

El Comité Editorial de la revista Ustasalud aprueba la publicación anticipada del presente manuscrito dado que ha culminado el proceso editorial de forma satisfactoria. No obstante, advierte a los lectores que esta versión en PDF es provisional y puede ser modificada al realizar la Corrección de Estilo y la diagramación del documento.

DOI: <http://doi.org/10.15332/us.v23i2.3328>

Publicación en línea: diciembre 28 de 2024

Josefina Mosquera Palomino <http://orcid.org/0000-0003-2960-9584>

Ingeniera Química, Magíster en Ingeniería. Grupo de Investigación en Salud y Comunidad - GISCO, Facultad de Odontología, Institución Universitaria Visión de las Américas. Medellín, Colombia.

Correo electrónico: [josefina.mosquera@uam.edu.co](mailto:josefina.mosquera@uam.edu.co)

Carlos Ignacio Vélez Gómez <http://orcid.org/0000.0002-3983-5609>

Tecnólogo en Rehabilitación Dental. Grupo de Investigación en Salud y Comunidad – GISCO, Facultad de Odontología, Institución Universitaria Visión de las Américas. Medellín, Colombia.

Correo electrónico: [carlos.velez@uam.edu.co](mailto:carlos.velez@uam.edu.co)

Autor de correspondencia: Correo electrónico: [josefina.mosquera@uam.edu.co](mailto:josefina.mosquera@uam.edu.co)

Citación: Mosquera Palomino J. Viabilidad técnica y energética de un sistema fotovoltaico: prueba piloto en laboratorios dentales universitarios. *Ustasalud* 2024; 23 (2): xx-xx.

**Recibido:** 10 noviembre de 2024. **Aceptado:** noviembre 30 de 2024

## VIABILIDAD TÉCNICA Y ENERGÉTICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO: PRUEBA PILOTO EN LABORATORIOS DENTALES UNIVERSITARIOS

### RESUMEN

**Introducción:** La energía solar fotovoltaica constituye una alternativa tecnológica para la reducción de emisiones y el uso sostenible de los recursos energéticos. En Colombia, su implementación resulta especialmente pertinente debido a los altos niveles de radiación solar. La adopción de energías renovables en instituciones educativas contribuye a la sostenibilidad ambiental, debido a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, atenuar los efectos del cambio climático y mejorar la calidad de vida. Dado que el funcionamiento de un laboratorio de prótesis dental implica un consumo energético considerable, se identificó la pertinencia de evaluar alternativas sostenibles que beneficien a la institución, la región y el país. Desde el ámbito profesional, esta iniciativa contribuye a la sostenibilidad ambiental mediante la incorporación de tecnologías limpias.

**Objetivo:** Determinar la viabilidad técnica y energética de un sistema fotovoltaico mediante una prueba piloto en laboratorios dentales universitarios. **Metodología:** Estudio cuantitativo, observacional descriptivo; se evaluó el consumo energético, se instaló un sistema fotovoltaico de 0,66 kWp y se realizó monitoreo durante 14 meses. **Resultados:** El sistema generó 1 113,48 kWh y evitó la emisión de 408,57 kg de CO<sub>2</sub>, cubriendo el 2,2 % del consumo mensual del laboratorio.

**Conclusiones:** La prueba piloto confirma la viabilidad técnica del sistema fotovoltaico, su aporte ambiental y su utilidad como herramienta educativa, aunque se requiere una mayor capacidad instalada para impactos energéticos significativos.

