

# OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN CAMPAMENTOS REMOTOS PETROLEROS MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE GESTIÓN ENERGÉTICA

*OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION IN OIL REMOTE CAMPS THROUGH ENERGY MANAGEMENT TECHNOLOGIES*

*Edwin Illescas*

egillescas@pucese.edu.ec

*Edison Laz*

ellaz@pucese.edu.ec

*Manuel Rogelio Nevarez Toledo*

manuel.nevarez@pucese.edu.ec

*Miguel Alberto Dávila-Sacoto*

madavila@pucese.edu.ec

Received: 02 April 2025

Revised: 21 May 2025

Accepted: 29 September 2025

Published: 01 January 2026



Acceso abierto diamante

## Resumen

Optimizar los recursos en campos remotos es un criterio fundamental para la eficiencia y la reducción de costos operativos. El estudio tuvo un enfoque descriptivo-experimental, con orientación cuantitativa, en el que se analizó el consumo energético de un campamento remoto de transporte de petróleo, utilizando registros históricos desde 2021. El objetivo principal fue la reducción del consumo energético en un rango del 15% al 30%. Mediante el uso de RETScreen se simularon mejoras en los sistemas energéticos, obteniéndose como resultado un consumo eléctrico anual de 271 148 kWh/año, con gastos asociados de USD 27 454. Con la propuesta fotovoltaica, orientada a optimizar el consumo mediante tecnología de gestión energética, el consumo se redujo a 185 878 kWh/año, disminuyendo significativamente la dependencia del Sistema Nacional Interconectado y el uso de fuentes contaminantes. La eficiencia en sistemas de climatización mejoró en un 14.3%, mientras que en los sistemas eléctricos —bombas, compresores e iluminación— se alcanzó una mejora significativa de 38.6%, con un ahorro promedio de 30.9%. Respecto a las emisiones, estas se redujeron de 58.8 tCO<sub>2</sub> a 40.7 tCO<sub>2</sub>, lo que equivale a la absorción de 1.7 hectáreas de bosque con un retorno de inversión estimado en 10.7 años. En conclusión, este proyecto resulta viable desde el punto de vista de la aplicación de tecnologías de eficiencia energética, al incorporar mejoras técnicas que consolidan una solución económicamente rentable y ambientalmente sostenible.

**Palabras clave:** campamentos remotos petroleros, gestión energética, optimización energética, RETScreen, sistemas fotovoltaicos, tecnologías de gestión.

## Abstract

Optimizing resource use in remote operational fields is a key strategy for enhancing efficiency and reducing operating costs. This study adopted a descriptive– experimental design with a quantitative orientation to analyze the energy consumption of a remote oil

transportation camp, utilizing historical records collected since 2021. The primary objective was to achieve an energy consumption reduction of 15–30%. Using RETScreen, improvements in energy systems were simulated, resulting in an initial annual electricity consumption of 271,143 kWh and associated costs of USD 27,454. With the proposed photovoltaic system, designed to optimize energy use through advanced energy management technologies, annual consumption decreased to 185,878 kWh/year, substantially reducing dependence on the national interconnected grid and on polluting energy sources. Energy efficiency improved by 14.3% in air-conditioning systems and by 38.6% in electrical systems such as pumps, compressors, and lighting, resulting in an overall average energy savings of 30.9%. In terms of environmental impact, CO<sub>2</sub> emissions were reduced from 58.8 tCO<sub>2</sub> to 40.7 tCO<sub>2</sub>, equivalent to the carbon sequestration of approximately 1.7 hectares of forest. The estimated return on investment is 10.7 years. These results demonstrate the technical, economic, and environmental feasibility of implementing energy-efficiency technologies to enhance sustainability in remote oilfield operations.

**Keywords:** remote oil camps, energy management, energy optimization, RETScreen, photovoltaic systems, management technologies.

## Forma sugerida de citar: (APA)

E. Illescas, E. Laz, M.R. Nevarez Toledo y M.A. Dávila-Sacoto. “Optimización del consumo energético en campamentos remotos petroleros mediante tecnologías de gestión energética,” *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, N.º 35, pp. 9-20, 2026. doi: <https://doi.org/10.17163/ings.n35.2026.01>

## 1. Introducción

El dinamismo que presenta la industria petrolera impacta significativamente en el crecimiento económico y social mundial. Estos recursos representan un tercio de la energía primaria utilizada por el ser humano, alcanzando el 2.5% del PIB mundial [1]. Por ello, el transporte de crudo constituye una base importante en la cadena de suministro de recursos fósiles, y los campamentos operativos remotos se enfrentan a desafíos en términos de eficiencia energética, autonomía operativa y sostenibilidad ambiental. Dichas instalaciones, en su mayoría, recurren al uso de sistemas de generación convencionales con altos factores de emisión, lo que incrementa los costos de operación y eleva su huella de carbono.

El desarrollo de tecnologías de gestión energética inteligente implica la integración de algoritmos de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (machine learning) en plataformas SCADA y BEMS (Building Energy Management Systems) [2, 3]. Estas permiten analizar patrones de consumo, predecir curvas de carga y optimizar el uso de energía en tiempo real [4, 5], adaptándose a perturbaciones estocásticas, como fluctuaciones de demanda o variabilidad en fuentes renovables [6]. De igual modo, los programas de respuesta a la demanda (DRP) fomentan que los usuarios ajusten su consumo de acuerdo con señales de red, como precios altos o incentivos [7, 8].

Siguiendo estos preceptos, los sistemas de gestión de energía (SGEn), bajo normas internacionales ISO 50001, se presentan como una estrategia contundente para el incremento de la eficiencia energética corporativa, mejorando el desempeño operacional [9, 10]. Estos sistemas requieren políticas energéticas graduales, objetivos claros y acciones orientadas a optimizar el rendimiento energético [11].

El crecimiento sostenido del consumo energético masivo y los problemas derivados del impacto ambiental de fuentes convencionales han despertado un interés mundial por una mejor gestión de la energía. En este contexto, RETScreen Expert, desarrollado por Natural Resources Canada, se presenta como una alternativa para evaluar la viabilidad técnica y económica de proyectos energéticos, modelar sistemas eléctricos y térmicos, calcular parámetros clave como el ahorro de energía, la reducción de emisiones y el balance económico. Todo ello proporciona una base sólida para la toma de decisiones fundamentada en datos, orientada a una transición energética eficaz [12].

