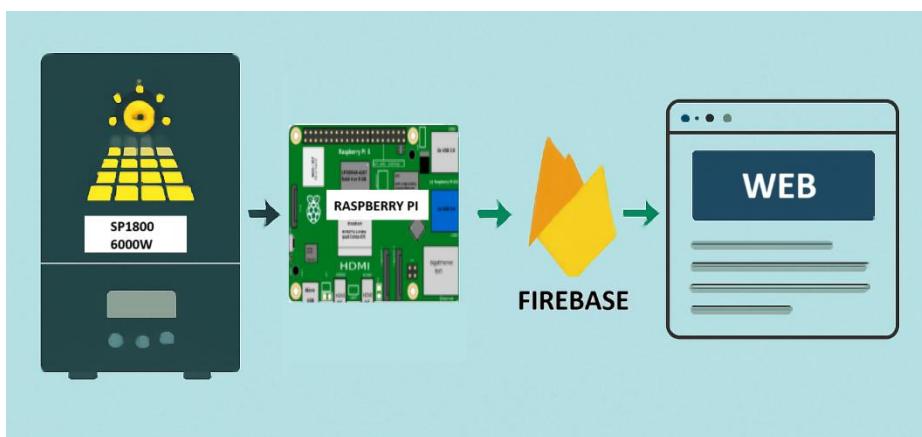
Fuente: autoría propia.

Adquisición y monitoreo de datos. El sistema de visualización del inversor SP1800 (6,000W) se implementó mediante una arquitectura de bajo costo y código abierto, utilizando una Raspberry Pi como núcleo de adquisición de valores. Este dispositivo recolecta en tiempo real datos clave como voltaje, corriente y estado de carga (SOC) a través de protocolos Modbus RTU por la interfaz rs232, tomando la información del inversor, integrando además sensores externos para mediciones ambientales (irradiancia, temperatura). Los valores se procesan localmente antes de ser tratados a la nube.

Para la visualización remota, se empleó Firebase como backend, almacenando los datos históricos y permitiendo su acceso mediante una interfaz web desarrollada con html5. Este procedimiento permite al personal técnico del ISTS supervisar el sistema fotovoltaico desde cualquier ubicación, facilitando la toma de decisiones basada en valores. La integración de tecnologías abiertas garantiza escalabilidad y bajo costo de mantenimiento (ver Figura 3).

Figura 3

Sistema de tratamiento de datos con Raspberry pi conectado al inversor.



Fuente: autoría propia.

Estudio de datos. Los valores utilizados para este análisis fueron recolectados de los registros del sistema fotovoltaico. La información recopilada incluyó las variables en la Tabla 3.

Tabla 3

Descripción de datos obtenidas con Raspberry Pi.

Variable	Descripción	Unidad
Voltaje paneles (Volt_PV)	Voltaje obtenido por los paneles solares en circuito abierto (DC)	Voltios (V)
Potencia paneles (POT PV)	Potencia instantánea generada por los paneles (producto de Volt_PV x Corriente)	Vatios (W)
Voltaje baterías (V batt)	Voltaje medido en los bancos de baterías (plomo-ácido 48V)	Voltios (V)
Potencia salida (PM)	Potencia entregada a las cargas (AC después del inversor)	Vatios (W)

Fuente: autoría propia.

Eficiencia calculada. La eficiencia del sistema se calculó utilizando la fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia Salida (PW)}}{\text{Potencia Generada (POT PV)}} * 100$$

Impacto económico calculado. El impacto económico se estudió mediante el cálculo de los ahorros estimados generados por el sistema fotovoltaico. Para ello, se utilizó la tarifa estándar de energía en Ecuador, diferenciando entre uso residencial y comercial. Se calculó el valor económico de la energía generada en función de la tarifa de energía en el mercado ecuatoriano (aproximadamente \$0.10 USD/kWh para uso residencial y \$ 0.12 USD/kWh para uso comercial). Los ahorros se estimaron multiplicando la energía generada diariamente por la tarifa correspondiente, considerando que el sistema suministra energía a cargas críticas como el centro de datos y las cámaras de videovigilancia.