**Palabras claves:** energía solar, sistema fotovoltaico, sostenibilidad, energías limpias.

## ABSTRACT

**Introduction:** Photovoltaic solar energy is a technological alternative for reducing emissions and promoting the sustainable use of energy resources. In Colombia, its implementation is particularly relevant due to the high levels of solar radiation. The adoption of renewable energy in educational institutions contributes to environmental sustainability by reducing CO<sub>2</sub> emissions, mitigating the effects of climate change, and improving quality of life. Given that the operation of a dental prosthesis laboratory involves considerable energy consumption, the need to evaluate sustainable alternatives that benefit the institution, the region, and the country was identified. From a professional perspective, this initiative contributes to environmental sustainability through the incorporation of clean technologies. **Objective:** To determine the technical and energy feasibility of a photovoltaic system through a pilot test in university dental laboratories. **Methodology:** A quantitative, observational, descriptive study was conducted; energy consumption was evaluated, a 0.66 kWp photovoltaic system was installed, and monitoring was carried out for 14 months. **Results:** The system generated 1,113.48 kWh and prevented the emission of 408.57 kg of CO<sub>2</sub>, covering 2.2% of the laboratory's monthly energy consumption. **Conclusions:** The pilot test confirms the technical feasibility of the photovoltaic system, its environmental contribution, and its usefulness as an educational tool, although greater installed capacity is required for significant energy impacts.

**Keywords:** Solar energy, photovoltaic system, sustainability, clean energy.

---

## INTRODUCCIÓN

El Sol es la principal fuente de energía en la Tierra. La vida en el planeta es posible gracias a la luz y la energía que este irradia, las cuales intervienen en procesos esenciales como el calentamiento de la superficie, la evaporación, la circulación atmosférica, la fotosíntesis y el ciclo del agua, entre otros. La radiación solar regula el sistema climático y, si pudiera aprovecharse de manera eficiente, la humanidad no necesitaría recurrir a otras fuentes energéticas. En este sentido, el Sol constituye una fuente inagotable de energía limpia.

La energía solar fotovoltaica constituye una alternativa tecnológica para la reducción de emisiones y el uso sostenible de los recursos energéticos. En Colombia, su implementación resulta especialmente pertinente debido a los altos niveles de radiación solar.

La energía solar comprende dos grandes modalidades: la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica. La energía solar térmica consiste en calentar un fluido aprovechando la radiación solar para generar vapor y posteriormente energía eléctrica mediante captadores o colectores solares. Por su parte, la energía solar fotovoltaica transforma directamente la luz solar en energía eléctrica a través de células fotovoltaicas y otros componentes asociados. Estas instalaciones suelen clasificarse en dos categorías: sistemas autónomos y sistemas conectados a la red (1).

Los sistemas autónomos se utilizan para electrificar zonas campesinas agrarias aisladas, donde la conexión a la red es difícil o inviable debido a la distancia o al bajo consumo. En estos sistemas es indispensable almacenar la energía generada mediante baterías o acumuladores para garantizar el suministro en cualquier momento. Además, incluyen un regulador encargado de gestionar la relación entre los acumuladores y las cargas eléctricas, así como inversores que convierten la corriente directa (CD) en corriente alterna (CA) para alimentar equipos o integrarse con otros sistemas de distribución (2).

En los sistemas conectados a la red, los elementos esenciales son el panel solar y el inversor. El panel solar, compuesto por células fotovoltaicas de silicio monocristalino, policristalino o amorfo, transforma la radiación en energía eléctrica. Estas células están protegidas por láminas de vidrio transparente que permiten el paso de la radiación y reducen pérdidas térmicas (3). Entre los principales beneficios de los sistemas conectados a la red en el país se destacan la reducción de la factura eléctrica y un retorno de la inversión favorable a mediano y largo plazo, pese a la inversión inicial relativamente alta.

Los paneles solares requieren un mantenimiento mínimo, operan de manera automática, presentan un bajo riesgo de falla y poseen una vida útil estimada entre 25 y 30 años. Además, contribuyen al desarrollo sostenible al ser una fuente energética inagotable y libre de emisiones directas de CO<sub>2</sub>. Su implementación permite reducir gases de efecto invernadero, aspecto crucial dado que se estima que, de mantenerse las tendencias actuales, el calentamiento global podría aumentar entre 1,4 y 5,8 °C a finales de siglo, causando graves impactos en los ecosistemas y las economías del mundo (4).

