

Impacto energético, ambiental y educativo de un sistema fotovoltaico en educación superior tecnológica

Impact of a Photovoltaic System in Technological Higher Education Energy, Environmental, and Educational

Gonzalo Rodríguez¹ , Diego Pabón² , Diego Máiquez³ , Ana Oyasa⁴ 

¹ Instituto Tecnológico Universitario ISMAC, grodriguez@tecnologicoismac.edu.ec, Tumbaco - Ecuador

² Instituto Tecnológico Universitario ISMAC, dpabon@tecnologicoismac.edu.ec, Tumbaco - Ecuador

³ Instituto Tecnológico Universitario ISMAC, dmaiquez@tecnologicoismac.edu.ec, Tumbaco - Ecuador

⁴ Instituto Tecnológico Universitario ISMAC, aoyasa@tecnologicoismac.edu.ec, Tumbaco - Ecuador

Autor para correspondencia: aoyasa@tecnologicoismac.edu.ec

Derechos de Autor

Los originales publicados en las ediciones electrónicas bajo derechos de primera publicación de la revista son del Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui, por ello, es necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total. Todos los contenidos de la revista electrónica se distribuyen bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



Citar como:

Rodríguez, G., Pabón, D., Máiquez, D., & Oyasa, A. Impacto energético, ambiental y educativo de un sistema fotovoltaico en educación superior tecnológica. *CONECTIVIDAD*, 7(3), 80-93. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v7i3.503>

RESUMEN

El uso de energía eléctrica se ha convertido en un servicio fundamental para el desarrollo de la sociedad, específicamente en educación superior en carreras como tecnología de Desarrollo de Software la energía eléctrica es fundamental. Sin embargo, la generación de energía eléctrica por métodos convencionales puede causar contaminación al ambiente. Ante esta realidad, la carrera de Desarrollo de Software implementó un sistema fotovoltaico con paneles solares con el propósito de abastecer parcialmente de electricidad por aproximadamente 10 horas a los laboratorios de computación y reducir la dependencia de energía eléctrica por medios tradicionales. Se usó una metodología descriptiva-analítica, donde a través del sistema Solar se obtuvo datos de niveles energéticos del sistema de paneles solares, la frecuencia de muestreo de estos datos fue cada 5 minutos y se registró información de unos 7 días aproximadamente. Los resultados muestran un impacto educativo positivo pues los estudiantes de la carrera de Desarrollo de Software tuvieron un aprendizaje en desarrollo sostenible práctico como también el impacto social dentro de la institución permitió fomentar una cultura de sostenibilidad y conciencia ambiental. En el impacto energético y ambiental se obtuvo una generación de energía eléctrica limpia en promedio de 25 KWh por día cubriendo el 75% del consumo eléctrico de la carrera y una reducción de contaminación acumulada de

2450 Kg CO₂, es decir la contaminación se ha reducido en un 75%.

Palabras clave: Energía solar; Sistemas fotovoltaicos; Sostenibilidad; Educación superior; Huella de carbono.

ABSTRACT

Currently, the use of electrical energy has become an essential service for the development of society, particularly in higher education programs such as Software Development Technology, where electricity is fundamental for academic activities. However, electricity generation through conventional methods can cause environmental pollution. In response to this situation, a photovoltaic system with solar panels was implemented in the Software Development program in order to partially supply electricity to computer laboratories for approximately 10 hours per day and reduce dependence on traditional energy sources. A descriptive-analytical methodology was used. Through the solar monitoring system, energy level data were collected at a sampling frequency of every five minutes over a period of approximately seven days. Among the results obtained, a positive educational impact was observed, as students in the Software Development program experienced practical learning related to sustainable development. A relevant social impact was also identified within the institution by promoting a culture of sustainability and environmental awareness. Regarding energy and environmental impact, the system generated an average of 25 KWh of clean electricity per day, covering approximately 75% of the program's electricity consumption and achieving an accumulated reduction of 2450 Kg CO₂ emissions, equivalent to a 75% reduction in pollution.

