




## Luz para el aprendizaje y justicia energética como pilares del desarrollo educativo en el contexto rural de la comunidad de Irquis

*Light for learning and energy justice as pillars of educational development in the rural context of the Irquis community*

José Francisco, Moro Pisco  ; José Julio, Rodríguez Figueroa ; Paul Alberto, Díaz Flores 

Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.

### Resumen

La problemática de la brecha energética en zonas rurales de la Amazonía peruana, específicamente en la comunidad campesina de Irquis, donde la falta de suministro eléctrico convencional limita el desarrollo pedagógico y la justicia social. El objetivo principal fue diseñar e implementar un sistema fotovoltaico de alta eficiencia bajo el enfoque de "luz para el aprendizaje", destinado a garantizar la continuidad educativa y el acceso a recursos digitales en la escuela local. La metodología empleada consistió en un análisis demográfico y técnico exhaustivo, dimensionando el sistema para una demanda diaria de 156,70 kWh mediante la selección de componentes robustos, incluyendo paneles de 700 W Perc Monocristalinos y un inversor de 5 kW. Los resultados destacan que la intervención beneficia directamente a una población escolar que representa el 30,57% de la comunidad, en un entorno donde el 92,41% posee identidad cultural indígena. Técnicamente, la configuración física aseguró una operatividad del 75% bajo condiciones de selva alta, protegiendo la infraestructura mediante sistemas de puesta a tierra integrales. En conclusión, se determinó que la justicia energética en Irquis no solo provee electricidad, sino que actúa como el pilar fundamental para la equidad educativa y la soberanía tecnológica. La implementación de sistemas autónomos de 700 W demuestra ser la solución más sostenible y resiliente para superar las barreras geográficas, fomentando un desarrollo rural que armoniza la innovación técnica con la preservación cultural y el bienestar comunitario.

**Palabras clave:** energía solar, educación rural, justicia energética, fotovoltaica, amazonía peruana, desarrollo sostenible.

### Abstract

The energy gap in rural areas of the Peruvian Amazon, specifically in the peasant community of Irquis, where the lack of conventional electricity supply limits pedagogical development and social justice. The main objective was to design and implement a high-efficiency photovoltaic system under the "light for learning" approach, intended to guarantee educational continuity and access to digital resources in the local school. The methodology employed consisted of a comprehensive demographic and technical analysis, sizing the system for a daily demand of 156.70 kWh through the selection of robust components, including 700 W Perc Monocrystalline panels and a 5 kW inverter. The results highlight that the intervention directly benefits a school population representing 30.57% of the community, in an environment where 92.41% possess an indigenous cultural identity. Technically, the physical configuration ensured an operational efficiency of 75% under high-jungle conditions, protecting the infrastructure through integral grounding systems. In conclusion, it was determined that energy justice in Irquis not only provides electricity but acts as the fundamental pillar for educational equity and technological sovereignty. The implementation of 700 W autonomous systems proves to be the most sustainable and resilient solution to overcome geographic barriers, fostering rural development that harmonizes technical innovation with cultural preservation and community well-being.

**Keywords:** solar energy, rural education, energy justice, photovoltaics, peruvian amazon, sustainable development.

Recibido/Received	01-03-2026	Aprobado/Approved	24-04-2026	Publicado/Published	27-04-2026
-------------------	------------	-------------------	------------	---------------------	------------

## Introducción

Es difícil imaginar que, hace no tanto tiempo, las zonas pobladas dependían de velas y aceite para iluminar las calles y viviendas, lo que limitaba la vida social y las actividades económicas nocturnas. Todo esto cambió con la llegada de la electricidad, porque este salto tecnológico no solo dio luz; también fue el primer gran paso para jubilar combustibles contaminantes. Hoy por hoy, la electricidad es la que brinda calidad de vida a la humanidad, porque con esta funcionan equipos de salud, cocina, maquinaria de fábricas, procesadores, servidores y medios de transporte, entre otros. Se puede decir que la sociedad simplemente no sabe cómo trabajar sin electricidad y así quedó demostrado en el apagón que afectó a la mayor parte de la península ibérica el 28 de abril de 2025 durante varias horas; según el European Council on Foreign Relations (2025), este evento paralizó servicios de transporte como trenes y metros, interrumpió redes de telecomunicaciones e Internet, y obligó a hospitales a depender únicamente de generadores de emergencia, evidenciando la vulnerabilidad de la infraestructura energética.

Este evento en Europa puso de manifiesto la dependencia humana por la electricidad al grado de colapsar una economía o sociedad. No obstante, a pesar de la necesidad que tiene la población actual de contar con un suministro eléctrico eficiente y constante en todos los asentamientos poblacionales, según las Naciones Unidas (The United Nations, 2024), a nivel mundial, la electrificación universal retrocedió por primera vez en más de una década, con aproximadamente 685 millones de personas viviendo sin acceso a electricidad en 2022, concentradas mayoritariamente en áreas rurales de países en desarrollo. Con respecto a Latinoamérica, las estadísticas son críticas; de acuerdo con Eras-Almeida et al. (2019), aún existen aproximadamente 17 millones de personas sin acceso a servicios electrificados, concentradas principalmente en comunidades rurales aisladas y dispersas donde la extensión de la red convencional resulta compleja y costosa. En este contexto, países como Perú evidencian formar parte de las estadísticas globales, ya que, como indican Dasso y Fernández (2015), históricamente el país presentó brechas significativas en la cobertura eléctrica rural; por ejemplo, en 2006 solo alrededor del 39% de los hogares rurales tenían acceso a electricidad, lo que evidencia la persistencia de zonas aisladas sin conexión al sistema eléctrico.