Reducción de Emisiones de CO2. Para calcular la reducción de CO2 atribuida al sistema fotovoltaico, se usó el factor de emisión de CO2 en Ecuador, que es de 0.36 kg CO2/kWh (Ministerio del Ambiente, 2020). Este valor representa las emisiones evitadas por cada kWh generado por fuentes de energía renovables en lugar de energía convencional. La fórmula utilizada fue:

$$\text{Emisiones evitadas (kg CO2)} = \text{E. Generada (kWh)} \times \text{Factor de Emisión (kg CO2/kWh)}$$

Se estimaron también las equivalencias ambientales en términos de árboles plantados y vehículos retirados de circulación, utilizando los factores estándar de absorción de CO2 de los árboles y las emisiones de los vehículos (Burbano, 2022).

Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión. Se calculó el período de recuperación de la inversión (payback) para determinar el tiempo en que el sistema fotovoltaico cubriría su costo inicial, establecido en los ahorros anuales generados. Para ello, se dividió el costo total de instalación (aproximadamente \$6,000 USD) entre el ahorro promedio mensual en energía.

$$E. \text{ Payback} \text{ (meses)} = \frac{\text{Costo Inicial}}{\text{Ahorro Mensual Promedio}}$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

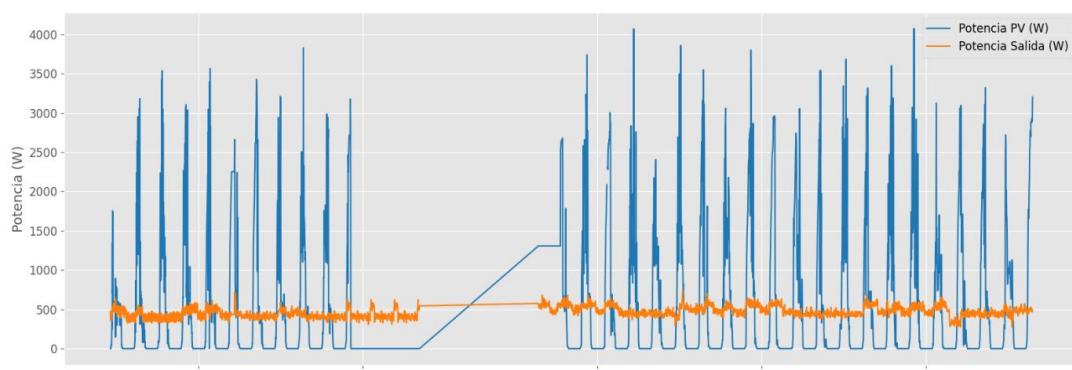
Los datos recopilados entre julio y agosto de 2025, totalizando 3,812 registros, permiten evaluar el comportamiento real del sistema bajo condiciones operativas normales, con especial énfasis en su capacidad para abastecer cargas críticas mediante la combinación de generación solar y almacenamiento en baterías, sin necesidad de recurrir a la red eléctrica (Oluwaseun et al., 2023).

Los datos demuestran que el sistema ha mantenido un funcionamiento estable y autosuficiente, con la batería operando dentro de sus valores seguros de voltaje y profundidad de descarga, lo que ha garantizado el suministro continuo a las cargas prioritarias del instituto. A continuación, se detallan los hallazgos específicos organizados por componentes y su interpretación técnica.

Potencia generada y potencia entregada. La curva de comportamiento temporal del sistema fotovoltaico, registrada entre el 15 de julio y el 15 de agosto de 2025, evidencia la operación autónoma y estable del sistema híbrido del ISTS, donde la potencia generada por los paneles (POT PV) muestra picos de hasta 4,000 W durante horas de alta irradiación, mientras la potencia de salida (PM) se mantiene consistente (400 - 500 W) gracias al soporte de las baterías, que suplen eficientemente las fluctuaciones solares sin recurrir a la red eléctrica. Este patrón confirma la efectividad del sistema para alimentar cargas críticas de forma ininterrumpida, con una clara analogía entre la generación solar diurna y el consumo, además de reflejar la cabida de resiliencia ante condiciones meteorológicas variables (ver Figura 4 y Figura 5)

