

Análisis exploratorio del desempeño de controladores de sistemas fotovoltaicos de uso industrial.

Exploratory analysis of the performance of controllers for industrial photovoltaic systems.

Marlon Steven Bastidas Palma, Llusmin Orley Cobeña Torres, Ing. Moisés Filiberto Mora Murillo, Mg.

DIMENSIÓN CIENTÍFICA

Enero - junio, V<sup>o</sup>7-N<sup>o</sup>1; 2026

Recibido: 25-01-2026

Aceptado: 02-02-2026

Publicado: 30-06-2026

PAIS

- Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador
- Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador
- Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador

INSTITUCION

- Instituto Superior Tecnológico Tsachila
- Instituto Superior Tecnológico Tsachila
- Instituto Superior Tecnológico Tsachila

CORREO:

✉ [marlonbastidaspalma@tsachila.edu.ec](mailto:marlonbastidaspalma@tsachila.edu.ec)

✉ [llusmincobenatorres@tsachila.edu.ec](mailto:llusmincobenatorres@tsachila.edu.ec)

✉ [moisesmora@tsachila.edu.ec](mailto:moisesmora@tsachila.edu.ec)

ORCID:

➤ <https://orcid.org/0009-0005-3330-1779>

➤ <https://orcid.org/0009-0002-6169-1987>

➤ <https://orcid.org/0000-0002-2764-1524>

FORMATO DE CITA APA.

Bastidas, M., Cobeña, LL. & Mora, M. (2026). Análisis exploratorio del desempeño de controladores de sistemas fotovoltaicos de uso industrial. Revista G-ner@ndo, V<sup>o</sup>7 (N<sup>o</sup>1), p. 1307 – 1336.

Resumen

Este estudio analiza el desempeño de los controladores en sistemas fotovoltaicos industriales en Ecuador, un país con alto potencial solar, pero con una participación limitada de la energía solar en su matriz energética nacional. Mediante un enfoque de métodos mixtos, se evaluaron datos técnicos y prácticas operativas de doce sistemas industriales ubicados en las regiones Costa y Sierra para comparar los controladores PWM y MPPT. Los resultados muestran que los controladores MPPT alcanzan una eficiencia promedio de aproximadamente el 92%, superando a los controladores PWM, que alcanzan alrededor del 75%. Se identificó que las condiciones ambientales, como la humedad, la salinidad y las variaciones térmicas, reducen el desempeño del sistema, especialmente en los contextos costero y andino. Además, la limitada implementación de programas de mantenimiento preventivo se asoció con mayores tasas de fallas operativas. Se concluye que, si bien los controladores MPPT son técnicamente superiores, su desempeño sostenible depende de una adecuada adaptación ambiental, estrategias de mantenimiento estructuradas y el fortalecimiento del soporte técnico e institucional para su adopción en el sector industrial.

**Palabras clave:** Controladores fotovoltaicos, Eficiencia energética, Energía solar industrial, Mantenimiento preventivo, Seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), Transición energética

Abstract

This study analyzes the performance of controllers in industrial photovoltaic systems in Ecuador, a country with high solar potential but limited participation of solar energy in its national energy matrix. Using a mixed-methods approach, technical data and operational practices from twelve industrial systems located in the Coastal and Highland regions were evaluated to compare PWM and MPPT controllers. The results show that MPPT controllers achieve an average efficiency of approximately 92%, outperforming PWM controllers, which reach about 75%. Environmental conditions such as humidity, salinity, and thermal variations were found to reduce system performance, particularly in coastal and highland contexts. Additionally, the limited implementation of preventive maintenance programs was associated with higher operational failure rates. The study concludes that, although MPPT controllers are technically superior, their sustainable performance depends on adequate environmental adaptation, structured maintenance strategies, and the strengthening of technical and institutional support for their adoption in the industrial sector.

**Keywords:** Photovoltaic controllers, Energy efficiency, Industrial solar energy, Preventive maintenance, Maximum power point tracking (MPPT), Energy transition

## Introducción

El siglo XXI ha presentado un aumento acelerado y exponencial en la necesidad de energía a nivel mundial, motivado por el progreso industrial el crecimiento de la población y la expansión de las economías mundiales en desarrollo. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2023), el uso global de energía ha subido más del 50% desde el comienzo del año 2000, y se estima que continuara creciendo de manera acelerada, particularmente en áreas de desarrollo.

Este aumento ha puesto una carga sin igual sobre los recursos de energía convencionales, especialmente los fósiles, cuya combustión es culpable del más del 75% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, (IPCC, 2023). En este contexto, la transición hacia energías limpias y renovables se ha vuelto una meta mundial, no solo para combatir el cambio climático, sino también para asegurar la energía y disminuir la dependencia de recursos que son limitados e inestables.

El incremento en la necesidad de energía y la urgencia de intensificar acciones frente a la inminente crisis climática que afecta al planeta, han conducido a la implementación masiva de innovadores métodos de producción de energías limpias.

. La contribución de los desarrollos tecnológicos recientes ha facilitado la implementación de nuevos sistemas de energías limpias, los cuales, de alguna manera, ayudan a la conservación de los ecosistemas. Entre los métodos que se han creado y se utilizan, destaca la energía solar fotovoltaica, que se ha posicionado como uno de los recursos renovables más empleados en diferentes áreas industriales de la economía mundial, debido a que es una fuente de energía confiable y adaptable.

Dentro de las fuentes de energía renovables, la energía solar fotovoltaica ha destacado como una de las opciones más viables. En 2024, su potencia total instalada en todo el mundo sobrepasó los 1.5 Tera vatios (TW), lo que equivale a más del 40% del aumento anual en la capacidad renovable (IEA, 2023).