Dadas estas estadísticas, es evidente para Lin et al. (2023) que la distribución del servicio eléctrico es desigual a nivel mundial y sigue siendo un problema en las zonas rurales de países en desarrollo, donde la falta de electricidad contribuye a profundas crisis socioeconómicas y limita el desarrollo humano. En otras palabras, según Hinojosa Gómez (2025), “la energía eléctrica universal es un bien fundamental para el desarrollo humano y un factor clave para disminuir la pobreza” (p. 1) al impulsar los sectores económicos, sociales y educativos. Ahora bien, en parte esta desigualdad se debe, desde el punto de vista técnico, a que los programas de electrificación rural enfrentan retos como la dispersión geográfica de asentamientos, la baja densidad poblacional y los altos costos asociados a la extensión de redes eléctricas (Bhattacharyya & Palit, 2016).

Ante esta desigualdad, uno de los sectores que se ve afectado por la falta de electricidad en el espacio rural es el educativo, así lo explican Carvalho et al. (2018), ya que las escuelas no pueden funcionar eficientemente porque la infraestructura, el tratamiento de aguas, el saneamiento, la calefacción y el enfriamiento necesitan energía eléctrica. En tal sentido, en este estudio se tiene como objetivo aplicar un sistema fotovoltaico como alternativa sostenible para el suministro eléctrico en la escuela rural de Irquis, Perú. Se seleccionó específicamente el sector educativo porque la electrificación puede ayudar a aumentar la cantidad de maestros (Welland, 2017). El acceso a la electricidad también puede permitir el uso de computadoras y otras tecnologías de información, y las instalaciones escolares podrían abrirse para la alfabetización de adultos durante la noche. Indiscutiblemente, la realidad de las escuelas rurales cambia ante la eficiencia y mantenimiento de servicios públicos básicos.

Así lo demuestran los estudios realizados por Diniz et al. (2006), quienes señalan un descenso en los niveles de analfabetismo y una mejora en las oportunidades educativas en municipios pobres del estado de Minas Gerais que participaban en programas de electrificación escolar rural. Otra experiencia,

según Welland (2017), descubrió que la electrificación aumentaba la probabilidad de finalizar la educación secundaria en Perú y Ghana, porque los beneficios directos pueden reflejarse en que los niños puedan leer y escribir con más facilidad. Asimismo, Carvalho et al. (2018) muestran que las tasas de abandono disminuyeron incluso en escuelas que nunca habían tenido electricidad. Ante esta realidad, cabe preguntarse: ¿cuáles cambios se pueden producir con el sistema fotovoltaico como alternativa sostenible para el suministro eléctrico en la escuela rural de Iruquis, Perú?. En las áreas rurales del Perú, para Cherni (2007), la cobertura eléctrica ha sido históricamente baja; la expansión de la red se ha concentrado en centros urbanos, mientras que la electrificación rural se ha quedado rezagada debido a limitaciones técnicas, geográficas y económicas, generando brechas importantes en el desarrollo.

Esta disparidad en el acceso a la electricidad muestra zonas aisladas donde una parte importante del territorio peruano, particularmente en las regiones montañosas y selváticas, comprende comunidades rurales dispersas. La difícil topografía y el insuficiente desarrollo de la infraestructura dificultan la expansión de la red eléctrica convencional. En consecuencia, numerosas instituciones educativas siguen careciendo de acceso a la energía, lo que limita su capacidad para ofrecer educación. Asimismo, la dependencia de fuentes insostenibles obliga a que los establecimientos educativos rurales dependan de generadores diésel, que se caracterizan por su alto costo, contaminación ambiental y falta de fiabilidad. Por tanto, esta dependencia genera frecuentes interrupciones del suministro eléctrico, lo que complica la utilización de las tecnologías educativas. Con respecto a la brecha educativa entre las zonas urbanas y rurales, Monterrey Sierra (2023) manifiesta que la disparidad en el acceso a la educación constituye una preocupación mundial generalizada. En el contexto de Perú, esta desigualdad se intensifica debido a un desarrollo infraestructural inadecuado, la dispersión geográfica de las comunidades y la conectividad insuficiente.

En respuesta a estas necesidades, se han promovido soluciones basadas en energías renovables, como energía eólica y fotovoltaica, entre otras, como alternativas para el suministro en zonas rurales. Al respecto, una de las alternativas más usadas por su facilidad es la electrificación rural mediante sistemas fotovoltaicos, ya que, como indican Breyer et al. (2018), este sistema no solo mejora el acceso a energía limpia y confiable, sino que también tiene efectos positivos sobre la educación, la salud y el bienestar al permitir iluminación adecuada, uso de tecnologías educativas y reducción de costos energéticos. Cuando se habla de energía eficiente, Jacobson et al. (2017) se refieren a la energía derivada de fuentes renovables, de cero o bajas emisiones, que pueden reemplazar a los combustibles fósiles convencionales en la generación y el transporte de electricidad, reduciendo así el impacto ambiental y contribuyendo a la mitigación del clima.