Colombia, por su ubicación sobre la línea ecuatorial, recibe altos niveles de radiación solar, ya que los rayos inciden de forma más perpendicular. Este factor geográfico proporciona una energía solar promedio de 4,5 kW/m<sup>2</sup>/día y un brillo solar de aproximadamente 6 horas diarias, condiciones superiores a las de otros países. Por ejemplo, Alemania —líder mundial en capacidad instalada con 36 GW— presenta una irradiación promedio de solo 3,0 kW/m<sup>2</sup>/día. En Medellín, el promedio mensual oscila entre 4,5 y 5 kW/m<sup>2</sup>/día, lo que favorece el aprovechamiento de las celdas fotovoltaicas. (5)

Actualmente, numerosos países están implementando energías renovables como la solar para reducir emisiones de CO<sub>2</sub>, atenuar el cambio climático y mejorar la calidad de vida. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), alcanzar la meta global de cero emisiones netas para 2050 requiere incrementar sustancialmente tecnologías como la energía solar fotovoltaica, la eólica, los vehículos eléctricos y los electrolizadores de hidrógeno, todas ellas con altos costos iniciales pero bajos costos operativos (6). Las proyecciones indican que la contribución de las energías

renovables en la matriz eléctrica mundial pasará del 26 % en 2018 al 44 % en 2040, representando dos tercios del aumento de la demanda eléctrica.

La preservación del medio ambiente es una responsabilidad colectiva. Desde la Conferencia de las Naciones Unidas en Estocolmo (1972), se han desarrollado múltiples iniciativas globales que culminaron en la formulación de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para 2030. Colombia, a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, adoptó dichos objetivos y se comprometió a reducir en un 20 % su huella de carbono para 2030, según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (7)

Aunque la legislación nacional para el uso de energías renovables ha sido incipiente, la **Ley 1715 de 2014** marcó un hito al promover el desarrollo y aprovechamiento de recursos energéticos no convencionales, facilitando incentivos e inversiones en el sector (8). La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y el Ministerio de Minas y Energía planifican que, antes de 2030, alrededor del 10 % del consumo energético en Colombia vendrá de proyectos de energía solar fotovoltaicos (9).

La implementación de energía solar fotovoltaica en los laboratorios de Prótesis Dental de la institución universitaria contribuirá a la conservación del medio ambiente, la disminución de la huella de carbono y de los impactos de la contaminación atmosférica sobre la salud. Por ello, se considera que este proyecto es pertinente para la universidad, la región y el país. En este contexto surge la siguiente pregunta de investigación:

*"¿En qué medida es factible técnica y energéticamente la implementación de un sistema fotovoltaico mediante una prueba piloto en los laboratorios dentales de la institución?"*

El Objetivo del estudio fue Determinar la viabilidad técnica y energética de un sistema fotovoltaico mediante una prueba piloto en laboratorios dentales universitarios.

La realización de esta prueba piloto con un sistema de energía solar fotovoltaico en los laboratorios de prótesis dental de la Institución permitió conocer la energía generada generado por

el sistema y en la cantidad de CO<sub>2</sub> dejada de emitir al ambiente, así como el aprovechamiento de los recursos naturales, que convertiría a los Laboratorios de Prótesis Dental de la institución en más eco-sostenible contribuyendo a la mitigación en el calentamiento global y a la problemática ambiental que vive actualmente la ciudad.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

Se realizó un estudio con enfoque metodológico cuantitativo, de tipo observacional descriptivo, donde se analizó la factibilidad de un sistema de energía solar fotovoltaica como alternativa sostenible en los Laboratorios de Prótesis Dental. La metodología comprendió las siguientes fases:

**Diagnóstico energético:** Inventario de cargas y perfiles de uso de equipos propios de laboratorio (micromotores, lámparas de polimerización, extracción, iluminación, TI) y estimación del consumo promedio por mes.