Figura 4

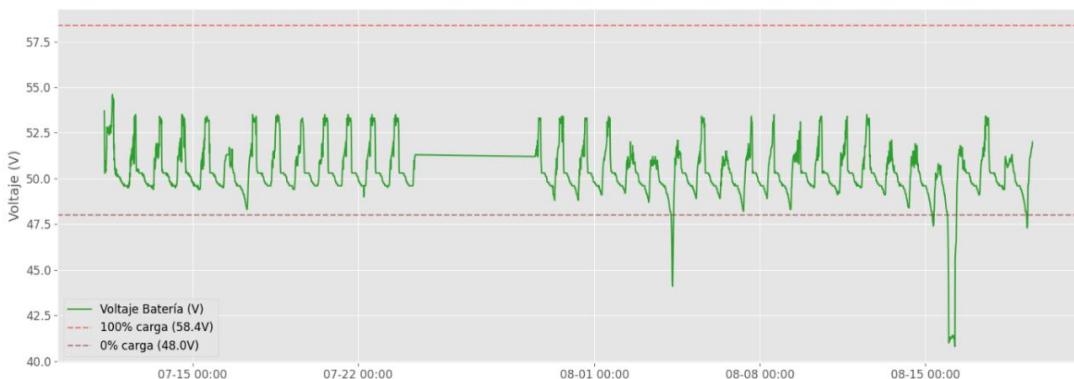
Comportamiento temporal de potencia de entrada y salida del sistema fotovoltaico.



Fuente: autoría propia.

Figura 5

Comportamiento temporal de voltaje de las baterías.

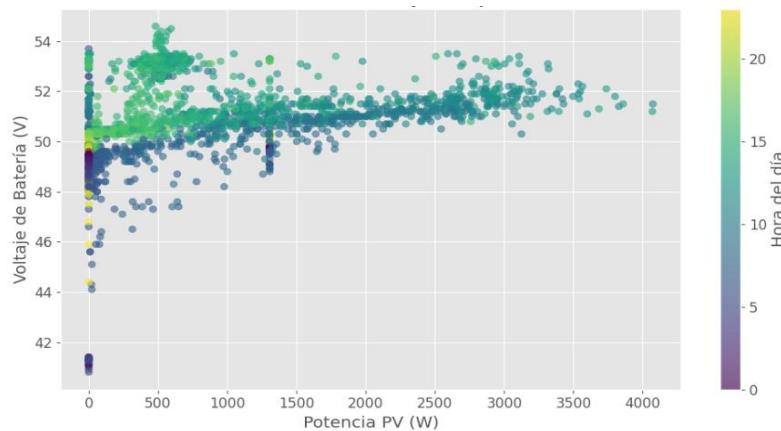


Fuente: autoría propia.

Relación de potencia del panel solar y el voltaje de batería. La Figura 6 revela la dinámica de carga y descarga del banco de baterías con respecto de la energía solar disponible. Se observa una tendencia positiva clara: a mayor potencia generada por los paneles (eje X), mayor voltaje en las baterías (eje Y), confirmando que el sistema de gestión energética prioriza la carga de las baterías cuando hay excedente solar. Los datos en el rango de 0-1000 W y 48-50 V corresponden a períodos de baja generación (noches, amaneceres o días nublados), donde las baterías se descargan gradualmente para alimentar las cargas críticas (Gallo et al., 2025; Castrellón et al., 2025). Por el contrario, los puntos dispersos hacia > 2000 W y > 52 V reflejan horas de alta irradiación, donde las baterías alcanzan su máximo estado de carga (SOC \approx 60-65%). La ausencia de voltajes inferiores a 42 V confirma que las baterías nunca alcanzaron niveles de descarga profunda (<20% SOC), operando siempre dentro de márgenes seguros. Esta relación valida la eficacia del controlador del inversor SP1800 para equilibrar generación, almacenamiento y consumo de forma autónoma.

Figura 6

Relación de potencia del panel solar y el voltaje de batería.



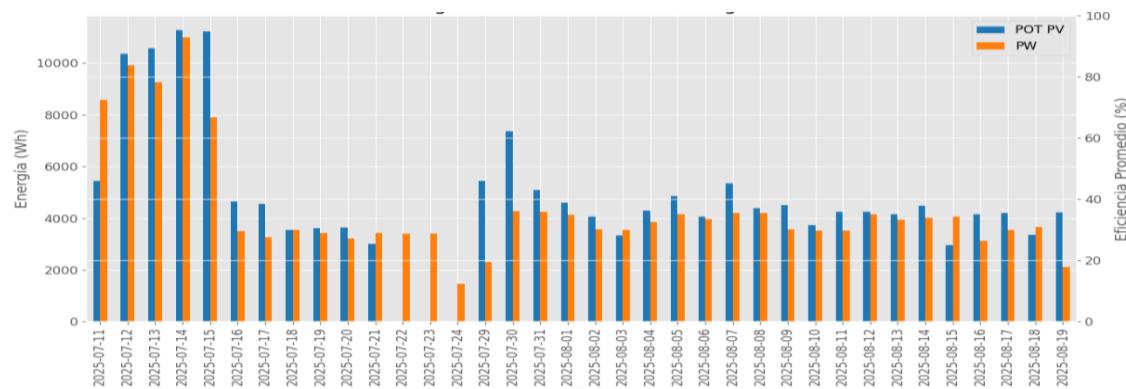
Fuente: autoría propia.