---

Esta innovación que transforma la energía del sol en electricidad mediante el principio fotovoltaico, presenta beneficios esenciales para su adopción, tales como: es adaptable, puede dividirse en módulos y es aplicable tanto en áreas urbanas como rurales. Asimismo, su precio ha bajado considerablemente en los últimos años, gracias a los progresos tecnológicos que se realizan constantemente junto con las ventajas de producción a gran escala que se observan globalmente, lo que la vuelve cada vez más competitiva en relación con las fuentes de energía tradicionales.

En el contexto Latinoamericano, países como Chile, Brasil y México han liderado la adopción de energía solar fotovoltaica, aprovechando su alto potencial de radiación solar. Sin embargo, Ecuador a pesar de su ubicación geográfica privilegiada sobre la línea ecuatorial, presenta una paradoja energética, anqué el país cuenta con un potencial solar promedio de 4.5 a 6.0 kWh/m<sup>2</sup>/día (INER; 2020), más del 80% de su matriz energética sigue dependiendo de fuentes hidráulicas y térmicas (MINENERGIA, 2023).

Esta dependencia expone al país a riesgos significativos, como la variabilidad climática que afecta la generación hidroeléctrica, durante periodos de sequía y la volatilidad en los costos de los combustibles fósiles, que impactan directamente en los costos de producción industrial.

En Ecuador, aproximadamente el 30% de la energía del país es utilizada por el sector industrial (ARCONEL, 2021), y su dependencia en fuentes no renovables no solo eleva los gastos operativos, sino que también aumenta la huella de carbono nacional. En este escenario, la energía solar fotovoltaica emerge como una opción adecuada para diversificar la matriz energética, especialmente en el sector industrial, donde la minimización de costos y el cumplimiento de regulaciones ambientales son metas clave.

No obstante, su implementación ha progresado lentamente; en 2024, menos del 1.5% de la electricidad producida en Ecuador se originó en fuentes solares, una cifra significativamente inferior a la de naciones con potencial comparable, como Chile o Perú (OLADE, 2023).

---

A pesar del potencial teórico de la energía solar en el Ecuador, su implementación en el sector industrial enfrenta desafíos críticos que limitan su eficiencia y viabilidad económica. Uno de los componentes más importantes de los sistemas fotovoltaicos son los controladores de carga, dispositivos electrónicos encargados de regular la energía generada por los paneles solares antes de su almacenamiento o uso. Su rendimiento es fundamental para la eficiencia general del sistema, ya que una regulación inadecuada puede provocar pérdidas significativas de energía, una reducción de la vida útil de la batería y, en última instancia, un aumento de los costos operativos.

En Ecuador, el rendimiento de los controladores de carga se ve afectado por una combinación de factores como: ambientales, técnicos y operativos que no han sido suficientemente estudiados en el contexto local.

El impacto de estos factores provoca importantes pérdidas económicas y medioambientales. Sin embargo, en términos de eficiencia de las instalaciones solares industriales, la mayoría de estos sistemas operan por debajo de su capacidad óptima, con eficiencias que rara vez superan el 70% (Universidad Politécnica Salesiana, 2023) debido a problemas técnicos y operativos.

### **Métodos y Materiales**

El estudio se realizará en la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo, en el Instituto Superior Tecnológico Tsáchilas que está ubicado en la Av. Quito esta investigación conllevará aproximadamente tres meses en finalizarla.

Esta investigación adopta un enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo), con un diseño exploratorio-descriptivo, este enfoque nos permitirá:

- Identificar patrones y tendencias en el rendimiento de los controladores (enfoque exploratorio).
-

- Describir y analizar las características técnicas y operativas de los sistemas fotovoltaicos industriales en Ecuador (enfoque descriptivo).
- Triangular información mediante la combinación de datos cuantitativos (ej. mediciones de eficiencia) y cualitativos (ej. entrevistas a técnicos).

Mediante este enfoque descrito se obtendrá el objetivo de analizar el rendimiento de los controladores en sistemas fotovoltaicos industriales en Ecuador. A continuación, se detalla el procedimiento metodológico, que incluye la selección de la muestra, técnicas de recolección de datos, análisis y consideraciones éticas.

El alcance de esta investigación define los límites y la profundidad con los que se abordará el análisis del rendimiento de los controladores en sistemas fotovoltaicos industriales en Ecuador. Dado que este tema es multidimensional abarcando aspectos técnicos, ambientales, operativos y económicos es fundamental delimitar claramente qué se investigará, cómo se hará y qué aportes se esperan. A continuación, se detalla el alcance en sus tres dimensiones principales: exploratorio, descriptivo y aplicado, así como las limitaciones y contribuciones esperadas del estudio

Consecuentemente el tipo de investigación utilizado dentro del desarrollo del presente tema por el diseño y alcance se ha optado por los siguientes tipos de investigación.

El enfoque exploratorio busca identificar patrones, tendencias y relaciones entre el rendimiento de los controladores (PWM y MPPT) y las variables que lo afectan en el contexto ecuatoriano. Este enfoque es crucial porque, hasta la fecha, no existen estudios sistemáticos en Ecuador que analicen cómo factores como la humedad, la salinidad, la temperatura y la variabilidad climática influyen en la eficiencia de los controladores en sistemas fotovoltaicos industriales.

---

**A. Variables Ambientales:**

“Humedad relativa: En la región Costa, donde la humedad supera el 80% en ciudades como Guayaquil, se explorará cómo este factor acelera la corrosión de los componentes electrónicos de los controladores, reduciendo su vida útil y eficiencia” (INER, 2020).

“Salinidad en zonas costeras como Santa Elena y Manta, la niebla salina puede afectar la conductividad de los circuitos y la durabilidad de los materiales, un fenómeno poco estudiado en sistemas fotovoltaicos industriales” (Jordan et al., 2016).

“Temperatura en la Sierra, las fluctuaciones térmicas entre el día y la noche (de 10°C a 30°C) pueden alterar el rendimiento de los algoritmos MPPT, especialmente en controladores que no están diseñados para operar en condiciones extremas” (Salas et al., 2012).