**Insumos solares y técnicos:** Potencial solar de la zona (Andina–Medellín) con valores HSP de referencia y fuentes UPME/Atlas de Radiación (para aproximación inicial). También se analizaron las características de diferentes paneles solares que se ofrecen en el mercado con el fin de seleccionar el sistema fotovoltaico que más se ajustó a las condiciones de los equipos de los laboratorios de prótesis dental y utiliza adecuadamente la energía eléctrica generada. El sistema fue diseñado teniendo en cuenta un consumo promedio de energía de 4020 KW /mes en la sede de la institución donde están ubicados los laboratorios de prótesis dental, de acuerdo con esta característica se instalaron dos módulos fotovoltaicos que pueden suministra una potencia máxima eléctrica de 330 Wp, en condiciones estándar de 25°C y máxima luz solar.

**Estimación energética:** Se calculo con base a la potencia pico instalada  $660\text{Wp} = 0.66\text{kWp}$ , valores de las horas solares pico (HPS) para Medellín de 4.5 y el consumo promedio mensual de energía de 4020 KW/mes.

**Prueba piloto:** se instaló un software en que permitió llevar un registro y hacer un seguimiento continuo durante 14 meses, donde en tiempo real se pudo observar el comportamiento del sistema y se cuantificaron los beneficios energéticos y ambientales del estudio piloto.

El sistema solar fotovoltaico instalado operará durante 25 años. También, la empresa encargada del proyecto tramitó para la institución la certificación del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Este documento técnico-legal para Colombia expedido por el ministerio de Minas y energía, el cual entró en vigencia desde el año 2005 y establece las medidas de seguridad para cualquier tipo de conexión eléctrica, incluida la energía solar. (10).

## RESULTADOS

El sistema fotovoltaico produjo 1.113,48 kWh durante el periodo de seguimiento, evitando la emisión de 408,57 kg de CO<sub>2</sub>. El aporte energético correspondió aproximadamente al 2,2 % del consumo mensual del laboratorio.

### **Prueba piloto de sistema de energía solar fotovoltaica como alternativa sostenible en los Laboratorios de Prótesis Dental.**

En la tabla N°1 se observa el gasto energético reflejado en la facturación de las empresas públicas de Medellín (EPM). Durante los últimos 4 meses antes de iniciar la prueba piloto.

**Tabla 1.** Consumo mensual de energía, antes de la prueba piloto

Consumo mensual de energía según facturas de EPM	kW/mes
Factura del mes 1	5280
Factura del mes 2	3220
Factura del mes 3	1340
Factura del mes 4	4700
<b>Promedio mensual según factura EPM</b>	<b>4270 kW/mes</b>

Para determinar la cantidad de energía consumida por cada equipo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Energía diaria (Wh – Watts hora)} = \text{Potencia(Watts)} \times \text{tiempo (horas/día)}$$

$$\text{Consumo energía al mes} = \text{Energía diaria} \times 30 \text{ días/mes}$$

Se aplica la fórmula para ilustrar el consumo de energía mensual para los 20 motores de alta, que hay en los laboratorios de Prótesis Dental, se calcularía de la siguiente forma:

$$200 \text{ Watts} \times 4 \frac{\text{hora}}{\text{día}} \times 20 \text{ motores de alta} = \frac{16.000 \text{ Watts}}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} = 480.000 \text{ W/mes}$$

De acuerdo con lo anterior el consumo de energía de los motores de alta sería de 480 kW/mes.

Los resultados del consumo de los demás equipos se resumen en la tabla 2.

En la tabla 2 se describen los equipos que están ubicados encada uno de los laboratorios, cantidad, potencia, horas de consumo diario, energía consumida al día y mensual. Con estos datos se calculó el consumo promedio de energía durante los 14 meses de prueba del sistema.