Tipantocta Pillajo, F., Ortega Hidalgo C. y Rivera Liger, C. (2026). Análisis integral de desempeño, eficiencia e impacto económico-ambiental de un sistema fotovoltaico. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 20-36. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/213>
enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

Relación de energía diaria generada con entregada. La Figura 7 presenta el cálculo energético del sistema fotovoltaico, donde se contrasta la energía obtenida por los paneles con la energía efectivamente entregada a las cargas, complementada con la eficiencia promedio del sistema. Se ve una clara correlación entre ambas curvas de energía, confirmando que la entrega depende de la generación solar disponible. Los días de mayor producción (picos en POT PV, como el 14 de julio con $\sim 11,257$ Wh) coinciden con entregas elevadas ($\sim 10,992$ Wh), mientras que los valles (24 de julio) reflejan períodos de baja irradiación. La eficiencia promedio (línea roja) fluctúa entre 60 % y 95 %, con valores típicos alrededor del 80-85 %, indicando pérdidas moderadas en conversión y almacenamiento. La estabilidad de la energía obtenida en días de baja generación demuestra el rol crítico de las baterías para suplir déficits, asegurando un suministro continuo a las cargas prioritarias (García Gavilánez, 2025; González Pereira et al., 2024). Esta figura valida la confiabilidad del sistema híbrido para operar de forma autónoma bajo condiciones variables, aunque destaca la necesidad de optimizar la eficacia en días nublados.

Figura 7

Relación de energía diaria generada con entregada.

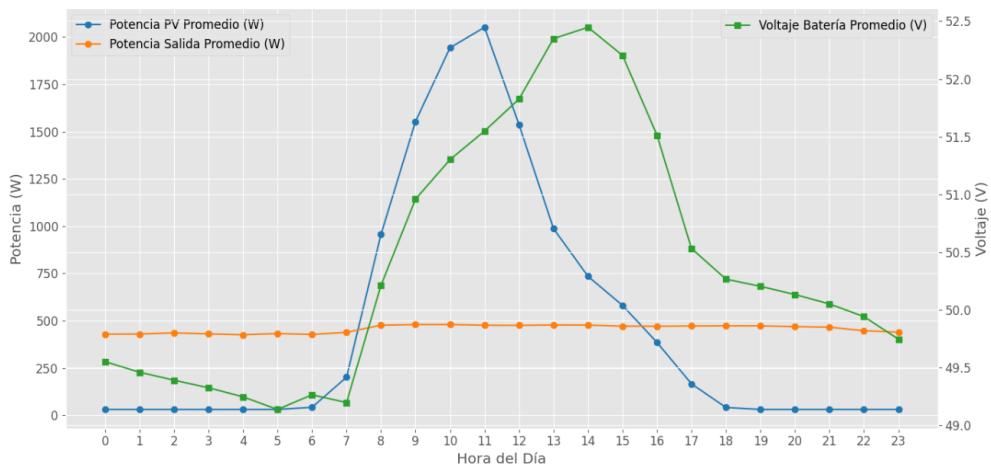


Fuente: autoría propia.

Seguidamente, se presenta en la Figura 8 la conducta promedio por hora del día y se sintetiza el perfil operativo típico del sistema fotovoltaico a lo largo de una medición diaria de 24 horas, integrando tres variables clave: potencia generada por los paneles, potencia de salida entregada a las cargas y voltaje promedio de las baterías. Se ve un comportamiento cíclico predecible impulsado por la radiación solar: la obtención fotovoltaica inicia su ascenso a las 06:00, alcanza un pico máximo al mediodía (12:00-13:00) con valores cercanos a $\sim 1,200$ W y declina progresivamente hasta casi cero después de las 18:00 (García & Gutiérrez, 2025). La potencia de salida muestra una curva más estable, manteniéndose en ~ 450 -500 W durante el día y la noche, lo que confirma que el sistema prioriza el suministro constante a las cargas críticas (datacenter y vigilancia), utilizando las baterías para compensar la falta de generación nocturna. El voltaje refleja este equilibrio: desciende gradualmente durante la noche (hasta ~ 49.5 V al amanecer) y se recupera a lo largo del día (alcanzando ~ 51.5 V en horas de máxima generación), demostrando ciclos de carga/descarga diarios dentro de márgenes seguros.