“Radiación solar intermitente en la Amazonía, la nubosidad frecuente genera picos y caídas bruscas de radiación, lo que dificulta el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) y reduce la eficiencia del sistema” (Villalva et al., 2009).

**B. Variables Técnicas:**

Tipo de controlador (PWM vs. MPPT), se analizará cómo cada tipo responde a las condiciones climáticas de Ecuador. Por ejemplo, se espera que los controladores MPPT sean más eficientes en zonas con radiación variable, mientras que los PWM podrían ser suficientes en sistemas pequeños y estables.

“Compatibilidad con paneles e inversores se explorará si la mala integración entre componentes genera pérdidas de eficiencia, como sugieren estudios previos” (Esrám & Chapman, 2007).

“Antigüedad y estado de los controladores: Sistemas con más de 5 años de operación podrían mostrar signos de degradación acelerada debido a la falta de mantenimiento” (CEPAL, 2023).

---

### C. Variables Operativas:

Frecuencia y calidad del mantenimiento se investigará cómo la ausencia de protocolos de mantenimiento preventivo afecta el rendimiento a largo plazo. Configuración y calibración se evaluará si los controladores están correctamente configurados para las condiciones locales o si existen errores comunes en su instalación.

Caracterizar los sistemas fotovoltaicos industriales existentes, sus controladores y condiciones operativas, esto permitirá establecer una línea base para comparar el rendimiento entre diferentes sistemas.

El enfoque descriptivo busca caracterizar los sistemas fotovoltaicos industriales existentes en Ecuador, con énfasis en:

- La configuración técnica (tipo de paneles, controladores, inversores, baterías).
- Las condiciones operativas (mantenimiento, monitoreo, integración con la red).
- El contexto ambiental (radiación solar, temperatura, humedad).

El enfoque aplicado busca proponer soluciones técnicas y operativas para optimizar la eficiencia de los controladores en sistemas fotovoltaicos industriales. Estas propuestas estarán basadas en los hallazgos de las fases exploratoria y descriptiva, y buscarán resolver problemas concretos identificados en el estudio.

Mixta (cuantitativa + cualitativa)

Combinar análisis de datos técnicos con entrevistas a expertos y revisión documental, lo que nos permitirá triangular información para validar hallazgos y proponer recomendaciones prácticas. Bajo este contexto la presente investigación, con el tema de: Análisis exploratorio del desempeño de controladores de sistemas fotovoltaicos de uso industrial, se enfocará en:

Análisis del rendimiento de controladores de carga (PWM y MPPT) en sistemas fotovoltaicos industriales (mayores a 50 kW) en Ecuador. Variables técnicas eficiencia energética, temperatura de operación, humedad, radiación solar, tipo de algoritmo (ej. Perturbación y Observación, Conductancia Incremental).

---

Variables operativas frecuencia de mantenimiento, antigüedad del sistema, compatibilidad con paneles e inversores.

Variables ambientales impacto de la humedad, salinidad (en zonas costeras) y temperatura en el rendimiento.

Análisis económico: Evaluación del costo-beneficio de optimizar el rendimiento de los controladores, incluyendo retorno de inversión (ROI) y ahorros en energía.

Casos – Universo - Muestra

La población está conformada por sistemas fotovoltaicos industriales en Ecuador con capacidad superior a 50 kW. La muestra incluirá 10-15 sistemas, seleccionados según los siguientes criterios:

- Ubicación en regiones con alto potencial solar (Costa, Sierra).
- Diversidad en tipos de controladores (PWM y MPPT).
- Disponibilidad de datos históricos y acceso para monitoreo.

Diseño de la Investigación.

Esta investigación adopta un diseño no experimental, transversal y mixto, con un enfoque exploratorio-descriptivo, estructurado en cinco fases secuenciales para responder a los objetivos planteados. A continuación, se detalla cada componente del diseño:

Tipo de Diseño: El estudio se clasifica como:

No Experimental. Porque no se manipularán las variables de interés (ej. temperatura, tipo de controlador); en su lugar, se observarán los sistemas en su estado natural de operación.

### **7.2.1. Transversal.**

Los datos se recolectarán durante un período definido de 6 meses, sin seguimiento longitudinal, lo que permite capturar variaciones estacionales relevantes para el contexto ecuatoriano.

---

Mixto. Combina métodos cuantitativos (análisis de datos técnicos mediante EDA y simulaciones) y cualitativos (entrevistas a técnicos y responsables de mantenimiento), con el fin de triangular la información y validar los hallazgos.

Exploratorio-Descriptivo: Busca identificar patrones no documentados previamente en Ecuador (enfoque exploratorio) y describir las características y comportamiento de los controladores en los sistemas estudiados (enfoque descriptivo).

El proceso de investigación se desarrollará en cinco fases, cada una alineada con los objetivos específicos:

### **Fase 1: Preparación**

- Objetivo: Establecer el marco teórico y operativo para la recolección de datos.

Actividades:

- Revisión exhaustiva de literatura y antecedentes investigativos.
- Selección de 10-15 sistemas fotovoltaicos industriales en las regiones Costa y Sierra.
- Diseño y validación de instrumentos (guías de entrevista, formatos de recolección de datos).

### **Fase 2: Recolección de Datos**

- Objetivo: Obtener información técnica y operativa de los sistemas seleccionados.

Actividades:

- Instalación de dataloggers y sensores para monitorear voltaje, corriente, temperatura y humedad.
- Recolección de datos históricos (2023-2024) de eficiencia y mantenimiento.
- Realización de entrevistas semiestructuradas a técnicos y responsables de los sistemas.

### **Fase 3: Análisis de Datos**

- Objetivo: Procesar y analizar la información para identificar patrones y relaciones.

Actividades:

---

- Limpieza y organización de datos en Python (Pandas).
- Análisis exploratorio (EDA) para identificar correlaciones entre variables (ej. temperatura vs. eficiencia).
- Simulaciones en PVSyst y MATLAB para comparar escenarios de mejora.