Dentro de las soluciones de generación renovable que pueden gestionarse desde la plataforma de RETScreen, destaca la energía solar fotovoltaica, que convierte la radiación directa en electricidad mediante paneles con celdas de silicio. Esta tecnología resalta por su versatilidad, facilidad de mantenimiento y larga vida útil (25-30 años). No emite gases de efecto invernadero (GEI) y su implementación depende de análisis previos de irradiancia, inclinación y eficiencia del sistema fotovoltaico [13, 14].

En el ámbito de la iluminación, las luminarias LED conectadas a fuentes renovables constituyen una alternativa eficiente, ya que ofrecen mayor vida útil, reducen emisiones y mejoran el rendimiento energético [15]. Aunque su inversión inicial es elevada, un análisis técnico-económico puede justificarla al considerar la calidad lumínica, el nivel de iluminancia (lux) y el confort visual [16].

Los sistemas de climatización representan una parte significativa del consumo energético en edificaciones, y su optimización requiere el mejoramiento del coeficiente de rendimiento (COP) [17]. Estos sistemas son responsables de más del 34% de la demanda energética y del 37% de las emisiones de CO<sub>2</sub> [18], por lo que

deben descarbonizarse mediante la reducción del uso de combustibles fósiles y de hidrofluorocarbonos (HFC) [19].

La norma ISO 50001:2018, en su cláusula 6, presenta un marco para implementar y mejorar los sistemas de gestión de energía (SGEn), lo que permite reducir el consumo, los costos y las emisiones, así como optimizar el rendimiento energético [20]. Bajo este contexto, los campamentos petroleros dependen en gran medida del diésel y del gas natural: el primero genera altos costos e impacto ambiental, mientras que el segundo, aunque más limpio, enfrenta limitaciones logísticas. Esto concuerda con el balance energético requerido en edificaciones en general. En la Figura 1 se muestran los procesos fundamentales aplicables tanto a los sistemas de climatización como a las luminarias.



Figura 1.

Balance de energía para sistemas en edificaciones

El uso energético, que incluye tanto combustibles como electricidad, depende de su fuente principal y del sistema de calefacción/enfriamiento, cuyo desempeño se mide mediante el coeficiente de rendimiento (COP). Una parte significativa de la energía se disipa como calor residual.

La energía térmica se transfiere al interior, donde interactúa con factores como la radiación solar, la iluminación artificial y el funcionamiento de equipos eléctricos, generando ganancias térmicas; en contraste, las pérdidas se producen a través de paredes y ventilación, lo que incrementa la demanda energética.

Los procesos industriales también aportan calor al ambiente interior; sin embargo, una fracción se pierde hacia el exterior, reduciendo la eficiencia global. Asimismo, las pérdidas a través del techo y la ventilación aumentan la carga térmica y, en consecuencia, el consumo energético.

En este contexto, la optimización del consumo mediante tecnologías de gestión energética constituye una estrategia esencial para disminuir el impacto ambiental al uso de fuentes no renovables, especialmente en campamentos remotos [21]. Este trabajo analiza la implementación de la plataforma RETScreen como herramienta para la mejora de la eficiencia energética y la incorporación de energías renovables.

El objetivo es maximizar la eficiencia del uso energético en campamentos petroleros, mediante la evaluación del consumo actual, el análisis de viabilidad a través de RETScreen y la propuesta de sistema renovables y alternativas a corto plazo que permitan mejorar las operaciones y reducir la demanda energética.

## 2. Materiales y métodos

Este estudio es descriptivo-experimental con un enfoque cuantitativo. Se analizan registros históricos de consumo energético correspondientes al período 2021-2022, que incluyen 24 mediciones realizadas en un campo de transporte de crudo. El análisis contrasta un caso base con un escenario optimizado.

Se emplea la plataforma RETScreen Expert para simular condiciones de operación, modelar subsistemas y evaluar la viabilidad de distintas medidas de eficiencia energética. El estudio se centra en los sistemas de iluminación, servicios generales y climatización. La Figura 2 ilustra el flujo energético y las fuentes de abastecimiento consideradas

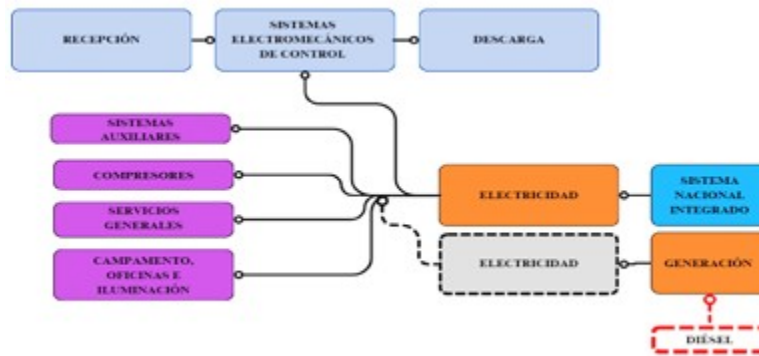


Figura 2.

Comportamiento del flujo de la energía eléctrica en las áreas del campamento

La energía proviene del Sistema Nacional Interconectado (SNI) y abastece sistemas contra incendio, compresores, comedor, oficinas e iluminación del campamento. Todo el proceso está controlado por un sistema electromecánico con válvulas. Como respaldo, generadores a diésel proveen energía en caso de fallas, conectados al mismo sistema, para garantizar la continuidad operativa.

El desempeño energético está basado en tres ejes metodológicos:

- Recopilación y análisis de datos operativos.
- Identificación de mejoras y planificación estratégica.
- Implementación y monitoreo de resultados.

Para la etapa inicial de la configuración del modelo se introdujeron los datos relativos al consumo promedio de energía del campamento, con énfasis en los sistemas de cocción, climatización, iluminación, compresión de fluidos y en los gastos asociados a la energía. Asimismo, se consideraron las condiciones geográficas del área (latitud, longitud, zona climática y atributos del terreno), utilizando como datos georreferenciales:

- N 0° 58' 22.268", O 79° 40' 51.536"
- 0.9728521511737187, -79.68098222443405

Para robustecer la propuesta de incorporación de sistemas de energías renovables, se añadieron variables ambientales como la temperatura del aire, la humedad relativa, la precipitación, la presión atmosférica y la temperatura del suelo. Estos factores se integraron al análisis para evaluar la viabilidad térmica y energética de los sistemas —convencionales y renovables— bajo las condiciones ambientales específicas del campamento, como se muestra en la Figura 3.