Mientras tanto, los sistemas fotovoltaicos son aquellos que transforman la luz solar directamente en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico, donde las células compuestas de materiales semiconductores generan corriente eléctrica cuando se exponen a la irradiación solar (Green et al., 2015). En una institución educativa, Grijalva Campoverde y Vélez Mosquera (2020) señalan lo factible que es establecer un sistema fotovoltaico mediante la instalación de paneles solares ante el insuficiente suministro de electricidad por parte de la asistencia pública nacional. Por otro lado, las investigaciones realizadas por Chire Saire et al. (2021) y Juanpera et al. (2021) aclaran la manera en que las comunidades rurales del Perú obtienen ventajas directas de la implementación de sistemas inteligentes de energía limpia, caracterizados por la disminución de fallas operativas, una mayor autosuficiencia y un importante ahorro económico. Además, el uso de la energía solar tiene beneficios para el medio ambiente, porque, como afirma Cacciuttolo (2024), es una tecnología limpia que puede generar electricidad utilizando instalaciones solares en lugares remotos del territorio peruano.

## **Materiales y métodos**

Este estudio tiene un enfoque cuantitativo y el tipo de investigación es interactiva entendida según Hurtado de Barrera (2000, p. 353), como aquella que “implica un proceso de intervención que

plantea y aplica diseños, planes y acciones estructuradas con el propósito de modificar una situación determinada; es decir, la investigación interactiva integra modelos, diseños y planes dentro de su desarrollo metodológico". Para la instalación de las celdas fotovoltaicas en la escuela rural de la región de Irquis, Ayacucho Perú se establecieron las siguientes fases:

### **Fase diagnóstica**

Se determinó la necesidad energética para la instalación educativa rural y así de esta manera se logró conocer y evaluar la demanda energética diaria en Watt/día ó Kwatt/día, para que después se pueda dimensionar el sistema conociendo la demanda total de la escuela rural. Los cálculos de carga necesaria para obtener el piloto base fue:

- Dirección y secretaria (luminarias, CPU, monitor, impresora)
- Sala de cómputo (CPU, monitor, proyector, luminarias, pantalla interactiva, sistema de aire acondicionado).
- Aula de enseñanza (luminarias, proyector, pantalla interactiva, sistema de aire acondicionado)
- Biblioteca (luminarias, CPU, monitor, sistema de aire acondicionado)
- Enfermería (luminarias, CPU, monitor)

### **Fase dimensionamiento del sistema fotovoltaico**

Se logró dimensionar paneles solares en función a la carga energética y para ello se determinó:

- El número de paneles en función a la energía total determinada en el cuadro de carga energética.
- La potencia del inversor en función a la potencia total activa de los electrodomésticos a emplear.
- La capacidad del banco de baterías para esto se ejecutó la siguiente ecuación:
- Banco de baterías (Potencia de arreglo foto voltaico/Volta VVe del sistema)
- El tipo de controlador de carga o potencia para el inversor con la finalidad de cubrir la demanda energética, ya sea en su topología en PWM o el MPPT, donde este último es el de mayor eficiencia y el más recomendable.

### **Fase selección de componentes**

Se hizo la selección de paneles, baterías, estructura para los paneles (paneles monocristalinos, policristalinos, permonocristalinos, N-Type-topcon, tomando en consideración para zonas lluviosas.

### **Fase de instalación física**

**-Instalación de paneles solares:** Se realizó en función a las estaciones del año y la ubicación del panel solar y considerando la orientación optima con un ángulo de inclinación desde 10° a 30°. Así mismo, para tener mayor rendimiento del sistema fotovoltaico será desde 13° con la horizontal del nivel de referencia horizontal.

**-Cableado y protección para el sistema fotovoltaico:** Para ello se determinó el calibre adecuado entre 4 mm<sup>2</sup>, 6 mm<sup>2</sup>, 10 mm<sup>2</sup> y 25 mm<sup>2</sup> con la finalidad de minimizar pérdidas en la instalación eléctrica como garantía de uso en instalaciones fotovoltaicas.

**-Protección del sistema eléctrico:** Se utilizó fusibles, interruptores termomagnéticos en corriente continua (DC) y para la corriente alterna (CA) y así mismo se utilizó interruptores termomagnéticos en función a corriente de carga a suministrar.

**Protección fotovoltaica:** Se instaló un sistema de pararrayos con puesta a tierra, respectiva.

### Fase puesta en marcha y mantenimiento preventivo

Para la puesta en marcha, se realizó pruebas cada cierto periodo de tiempo y después de la instalación se tuvo que verificar el voltaje y corriente en cada Etapa con la finalidad de constatar que la producción fotovoltaica en función a serie y paralelo que se instaló. Con respecto al mantenimiento preventivo, se hizo el cambio los conectores MC4 ya sea 1 a 1 ó 2 a 1 con la revisión de las conexiones, el estado de la batería más que todo su nivel electrolítico por ser batería AGM.

## Resultados

### Balance de carga y dimensionamiento del sistema

Tras la ejecución de la fase diagnóstica, se determinó una demanda energética diaria total que permitió el cálculo preciso de los componentes del sistema fotovoltaico. La integración de los datos revela una infraestructura diseñada para cubrir tanto las necesidades administrativas como las pedagógicas, asegurando la operatividad de equipos de alta demanda como sistemas de climatización y pantallas interactivas en un entorno rural. La Tabla 1 resume la consolidación de la auditoría energética y las especificaciones técnicas resultantes para el piloto base de la institución educativa.