Figura 8

Comportamiento promedio por hora del día entre Potencia en la entrada, potencia en la salida y voltaje en la batería.

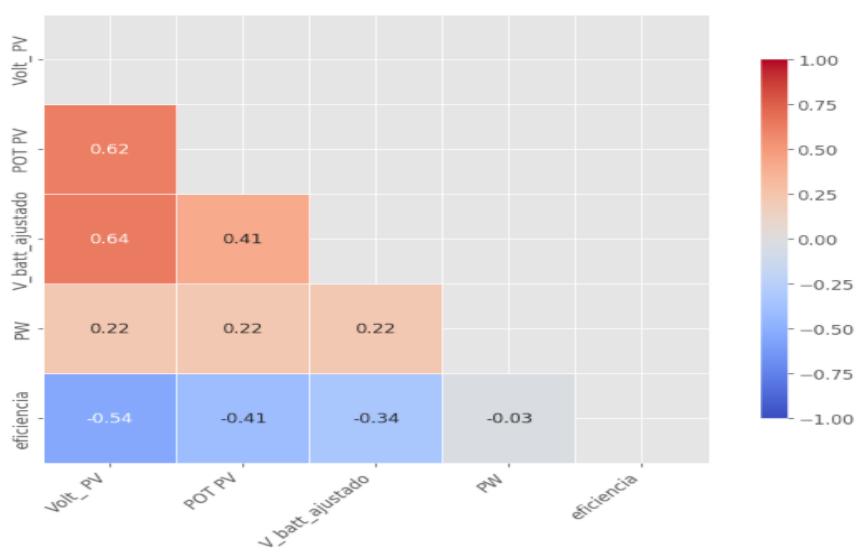


Fuente: autoría propia.

Matriz de correlación. En el Figura 9 se ve una correlación fuerte y positiva ($r = 0.64$) entre el voltaje de los paneles y el voltaje en las baterías, indicando que la energía obtenida se almacena eficientemente. La potencia de los paneles también muestra una correlación moderada con el voltaje de las baterías ($r = 0.40$), confirmando que una mayor generación impulsa la carga. Sin embargo, la baja correlación entre la potencia de salida y las demás variables ($r = 0.24 - 0.25$) sugiere que el consumo es estable e independiente de la generación, gracias al rol de las baterías como buffer energético (Dueñas & Roa, 2025; Henrique Cabral Duarte Bruno Plattek de Araújo, 2025; Palomo et al., 2025).

Figura 9

Matriz de correlación.



Fuente: autoría propia.

Valor diario de la energía generada. El sistema fotovoltaico del Instituto Superior Tecnológico Sucre generó un total de 168.97 kWh a lo largo del período de estudio. De estos, 156.89 kWh fueron entregados efectivamente a las cargas, lo que muestra una pérdida del 7.2% en el proceso de conversión y almacenamiento. Esta energía entregada equivale a un ahorro económico total de \$16.90 USD bajo la tarifa residencial ecuatoriana (\$0.10/kWh) y de \$20.28 USD bajo la tarifa comercial (\$0.12/kWh), demostrando una reducción tangible en el costo operativo del instituto en el periodo de estudio (Caballero-Peña et al., 2020).

Tabla 1

Descripción de energía entregada y generada por el sistema fotovoltaico.