Temperatura de diseño de la calefacción		19,6							
Temperatura de diseño del aire acondicionado		29,0							
Amplitud de la temperatura del suelo		9,7							
Mes	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Precipitación mm	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /id	Presión atmosférica kPa	Velocidad del viento m/s	Temperatura del suelo °C	Grados-días de calefacción °C-d	Grados-días de refrigeración °C-d
Enero	24,9	83,7%	191,89	4,24	99,9	3,4	25,7	0	462
Febrero	25,0	85,9%	231,28	4,43	99,9	2,8	25,6	0	420
Marzo	25,1	86,5%	224,44	5,00	99,8	2,5	25,7	0	468
Abril	25,2	86,9%	244,20	4,80	99,8	2,8	25,8	0	456
Mayo	25,0	86,1%	146,63	4,22	99,9	3,5	25,8	0	465
Junio	24,6	84,6%	66,60	3,73	99,9	3,8	25,5	0	438
Julio	24,5	81,5%	36,27	3,87	100,0	4,0	25,6	0	450
Agosto	24,8	77,9%	26,97	4,06	100,0	4,2	26,1	0	459
Septiembre	24,9	76,4%	42,30	4,21	100,0	4,4	26,4	0	447
Octubre	25,0	76,2%	44,95	3,98	100,0	4,5	26,4	0	465
Noviembre	24,9	75,9%	42,30	3,81	99,9	4,4	26,3	0	447
Diciembre	24,9	78,9%	88,04	4,07	99,9	4,1	26,1	0	462
Anual	24,9	81,7%	1.385,87	4,20	99,9	3,7	25,9	0	5.438

Figura 3.

Datos meteorológicos acordes con la geolocalización propuesta del año 2025. Datos de la NASA.

A través de la georreferenciación se obtuvo la gráfica de los datos meteorológicos correspondientes a radiación y temperatura mensual durante un año, como se muestra en la Figura 4.

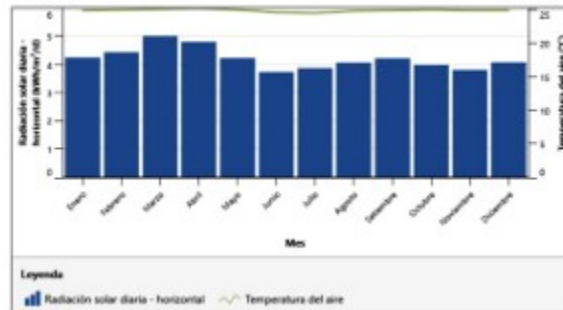


Figura 4.

Gráfico comparativo relacionado con la radiación vs. temperatura mensual durante el año 2025. Datos de la NASA.

Adicionalmente, se recolectó información de consumo eléctrico correspondiente al período 2021-2022. El análisis en RETScreen aplicó estrategias de administración de gestión de la demanda, almacenamiento y optimización energética, conforme a los módulos estructurados por el software, con el objetivo de reducir pérdidas y mejorar los costos asociados al consumo de energía. Como punto de partida, la Figura 5 muestra la comparación del consumo mensual de energía (kWh) entre los años 2021 y 2022.

En 2021 se consumieron 271 148 kWh (51.86%), mientras que en 2022 el consumo fue de 251 622 kWh (48.04%), evidenciando una reducción atribuida a las movilizaciones sociales, que limitaron el uso de los campamentos.

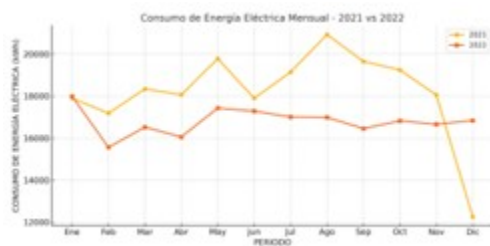


Figura 5.

Consumo energético total del campamento del 2021 en contraste con el 2022.

En lo referente al consumo de combustibles fósiles, únicamente se dispone de registros de enero-abril 2021 y de enero-marzo 2022, como muestra la Figura 6. Esta información permitió analizar el impacto térmico en la generación autónoma de electricidad, así como la correlación con la eficiencia del sistema energético evaluado.

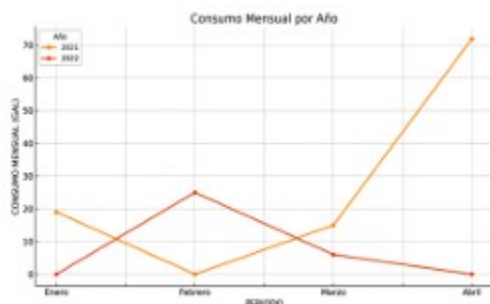


Figura 6.

Consumo de combustible contrastado en período 2021-2022.

En el consumo de combustibles se refleja la variabilidad del mercado petrolero, lo cual determina el costo en el período analizado y resulta un factor clave para el cálculo del gasto asociado al combustible consumido.

Los valores del precio unitario del combustible y su evolución se presentan en la Tabla 1.

Año	Período	Consumo mensual (GAL)	Costo unitario del combustible (USD)	Costo unitario promedio (USD/GAL)
2021	enero	19	1.58	12
	febrero	0	1.75	0
	marzo	15	1.94	8
	abril	72	2.18	33
2022	enero	0	2.47	0
	febrero	25	2.86	9
	marzo	6	3.39	2
	abril	0	3.91	0

Tabla 1.

Consumo de combustible y costo representado en el caso base

La reducción del consumo del SNI fue compensada mediante generación a combustibles fósiles. En el programa se ingresaron los datos eléctricos del campamento para obtener el caso base, considerando los sistemas de generadores, bombas, compresores, iluminación, climatización y otros equipos auxiliares.