**Tabla 2.** Consumo de energía mensual de los equipos ubicados en los laboratorios de prótesis dental

Equipo	Cantidad	Potencia [W]	Horas de consumo diario	Energía consumida al día	Energía consumida al mes
Motores de alta	20	200	4	16.000	480.000
Esmeril	4	200	2	1.600	48.000
Arenador	2	200	2	800	24.000
Hornos	3	250	5	3.750	112.500
Horno de sinterización	6	200	4	4.800	144.000
Mezclador al vacío	2	100	1	200	6.000
Ventiladores	7	53	10	3.710	111.300
Televisores	5	150	1	750	22.500
Lámparas	45	35	10	15.750	472.500

Consumo promedio de los equipos durante los meses de prueba= 1420,8 kW/mes

En la tabla 3 se describen el valor del kW/hora, durante el periodo de prueba del sistema fotovoltaico, así como la producción mensual aproximada del sistema solar, la contribución para el sector donde está ubicada la Institución Universitaria, con lo cual se calcula el ahorro mensual y anual del sistema

**Tabla 3.** Cálculo del ahorro durante los 14 meses de prueba

Valor kW/hora	Producción mensual aproximada del sistema solar	Ahorro total mes	Contribución del 20% - ubicación en estrato 5	Total, ahorro mes	Total, ahorro 14 meses
\$ 482	78 kW/mes	78 x 482= \$ 37.596	\$7.519	\$45.115	\$ 631.612,8

La implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico, en los laboratorios estuvo a cargo de la empresa Ciudad Renovable. (11).

**Beneficio energético:** Energía total generada por el sistema, correspondiente al seguimiento durante 14 meses de la prueba piloto, fueron 1.113,48 kW

**Beneficio Ambiental:** CO<sub>2</sub> dejado de emitir a la atmosfera por el sistema solar durante los 14 meses de la ejecución de la prueba piloto, de acuerdo con la resolución de la unidad de planeación minero-energética UPME 804 de 2017, fueron 408,57 Kg. Esta resolución actualiza el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional 2016, para proyectos aplicables al Mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL (12).

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados evidencian que, aunque la capacidad instalada es reducida frente al consumo total, el sistema permite validar la factibilidad técnica y ambiental de la energía solar en contextos académicos.

## 1. Relación entre el consumo energético y capacidad instalada

El gasto energético reflejado en la facturación de las empresas públicas de Medellín (EPM), durante los últimos 4 meses antes de iniciar la prueba piloto tuvo un consumo promedio de energía de 4020 KWh /mes

El proyecto parte de un consumo promedio de 4020 kWh/mes, equivalente a aproximadamente 134 kWh/día. Frente a este requerimiento, se instalaron dos módulos fotovoltaicos de 330 Wp, lo que da una potencia pico total de 660 Wp= 0.66 Kw

Bajo condiciones estándar y considerando una irradiación solar promedio de 4–5 horas solares pico al día (valor típico en regiones como Medellín), la producción diaria del sistema sería aproximadamente:

$$\text{Energía diaria} = 0.66 \text{ Kw} \times 4.5 \text{ h} = 2.97 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}; \quad \frac{2.97 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}}{134 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}} \times 100 = 2.2\%$$

Lo que representa el 2.2% del consumo del laboratorio diario

Lo anterior significa que la instalación tiene un impacto real pero claramente muy limitado con respecto al consumo global del laboratorio. Los módulos instalados funcionan más como una prueba piloto o un sistema didáctico que como una solución para cubrir la demanda energética total.

## 2. Contribución del sistema a la reducción del consumo de red

Aunque el aporte es pequeño en proporción, el sistema permite generar energía limpia equivalente a:

$$2.97 \text{ kWh/día} \times 30 \text{ días} \approx 89 \text{ kWh/mes}$$

Esto significa una reducción mensual marginal en el consumo de la red eléctrica y una disminución proporcional en la facturación por energía.