**Tabla 1.** Auditoría energética y demanda diaria por áreas funcionales

	N°	DISPOSITIVO	POTENCIA	CORRIENTE	CANTIDAD	HORA	ENERGIA (Kw - h)
Dirección y secretaria	01	CPU	500 W	CA	25	4	50000
	02	Monitor	300 W	CA	25	2	15000
	03	Luminarias	200 W	CA	2	2	800
	04	Impresora	300 W	CA	2	1	600
	<b>TOTAL</b>		<b>1300 W</b>				<b>66,40 Kw - h</b>
Sala de Computo	01	CPU	500 W	CA	25	2	25000
	02	Monitor	300 W	CA	25	2	15000
	03	Proyector	400 W	CA	1	1	400
	04	Luminarias	200 W	CA	10	2	4000
	05	Pantalla interactiva	180 W	CA	1	0,75	135
	06	Sistema de aire acondicionado	5000 W	CA	2	1	10000
<b>TOTAL</b>		<b>6580 W</b>				<b>54,54 Kw - h</b>	
Aula de Enseñanza	01	CPU	500 W	CA	1	5	2500
	02	Monitor	300 W	CA	1	5	1500
	03	Proyector	400 W	CA	1	2	800
	04	Luminarias	200 W	CA	4	5	4000
	05	Pantalla interactiva	180 W	CA	1	2	360
	06	Sistema de aire acondicionado	5000 W	CA	1	3	15000
<b>TOTAL</b>		<b>6580 W</b>				<b>24,16 Kw - h</b>	
Biblioteca	01	CPU	500 W	CA	1	4	2000
	02	Monitor	300 W	CA	1	4	1200
	03	Luminarias	200 W	CA	6	4	4800
	<b>TOTAL</b>		<b>1000 W</b>				<b>8,00 Kw - h</b>
Enfermería	01	CPU	500 W	CA	1	4	2000
	02	Monitor	300 W	CA	1	4	1200
	03	Luminarias	200 W	CA	2	1	400
	<b>TOTAL</b>		<b>1000 W</b>				<b>3,60 Kw - h</b>

A partir del análisis de cargas realizado en las distintas dependencias de la institución educativa, se determinó que la demanda energética total requerida para el funcionamiento operativo es de 156,7 kWh. En consecuencia, se estima un consumo diario consolidado de 156,7 kWh/día, cifra que representa el requerimiento base para garantizar el suministro en áreas críticas como la sala de cómputo y el aula de enseñanza. No obstante, con el objetivo de compensar las pérdidas inherentes al sistema y asegurar la fiabilidad del suministro bajo condiciones reales de operación, se aplicó un factor de rendimiento de la instalación del 75% para el dimensionamiento final del sistema fotovoltaico,

$$\varphi = (\text{Energía Necesaria (EN)}) / (\text{Energía Total Necesaria (ETN)})$$

$$\text{Entonces: (ETN)} = (\text{EN}) / \varphi$$

$$\text{ETN} = \frac{156,7 \text{ kWh-día}}{0,75}$$

Por lo tanto, la energía total necesaria, será:

$$\text{ETN} = 208.93 \text{ Kw -h/día}$$

Conforme a los datos suministrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el Perú posee un elevado potencial solar con un promedio global de 524 kWh. En el contexto específico de la región de Ayacucho, se registra una irradiación solar promedio de 6,58 kWh, valor fundamental para el cálculo del número de paneles solares (NPS) necesarios para el sistema. Para este dimensionamiento técnico, se define la variable Hd como la suma diaria promedio de la irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos fotovoltaicos, expresada en kWh

$$\text{HSP} = \text{Horas sol pico (h/día)} = 1 \text{ kWh/m}^2$$

Además;

$$\text{HD} = 6,58 \text{ Kw-h /m}^2$$

Para la configuración del sistema, se consideraron tres variantes de potencia máxima pico por módulo fotovoltaico, con el fin de evaluar la eficiencia del arreglo según la tecnología disponible. Las especificaciones evaluadas para los paneles solares incluyen potencias nominales de 700 W, 550 W y 455 W. Esta diversificación en la potencia de los módulos permite ajustar el número de unidades necesarias para cubrir la demanda proyectada, optimizando el uso del espacio físico y la estructura de soporte en la institución educativa.

$$\text{NPS} = (\text{Energía Total necesaria}) / (\text{HSP} * \text{Rendimiento de traba VVo} * \text{Potencia pico del panel solar})$$

Donde

$$\text{NPS} = (208.93 \text{ Kw -h/día}) / (6,58 \text{ HSP} * 0,08 * 700 \text{ W}) = 56$$