La demanda energética (DE) se calculó como potencia × horas/día × días/año, ajustado por eficiencia, ver Ecuación (1).

$$DE(kWh/año) = Potencia(kW) \cdot horas/día \cdot días/año \tag{1}$$

El registro energético inició con las cargas correspondientes al sistema de bombeo del campamento, las cuales se describen en la Tabla 2.

	Motor		Bomba			Demanda energética RETSCREEN (kWh/año)
	Potencia consumida	Eficiencia nominal	Eficiencia de condiciones operativas	Carga del fluido	Horas de operación	
	(kW)	(%)	(%)	(HP)	(h/año)	
Bomba de evacuación	4.23	89.9	88.9	3.5	13	55
Bomba de trasiego de diésel	2.39	85.3	84.4	1.8	1	2.4
Bomba de recirculación para limpieza 1	0.96	79	78.2	0.69	26	25
Bomba de separación de hidrocarburos	1.32	84	83.1	1	6	8
Bomba de recirculación para limpieza 2	1.81	84	83.1	1.4	208	377
Bomba de oxigenación	1.20	84.4	83.5	0.92	728	875
Bombas de almacenamiento	0.62	82.2	81.3	0.23	728	449
	TOTAL					1792

**Tabla 2.**

Registro de datos y análisis energético para las bombas que conforman el campamento

El consumo energético anual fue de 1792 kWh, calculado a partir de las horas de uso y la potencia de bombas, mientras que los datos históricos reportan un valor de 1790.89 kWh, lo que permitió establecer un caso base energético confiable.

En la simulación de RETScreen, se modeló un sistema de aire con compresor de tornillo, seleccionado en el software como equipo de aire comprimido (ver Tabla 3).

Equipo compresor de fluidos	
Parámetros	Valor
Capacidad del compresor, [ft <sup>3</sup> /min]	20
Presión del sistema, [PSIG]	165
Pérdidas por fricción, [%]	10
Capacidad del motor, [kW]	7.4
Demanda de aire útil, [ft <sup>3</sup> /min]	10.5
Tiempo de operación, [h/año]	1196
<b>Demanda eléctrica total</b>	<b>5315</b>

**Tabla 3.**

Datos de registro para equipos eléctricos

Ya hecho el registro del compresor de fluidos, se incorporó el generador eléctrico como parte del sistema energético integral, cuyas características técnicas se muestran en la Tabla 4.

Equipo generador de energía	
Parámetros	Valor
Combustible	Diésel
Energía eléctrica generada, [kWh/año]	1370
Potencia, [kW]	110
Cantidad/año, [gal/año]	106.18

**Tabla 4.**

Datos de registro para equipo generador de energía

Posterior al registro del compresor, se incorporan cargas eléctricas adicionales, que corresponden al sistema de calefacción del agua, refrigeración, cocina y equipos de cómputo, con la finalidad de complementar el modelado integral de la demanda eléctrica, ver Tabla 5. Este proceso se sistematiza considerando la carga

conectada (kW), horas anuales de operación y demanda total del sistema (kWh), de acuerdo con los lineamientos del módulo de uso final eléctrico de RETScreen Expert.

El modelado del sistema de iluminación se realizó mediante el ingreso de datos por zonas funcionales del campamento, siguiendo el mismo proceso aplicado para las cargas eléctricas generales. Dado que el impacto energético de estos componentes es elevado y su diversidad significativa, se los parametrizó de manera detallada en RETScreen. La Tabla 6 presenta la demanda eléctrica total asociada a este rubro.

	Cantidad	Horas de operación (h/año)	Carga eléctrica (W)	Ciclo de utilización (%)
Calentamiento de agua 1	1	8736	5000	100
Calentamiento de agua 2	1	8736	3000	100
Refrigerador	3	8736	1000	100
Cocina	1	2184	10 000	100
Cuarto UPS	1	8736	2880	100
<b><i>Demanda de electricidad (kWh)</i></b>			<b>143 096</b>	

**Tabla 5.**

Datos de registro para equipos eléctricos del área de cocina

	Cantidad	Horas de operación h/año	Carga eléctrica (W)	Ciclo de operación (%)
Área industrial	22	4368	350	100
Refugio técnico de generadores	8	182	400	100
Puesto de vigilancia	2	8736	40	100
Unidad modular DDV	2	3640	40	100
Sala de monitoreo operativo	2	4368	40	100
Sala de automatización	6	8736	40	100
Sanitario área de control	1	3.64	58	100
Bodega de control	1	3.64	18	100
Unidad operativa modular	2	3640	40	100
Punto de mantenimiento mecánico	8	182	5	100
Punto de mantenimiento eléctrico	3	182	305	100
Módulo técnico Seramin	7	1820	18	100
Gimnasio	2	1092	40	100
Estación de herramientas	3	364	5	100
Habitaciones	1	1820	305	100
Almacén logístico	1	182	18	100
Sala común del campamento	7	1820	40	100
Comedor	1	1820	40	100
Cocina	1	6552	250	100
Sanitarios	4	364	18	100
<b><i>Demanda de electricidad (kWh/año)</i></b>			<b>41 151</b>	

**Tabla 6.**

Demanda energética de consumo eléctrico de las luminarias del campamento dado por RETScreen

Para el registro de sistemas de climatización se consideró un coeficiente de rendimiento energético (COP) promedio de 3, correspondiente a los tres equipos de aire acondicionado. Posteriormente, estos sistemas se integraron en la plataforma RETScreen, considerando una carga térmica total de enfriamiento de 93 500 BTU/h, con un ciclo de utilización de 100% y 8736 horas de operación anual. Se determinó una demanda energética anual de 79 795 kWh, correspondiente al consumo previsto del subsistema de climatización.

### 3. Resultados y discusión

En la Tabla 7 se muestra que el consumo total de combustible es de 113 gal/año, equivalente a 4557 kWh/año, mientras que el consumo energético total asciende a 271 148 kWh/año. El costo de diésel es de USD 339/año y el de electricidad USD 27 115/año, considerando un costo promedio del diésel de USD 3/gal y de la electricidad USD 0.10/kWh.

En este caso particular se decidió que, para reducir el consumo energético en el campamento de transporte de petróleo, es importante proponer un sistema fotovoltaico cuyo objetivo sea lograr un ahorro de entre el 15 y el 30% del total de la demanda energética del campamento. Por ello, se optó por un sistema fijado, con un total de 50 paneles, cada uno con una capacidad de 600 W, lo que da una potencia aproximada de 30 kW, considerando las pérdidas en los paneles y en el inversor. Las demás características se presentan adscritas en la Tabla 8.