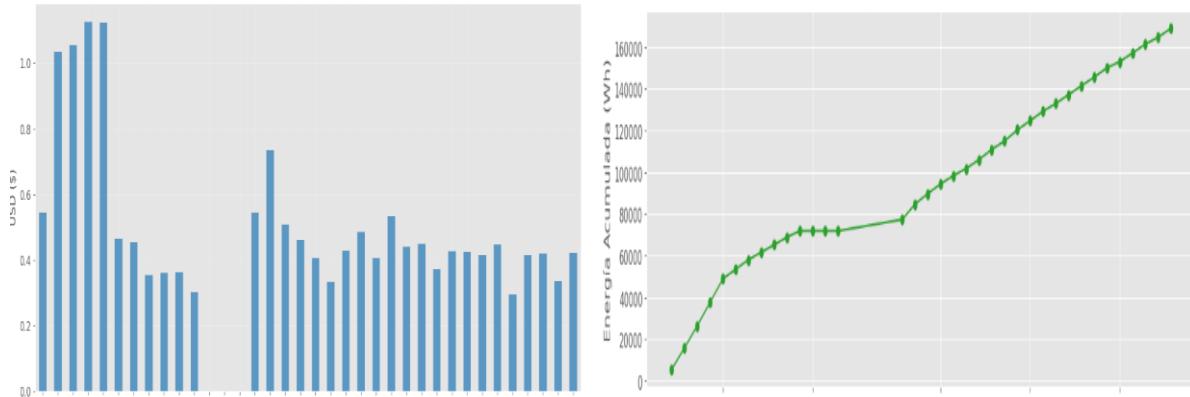
Parámetro	Valor	Unidad	Comentarios
Energía total generada	168966,08	Wh	Equivale a 168.97 kWh
Energía total entregada	156976,58	Wh	Equivale a 156.98 kWh
Pérdidas del sistema	11989,5	Wh	7.10% del total generado
Día máxima generación	2025-07-14	-	11,257.08 Wh (11.26 kWh)
Ahorro residencial total	16,99	USD	Tarifa: \$0.10/kWh
Ahorro comercial total	20,28	USD	Tarifa: \$0.12/kWh
Ahorro diario promedio	0,46	USD/día	Calculado para 37 días
Eficiencia global	92,9	%	(E. Entregada/Generada) x100

Fuente: autoría propia.

La Figura 10 refleja la fluctuación del ahorro económico diario (entre \$0.20 y \$0.80 USD), directamente vinculado a la generación solar: los picos coinciden con días de alta irradiación (14 de julio, con ~11.26 kWh generados), mientras que los valles corresponden a días nublados o lluviosos (Velásquez Molina, 2025; Gallo, 2024; Milla et al., 2024). Este patrón subraya la dependencia de las situaciones meteorológicas para maximizar el regreso económico, aunque la estabilidad del ahorro base (promedio \$0.46 USD/día) confirma la rentabilidad continua del sistema. Por otro lado, el ahorro total acumulado (\$16.90 USD en ~40 días) evidencia que el período de recuperación de lo invertido (payback) sigue siendo extenso (~35 años) (ver Figura 10).

Figura 10

Valor diario de la energía generada y acumulada.

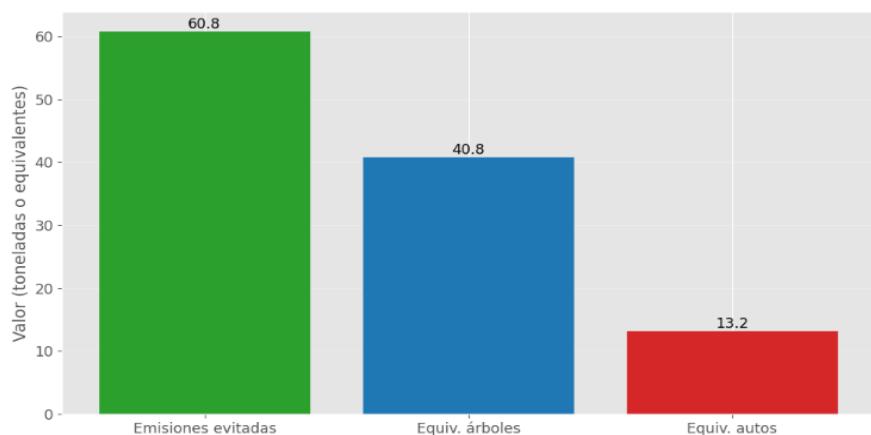


Fuente: autoría propia.

Impacto ambiental del sistema fotovoltaico. El sistema del ISTS demostró un impacto ambiental significativo, evitando la emisión de 60.8 toneladas de CO₂ mediante la obtención de 168.97 kWh de energía limpia, equivalente a la capacidad anual de 40.8 árboles adultos o a retirar 13.2 automóviles de circulación durante un año, evidenciando su contribución concreta a la mitigación del cambio climático y la sostenibilidad energética en el contexto ecuatoriano (ver Figura 11).

Figura 11

Impacto ambiental del sistema fotovoltaico.



Fuente: autoría propia.