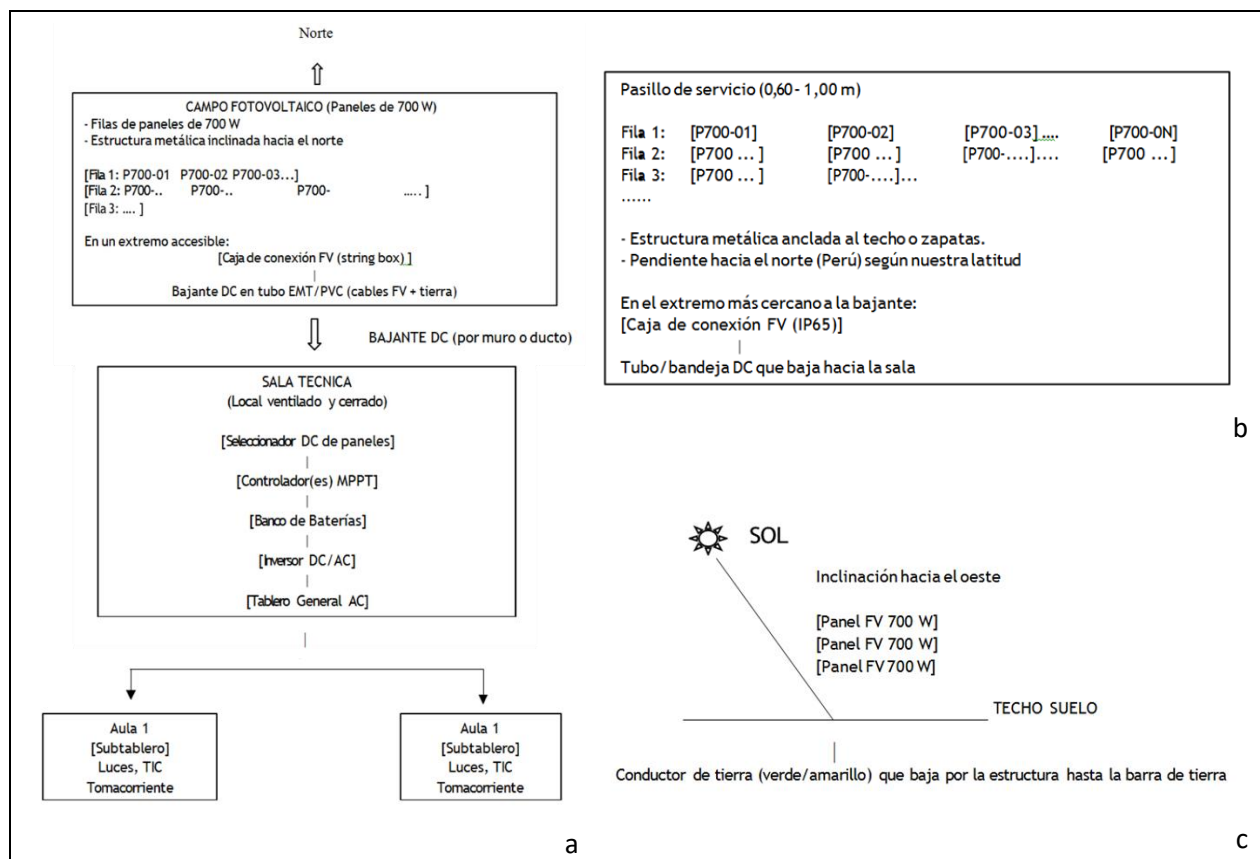
Con base en los requerimientos técnicos para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema, la selección de componentes prioriza el uso de paneles solares de alta eficiencia, específicamente del modelo Perc Monocristalino de 700 W / 48 VDC. Asimismo, para la etapa de conversión de energía, se ha determinado la adquisición de un inversor monofásico de 5 kW, configurado para operar con una entrada de 24 VDC y una salida de 220 VAC a 60 Hz. Estas especificaciones técnicas aseguran la compatibilidad del

sistema con la demanda proyectada y sientan las bases para la fase de instalación física de la infraestructura fotovoltaica en la escuela rural.

### Infraestructura y configuración del sistema

El despliegue tecnológico se centró en la optimización del espacio y la robustez estructural, considerando las dimensiones y el peso de los módulos de 700 W. Para facilitar la comprensión visual de la disposición de los componentes, el diseño se detalla a través de las siguientes figuras integradas en el texto:

La arquitectura del campo solar se basó en una organización de filas estratégicas para maximizar la captación de irradiancia y permitir el tránsito del personal técnico. La configuración de estos arreglos y su interconexión eléctrica se ilustra en la Figura 1 a (Diagrama de distribución y filas de paneles), la cual muestra la jerarquía de los módulos en el pabellón de aulas. Complementariamente, para una comprensión tridimensional de la instalación, se presenta la Figura 1 b (Vista superior de planta del campo fotovoltaico) y la Figura 1 c (Vista lateral de perfil), donde se evidencian los ángulos de inclinación de entre 10° y 30° y el uso de perfiles galvanizados certificados para soportar la carga mecánica de los paneles.

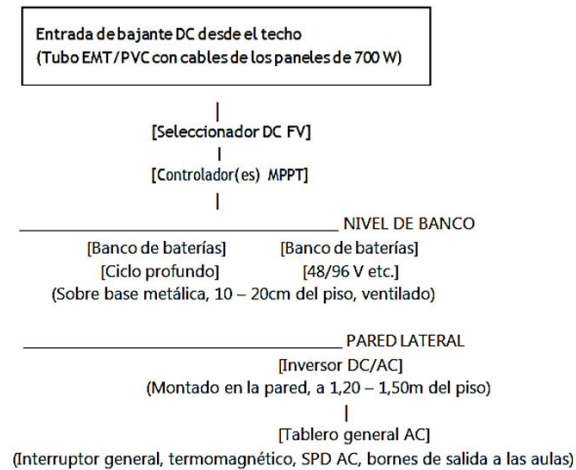


(a) para el diagrama de filas, (b) para la vista de planta y (c) para el perfil lateral, facilitando así la referencia directa en el texto de los resultados

**Figura 1** Representación técnica del campo solar: distribución de filas, vista de planta y perfil estructural para módulos de 700 W

La gestión y conversión de la energía se centralizó en una unidad de control externa. Los detalles de la interconexión entre los módulos de 700 W, los controladores MPPT y el inversor monofásico de 5 kW se encuentran representados en la Figura 2 (Diagrama físico de la sala técnica - Vista frontal). En esta sección se destaca la ubicación ergonómica de la caja de conexión fotovoltaica, instalada a una altura de entre 1,40 m y 1,70 m, y protegida de la radiación solar directa. Finalmente, el diseño incluye un esquema riguroso de seguridad eléctrica, donde las jabalinas de puesta a tierra se conectan a una barra de cobre

central que protege al inversor, tableros y racks de baterías, garantizando la operatividad continua del servicio educativo rural.