Tipo de combustible		Caso base		Caso propuesto	
Tipo de combustible	Precio del combustible (USD)	Consumo de combustible	Costo de combustible (USD)	Consumo de combustible	Costo de combustible
Diésel	3	113 gal	339	113 gal	USD 339
Electricidad	0.10	271 148 kWh	27 115	185 878 kWh	\$ 18 588
<b>Total</b>			<b>27 454</b>		<b>\$ 18 927</b>

Tabla 7.

Consumo combustible-electricidad y costo monetario de los sistemas por año en caso base y caso propuesto

Modo de rastreo solar	Fijado
Inclinación	15°
Azimut	180
Tipo de panel	Mono - Si
Fabricante	Jinico Solar
Modelo	Mono Si - JKM600N-78HL4-600W
Capacidad	600W por panel
Número de unidades	50
Capacidad total	30 kW
Temperatura nominal de operación de las celdas	45° C
Eficiencia	21,46%
Área del colector solar	140 m <sup>2</sup>
Pérdidas varias	10%
Eficiencia del inversor	97% (recomendado por el software)
Pérdidas en el inversor	1%

Tabla 8.

Componentes e indicadores clave del sistema fotovoltaico considerado para el estudio mediante RETScreen

Se establece la premisa de que, si se mantiene un consumo constante de la energía generada por el sistema fotovoltaico, el ángulo de inclinación debe ser de 15°. En cuanto a la orientación de azimut, esta debe dirigirse hacia el hemisferio correspondiente; en este caso, como Esmeraldas (Ecuador) se encuentra en el hemisferio norte, la orientación debe ser hacia el sur, lo que determina un ángulo de 180°.

Asimismo, se plantea como premisa que el costo inicial, los costos de operación y mantenimiento, y la energía ahorrada para el campamento se encuentran descritos en la Tabla 9.

	Costo por kW (USD/kW-año)	Costo total (USD)
Costo inicial	1176	35 294
Costo de operación y mantenimiento	10.29	309
<b>Energía ahorrada</b>		<b>36 103 kWh</b>

Tabla 9.

Costos de instalación y de operaciónmantenimiento relacionados con el consumo del sistema fotovoltaico.

Como acotación, los elementos fueron seleccionados con base en la premisa inicial de reducir entre un 15 y un 30% la dependencia energética tanto del SIN como de los sistemas de producción energética convencionales, tales como generadores a diésel. Por ello, todos estos parámetros fueron calculados de manera automática por el RETScreen, que brindó sugerencias en aspectos relacionados con proveedores, modelos, capacidad, eficiencia y pérdidas, así como en criterios económicos, tales como el costo por kW del panel y el costo de operación y mantenimiento anual.

### 3.1. Medidas de optimización del consumo energético

Ya entrando en la materia correspondiente a los ahorros en el sistema energético del campamento, se establece una relación directa con los datos ingresados y con la adición del sistema fotovoltaico como elemento clave, puesto que a través de este se cumple el criterio fundamental de la investigación: reducir entre un 15 y un 30% el consumo energético, aplicando principios de optimización. Estos resultados se presentan en la Tabla 10.

Combustible		Caso base		Caso propuesto		Ahorros	
Tipo de combustible	Precio del combustible (USD)	Consumo de combustible	Costo de combustible (USD)	Consumo de combustible	Costo de combustible (USD)	Combustible ahorrado	Monto ahorrado (USD)
Diésel	3	113 gal	339	113 gal	339	0 gal	0
Electricidad	0.10	271 148 kWh	27 115	185 878 kWh	18 588	85 270 kWh	8527
<b>Total</b>		<b>27 454</b>			<b>18 927</b>		<b>8527</b>

Tabla 10.

Concepto de ahorro eléctrico y combustible en el campamento

La Tabla 11 muestra que, en el caso base, se consumieron 113 galones de diésel (USD 339) y 271 148 kWh/año de electricidad (USD 27 454). En el caso propuesto, el consumo de diésel se mantiene, pero el de electricidad disminuye a 185 878 kWh/año (USD 18 588), lo que representa un ahorro de 85 270 kWh (31%) gracias al sistema fotovoltaico. Los ahorros por subsistema (calentamiento, enfriamiento, electricidad) se detallan en la Tabla 11.

	Calentamiento (kWh)	Enfriamiento (kW)	Electricidad (kWh)	Total (kWh)
Caso base	4557	79 795	191 353	275 705
Caso propuesto	4557	68 396	117 482	190 435
<b>Combustible ahorrado</b>	<b>0 kWh</b>	<b>11 399 kW</b>	<b>73 871 kWh</b>	<b>85 270 kWh</b>
<b>Combustible ahorrado (%)</b>	<b>0%</b>	<b>14.3%</b>	<b>38.6%</b>	<b>30.9%</b>

Tabla 11.

Ahorro energético y porcentual respecto al contexto de cada uno de los sistemas

Con fotovoltaicos, los sistemas de enfriamiento ahorran 14.3% y los eléctricos (bombas, compresores, luces) 38.6%, promediando 30.9%. Al no depender del SIN o generadores, el beneficio económico es alto, con un retorno de inversión en 10.7 años. La Figura 7 compara ambos casos.

Los equipos eléctricos como generadores son los que más ocupan el rubro de consumo de combustible en las instalaciones del campamento, seguido por los procesos de refrigeración o denominados de climatización, y con un bajo porcentaje están los equipos mecánicos y por último el calor del proceso que se pierde en los procesos de combustión. Para el caso propuesto queda descrito de la manera mostrada en la Figura 8.

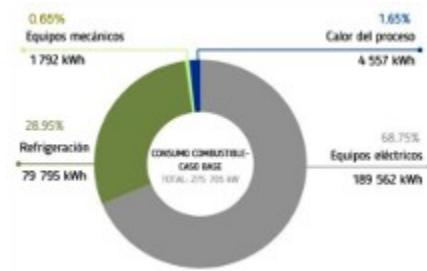


Figura 7.

Consumo energético base por concepto de combustibles por los diferentes tipos de equipos.