4. CONCLUSIONES / CONSIDERACIONES FINALES

El sistema operó de manera estable y autónoma, generando 168.97 kWh en el período estudiado, con una eficiencia global del 92.9%. Las baterías garantizaron continuidad en el suministro sin recurrir a la red eléctrica. La potencia de salida se mantuvo constante (~450-500 W) gracias al buffer de las baterías, desacoplándose de la generación variable solar. La potencia de los paneles es buena para el manejo de toda la carga incluyendo las baterías. Durante el periodo de estudio, el sistema

generó un ahorro total de \$16.90 USD (tarifa residencial) y \$20.28 USD (tarifa comercial), demostrando rentabilidad operativa. El retorno de inversión simple es de (~35 años) es inviable. Se puede observar que la carga actual es abastecida sin problemas, pero es necesario pensar que se puede poner más elementos al sistema para que consuma más energía limpia, concluyendo que el sistema se encuentra subutilizado. Respecto a la huella de carbono, se logró evitar 60.8 toneladas de CO₂, equivalentes a 40.8 árboles adultos absorbiendo CO₂ por un año o 13.2 automóviles retirados de circulación anualmente. El sistema alinea al IST con los objetivos de descarbonización nacional y demuestra el valor de uso de la energía solar en instituciones educativas, aportando así a ser un sistema sostenible.

5. REFERENCIAS

- Arias, L., Alexandra, Y., Restrepo, G., & Mario, J. (2024). *Evolución de la implementación de energía solar fotovoltaica para los países que conforman la Alianza del Pacífico: Chile, Colombia, México y Perú (2014-2024)*. <https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/abe2312a-4e7e-40aa-bab6-93fede53630d/content>
- Aristizábal, C. (2020). *Vista de Energía solar fotovoltaica en instituciones educativas_ caso de estudio ITM campus Robledo*.
- Ávila Paredes, M. V., Flores Lazo, E. T., Cobos Torres, J. C., & Alvarez Vera, M. S. (2023). Photovoltaic systems in sectors of Ecuador with difficult access and/or without electricity service: a study from Latin American experiences. *El Reventón Energético*, 21(2), 29-44. <https://doi.org/10.18273/revfue.v21n2-2023003>
- Bermeo Ayala, J. M., Moscoso Bernal, S. A., & Cobos Torres, J. C. (2025). Sistemas fotovoltaicos On-Grid en viviendas vacacionales, caso de estudio Tarqui-Ecuador. *AlfaPublicaciones*, 7(2.1), 150-171. <https://doi.org/10.33262/ap.v7i2.1.614>
- Caballero-Peña, J., Cadena-Zarate, C., & Osma-Pinto, G. A. (2020). Análisis de la operación en estado estable de una red eléctrica de baja tensión con inyección de potencia de sistemas fotovoltaicos. *Revista UIS Ingenierías*, 19(4), 89-101. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020008>
- Burbano, J. (2022). *Viabilidad técnica y económica para la inversión de generación distribuida y autogeneración fotovoltaicas*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22176>
- Castrellón, A., Chávez, E., Arguelles, A., & Mora, D. (2025). Implementación de sistemas fotovoltaicos para cubrir la demanda energética en hogares de Panamá. *Revista de I+D Tecnológico* (Vol. 21, Issue 1). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>
- Choloquinga, L. (2023). *Análisis energético del sistema fotovoltaico conectado a la red en la UTC _ Choloquinga Alomoto _ Polo del Conocimiento*.
- Tipantocta Pillajo, F., Ortega Hidalgo C. y Rivera Liger, C. (2026). Análisis integral de desempeño, eficiencia e impacto económico-ambiental de un sistema fotovoltaico. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 20-36. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/213>
enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

<https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/6368/15969>

del Carmen, M. (2025). *Analysis of the costs of photovoltaic solar energy generation towards the year 2050*. <https://doi.org/10.48082/espacios-a25v46n02p08>

Dueñas, D., & Roa, M. (2025). *Evaluación de un sistema de energía solar fotovoltaica en la empresa Comercializadora de Zumos JF S.A.S.*

<https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/639de a39-5cce-472e-94f5-38f9dac17e6b/content>

Gallo Vergara, D. (2025). *Guía metodológica de dimensionamiento y gestión de sistemas fotovoltaicos menores a 1 MW on-grid*. www.udea.edu.co

Gallo, L. (2024). *Actualización georreferenciación de zonas de mayor potencial solar para la generación de energía fotovoltaica en la región central RAP-E*. <https://repository.udistrital.edu.co/items/06778430-5ac8-4d61-9595-dfe991e4a72c>

García Gavilánez, R. J. (2025). Evaluación de un sistema solar híbrido fotovoltaico-térmico para hosterías rurales: Viabilidad energética y económica en la región interandina del Ecuador. *Arandu UTIC*, 12(2), 2341-2354. <https://doi.org/10.69639/arandu.v12i2.1069>

García, J. (2020). Evolución y perspectivas de la energía solar fotovoltaica: Desafíos y oportunidades. *Revista de Energías Renovables*, 235-249.