Keywords: Solar energy; Photovoltaic systems; Sustainability; Higher education; Carbon footprint.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento imparable del consumo de energía en el mundo supone uno de los principales retos ambientales y sociales en el siglo XXI. La generación de electricidad sigue dependiendo considerablemente todavía de fuentes convencionales basadas en combustibles fósiles, que contribuyen a gran escala a la emisión de gases de efecto invernadero y al cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021; International Energy Agency [IEA], 2022). A pesar de que el peso de las energías renovables se ha incrementado en los últimos años, el panorama energético mundial continúa presentando una fuerte dependencia de tecnologías que producen determinados impactos ambientales ya sean directos o indirectos (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2015). En este sentido, la transición hacia sistemas energéticos sostenibles es planteada como una necesidad ambiental pero también como una responsabilidad institucional y social en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los marcos de trabajo en educación para el desarrollo sostenible (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2017; United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2020). En Latinoamérica ha habido avances sistemáticos en energías renovables, aunque enfrenta problemáticas a partir de la eficiencia energética, la gestión institucional y la incorporación de tecnologías limpias en infraestructuras públicas y educativas (CEPAL, 2003). Las instituciones de educación superior son estratégicas en este proceso, no sólo en su labor consumidora de energía, sino que también trabajan para formar profesionales que puedan rendir con éxito ante los retos ambientales actuales (Lozano et al., 2013; Leal Filho et al., 2015). Diferentes investigaciones indican que la integración de sistemas fotovoltaicos en centros educativos genera beneficios energéticos, reduce la huella de carbono institucional y refuerza la cultura de la sostenibilidad dentro de la comunidad académica (Aristizábal & González, 2021). A su vez, la inclusión de la formación en sostenibilidad dentro de los programas de formación técnica y de ingeniería contribuye a la dotación de competencias ambientales al alumnado, estableciendo así una formación transformatrice orientada al desarrollo sostenible (Mulder et al., 2012; Wiek et al., 2011; Sterling, 2010).

En la misma línea, desde la óptica institucional, la titulación de Desarrollo de Software tiene

una elevada dependencia del suministro eléctrico, asociado con el uso permanente de los laboratorios de computación y de los equipos electrónicos o dispositivos de apoyo académico. Esta dependencia puede tener implicaciones ambientales haciendo especial énfasis cuando la energía proviene de fuentes convencionales que se integran a la red de suministro nacional. Esto se manifiesta de nuevo cuando el registro nacional en los inventarios de gases de efecto invernadero pone de manifiesto que el sector de la energía todavía genera emisiones importantes (Ministerio del Ambiente y Energía del Ecuador, 2021). Por la respuesta se hace necesaria la incorporación de alternativas que puedan a la vez proporcionar menor contaminación ambiental derivada del consumo energético institucional.

La respuesta a este reto ha sido la incorporación de un sistema fotovoltaico con paneles solares, que se instaló para satisfacer en parte la demanda eléctrica de los laboratorios de computación a lo largo de las jornadas académicas. En el marco de la evaluación funcional puesta en marcha, se ha podido estudiar la contribución del sistema, dotándole de carácter energético y ambiental, educativo mediante proceder a la analítica de datos e ingresos de contribuciones clave durante toda la investigación, bajo una metodología descriptivo-analítica.

A la par del sistema fotovoltaico, se ha podido fortalecer la autonomía energética parcial de la titulación de Desarrollo de Software por medio de la generación diaria y acumulada de energía solar, el suministro de los laboratorios durante los horarios académicos y la reducción de las emisiones de CO₂ derivadas del consumo eléctrico. Con ello se delimitan y surgen los indicadores con los que se confirma que los paneles solares contribuyen a reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y generar un entorno institucional más sostenible.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque descriptivo con apoyo cuantitativo, mediante un estudio de caso aplicado, centrado en la implementación tecnológica de paneles solares. Este enfoque permitió analizar en profundidad variables técnicas básicas del sistema energético y su relación con procesos educativos y prácticas institucionales. La investigación no tuvo como objetivo el diseño ni la optimización técnica del sistema fotovoltaico, sino la evaluación de su funcionamiento real y de los impactos educativos, ambientales y sociales derivados de su implementación.

2.1. Estudio de caso: Implementación de paneles solares

El caso de estudio corresponde a la implementación de un sistema fotovoltaico destinado a abastecer parcialmente de energía eléctrica a seis espacios académicos, conformados por cinco laboratorios de computación y un espacio comunal, pertenecientes a la carrera de Desarrollo de Software. Cada laboratorio cuenta con computadoras, reguladores de voltaje, ventiladores, luminarias e interruptores, lo que representa un consumo energético constante durante el desarrollo de las actividades académicas, cabe destacar que actualmente la carrera cuenta con módulos de IA Alexa que permiten una cierta optimización de la energía.