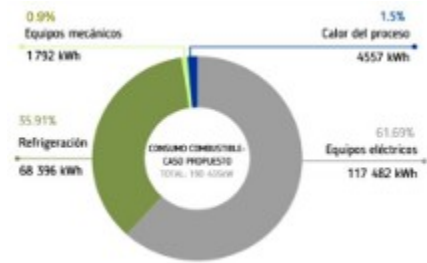


Figura 8.

Consumo energético propuesto por concepto de combustibles por los diferentes tipos de equipos

Se evidencia una diferencia significativa en la reducción de consumo, considerando la propuesta de implementación de un sistema fotovoltaico, el cual contribuye a disminuir 36 103 kWh anuales, como se observa en la Tabla 12.

Consumo energético caso propuesto		
Tipo de equipos	Consumo kWh	Valor porcentual
Equipos eléctricos	146 479 kWh	64.7%
Refrigeración	68 396 kWh	30.2%
Equipos mecánicos	7106 kWh	3.1%
Calor del proceso	4557 kWh	2%
Generación fotovoltaica de electricidad	-36 103 kWh	-

Tabla 12.

Consumo energético del caso propuesto en RETScreen

### 3.2. Costos asociados

En lo referente a los costos de la implementación del sistema fotovoltaico, se observa un incremento en la inversión inicial: sin embargo, se obtiene un ahorro significativo en el gasto de combustible, lo que representa un beneficio económico. Aunque el retorno de la inversión es a largo plazo, este conlleva ventajas en la optimización de sistemas sostenibles y respetuosos con el medioambiente, como se describe en la Tabla 13.

Costos asociados a implementación	
Costos iniciales incrementales [USD]	35 294
Ahorros en costos de combustible [USD]	8527
Ahorros incrementales de operación y mantenimiento [USD]	-309
Retorno del capital en años	10.7

Tabla 13.

Gastos considerados para implementación

La inversión inicial será elevada y los costos de operación y mantenimiento presentan un valor negativo, lo que indica que deben ser considerados dentro de los gastos asociados a la operación del sistema fotovoltaico.

### 3.3. Análisis ambiental

En el análisis de impacto ambiental se consideran aspectos como los factores de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), cuyo valor es de 0.213 tCO<sub>2</sub>/MWh, delimitado por el programa para Ecuador. En la Figura 9 se muestra que las emisiones de GEI corresponden a una reducción anual bruta equivalente a 18,1 tCO<sub>2</sub>, lo que representa la absorción de aproximadamente 11.7 hectáreas de bosque.

En el caso base, la emisión fue de 58.8 tCO<sub>2</sub>, mientras que en el caso propuesto se redujo a 40,7 tCO<sub>2</sub>.

Además del estudio de implementación del sistema fotovoltaico, se plantean medidas que pueden aplicarse de manera inmediata. Estas alternativas se sugieren debido a que el costo de implementación del sistema puede constituir una limitación si no se hace un análisis exhaustivo previo. En este sentido, se identificaron opciones de optimización que también fueron evaluadas mediante el programa RETScreen.



Figura 9.

Reducción anual bruta de emisiones de GEI

### 3.4. Medidas de gestión energética en el campamento petrolero

#### Área de cocina

Se muestra un escenario base y una propuesta de mejora respecto al sistema de calentamiento de agua (8000 L/día), evaluado con registros históricos, en el que como fuente energética se utiliza un generador eléctrico para producir calor.

Se propuso reducir la temperatura del agua caliente 5 °C, pasando de 45.5 °C a 40,5 °C.

Desde el punto de vista termodinámico, esta disminución implica una menor cantidad de energía requerida para alcanzar la temperatura idónea. La premisa de no incrementar, por ejemplo, en 10 °C la temperatura del agua se fundamenta en el equilibrio entre la eficiencia energética y el confort térmico del usuario. Reducir 5 °C significa que la energía necesaria para calentar el agua es directamente proporcional a la diferencia de temperatura deseada, sin comprometer ni el confort térmico del usuario ni la funcionalidad del sistema.

Con valores reales de consumo energético, se estima un ahorro aproximado de 17 000 kWh anuales, lo que representa una mejora del 24.3% en el desempeño térmico. El caso base era de 70 180 kWh/año, mientras que en el caso propuesto, bajo las condiciones sugeridas de funcionamiento, se reduce a 53 147 kWh/año. Este resultado se debe tanto al ajuste de la temperatura como a la optimización del ciclo de uso.

Como medida complementaria, se plantea reducir el ciclo de utilización en 25%, lo que disminuiría la demanda térmica global y, a su vez, reduciría la frecuencia de mantenimientos preventivos y correctivos.

Para futuras investigaciones, se puede efectuar un análisis de recuperación de calor en sistemas de extracción, mediante la implementación de campanas extractoras que permitan precalentar agua o alimentar procesos secundarios dentro del campamento.

#### Luminarias del campamento

Para el proceso de optimización de los sistemas lumínicos en las diferentes áreas del campamento, se propone la sustitución de la tecnología obsoleta, como las lámparas fluorescentes con balasto electrónico, por luminarias LED. En este análisis se consideran pérdidas diversas del 25% tanto en el caso base como en el caso propuesto.

Desde el punto de vista técnico, se evidencia una reducción del 50% en la demanda eléctrica, pasando de 41 151 kWh/año a 20 855 kWh/año, lo cual mejora la eficiencia energética de los sistemas de iluminación. Este resultado se debe a la eficacia de las luminarias: mientras las luces convencionales con balasto presentan una eficiencia de 70 lm/W, las luminarias LED alcanzan 85,5 lm/W, lo que permite mantener los mismos niveles de iluminancia (500 lux) con una menor carga conectada.

Es importante destacar que los sistemas lumínicos deben ser adaptados a un diseño óptico adecuado, considerando aspectos direccionales y de dispersión de la luz. Las luminarias LED, al emitir luz de forma direccional, reducen las pérdidas por dispersión y ayudan a mantener los niveles de luminancia requeridos (500 lux) con una menor cantidad de luminarias y menor carga instalada. A diferencia de las lámparas fluorescentes con balasto, que debido a su emisión omnidireccional requieren un mayor número de puntos de luz, la tecnología LED reduce significativamente la potencia unitaria: de 150 W a 75 W por lámpara. En términos de carga total, esto implica una reducción de 4688 W (fluorescentes T8) a 2344 W (LED).