García, C., & Gutiérrez, M. (2025). *Estudio comparativo de costos de producción de las tecnologías de generación de energía eléctrica: el caso Colombia*. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/adfb6760-0356-4a47-bf8b-c8858283decf/content>

González, F. (2019). La energía solar en países en desarrollo: impacto y accesibilidad. *Revista de Energía y Medio Ambiente*, 22-36.

González Pereira, C. C., Pereira Ayabaca, Á. R., Pulla Carpio, C. X., & Veintimilla Ruiz, D. M. (2024). Evolución de las Energías Renovables Basados en la Optimización Energética en su Relación con el Consumo Energético en la Fundación Albergue para Desamparados Divina Misericordia de la Ciudad de Machala en el Periodo 2023 - 2025. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 2531-2544. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12504

Henrique Cabral Duarte Bruno Plattek de Araújo, C. (2025). *Energia geração de energia solar fotovoltaica no brasil e o desenvolvimento da cadeia local de fornecedores* (Vol. 59).

López, M. (2020). Impacto económico de la energía solar fotovoltaica en la reducción de costos energéticos en instituciones educativas. *Revista Latinoamericana de Energía y Tecnología*, 81-96.

Tipantocta Pillajo, F., Ortega Hidalgo C. y Rivera Liger, C. (2026). Análisis integral de desempeño, eficiencia e impacto económico-ambiental de un sistema fotovoltaico. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 20-36. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/213>
enero - junio (2026) ISSN 2806-5573

- Milla, C., Yacupoma, E., M. y Murrugarra, F. (2024). *Instalación de una planta solar de 100 MW para la producción y almacenamiento de energía eléctrica en el sur del Perú*.
<https://www.proquest.com/openview/b2f2497272385d2f9e966253ec41321a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Nazareno, K. (2025). *Análisis de factibilidad de la implementación de sistemas fotovoltaicos en la comunidad de San José Cayapa* 8(15), 2025.
<https://doi.org/10.46296/ig.v8i15.0264>
- Oluwaseun, L., Ebhohime, V., Abolore, S. Chinyere, T, & Uchenna I. (2023). Global review of solar power in education: initiatives, challenges, and benefits. *Engineering Science & Technology Journal*, 4(4), 209-221.
<https://doi.org/10.51594/estj.v4i4.583>
- ONU. (2020). *The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish*.
https://www.agcid.gob.cl/images/centro_documentacion/AGENDA_2030_y_los_ODS.pdf
- Palacios, M., & Figueroa, D. (2025). *Vista de Sistema fotovoltaico On-Grid para el autoabastecimiento de energía en una urbanización*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.60100/bciv.v5i1.198>
- Palomo, W., Quinatoa, C., Mullo, M., & Castillo, J. (2025). Predicción de radiación solar en sistemas fotovoltaicos utilizando técnicas de aprendizaje automático. *Revista Conectividad*, 6(1), 338-355.
<https://doi.org/10.37431/conectividad.v6i1.196>
- Pizarro, J., & Tapia, E. (2025). *Potencial-energetico-de-los-sistemas-solares-para-viviendas-unifamiliares-y-su-incidencia-en-el-consumo-energetico*.
<https://www.researchgate.net>
- Rodríguez Villar, D. (2025). *Desarrollo de un estudio de factibilidad de un proyecto de generación de energía fotovoltaica para el distrito de Iquitos y aledaños*.
<https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/ebde067c-15c1-41bf-9ad8-47ca91da7fbf>
- Romero Paguay, J. A., Sancho Aguilera, D., Inca Guamán, A. V., & Loján Carrión, M. del C. (2024). Implementación de sistema solar fotovoltaico: Evaluación de sostenibilidad y eficiencia energética. *Revista Veritas de Difusão Científica*, 5(2), 1745-1767. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v5i2.171>.
- Velásquez Molina, J. (2025). *Plan de mantenimiento utilizando la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de energía de un parque fotovoltaico a la red del SEIN, Arequipa*.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/18038/3/IV_FIN_108_TE_Velasquez_Molina_2025.pdf
- Tipantocta Pillajo, F., Ortega Hidalgo C. y Rivera Liger, C. (2026). Análisis integral de desempeño, eficiencia e impacto económico-ambiental de un sistema fotovoltaico. *Revista Cotopaxi Tech*, 6(1), 20-36. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/213>
 enero - junio (2026) ISSN 2806-5573