En este proceso participaron alrededor de 4 docentes y 24 estudiantes de la carrera de Desarrollo de Software, quienes colaboraron en las distintas etapas de instalación y puesta en funcionamiento del sistema durante un periodo aproximado de un mes, desarrollado principalmente en tiempos extras o fuera del horario académico regular. La implementación del sistema fotovoltaico tuvo una duración de aproximadamente 4 meses desde su planificación hasta su puesta en marcha. Esta participación permitió integrar el proyecto como una experiencia formativa práctica, vinculando conocimientos técnicos con criterios de responsabilidad ambiental, trabajo colaborativo y aprendizaje significativo.

2.2. Infraestructura del sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico implementado está compuesto por dieciséis paneles solares monocristalinos AESOLAR, con potencias nominales comprendidas entre 530 W y 550 W, divididos en 2 grupos L1 y L2 de 8 paneles cada uno, los dos grupos trabajan en paralelo diseñados para aplicaciones de generación distribuida. Estos paneles constituyen la fuente principal de captación de energía solar del sistema y permiten el aprovechamiento del recurso solar disponible para el abastecimiento energético de los espacios académicos de la carrera (Figura 1).

Para la conversión y gestión de la energía generada se utilizó un inversor solar híbrido MUST, modelo PV36 PRO-10K, con una capacidad nominal de 10 kW, el cual permite la operación del sistema en distintos modos de funcionamiento. Este equipo gestiona la conversión de corriente continua a corriente alterna, así como la interacción entre la generación solar, el sistema de almacenamiento y las cargas conectadas. El sistema de almacenamiento está conformado por un módulo de baterías de litio LITHTECH, modelo TR6000WX, con una tensión nominal de

51,2 VDC, que permite garantizar la continuidad del suministro eléctrico y optimizar el uso de la energía generada (Figura 2).

La infraestructura se complementa con un sistema de soportes para el montaje de paneles solares, diseñado para instalación en superficies planas, así como con conectores tipo MC4, interruptores termo magnéticos para corriente continua y corriente alterna, cableado eléctrico de diferentes calibres (AWG 8, 12 y 14), riel DIN, gabinete metálico de protección y un sistema de puesta a tierra mediante varilla de cobre. Estos elementos permiten una distribución segura, estable y eficiente de la energía eléctrica hacia los espacios académicos abastecidos.

Figura 1. Instalación de Paneles Solares.



Nota: La figura describe Instalación de paneles solares.

Figura 2. Inversor solar híbrido y módulo de baterías en operación.



Nota: Inversor solar híbrido y módulo de baterías en operación.

La instalación, la cual opera eminentemente en modo OffGrid mediante la utilización de la energía solar y el almacenamiento de energía propia que posee como fuente de suministro principal, la instalación también tiene como modo complementar el modo ByPass, que se encuentra en funcionamiento ante determinadas condiciones del modo OffGrid, garantizando así la continuidad del servicio eléctrico para llevar a cabo las actividades académicas. El modo OffGrid está activado durante un periodo aproximado de 10 horas durante la jornada de trabajo de la carrera de Desarrollo de Software, enmarcado entre el modo 08:30 am y 18:30 pm (ver Figura 3), por su parte, el modo ByPass entra en funcionamiento en la jornada nocturna, es decir del modo 18:30 pm y las 08:30 am del día siguiente.

Figura 3. Espacios académicos abastecidos por el sistema fotovoltaico.



Nota: Espacios académicos abastecido por el sistema fotovoltaico.

2.3. Metodología

El alcance de la investigación es descriptivo-analítico, dado que se busca caracterizar el comportamiento del sistema fotovoltaico y analizar los impactos derivados de su uso durante un periodo inicial de operación. Los datos analizados fueron obtenidos directamente del sistema “Solar” mediante un registro automático de variables energéticas, con una frecuencia de muestreo aproximada de cinco minutos por 7 días, donde se identificó patrones, variables importantes e indicadores claves. Entre las variables importantes registradas están valores de potencia, energía acumulada, voltaje, estado de carga de la batería y modo de operación del sistema. Esto corresponde a una etapa inicial de la continuación del proyecto de paneles solares

en una realización de analítica de datos para una optimización futura de la energía (Tabla 1).