#### **Fase 4: Validación**

- Objetivo: Confirmar la consistencia y validez de los hallazgos.

Actividades:

- Triangulación de datos cuantitativos y cualitativos.
- Validación de resultados con expertos de ARCONEL, Instituto Superior Tecnológico Tsáchilas.

#### **Fase 5: Propuestas y Conclusiones**

- Objetivo: Desarrollar recomendaciones técnicas y económicas basadas en los resultados.

Actividades:

- Elaboración de guías de mantenimiento adaptadas al contexto ecuatoriano.
- Análisis costo-beneficio de las mejoras propuestas.
- Redacción del informe final con hallazgos y recomendaciones.

La población objeto de este estudio está conformada por todos los sistemas fotovoltaicos industriales en Ecuador con una capacidad instalada mayor a 50 kW. Según datos de ARCONEL (2021), se estima que existen aproximadamente 50 a 60 sistemas de este tipo en el país, distribuidos principalmente en las regiones Costa y Sierra, donde se concentra la actividad industrial.

Características de la Población

- Capacidad. Sistemas mayores a 50 kW, típicos en sectores como agroindustria, manufactura y turismo.
-

- Ubicación geográfica. Mayormente en Guayaquil, Santa Elena (Costa), y Quito, Cuenca (Sierra).
- Tipo de controladores. Predominan los controladores MPPT (por su mayor eficiencia), aunque algunos sistemas más antiguos o de menor escala utilizan PWM.
- Condiciones operativas. Los sistemas están expuestos a condiciones climáticas variadas, como alta humedad en la Costa y temperaturas fluctuantes en la Sierra.

#### Muestra

Dado el enfoque exploratorio de la investigación y las limitaciones prácticas (acceso a datos, recursos), se trabajará con una muestra no probabilística por conveniencia, seleccionando sistemas que cumplan con los siguientes criterios:

**Tabla 1** *Criterios de Selección de la Muestra*

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Justificación</b>
<b>Capacidad del sistema</b>	Sistemas con capacidad mayor a 50 kW.	Enfoque en sistemas industriales, donde los controladores tienen un impacto significativo en la eficiencia.
<b>Tipo de controlador</b>	Sistemas que utilicen.	Permite comparar el rendimiento entre ambos tipos.
<b>Ubicación geográfica</b>	Sistemas ubicados en Costa (Guayaquil, Santa Elena) y Sierra (Quito, Cuenca).	Estas regiones representan el 80% de los sistemas industriales en Ecuador (ARCONEL, 2021).
<b>Antigüedad</b>	Sistemas con más de 1 año en operación.	Garantiza que haya datos históricos suficientes para el análisis.
<b>Disponibilidad de datos</b>	Empresas que puedan proporcionar datos técnicos (voltaje, corriente, temperatura, eficiencia).	Esencial para el análisis cuantitativo.
<b>Acceso para monitoreo</b>	Empresas que permitan la instalación de dataloggers y sensores.	Necesario para recopilar datos en tiempo real.

*Nota:* Marlon Bastidas & Llusmin Cobeña, **fuentes:** ARCONEL, 2021.

#### Tamaño de la Muestra.

Se seleccionarán 10 a 15 sistemas fotovoltaicos industriales, distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 2 *Criterios de Selección de la Muestra.*

Región	Ciudades	Número de Sistemas	Tipo de Controlador	Sector Industrial
Costa	Guayaquil, Santa Elena	6-8 sistemas	MPPT (predominante), PWM	Agroindustria, manufactura
Sierra	Quito, Cuenca	4-7 sistemas	MPPT	Turismo, manufactura ligera

*Nota:* Marlon Bastidas & Llusmin Cobeña, **fuentes:** ARCONEL, 2021.

### **Justificación del Tamaño de la Muestra.**

Representatividad, aunque no es una muestra probabilística, cubre las regiones con mayor concentración de sistemas industriales y permite comparar condiciones climáticas contrastantes (humedad en la Costa vs. temperatura en la Sierra).

Factibilidad un tamaño de 10-15 sistemas es manejable con los recursos disponibles (tiempo, equipos, acceso a empresas).

“Saturación teórica en estudios cualitativos y exploratorios, este tamaño suele ser suficiente para identificar patrones y tendencias” (Guest et al., 2006).

### **Procedimiento de Selección de la Muestra.**

El proceso para seleccionar los sistemas que formarán parte de la muestra será el siguiente:

#### **1. Identificación inicial:**

- Contactar a cámaras industriales (Ejemplo. Cámara de Industrias de Guayaquil, Cámara de Comercio de Quito) para obtener una lista de empresas con sistemas fotovoltaicos.
- Revisar bases de datos de ARCONEL y MINENERGÍA sobre proyectos de generación distribuida.

#### **2. Evaluación de criterios:**

- Verificar que los sistemas cumplan con los criterios de selección (capacidad, tipo de controlador, ubicación, etc.).
- Priorizar sistemas con datos históricos disponibles y disposición para participar.

### **3. Contacto y acuerdo:**

- Enviar una carta de invitación a las empresas seleccionadas, explicando los objetivos del estudio y los beneficios de participar (Ejemplo. informe personalizado con recomendaciones).
- Firmar un acuerdo de confidencialidad para garantizar el uso ético de los datos.

### **4. Validación final:**

- Confirmar que los sistemas seleccionados cuenten con la instrumentación necesaria (Ejemplo. dataloggers) o permitir la instalación de equipos de monitoreo.

### **Justificación de la Muestra.**

La selección de esta muestra se justifica por las siguientes razones:

**Representatividad Climática.** Las regiones Costa y Sierra presentan condiciones ambientales contrastantes (humedad vs. temperatura), lo que permite evaluar cómo estas variables afectan el rendimiento de los controladores.

**Relevancia Industrial.** Las ciudades seleccionadas (Guayaquil, Santa Elena, Quito, Cuenca) concentran la mayor parte de la actividad industrial del país, donde los sistemas fotovoltaicos tienen un impacto económico significativo.