**Figura 2.** Diagrama físico de la sala técnica (conexión de los paneles de 700 W) Vista frontal – sala técnica

### Caracterización de la Comunidad de Irquis: El Factor Humano en la Justicia Energética

Bajo la premisa de "Luz para el aprendizaje y justicia energética como pilares del desarrollo educativo en el contexto rural de la comunidad de Irquis", la caracterización del entorno de estudio trasciende el dato estadístico para convertirse en la justificación ética del proyecto. La intervención técnica se localiza en la Comunidad Campesina de Irquis (distrito de Sivia, provincia de Huanta, región de Ayacucho), un territorio donde la geografía y la cultura convergen para demandar soluciones energéticas equitativas.

Los datos obtenidos del INEI (2025) revelan un perfil demográfico con una marcada identidad cultural y una estructura poblacional predominantemente joven, factores que han sido determinantes para el diseño y dimensionamiento del sistema educativo fotovoltaico. La Tabla 6 detalla las variables demográficas y territoriales que definen este entorno, fundamentando la necesidad de una infraestructura que garantice el derecho a una educación moderna y sostenible.

**Tabla 6.** Perfil demográfico y territorial de la Comunidad Campesina de Irquis

POBLACION	VALOR	FUENTE
Población que tiene como lengua materna alguna lengua indígena	657 personas	INEI 2025
% de población mayor de 3 años que tiene lengua materna indígena	92,41%	INEI 2025
Población de 0 a 4 años	90 personas (11,86%)	INEI 2025
Población de 5 a 14 años	232 personas (30,57%)	INEI 2025
Población de 15 a 29 años	176 personas (23,19%)	INEI 2025
Población de 30 a 64 años	222 personas (29,25%)	INEI 2025
<b>Extensión territorial (hectáreas)</b>	<b>30127,15 Ha</b>	
	<b>Altitud 551 msnm</b>	<b>INEI 2025</b>

### Discusión

La implementación del sistema fotovoltaico en la comunidad de Irquis se fundamenta en un análisis holístico de la realidad rural, donde la técnica converge con la necesidad social. El hallazgo de una demanda diaria de 156,70 kWh subraya la magnitud de la brecha energética en instituciones que aspiran a la modernización pedagógica. Esta cifra es consistente con las proyecciones de la Agencia Internacional

de Energía (2023), que enfatiza la urgencia de infraestructura resiliente ante la crisis climática global. En este contexto, la selección de módulos de 700 W de alta eficiencia responde a la necesidad de optimizar el espacio físico y maximizar la captura del recurso solar regional, evaluado en 6,58 kWh/m<sup>2</sup>. El uso de tablas de eficiencia de celdas solares permite validar que la tecnología seleccionada se encuentra en la frontera técnica del mercado actual (Green et al., 2015).

Bajo la premisa de "Luz para el aprendizaje", se observa que el 30,57% de la población de Irquis se encuentra en edad escolar, lo cual posiciona a la escuela como el nodo central del desarrollo comunitario. Este fenómeno de electrificación escolar ha demostrado ser un factor crítico para reducir las tasas de abandono en contextos similares en Latinoamérica (Carvalho Metanias Hallack et al., 2018). La integración de recursos digitales para la lectoescritura, apoyada en un suministro eléctrico estable, potencia las capacidades cognitivas de los estudiantes rurales (Monterrey Sierra, 2023). Asimismo, la justicia energética en este entorno bilingüe asegura que la tecnología sea una herramienta de preservación cultural y no de exclusión. En consecuencia, el sistema propuesto no solo provee energía, sino que garantiza el derecho a una educación equitativa y moderna.

Desde una perspectiva técnica y estructural, la viabilidad de los sistemas *off-grid* en zonas remotas de la Amazonía peruana es ampliamente respaldada por la literatura científica contemporánea (Breyer et al., 2018). La experiencia en la región amazónica sugiere que estos proyectos son la solución más sostenible frente a la inviabilidad de las redes convencionales en territorios de difícil acceso (Campo Verde, 2023). No obstante, la sostenibilidad de estas intervenciones depende estrictamente de modelos de gestión adecuados y transiciones energéticas justas (Juanpera et al., 2021). En el caso de Irquis, la robustez de los perfiles galvanizados y la protección de la sala técnica mitigan el riesgo de fallas prematuras detectadas en proyectos históricos. Esta ingeniería preventiva es fundamental para asegurar que la inversión tecnológica perdure en el tiempo.