La secuencia de pasos a seguir para llevar a cabo el análisis anterior se dividió en tres momentos, de los cuales el primero fue el de la depuración y organización de los datos obtenidos, donde se buscó la consistencia temporal de los registros obtenidos. A continuación, se realizó un análisis estadístico descriptivo de la muestra, en el que se pretendió realizar el cálculo de los valores promedios, máximos y mínimos de generación y consumo energético, seguido del cálculo de los indicadores clave de desempeño previamente fijados: la energía solar generada, el consumo energético por parte de los laboratorios de la carrera y la estimación de la huella de carbono evitada. La metodología anterior permitió obtener una base de datos apropiada para el análisis y la discusión de los impactos educativos, ambientales y sociales derivados de la puesta en práctica del sistema fotovoltaico.

Tabla 1. Variables e indicadores en la implementación de paneles solares.

Variable/KPI	Descripción	Unidad
Energía solar promedio por día	Energía producida por el sistema fotovoltaico durante el periodo de observación	kWh
Energía solar acumulada	Energía producida acumulada promedio por el sistema fotovoltaico desde su puesta en funcionamiento (aproximadamente 10 meses)	kWh
Energía consumida por laboratorios	Energía total utilizada por las cargas conectadas a los espacios académicos analizados.	kWh
Energía consumida por laboratorios en horario solar (8:30 am – 18:30 pm)	Energía consumida por laboratorios dada por los paneles solares directamente en el horario de 8:30 am – 18:30 pm	kWh
Energía consumida por laboratorios de la red eléctrica.	Energía eléctrica suministrada por la red convencional (empresa eléctrica) durante los periodos de operación en modo ByPass.	kWh
Porcentaje de consumo	Relación porcentual entre la energía consumida en horario solar y energía consumida por red electrica.	%
Huella de carbono evitada	Estimación de la reducción de emisiones de CO ₂ equivalente asociada al uso de energía solar.	kg CO ₂
Modo de operación del Sistema	Estado operativo del sistema fotovoltaico durante el periodo de análisis (OffGrid y ByPass).	Categorica

Nota: La tabla describe el registro automático del sistema fotovoltaico (archivo de Excel).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La discusión de los resultados se desarrolla integrando los indicadores energéticos obtenidos de enfoques: educativos, ambientales y sociales, contrastando los hallazgos del estudio de caso con investigaciones previas sobre implementación de sistemas fotovoltaicos en entornos educativos y organizacionales.

3.1. Impacto educativo técnico y tecnológico

Diversos autores señalan que la integración de tecnologías de energía renovable en instituciones educativas no solo cumple una función energética, sino que constituye una herramienta pedagógica de alto valor para el desarrollo de competencias técnicas y conciencia ambiental (UNESCO, 2017; Leal Filho et al., 2015).

En este sentido, el presente estudio de caso evidencia que la implementación del sistema fotovoltaico, transmite su función operativa y se convierte en un recurso didáctico tangible. A diferencia de lo señalado por Aristizábal & González (2021), quienes reportan una limitada vinculación entre infraestructura sostenible y procesos formativos, en esta experiencia la participación directa de estudiantes y docentes permitió un aprendizaje práctico.

Autores como Lozano et al. (2013), destacan que el aprendizaje significativo en sostenibilidad se potencia cuando los estudiantes interactúan con sistemas reales. Este planteamiento coincide con los resultados observados en el estudio, donde el acceso a datos reales de generación y consumo energético fortaleció la comprensión de conceptos asociados a eficiencia energética, energías limpias y transición energética.

Así mismo, la experiencia concuerda con lo expuesto por Mulder et al. (2012), quienes sostienen que los proyectos tecnológicos aplicados favorecen el desarrollo de competencias transversales como el trabajo colaborativo, la resolución de problemas y la toma de decisiones basada en datos.