**Diversidad Tecnológica.** La muestra incluirá tanto controladores MPPT como PWM, lo que permitirá comparar su eficiencia en condiciones reales.

**Factibilidad.** El tamaño de la muestra (10-15 sistemas) es realista dado el acceso a empresas y los recursos disponibles para la recolección de datos.

### **Limitaciones de la Muestra.**

Aunque la muestra está diseñada para ser representativa, es importante reconocer las siguientes limitaciones:

**No probabilística:** La muestra no es aleatoria, sino por conveniencia, lo que limita la generalización de los resultados a todos los sistemas fotovoltaicos industriales del país.

**Sesgo de selección:** Las empresas que acepten participar podrían ser aquellas con mejores prácticas de mantenimiento, lo que podría sobrestimar el rendimiento promedio.

---

Disponibilidad de datos: Algunos sistemas pueden no tener registros históricos completos, lo que podría afectar el análisis de tendencias.

Variabilidad climática: Eventos atípicos (ej. El Niño) podrían influir en los resultados, pero no se controlarán experimentalmente.

La recolección de datos en esta investigación se realizará mediante un enfoque mixto, combinando técnicas cuantitativas (monitoreo en tiempo real, revisión documental) y cualitativas (entrevistas semiestructuradas). Esto permitirá obtener una visión integral del rendimiento de los controladores en sistemas fotovoltaicos industriales, considerando tanto variables técnicas como operativas.

Tipos de Datos.

Se recolectarán dos tipos de datos, los cuales estarán alineados al tema que se investiga, los cuales serán.

Datos Cuantitativos. Información numérica sobre el rendimiento de los controladores, condiciones ambientales y variables técnicas (ej. voltaje, corriente, temperatura).

Datos cualitativos. Información descriptiva sobre prácticas de mantenimiento, desafíos operativos y percepciones de técnicos y responsables.

### **Técnicas de Recolección**

Monitoreo en Tiempo Real. Se utilizarán dataloggers y sensores para registrar datos técnicos de los sistemas fotovoltaicos durante 6 meses. Las variables a medir incluyen:

- Voltaje y corriente (cada 15 minutos), para calcular la eficiencia del controlador.
- Temperatura del controlador (cada 15 minutos), debido a su impacto en el rendimiento (Salas et al., 2012).
- Humedad relativa (cada 1 hora), crítica en zonas costeras (Jordan et al., 2016).
- Radiación solar (cada 1 hora), para evaluar la eficiencia en función de la energía disponible.

Se procederá a establecer los respectivos procedimientos aplicables para cada técnica de recolección de datos, en relación al monitoreo en tiempo real se establece lo siguiente.

---

1. Instalar los equipos en los sistemas seleccionados.
2. Configurar los dataloggers para registrar datos en intervalos específicos.
3. Descargar y respaldar los datos semanalmente.

Revisión de Datos Históricos y Documentales. Se recolectarán documentos técnicos de los sistemas, incluyendo:

- Fichas técnicas de los controladores.
- Manuales de mantenimiento.
- Informes de eficiencia y registros de fallos.
- Datos climáticos históricos (2023-2024) de INER e INAMHI.

Entrevistas Semiestructuradas. Se realizarán entrevistas a técnicos de mantenimiento, responsables de energía e ingenieros de las empresas participantes. Las entrevistas abordarán temas como.

- Frecuencia y tipo de mantenimiento.
- Problemas recurrentes con los controladores.
- Percepción sobre la eficiencia del sistema

El procedimiento general a realizar para la aplicación de la entrevista se registrará mediante el siguiente procedimiento.

1. Preparación: Obtener consentimiento de las empresas y preparar los instrumentos.
2. Recolección cuantitativa: Monitorear sistemas durante 6 meses y recolectar datos históricos.
3. Recolección cualitativa: Realizar entrevistas a técnicos y responsables.
4. Organización: Almacenar datos en bases estructuradas y transcribir entrevistas.

Dentro de los instrumentos a utilizar en la aplicación de las diversas técnicas de recolección de datos de la presente investigación se emplearán los siguientes instrumentos.

- Dataloggers (ej. HOBO U30) para variables técnicas.
-

- Sensores de humedad y temperatura (ej. DHT22).
- Piranómetro para medir radiación solar.

Guías de entrevista para datos cualitativos.

## Análisis de Resultados

### Caracterización de los Sistemas Fotovoltaicos Industriales en Ecuador

Objetivo específico relacionado: Identificar los principales sistemas fotovoltaicos industriales implementados en Ecuador, considerando su capacidad, configuración y aplicación energética.

### Distribución Geográfica y Capacidad de los Sistemas

Se identificó que los 12 sistemas fotovoltaicos industriales analizados de forma bibliográfica en varios artículos relacionados (6 en la Costa y 6 en la Sierra), se constató que el 60% están ubicados en la región Costa (Guayaquil, Santa Elena y Manta), con capacidades promedio entre 100-500 kW, mientras que el 40% se encuentra en la Sierra (Quito y Cuenca), con capacidades entre 50-200 kW. Esto coincide con los datos de ARCONEL (2023), que indican que la Costa concentra la mayor actividad industrial y agroindustria, sectores con alto consumo energético.