### 3. Viabilidad técnica del sistema diseñado

Los módulos de 330 Wp son de uso frecuente en instalaciones residenciales y pequeñas aplicaciones institucionales. Técnicamente esto significa:

- El sistema es funcional, estable y compatible con aplicaciones educativas o de autoconsumo parcial.
- La instalación es segura y adecuada para evaluar el comportamiento de sistemas fotovoltaicos en entornos de formación y laboratorio.
- La generación obtenida es coherente con las especificaciones del sistema.

### 4. Evaluación de la pertinencia del sistema para el laboratorio

Los laboratorios de Prótesis Dental suelen operar equipos como: Micromotores de alta, hornos de porcelana, esmeriles, arenadores, mezcladores al vacío, ventiladores, lámparas, televisores entre otros. Muchos de estos equipos tienen consumos elevados. Por ello, un sistema de solo 660 Wp resulta insuficiente para respaldar procesos completos, pero sí puede alimentar: Iluminación LED parcial de un área de trabajo. Computadores o dispositivos electrónicos de escritorio. Cargas de baja potencia utilizadas en actividades demostrativa,

Esto posiciona el sistema más como un primer paso hacia una transición energética que como un sistema de cobertura total o autosuficiencia.

### 5. Aporte energético y ambiental del sistema fotovoltaico como prueba piloto

Durante 14 meses de seguimiento mediante software, el sistema fotovoltaico instalado en el Laboratorio de Prótesis Dental de la institución universitaria produjo:

- Energía generada: 1.113,48 kW
- Se dejaron de emitir 408.57 kg de CO<sub>2</sub> al medio ambiente

Estos resultados permiten valorar su impacto dentro del enfoque de prueba piloto, cuyo propósito principal no es cubrir la demanda energética total, sino evaluar desempeño, verificar comportamiento real, generar datos medibles, y demostrar viabilidad técnico-ambiental.

El estudio permitió ver que invertir en energía sostenible, es rentable la recuperación de la inversión se logra rápido y los paneles quedan instalados durante 25 años, además se va a ver un ahorro importante en las facturas de la luz, ya que una parte de la energía producida en el propio sistema puede ser inyectada de nuevo en la red eléctrica. (11)

Esta prueba piloto como otros estudios similares en varios los centros educativos del País donde se han instalado sistemas fotovoltaicos, demuestran que desde la perspectiva económica la implementación de este tipo de proyecto es totalmente factible, representan una inversión de un monto importante que se transforma en una remuneración superior con el pasar del tiempo, donde es necesario hacer un estudio de costos y beneficios (ACB), teniendo en cuenta los siguientes aspectos: especificaciones técnicas y cubrimiento de los paneles, costo del KW/mes, ahorro al implementar el sistema, ahorro neto mensual y anual, beneficio y retorno de la inversión. (13).

Además, el uso de la energía solar frente a las energías convencionales disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye a la sostenibilidad ambiental, representando una alternativa para generar conciencia ambiental frente al uso de energías alternativas en favor de dar soluciones energéticas en el país. (14)

## CONCLUSIONES

La prueba piloto confirma la viabilidad técnica del sistema fotovoltaico, su aporte ambiental y su utilidad como herramienta educativa, aunque se requiere una mayor capacidad instalada para impactos energéticos significativos

El sistema fotovoltaico instalado es funcional, pero su capacidad es muy baja en comparación con el consumo real del laboratorio. Con 660 Wp, se cubre aproximadamente un 2 % del consumo mensual, por lo que su impacto energético es limitado.

La instalación sirve principalmente como una prueba piloto, adecuado para procesos educativos, iniciativas de sostenibilidad institucional y análisis del desempeño de tecnologías solares en entornos reales.

Para lograr una reducción significativa del consumo eléctrico, sería necesario escalar el sistema a una potencia considerablemente mayor. Para cubrir la demanda de 4020 kWh/mes, se requeriría un sistema de aproximadamente 40–45 kWp.

La realización de este proyecto confirma que la energía solar es técnicamente viable para los laboratorios, pero requiere una planificación más amplia, análisis de costos, disponibilidad de espacio para paneles y estudios de retorno de inversión.