3.2. Impacto social e institucional

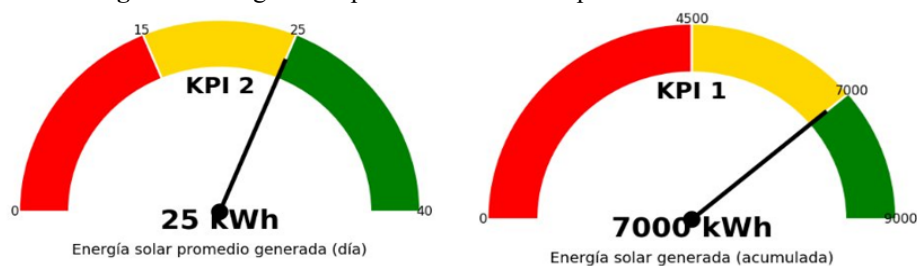
Desde una perspectiva social, la implementación del sistema fortaleció la cultura institucional orientada a la sostenibilidad, coherente con lo planteado por Sterling (2010), quien afirma que las instituciones educativas actúan como agentes de cambio cuando incorporan prácticas sostenibles visibles y replicables. El trabajo colaborativo observado durante el proyecto coincide con lo expuesto por Wiek et al. (2011), quienes destacan que la sostenibilidad en educación superior se consolida cuando existe participación activa de la comunidad académica en proyectos reales. Así mismo, el modelo implementado presenta alto potencial de replicabilidad, tal como sugieren estudios de experiencias similares en América Latina (Aristizábal & González, 2021), especialmente en instituciones con perfiles técnicos y tecnológicos.

3.3. Impacto ambiental

La energía solar generada acumulada (KPI 1) y la energía solar promedio generada por día (KPI 2) refleja la capacidad del sistema fotovoltaico para aportar energía limpia durante el periodo inicial de operación (Figura 4). Estudios similares en contextos educativos reportan que incluso sistemas de pequeña y mediana escala pueden cubrir entre el 20 % y el 50 % de la demanda energética diurna (IEA, 2022; Aristizábal & González, 2021). La energía solar promedio generada por día en la carrera de Desarrollo de Software es de aproximadamente 25 kWh, mientras que la acumulada es de unos 7000 kWh, valor estimado en ~ 10 meses de operación (Ver Figura 4), energía suficiente para abastecer de energía eléctrica a 5 laboratorios con unas 70 computadoras aproximadamente y un espacio comunal, además de otro tipo de dispositivos que se alimentan como celulares, ventiladores, focos, entre otros.

En el presente estudio, el valor acumulado de energía generada confirma la viabilidad técnica del sistema y respalda lo indicado por Krauter (2006), quien señala que la coincidencia entre horas de radiación solar y horarios académicos maximiza el aprovechamiento de sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas.

Figura 4. Energía solar producida durante el periodo de observación.



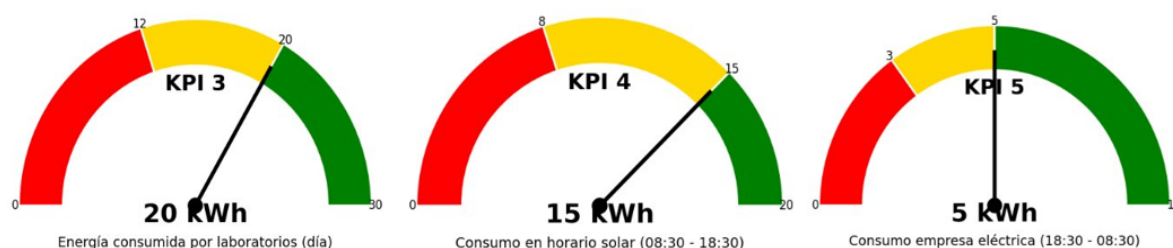
Nota: La figura describe la energía solar producida durante el periodo de observación.

La energía de consumo promedio por laboratorios en un día (KPI 3) = 20 kWh, la energía de consumo por laboratorios en horario solar de 8:30 am a 18:30 pm ~ 10 horas (KPI 4) = 15 kWh y la energía de consumo por laboratorios con empresa eléctrica en un horario de 18:30 pm a 8:30 am del siguiente día ~ 14 horas (KPI 5) = 5 kWh corresponden a valores de consumo donde los indicadores nos muestran que la gran carga de trabajo energético es realizada por los paneles solares en un periodo de ~10 horas mientras que la menor carga de trabajo correspondiente a la jornada nocturna y madrugada es realizada por energía de empresa eléctrica (Ver Figura 5). Estos resultados evidencian un uso significativo de la energía solar durante el horario académico y una reducción directa de la dependencia de la red eléctrica convencional.