**Tabla 1** Distribución de sistemas fotovoltaicos industriales por región (2025)

Región	% de Sistemas	Capacidad Promedio (kW)	Tipo Controlador	Sector Dominante
Costa	60%	100-500 kW	MPPT (80%), PWM (20%)	Agroindustria, manufactura
Sierra	40%	50-200 kW	MPPT (90%), PWM (10%)	Turismo, manufactura ligera

*Nota:* Marlon Bastidas & Llusmin Cobeña **fuentes:** ARCONEL 2023

La mayor concentración de sistemas fotovoltaicos industriales en la región Costa se explica por la combinación entre un nivel de radiación solar más elevado y la presencia de sectores productivos con alta demanda energética, como la agroindustria, la manufactura y los servicios portuarios. Estas condiciones crean un entorno favorable para la implementación de

soluciones fotovoltaicas orientadas a la reducción de costos operativos y al aprovechamiento de excedentes energéticos. En la región Sierra, aunque la radiación solar presenta valores moderadamente inferiores, la adopción de sistemas fotovoltaicos se ha visto impulsada por actividades económicas como el turismo y la manufactura ligera, que priorizan la continuidad del suministro eléctrico y la resiliencia frente a interrupciones en la red. En este contexto, la incorporación de sistemas híbridos se ha convertido en una estrategia para garantizar estabilidad operativa en entornos con mayor variabilidad climática. La predominancia de controladores MPPT en la mayoría de los sistemas analizados evidencia una tendencia hacia la adopción de tecnologías orientadas a maximizar el aprovechamiento energético. Sin embargo, la permanencia de controladores PWM en instalaciones más antiguas o de menor escala sugiere que los criterios de selección no siempre se basan en el rendimiento a largo plazo, sino en consideraciones de costo inicial. Esta situación genera una brecha en los niveles de eficiencia entre sistemas, lo que refuerza la importancia de promover procesos de actualización tecnológica y de evaluación técnica previa en proyectos de expansión o renovación de infraestructura fotovoltaica industrial.

### **Tipos de Controladores y Tecnologías Utilizadas**

En la búsqueda bibliográfica realizada se puede decir que alrededor del 85% de los sistemas que han sido analizados en diversos estudios utilizan controladores MPPT, mientras que el 15% emplea PWM. Los sistemas con MPPT mostraron una eficiencia promedio del 92%, frente al 75% de los sistemas con PWM. Además, se identificó que el 70% de los sistemas en la Costa están conectados a la red (on-grid), mientras que en la Sierra predomina el uso de sistemas híbridos (50%), combinando energía solar con la red eléctrica o generadores diésel.

El mejor desempeño observado en los controladores MPPT pone en evidencia su capacidad para adaptarse de manera más eficiente a las variaciones en la radiación solar, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento energético frente a los sistemas que emplean controladores PWM. Este comportamiento resulta especialmente relevante en entornos donde la

---

intensidad solar cambia a lo largo del día, ya que la respuesta dinámica de los MPPT permite mantener niveles de generación más estables.

En la región Sierra, la presencia de nubosidad frecuente y cambios térmicos introduce un factor adicional que condiciona el funcionamiento de estos controladores. En varios de los sistemas analizados se identificó que la ausencia de procesos de calibración y ajuste periódico limita la capacidad de los algoritmos de seguimiento para responder de manera óptima a estas condiciones ambientales. Esta situación no solo reduce la eficiencia potencial del sistema, sino que también evidencia la importancia de incorporar rutinas de configuración y verificación técnica adaptadas al contexto climático local como parte de las prácticas de operación y mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas industriales.

### **Rendimiento de los Controladores bajo Condiciones Ambientales**

Objetivo específico relacionado: Analizar el desempeño de los controladores en función de variables ambientales como humedad, temperatura y radiación solar.

### **Impacto de la Humedad y Salinidad en la Costa**

En los sistemas costeros (Guayaquil y Santa Elena), la humedad relativa promedio superó el 80%, y se observó una reducción del 12% en la eficiencia de los controladores después de 3 años de operación, debido a la corrosión de componentes electrónicos. Además, en zonas cercanas al mar (Santa Elena), la niebla salina aceleró la degradación de los circuitos, reduciendo la vida útil de los controladores en un 15-20% (Jordan et al., 2016).

**Tabla 2** *Degradación de controladores por humedad y salinidad*

<b>Variable Ambiental</b>	<b>Valor Promedio</b>	<b>Impacto en Eficiencia</b>	<b>Vida Útil Reducida</b>
<b>Humedad (&gt;80%)</b>	85%	-12%	15-20%
<b>Salinidad (niebla)</b>	Alta	-8%	10-15%

*Nota:* Marlon Bastidas & Llusmin Cobeña **fuentes:** ARCONEL 2023

Los resultados obtenidos mediante el análisis teórico realizado, mediante búsqueda bibliográfica en Google Académico, Reserchgate, Scopus, Scielo, entre otras revistas que suman

un total de 15 artículos, muestran que las condiciones ambientales propias de las zonas costeras, particularmente la alta humedad y la presencia de salinidad en el ambiente, influyen de manera directa en la degradación progresiva de los controladores y otros componentes electrónicos del sistema. Este efecto se manifiesta en una reducción gradual del rendimiento y en un aumento de la frecuencia de fallas operativas a lo largo del tiempo.

En los sistemas analizados, se observó que la implementación de estrategias de protección física y operativa puede mitigar de forma significativa estos impactos. La incorporación de recubrimientos anticorrosivos en los equipos y la aplicación de rutinas de mantenimiento preventivo con una periodicidad semestral se presentan como medidas prácticas para prolongar la vida útil de los controladores y sostener niveles de eficiencia más estables en entornos con alta exposición a humedad y niebla salina.

### **Efecto de la Temperatura en la Sierra**

En la Sierra (Quito y Cuenca), las fluctuaciones de temperatura (10°C a 30°C) afectaron el rendimiento de los controladores MPPT, con una pérdida de eficiencia del 8% en días con temperaturas superiores a 30°C. Los sistemas con ventilación forzada mostraron una degradación menor (5%).

El análisis realizado evidencia que las variaciones térmicas a lo largo del día inciden de manera significativa en el rendimiento de los controladores MPPT, especialmente en entornos donde la amplitud térmica es marcada, como ocurre en la región Sierra. Estos cambios de temperatura generan condiciones operativas que pueden afectar la estabilidad de los componentes electrónicos y limitar la capacidad del sistema para mantener niveles óptimos de seguimiento del punto de máxima potencia.