El sistema durante 14 meses de seguimiento generó 1.113,48 kW y se dejaron de emitir 408.57 kg de CO<sub>2</sub> al medio ambiente cifras que, aunque pequeñas frente a la demanda total del laboratorio, constituyen un aporte significativo para una prueba piloto, ya que:

- Validan la viabilidad técnica del sistema.
- Permiten cuantificar beneficios ambientales.
- Proveen datos reales para decisiones futuras de escala, rediseño y optimización.
- Demuestran que incluso instalaciones pequeñas contribuyen positivamente a la sostenibilidad institucional.
- La iniciativa aporta beneficios ambientales, reduciendo la dependencia de fuentes energéticas tradicionales y disminuyendo la huella de carbono del laboratorio, incluso si el impacto cuantitativo inicial es pequeño.
- El sistema constituye un punto de partida estratégico para futuras ampliaciones, permitiendo recopilar datos reales de generación, eficiencia y comportamiento, fundamentales para futuras fases del proyecto.

## RECOMENDACIONES

Se deben priorizar cargas críticas o continuas instalando iluminación LED, computadores, equipos de baja potencia, sistemas de extracción eficientes para maximizar el impacto de cada kWh FV.

Además, se sugiere instalar un sistema de monitoreo en tiempo real (portal web/app) para registrar generación, detectar fallos y enseñar a los estudiantes con datos reales. Realizar mantenimiento preventivo a los paneles solares trimestral o semestral según la suciedad acumulada.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Institución Universitaria Visión de las Américas por el apoyo institucional y financiero para el desarrollo de este estudio. A la estudiante Daniela Tobón Cruz, por el apoyo en el monitoreo del sistema, así como a la Empresa Ciudad Renovable de la ciudad de Medellín por el suministro de los equipos en la prueba piloto para la implementación del sistema solar fotovoltaico.

Artículo de investigación derivado de los proyectos: Estudio para la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico como alternativa sostenible en los Laboratorios de Prótesis Dental de la Institución Universitaria Visión de las Américas, Medellín. Grupo de Investigación en Salud y Comunidad. GISCO. Financiado por la Institución Universitaria Visión de las Américas. Medellín. Código de aceptación convocatorias interna de proyectos de investigación P150-2019.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Intelec Ingeniería. Soluciones de energía solar [Internet]. Colombia; s. f. [citado 30 mar 2025]. Disponible en: <https://www.intelec-ingenieria.com/servicio/energia-solar/>
2. Paternina AR, Ángel LF, Marcela V. Manual de uso y funcionamiento del sistema fotovoltaico autónomo. Bogotá: SENA; 2022.
3. Martin PF. Energía solar fotovoltaica para todos. Barcelona: Marcombo; 2021.
4. Robles Algarín C, Rodríguez Álvarez O. Un panorama de las energías renovables en el mundo, Latinoamérica y Colombia. Rev Espacios. 2018;39(34):10.
5. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Atlas de radiación solar [Internet]. Bogotá: IDEAM; 2022. Disponible en: <https://atlas.ideam.gov.co/visor>.
6. International Energy Agency. The cost of capital in clean energy transitions. Paris: IEA; 2024.
7. United Nations. Conferences on environment and sustainable development [Internet]. New York: UN; 2023. Disponible en: <https://www.un.org/es/conferences/environment>
8. Ministerio de Minas y Energía. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Bogotá; 2013.
9. Unidad de Planeación Minero Energética. Resolución 804 de 2017. Diario Oficial No. 50 458; Colombia.
10. Villarreal Peñaloza DG, Martínez García MA. Sistema fotovoltaico Ingrid para colegio Pedro Fermín de Vargas en Cepitá, Santander [tesis]. Bucaramanga: Unidades Tecnológicas de Santander; 2020.
11. Casarrubias JDR. Implementación de un sistema de bombeo de agua alimentado con energía solar en la Universidad de Córdoba-Colombia. Vestigium Iré. 2021:105–20.