Los resultados de consumo obtenidos muestran una proporción significativa de la energía

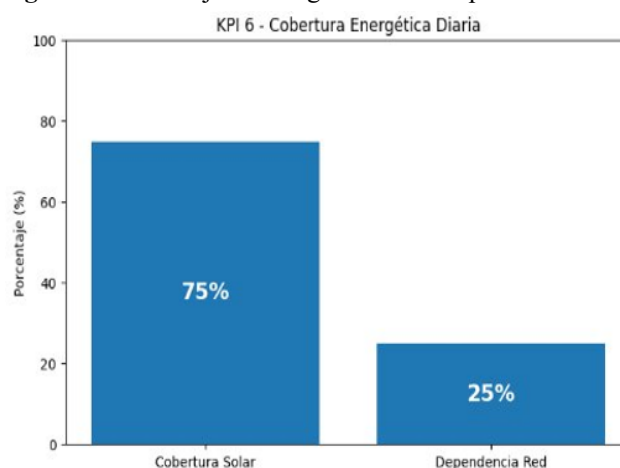
generada por paneles solares de un 75 % frente a un 25% de dependencia de la red eléctrica (Ver Figura 6), lo cual coincide con estudios que destacan el potencial de los sistemas fotovoltaicos para fortalecer el autoconsumo energético en instituciones educativas (Aristizábal & González, 2021; IEA, 2022).

Figura 5. Energía consumida por laboratorios.



Nota: La figura muestra la energía consumida por laboratorios del Instituto Superior.

Figura 6. Porcentaje de energía consumida por laboratorios.



Nota: Porcentaje de energía consumida por laboratorios del Instituto Superior.

La huella de carbono evitada promedio por día (KPI 7) = 8.75 kg CO₂ y la huella de carbono evitada acumulada (KPI 8) = 2450 kg CO₂ (Ver Figura 7) constituye los indicadores ambientales más relevantes del estudio.

Figura 7. Estimación de la huella de carbono evitada.



Nota: La figura describe la estimación de la huella de carbono evitada.

Utilizando un factor de emisión promedio de 0,35 kg CO₂/kWh, recomendado para el contexto ecuatoriano (Ministerio del Ambiente, 2021; IEA, 2022), se estimó una reducción directa de emisiones asociadas al consumo energético de los espacios académicos de un 75% obteniendo

espacios más limpios y ecológicos, esto corresponde a la reducción de 2.45 toneladas de CO₂ reducidas en unos 10 meses (Ver Figura 8).

Este resultado se alinea con investigaciones que destacan el impacto positivo de los sistemas fotovoltaicos en la mitigación del cambio climático, incluso en fases iniciales de operación (IPCC, 2021; REN21, 2015). Además, como señalan Fthenakis y Kim (2011), la reducción de emisiones de carbono, en instituciones educativas tiene un efecto multiplicador al influir en la conciencia ambiental de la comunidad académica.

Figura 8. Reducción de contaminación.



Nota: La figura muestra datos de la reducción de contaminación.

En conjunto, estos indicadores analizados evidencian un impacto ambiental positivo derivado de la implementación del sistema fotovoltaico en el entorno institucional. La energía solar generada representa la sustitución parcial de fuentes energéticas convencionales, mientras que la energía consumida refleja un uso eficiente de la energía limpia producida, reduciendo pérdidas y dependencia de la red eléctrica. Finalmente, la estimación de la huella de carbono evitada permite cuantificar de manera directa la contribución del sistema a la mitigación de emisiones de contaminación.

Estos resultados confirman que, incluso en una fase inicial de operación, la implementación de sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas puede generar beneficios ambientales medibles y alineados con los objetivos de desarrollo sostenible, particularmente aquellos relacionados con energía asequible y no contaminante y acción por el clima (UNESCO, 2020; IPCC, 2021).

4. CONCLUSIONES

La implementación del sistema fotovoltaico en la carrera de Desarrollo de Software demostró ser técnicamente viable, evidenciando su capacidad para generar energía limpia y contribuir al abastecimiento parcial de los espacios académicos, particularmente en laboratorios de

computación. La energía solar generada por día = 25 kWh y acumulada = 7000 kWh confirman que el sistema es una alternativa funcional para entornos educativos con demanda energética constante, tomando en cuenta que la energía de consumo es de 15 kWh en cobertura solar y 5 kWh con dependencia de empresa eléctrica. La gran carga de trabajo energético se da con los paneles solares correspondiente a un 75% mientras que el restante 25% es uso de energía de empresa eléctrica.