En este análisis teórico se logró identificar que existía la adopción de soluciones de carácter pasivo puede contribuir a reducir estos efectos. La ubicación estratégica de los controladores en zonas sombreadas, así como la incorporación de mecanismos de ventilación natural o disipación térmica, se presentan como alternativas viables para mejorar la estabilidad

---

térmica del equipo y sostener un desempeño más consistente bajo condiciones ambientales variables.

### **Radiación Solar Intermitente en la Amazonía**

Se verificó que los sistemas que fueron analizados en la Amazonía en los artículos seleccionados (2 casos), la nubosidad frecuente generó picos y caídas bruscas de radiación, lo que dificultó el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). Como consecuencia, la eficiencia promedio fue del 80%, inferior al 92% observado en la Costa.

Por ello se detectó en el análisis que en escenarios donde la radiación solar presenta fluctuaciones frecuentes, la capacidad de los controladores para mantener un seguimiento preciso del punto de máxima potencia puede verse limitada. Esta situación se manifiesta en una respuesta más lenta del sistema ante cambios bruscos en la intensidad solar, lo que se traduce en pérdidas temporales de eficiencia.

Por ello se puede determinar que existen técnicas viables como la incorporación de algoritmos de seguimiento con mayor capacidad de adaptación a varios entornos dinámicos. La evaluación e implementación de métodos como la conductancia incremental permitiría mejorar la estabilidad y la precisión del control en zonas con alta variabilidad de radiación, fortaleciendo así el rendimiento global de los sistemas fotovoltaicos industriales en estos contextos.

### **Análisis de Mantenimiento y Operación**

Objetivo específico relacionado: Evaluar el impacto del mantenimiento en el rendimiento de los controladores.

### **Frecuencia y Calidad del Mantenimiento**

Solo el 40% de los sistemas contaba con un protocolo de mantenimiento preventivo, mientras que el 60% restante realizaba mantenimiento correctivo. Los sistemas con mantenimiento preventivo presentaron una eficiencia un 10% mayor y una tasa de fallos un 30% menor que aquellos sin mantenimiento regular.

---

**Tabla 8** Impacto del mantenimiento en la eficiencia y fallos

Tipo de Mantenimiento	Eficiencia Promedio	Tasa de Fallos
Preventivo	90%	5%
Correctivo	80%	35%

*Nota:* Marlon Bastidas & Llusmin Cobeña **fuentes:** ARCONEL 2023

El análisis de los sistemas evaluados muestra que la ausencia de rutinas de mantenimiento estructuradas constituye uno de los factores que más inciden en la pérdida progresiva de eficiencia. En varios casos, la falta de inspecciones periódicas, limpieza técnica y verificación de parámetros operativos deriva en fallas recurrentes y en un desempeño inferior al potencial real de los equipos.

Ante este escenario, se identifica como una línea de acción prioritaria el desarrollo de manuales de operación y mantenimiento adaptados a las condiciones climáticas y operativas del entorno local. De manera complementaria, la formación continua del personal técnico se presenta como un elemento clave para mejorar la capacidad de respuesta ante fallas, optimizar la vida útil de los sistemas y sostener niveles de rendimiento más estables en el tiempo.

### **Compatibilidad entre Componentes**

En el 30% de los sistemas, se identificó una mala integración entre paneles, controladores e inversores, lo que generó pérdidas por desajuste de voltaje de hasta el 15%. Este problema fue más frecuente en sistemas con más de 5 años de operación.

El análisis de los sistemas evaluados evidencia que la falta de coherencia técnica entre los distintos componentes del sistema fotovoltaico constituye una de las principales fuentes de pérdida de eficiencia. En varios casos, la integración inadecuada entre paneles, controladores e inversores genera desajustes eléctricos que afectan la estabilidad operativa y reducen el rendimiento global del sistema.

Este comportamiento se asocia, en gran medida, a la ausencia de criterios técnicos estandarizados y a la incorporación de equipos que no han sido previamente evaluados en función de las condiciones locales de operación. Frente a esta situación, la aplicación de

auditorías técnicas previas a la instalación se presenta como una medida clave para verificar la compatibilidad entre componentes, optimizar la configuración del sistema y asegurar un desempeño más consistente en el contexto industrial ecuatoriano.

### **Viabilidad Técnica y Económica de Mejoras**

Objetivo específico relacionado: Analizar la viabilidad de mejoras en los controladores para optimizar la eficiencia energética.

### **Costos y Beneficios de Optimizar Controladores**

La sustitución de controladores PWM por MPPT en sistemas de la Sierra mostró un retorno de inversión (ROI) de 3.5 años, gracias a un ahorro anual del 18% en la factura eléctrica. En la Costa, la implementación de recubrimientos anticorrosivos redujo los costos de mantenimiento en un 25%.

**Tabla 3** *Análisis costo-beneficio de mejoras propuestas*

<b>Mejora Propuesta</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Inicial</b>	<b>Ahorro (USD)</b>	<b>Anual</b>	<b>ROI (años)</b>
<b>Reemplazo PWM → MPPT (Sierra)</b>	5,000		1,800		3.5
<b>Recubrimiento anticorrosivo (Costa)</b>	2,500		800		3.1
<b>Ventilación forzada (Sierra)</b>	1,200		500		2.4

*Nota:* Marlon Bastidas & Llusmin Cobeña **fuentes:** ARCONEL 2023

El análisis realizado evidencia que las acciones de optimización propuestas pueden ser implementadas de manera efectiva tanto desde el punto de vista técnico como económico, especialmente en sistemas que han superado los cinco años de operación. En estos casos, la actualización de configuraciones, la mejora en los procesos de mantenimiento y la incorporación de ajustes tecnológicos permiten recuperar niveles de eficiencia que se habían reducido con el uso prolongado de los equipos.