Para investigaciones futuras, se recomienda un análisis más exhaustivo de eficiencia lumínica en zonas críticas, considerando los niveles de iluminancia mediante software especializado como DIALux. Asimismo, se sugiere efectuar una comparativa entre luminarias LED convencionales y luminarias LED con sensores de presencia o regulación automática, a fin de determinar el potencial adicional de ahorro energético.

#### **Sistemas de climatización**

El sistema de climatización, conformado por 3 equipos (capacidad conjunta: 93 500 BTU/h) presenta una oportunidad significativa de mejorar su eficiencia al incrementar el coeficiente de rendimiento (COP) de 3.0 a 3.5. Desde la termodinámica, el COP refleja la relación entre la energía útil entregada y la energía consumida; por tanto, al elevar el COP se reduce el consumo energético manteniendo la misma capacidad de climatización.

Con COP = 3.5, la demanda energética asociada al sistema de climatización se reduce de 79 795 kWh/año a 68 396 kWh/año, lo que equivale a una disminución del 14,28%. Este comportamiento es coherente con la proporcionalidad inversa del consumo respecto al COP.

Para alcanzar este valor de COP se plantean las siguientes estrategias:

- Mantenimiento preventivo y correctivo de periódico: limpieza de serpentines, verificación de presiones de alta y baja, y detección de fugas, de ser el caso.
- Mejoras de hermeticidad en las áreas climatizadas para reducir la carga térmica y, en consecuencia, el trabajo del sistema.
- Controles inteligentes (termostatos programables, sensores de ocupación) que optimicen los ciclos de operación.
- Integración de energías renovables (por ejemplo, aerotermia o apoyo solar térmico para ACS), que disminuyen el esfuerzo del compresor cuando proceda.

Se propone un sistema fotovoltaico de 30 kWp con 50 paneles de 600 Wp, logrando un ahorro eléctrico del orden del 30% en el consumo desplazable. La planta puede ampliarse con más módulos o complementarse con cambio a luminarias LED en zonas críticas. Asimismo, se sugiere mantenimiento regular de climatización o reemplazo por equipos Inverter con refrigerante R410.

A futuro, distribuir mejor la carga fotovoltaica priorizando equipos sensibles, e incorporar protecciones (p. ej., interruptores en carga telecomandados, almacenamiento energético cuando sea viable) mejorará la resiliencia del sistema.

Para investigaciones futuras, conviene evaluar los ciclos operativos de climatización y extracción, estableciendo parámetros reales de funcionamientos (horarios de mayor carga térmica, posibilidad de reducir la operación sin afectar el confort), y estudiar la compatibilidad de equipos Inverter con refrigerantes bajo GWP (potencial de calentamiento global).

#### 4. Conclusiones

El punto clave del estudio fue evaluar el impacto técnico, económico y ambiental de las medidas implementadas. En consecuencia, se planteó como objetivo reducir entre un 15 y un 30% el consumo energético de un campamento petrolero remoto.

Este análisis se llevó a cabo mediante la herramienta RETScreen, en la que se propusieron mejoras en los sistemas de climatización, iluminación y servicios generales. Con base en los registros históricos, el consumo eléctrico inicial fue de 271 148 kWh/año, con un gasto aproximado de USD 27 454. En el escenario propuesto con un sistema voltaico, cuyo propósito fue optimizar el consumo energético, el consumo se redujo a 185 878 kWh/año, lo que representa un 31 % de ahorro y una disminución en el gasto de USD 8527 anuales.

La generación fotovoltaica, estimada en 30 kWp (no 30 kWh/año), permitió disminuir la dependencia del Sistema Nacional Interconectado (SNI) y de fuentes contaminantes.

En cuanto a la distribución de la eficiencia energética, los sistemas de climatización registraron una mejora del 14,28 %, mientras que los sistemas eléctricos —incluidas bombas e iluminación— alcanzaron la mayor reducción, con un 38,6 %. El balance general señala un ahorro promedio del 30,9 % en todo el sistema.

Desde el punto de vista ambiental, las emisiones de CO<sub>2</sub> se redujeron de 58,8 tCO<sub>2</sub> a 40,7 tCO<sub>2</sub>, lo que equivale a la absorción realizada por 1,7 hectáreas de bosque. Finalmente, el retorno de inversión proyectado es de 10,7 años, lo que consolida la propuesta como una solución viable, sostenible y replicable.

##### Rol de autores

- **Edwin Illescas:** Conceptualización, análisis formal, escritura – borrador original, escritura – revisión y edición, investigación, recursos.
- **Edison Laz:** Software, escritura – borrador original, escritura – revisión y edición, validación, recursos.
- **Manuel Rogelio Nevarez Toledo:** Administración de proyecto.
- **Miguel Alberto Dávila-Sacoto:** Supervisión, administración de proyecto, metodología.