Complementariamente, el análisis de la pobreza energética en hogares rurales revela que el acceso a la electricidad es el primer paso hacia la gobernanza territorial (Lin et al., 2023). En el Perú, la electrificación rural ha sido un desafío constante bajo reformas liberales, requiriendo un enfoque que priorice el impacto social sobre la rentabilidad económica (Cherni, 2007). Los resultados en Irquis demuestran que la energía solar impacta positivamente no solo en la educación, sino también en las perspectivas de empleo y desarrollo local (Dasso y Fernández, 2015). Por tanto, el diseño de microrredes híbridas o solares puras debe considerar siempre la idiosincrasia de la comunidad beneficiaria (Saire et al., 2021). Esta alineación entre técnica y contexto es lo que define el éxito de la justicia energética.

A nivel de seguridad y normativa, la implementación de sistemas de puesta a tierra y protecciones MPPT responde a estándares internacionales para evitar el deterioro de equipos sensibles. La importancia de estas protecciones en escuelas rurales ha sido documentada desde las etapas tempranas de la electrificación solar masiva (Diniz et al., 2006). Experiencias previas en sistemas de tercera generación en Perú y Bolivia han dejado lecciones aprendidas sobre la necesidad de un mantenimiento técnico accesible (Eras-Almeida et al., 2019). En Irquis, la disposición ergonómica de los tableros y la señalización técnica buscan facilitar estas labores de operación y mantenimiento. De este modo, se garantiza que la infraestructura no se convierta en una carga económica para la comunidad campesina.

En el marco de la seguridad energética regional, las recientes interrupciones de suministro en otros continentes sirven como una advertencia sobre la vulnerabilidad de depender de fuentes externas (European Council on Foreign Relations, 2025). La soberanía energética de Irquis, basada en un recurso inagotable, protege a la comunidad de fluctuaciones externas y crisis de abastecimiento. Este enfoque de autosuficiencia es replicable en otros centros educativos de Ecuador y la región andina (Grijalva Campoverde y Vélez Mosquera, 2020). La transición hacia un sistema 100% renovable en el sector educativo es una meta ambiciosa pero técnicamente factible según las hojas de ruta globales para el clima (Jacobson et al., 2017). La investigación en Irquis aporta evidencia empírica para sustentar estas políticas de descarbonización rural.

Finalmente, el panorama global indica que el progreso en el acceso básico a la energía ha sufrido retrocesos significativos por primera vez en diez años (The United Nations, 2024). Ante esta realidad, la revisión sistemática de los desafíos de la electrificación rural sugiere que el futuro reside en la integración de energía y desarrollo sostenible (Hinojosa Gómez, 2025). El presente estudio corrobora que la "Luz para el aprendizaje" es el pilar que sostiene la formación de las nuevas generaciones en zonas históricamente marginadas (Welland, 2017). En conclusión, el sistema diseñado para Irquis representa un modelo de justicia energética efectiva que armoniza la potencia tecnológica con la equidad social. La ingeniería puesta al servicio de la educación es, en última instancia, el motor de la transformación rural peruana.

## Consideraciones finales

En primer lugar, la ejecución de este proyecto demuestra que la justicia energética es un prerrequisito indispensable para alcanzar la equidad educativa en contextos rurales. La instalación de paneles de 700 W y un sistema de almacenamiento robusto no representa únicamente un avance técnico, sino que garantiza que el 30,57% de la población, correspondiente a niños y adolescentes en edad escolar, acceda a las mismas herramientas digitales y oportunidades pedagógicas que sus pares en entornos urbanos. Al basar el diseño en una demanda real de 156,70 kWh/día, se asegura que la infraestructura eléctrica sea un motor de desarrollo sostenible y no un paliativo insuficiente, respetando la identidad cultural de una comunidad donde el 92,41% mantiene su lengua materna indígena.

En segundo lugar, la viabilidad técnica del sistema se sustenta en una selección rigurosa de componentes y un diseño de ingeniería adaptado a las condiciones extremas de la selva alta peruana. El uso de tecnología Perc Monocristalina y una arquitectura de protección integral, que incluye sistemas de puesta a tierra y estructuras galvanizadas certificadas, responde a la necesidad de minimizar los costos de mantenimiento y maximizar la vida útil del equipo en zonas de difícil acceso. Este enfoque técnico preventivo es vital para superar los desafíos históricos de la electrificación rural en el Perú, donde la falta de robustez en el diseño ha llevado frecuentemente al abandono de proyectos similares.

Finalmente, el éxito de este modelo de "luz para el aprendizaje" subraya la importancia de integrar la investigación científica con la gestión social para enfrentar la pobreza energética. La soberanía energética lograda mediante el aprovechamiento de un recurso inagotable de 6,58 kWh/m<sup>2</sup> blinda a la institución educativa frente a crisis de suministro externas y fluctuaciones de costos. Se recomienda que este marco de intervención sea replicado en otras comunidades amazónicas, siempre bajo un esquema de monitoreo y acompañamiento técnico que asegure que la energía siga siendo el pilar fundamental de la transformación educativa y el bienestar social en la región..

## Agradecimientos

A nuestros colaboradores.

## Conflicto de intereses

Ninguno.