Desde una perspectiva ambiental, el estudio permitió cuantificar un impacto positivo mediante la estimación de la huella de carbono evitada acumulada de 2450 kg CO₂ equivalente a la reducción de contaminación de 2.45 toneladas de CO₂ que corresponden a un 75% de reducción de emisiones de contaminación en los espacios institucionales de la carrera de Desarrollo de Software, siendo más ecológicos y amigables con el ambiente.

En el ámbito educativo, la integración de un sistema fotovoltaico trasciende su función energética, convirtiéndose en un recurso pedagógico que fortalece el aprendizaje práctico en desarrollo sostenible. La participación de docentes y estudiantes en el proceso de implementación favoreció el desarrollo de competencias técnicas y principalmente desarrollo de habilidades blandas como trabajo en equipo, solidaridad, liderazgo; además de generar una mayor conciencia ambiental dentro de la comunidad académica.

Finalmente, desde una dimensión social e institucional, el proyecto ayudó a consolidar una cultura organizativa vinculada a la sostenibilidad y la innovación tecnológica, mostrando una alta capacidad de replicabilidad en otras instituciones de educación superior con características similares. Conjuntamente, los resultados obtenidos corroboran la pertinencia de incorporar sistemas fotovoltaicos en el ambiente educativo como estrategia holística que proporciona beneficios energéticos, ambientales, educativos y sociales, creando un umbral para futuras investigaciones dirigidas a mejorar su performance y extender su impacto.

Contribución de los Autores (CRediT): RG: Conceptualización, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición. DP: Investigación, Metodología, Recursos, Validación, Redacción - revisión y edición. DM: Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Visualización, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición. AO: Investigación, Supervisión, Recursos, Validación, Redacción - revisión y edición.

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en esta publicación.

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial: Los autores declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA) para la corrección de estilo del artículo. La herramienta utilizada para este fin fue: ChatGPT.

REFERENCIAS

- Aristizábal, C. E., & González, J. L. (2021). Energía solar fotovoltaica en instituciones educativas: caso de estudio ITM campus Robledo. *Semestre Económico*, 24(57), 30-57. <https://doi.org/10.22395/seec.v24n57a2>
- CEPAL. (2003). *Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe: restricciones y perspectivas*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/6426-energias-renovables-eficiencia-energetica-america-latina-caribe-restricciones>
- Fthenakis, V., & Kim, H. C. (2011). Photovoltaics: Life-cycle analyses. *Solar Energy*, 85(8), 1609-1628. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.002>
- International Energy Agency. (2022). *Renewables 2022: Analysis and forecast to 2027*. IEA. <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Krauter, S. (2006). Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 82(1-2), 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2004.01.011>
- Leal Filho, W., Manolas, E., & Pace, P. (2015). The future we want: Key issues on sustainable development in higher education after Rio and the UN Decade of Education for Sustainable Development. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 16(1), 112-129. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-03-2014-0036>
- Lozano, R., Lukman, R., Lozano, F. J., Huisingh, D., & Lambrechts, W. (2013). Declarations for sustainability in higher education: Becoming better leaders. *Journal of Cleaner Production*, 48, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.006>
- Ministerio del Ambiente y Energía del Ecuador. (2021). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero - INGEI - Sistema Nacional de Inventario de Gases Efecto Invernadero - SINGEI*. https://singei.ambiente.gob.ec/singei/?page_id=1565
- Mulder, K. F., Segalàs, J., & Ferrer-Balas, D. (2012). How to educate engineers for/in sustainable development: Ten years of discussion, remaining challenges. *International Journal of*

- Sustainability in Higher Education*, 13(3), 211-218. <https://doi.org/10.1108/14676371211242535>
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2015). *Renewables 2015 global status report*. REN21. <https://www.ren21.net/gsr-2015/>
- Sterling, S. (2010). Transformative learning and sustainability: Sketching the conceptual ground. *Learning and Teaching in Higher Education*, 5, 17-33. https://www.researchgate.net/publication/266184629_Transformative_Learning_and_Sustainability_Sketching_the_Conceptual_Ground
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2020). *Education for sustainable development: A roadmap*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>
- Wiek, A., Withycombe, L., & Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6(2), 203-218. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6>