## Referencias

- [1] E. A. Llanes Cedeño and O. D. Rubio Aguiar, Elaboración de una metodología de gestión energética para campos petroleros en el Ecuador basada en la ISO 50001. Universidad Internacional SEK, 2022. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing35ar1r1>
- [2] B. Williams, D. Bishop, P. Gallardo, and J. G. Chase, “Demand side management in industrial, commercial, and residential sectors: A review of constraints and considerations,” *Energies*, vol. 16, no. 13, p. 5155, Jul. 2023. [Online]. Available: <http://doi.org/10.3390/en16135155>
- [3] S. Mimi, Y. Ben Maissa, and A. Tamtaoui, “Optimization approaches for demand-side management in the smart grid: A systematic mapping study,” *Smart Cities*, vol. 6, no. 4, pp. 1630–1662, Jun. 2023. [Online]. Available: <http://doi.org/10.3390/smartcities6040077>
- [4] S. S. Shuvo and Y. Yilmaz, “Demand-side and utility-side management techniques for increasing ev charging load,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 14, no. 5, pp. 3889–3898, Sep. 2023. [Online]. Available: <http://doi.org/10.1109/TSG.2023.3235903>
- [5] S. Charles Raja, A. C. Vishnu Dharsini, J. Jeslin Drusila Nesmalar, and T. Karthick, “Deployment of iot-based smart demand-side management system with an enhanced degree of user comfort at an educational institution,” *Energies*, vol. 16, no. 3, p. 1403, Jan. 2023. [Online]. Available: <http://doi.org/10.3390/en16031403>
- [6] V. Cortez, R. Rabelo, A. Carvalho, A. Floris, and V. Pilloni, “On the impact of flexibility on demand-side management: Understanding the need for consumer-oriented demand response programs,” *International Journal of Energy Research*, vol. 2024, no. 1, Jan. 2024. [Online]. Available: <http://doi.org/10.1155/2024/8831617>
- [7] D. Stanelyte, N. Radziukyniene, and V. Radziukynas, “Overview of demand-response services: A review,” *Energies*, vol. 15, no. 5, p. 1659, Feb. 2022. [Online]. Available: <http://doi.org/10.3390/en15051659>
- [8] M. Alikhani, M. P. Moghaddam, F. Moazzen, and A. Azadi, “Optimal implementation of consumer demand response program with consideration of uncertain generation in a microgrid,” *Electric Power Systems Research*, vol. 225, p. 109859, Dec. 2023. [Online]. Available: <http://doi.org/10.1016/j.eprsr.2023.109859>
- [9] A. Piñeres Castillo, J. J. Cabello Eras, and M. Hinojosa Rivera, “Factores determinantes para la evaluación de la eficiencia energética en las organizaciones: una visión desde las condiciones de Colombia,” *Universidad y Sociedad*, vol. 14, no. 2, pp. 509–520, 2022. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing35ar1r9>
- [10] P. J. Ramos-Males and A. M. Bautista-Segovia, “La eficiencia energética: Una estrategia para la economía doméstica en Ecuador,” *Dominio de las Ciencias*, vol. 8, no. 2, pp. 1334–1346, 2022. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing35ar1r10>
- [11] R. Cancio-Bello, S. Montelíer Hernández, A. Oviedo Regojo, and O. Bello Gonzalez, “Bases para la implementación de un sistema de gestión energética en la UEB Ron “Luis Arcos Bergnes” de Cienfuegos basado en la NC-ISO 50001:2019,” *Universidad y Sociedad*, vol. 13, no. 4, 2021. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing35ar1r11>
- [12] L. Freire, V. Resabala, J. Castillo, and B. Corrales, “Propuesta de un plan alternativo de optimización energética,” *Espacios*, vol. 40, no. 30, 2019. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing35ar1r12>
- [13] F. De La Cruz Cabrales Avila and R. A. M. Otero, “Sistemas fotovoltaicos: solución energética en las comunidades aisladas,” 2022. [Online]. Available: <http://doi.org/10.5281/ZENODO.7461726>

- [14] G. S. Inca Yajamín, D. F. Cabrera Carrión, D. F. Villalta Gualán, R. C. Bautista Zurita, and H. D. Cabrera Carrion, “Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en ecuador: avances, desafíos y perspectivas,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 3, pp. 9493–9509, Jul. 2023. [Online]. Available: [http://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i3.6835](http://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6835)
- [15] A. F. Guamán Mejía and L. V. Sánchez Parrales, “Importancia de la energía renovable para el alumbrado publico,” *Revista Sinapsis*, vol. 24, no. 1, 2024. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing35ar1r15>
- [16] J. R. López Escobedo, K. Nicolás Javier, and F. Garcia Reyes, “Optimización de energía eléctrica y luminosa en laboratorios y aulas de aprendizaje, aplicación sustentable con luminarias de tecnología led,” *Tendencias en energías renovables y sustentabilidad*, vol. 1, no. 1, pp. 93–100, Dec. 2022. [Online]. Available: <http://doi.org/10.56845/terys.v1i1.108>
- [17] J. L. Rodríguez Muñoz, J. S. Pacheco Cedeño, C. M. Valencia Castillo, and J. d. J. Ramírez Minguela, “Energy and exergy analysis of an ejector-compression refrigeration cycle with double ihx,” *REVISTA DE CIENCIAS TECNOLÓGICAS*, vol. 6, no. 3, p. e261, Sep. 2023. [Online]. Available: <http://doi.org/10.37636/recit.v6n3e261>
- [18] ONU, Las emisiones históricas del sector de la construcción, lo alejan de los objetivos de descarbonización. Naciones Unidas, 2022. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing35ar1r18>
- [19] IRENA, Integración de energías renovables de baja temperatura en los sistemas energéticos urbanos: lineamientos para los responsables de la formulación de políticas – Resumen. International Renewable Energy Agency, 2021. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing35ar1r19>
- [20] ISO, Guía de implementación e interpretación de requisitos del estándar ISO 50001:2018. Organización Internacional de Normalización, 2018. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing35ar1r20>
- [21] T. Jing and Y. Zhao, “Optimizing energy consumption in smart buildings: A model for efficient energy management and renewable integration,” *Energy and Buildings*, vol. 323, p. 114754, Nov. 2024. [Online]. Available: <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114754>

## Additional information

*redalyc-journal-id*: 5055

## Alternative link

<https://ingenius.ups.edu.ec/ingenius/article/view/10431> (html)



**Available in:**

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=505583422011>

How to cite

Complete issue

More information about this article

Journal's webpage in redalyc.org

Scientific Information System Redalyc  
Network of Scientific Journals from Latin America and the  
Caribbean, Spain and Portugal  
Project academic non-profit, developed under the open  
access initiative

Edwin Illescas, Edison Laz, Manuel Rogelio Nevarez Toledo,  
Miguel Alberto Dávila-Sacoto

**OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN  
CAMPAMENTOS REMOTOS PETROLEROS MEDIANTE  
TECNOLOGÍAS DE GESTIÓN ENERGÉTICA  
OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION IN OIL REMOTE  
CAMPS THROUGH ENERGY MANAGEMENT TECHNOLOGIES**

*Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*

no. 35, p. 9 - 20, 2026

Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

[revistaingenius@ups.edu.ec](mailto:revistaingenius@ups.edu.ec)

**ISSN:** 1390-650X

**ISSN-E:** 1390-860X

**DOI:** <https://doi.org/10.17163/ings.n35.2026.01>



**CC BY-NC-SA 4.0 LEGAL CODE**

**Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-  
CompartirIgual 4.0 Internacional.**