## Referencias

Agencia Internacional de Energía. (2023). *World energy outlook 2023*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>

Bhattacharyya, S., & Palit, D. (2016). Mini-grid based off-grid electrification to enhance electricity access in developing countries: What policies may be required? *Energy Policy*, 94, 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.010>

- Moro Pisco, J. F., Rodríguez Figueroa, J. J., & Díaz Flores, P. A. (2026). Luz para el aprendizaje y justicia energética como pilares del desarrollo educativo en el contexto rural de la comunidad de Iruquis. *e-Revista Multidisciplinaria Del Saber*, 4, e-RMS11042026. <https://doi.org/10.61286/e-rms.v4i.385>
- Breyer, C., Gerlach, A., & Resch, G. (2018). Solar PV in rural electrification: An effective and sustainable solution for energy access in underserved regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3333–3348. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.046>
- Cacciuttolo, C. (2024). Implementation of renewable energy from solar photovoltaic in Peru: Potential, current capacity and future projections. *Sustainability*, 16(11), 4388. <https://doi.org/10.3390/su16114388>
- Campo Verde. (2023). *Proyecto: Electrificación con energía solar en escuelas y comunidades remotas relegadas en la Amazonía peruana*. Fondo Verde. <https://www.fondoverde.org/noticias/proyecto-electrificacion-con-energia-solar-en-escuelas-y-comunidades-remotas>
- Carvalho Metanias Hallack, M., Vazquez, M., Mejdalani, A. N., López Soto, D. D., & Mendes e Costa, R. (2018). *Un futuro más brillante: El impacto de los programas de electrificación de las escuelas rurales sobre la tasa de abandono escolar en la educación primaria en Brasil* (Nota técnica IDB-TN-1468). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0001468>
- Cherni, J. A. (2007). Rural electrification under liberal reforms: The case of Peru. *Journal of Cleaner Production*, 15(2), 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.01.029>
- Dasso, R., & Fernández, F. (2015). The effects of electrification on employment in rural Peru. *IZA Journal of Labor & Development*, 4(6). <https://doi.org/10.1186/s40175-015-0028-4>
- Diniz, A. S. A. C., França, E. D., Câmara, C. F., Morais, P. M. R., & Vilhena, L. (2006). The important contribution of photovoltaics in a rural school electrification program. En *Proceedings of the IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion* (pp. 2528–2531). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WCPEC.2006.279760>
- Eras-Almeida, A., Fernández, M., Eisman Valdés, J., Martín, J. G., Caamaño, E., & Egado-Aguilera, M. A. (2019). Lessons learned from rural electrification experiences with third generation solar home systems in Latin America: Case studies in Peru, Mexico, and Bolivia. *Sustainability*, 11(24), 7139. <https://doi.org/10.3390/su11247139>
- European Council on Foreign Relations. (2025). *Lights out: Why Iberia's power cut is a warning for EU energy security*. <https://ecfr.eu/>
- Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., & Dunlop, E. D. (2015). Solar cell efficiency tables (version 45). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 23(1), 1–9. <https://doi.org/10.1002/pip.2573>
- Grijalva Campoverde, C. X., & Vélez Mosquera, F. D. (2020). *Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico aplicado a una escuela rural en Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18646>
- Hinojosa Gómez, V. A. (2025). Electrificación de las áreas rurales: Progreso, desafíos y perspectivas hacia un desarrollo sostenible. Una revisión sistemática. *Revista InveCom*, 6, 1–8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17188819>
- Hurtado de Barrera, J. (2000). *Metodología de la investigación holística*. Fundación Sypal.
- Jacobson, M. Z., Delucchi, M. A., Bazouin, G., Bauer, Z. A., Heavey, C. C., Fisher, E., Morris, S. B., Piekutowski, D. J. Y., Vencill, T. A., & Yeskoo, T. W. (2017). 100% clean and renewable wind, water, and sunlight (WWS) all-sector energy roadmaps for 139 countries of the world. *Joule*, 1(1), 108–121. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.07.005>

- Moro Pisco, J. F., Rodríguez Figueroa, J. J., & Díaz Flores, P. A. (2026). Luz para el aprendizaje y justicia energética como pilares del desarrollo educativo en el contexto rural de la comunidad de Irquis. *e-Revista Multidisciplinaria Del Saber*, 4, e-RMS11042026. <https://doi.org/10.61286/e-rms.v4i.385>
- Juanpera, M., Lillo, P., & Ferrer, L. (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, 102222. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102222>
- Lin, L., Wang, Z., Liu, J., & Xu, X. (2023). A review of rural household energy poverty: Identification, causes and governance. *Agriculture*, 13(12), 2185. <https://doi.org/10.3390/agriculture13122185>
- Monterrey Sierra, S. L. (2023). El aprendizaje de la lectoescritura con recursos digitales aplicados a estudiantes de primero de una escuela rural de Colombia. *Dialéctica*, 1(21), 186–204. <https://doi.org/10.56219/dialectica.v1i21.2309>
- Saire, J. E. C., Gastelo-Roque, J. A., & Canziani, F. (2021). Study of a hybrid photovoltaic-wind smart microgrid using data science approach. En *2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America)* (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISGTLatinAmerica52371.2021.9543064>
- The United Nations. (2024). *New report: Progress on basic energy access reverses for first time in a decade*. <https://www.un.org/en/energy/page/new-report-progress-basic-energy-access-reverses-first-time-decade>
- Welland, A. (2017). *Education and the electrification of rural schools* (Technical Report No. 13). Smart Villages. [https://e4sv.org/wp-content/uploads/2017/05/TR13-Education-and-the-Electrification-of-Rural-Schools\\_web-1.pdf](https://e4sv.org/wp-content/uploads/2017/05/TR13-Education-and-the-Electrification-of-Rural-Schools_web-1.pdf)