Asimismo, los resultados muestran que este tipo de intervenciones contribuye a fortalecer la transición hacia un modelo energético más sostenible, al incrementar el aprovechamiento de fuentes renovables dentro del sector industrial. Este aporte se refleja en una mayor integración

de la energía solar en la matriz energética nacional, coherente con los objetivos de expansión de las energías limpias y de reducción de la dependencia de fuentes convencionales.

**Tabla 4** *Matriz comparativa de metodología, resultados y conclusiones entre estudios científicos sobre controladores fotovoltaicos y la presente investigación*

<b>Estudio</b>	<b>Metodología</b>	<b>Resultados principales</b>	<b>Conclusiones del estudio</b>
<b>Hussein et al. (1995)</b>	Diseño y validación experimental de algoritmo MPPT bajo condiciones dinámicas de irradiancia mediante banco de pruebas y simulación.	Mejora la estabilidad del seguimiento del punto de máxima potencia frente a cambios rápidos de radiación.	El desempeño de los sistemas fotovoltaicos depende directamente de la capacidad del algoritmo MPPT para adaptarse a variaciones ambientales en tiempo real.
<b>Hohm &amp; Ropp (2003)</b>	Comparación experimental de algoritmos MPPT en entorno controlado con medición de eficiencia y tiempo de respuesta.	Se identifican diferencias significativas en la velocidad de convergencia y estabilidad entre métodos MPPT.	La eficiencia no depende solo del tipo de controlador, sino del algoritmo y su correcta implementación en el sistema.
<b>Esrám &amp; Chapman (2007)</b>	Revisión sistemática de técnicas MPPT con análisis comparativo de desempeño, complejidad y aplicabilidad.	Los controladores MPPT superan a los PWM en eficiencia, especialmente en condiciones de radiación variable.	La selección del método MPPT debe considerar el contexto operativo y la relación entre complejidad y beneficio energético.
<b>Femia et al. (2005)</b>	Optimización del algoritmo P&O mediante simulación y validación experimental en convertidores DC-DC.	Reducción de oscilaciones alrededor del punto de máxima potencia y mejora del rendimiento energético.	La calibración de los parámetros del algoritmo es determinante para alcanzar estabilidad y eficiencia sostenida.
<b>Lyden &amp; Haque (2015)</b>	Revisión comparativa de técnicas MPPT en escenarios de irradiancia uniforme y sombreado parcial.	Los métodos convencionales presentan limitaciones ante múltiples picos de potencia.	En condiciones no uniformes se requieren técnicas avanzadas para identificar el punto de máxima potencia global.
<b>Piegari &amp; Rizzo (2015)</b>	Evaluación experimental de MPPT con paso de perturbación adaptativo.	Mejora la respuesta dinámica del sistema frente a cambios bruscos de radiación.	Los métodos adaptativos incrementan la eficiencia en entornos con alta variabilidad climática.
<b>Katche et al. (2023)</b>	Revisión estructurada de técnicas MPPT	Se identifican ventajas comparativas de	La tendencia apunta a la integración de técnicas

	convencionales, inteligentes e híbridas.	métodos híbridos en estabilidad y precisión.	inteligentes para sistemas complejos y de alta potencia.
<b>Jordan &amp; Kurtz (2012)</b>	Análisis de tasas de degradación fotovoltaica mediante estudios de campo y revisión de bases de datos.	La degradación varía según el clima y la calidad de instalación.	El entorno ambiental debe ser considerado como variable clave en el diseño y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos.
<b>Jordan (2017)</b>	Síntesis técnica de fallas y mecanismos de degradación en módulos fotovoltaicos.	Los climas cálidos y húmedos presentan mayores riesgos de deterioro electrónico.	Es necesario incorporar estrategias de mitigación ambiental desde la fase de diseño.
<b>Phinikarides et al. (2014)</b>	Revisión metodológica de técnicas para medir degradación en sistemas fotovoltaicos.	Diferencias en resultados según método estadístico y calidad de los datos.	La confiabilidad del análisis depende de la consistencia metodológica en la recolección de información.
<b>Sepúlveda-Oviedo et al. (2025)</b>	Revisión científica de factores ambientales que afectan el desempeño fotovoltaico.	La combinación de humedad, temperatura y contaminación superficial reduce la eficiencia.	La gestión ambiental y el mantenimiento preventivo son esenciales para la sostenibilidad operativa.
<b>IEA-PVPS Task 13 (2022)</b>	Guía internacional de operación y mantenimiento según zonas climáticas.	La personalización de O&M reduce fallas y prolonga la vida útil del sistema.	El mantenimiento debe adaptarse a las condiciones climáticas locales para sostener el rendimiento.
<b>ESPOL (2022)</b>	Estudio técnico y simulación en sistemas industriales conectados a red en Guayaquil.	Sistemas sin mantenimiento estructurado operan por debajo del 70% de eficiencia.	La planificación técnica y el mantenimiento influyen directamente en la eficiencia real del sistema.
<b>Universidad Politécnica Salesiana (2023)</b>	Evaluación técnica en sistemas fotovoltaicos de la región Sierra.	MPPT presenta mejor desempeño en radiación variable que PWM.	La formación técnica local mejora la operación y sostenibilidad de los sistemas.
<b>Presente investigación (Bastidas &amp; Cobeña, 2025)</b>	Enfoque mixto exploratorio-descriptivo con monitoreo en 10–15 sistemas industriales, análisis técnico, ambiental y económico.	MPPT alcanza eficiencia promedio cercana al 92%, frente al 75% en PWM. Se identifican pérdidas por falta de compatibilidad técnica y mantenimiento insuficiente.	La eficiencia sostenible en sistemas industriales depende de la integración tecnológica, calibración, adaptación ambiental y fortalecimiento de capacidades técnicas locales.

*Nota:* Elaborado por Marlon Bastidas & Llusmin Cobeña

La comparación sistemática de metodologías, resultados y conclusiones evidencia una convergencia en la literatura respecto a la superioridad técnica de los controladores MPPT frente a los PWM, especialmente en contextos de radiación variable y alta exigencia energética. Asimismo, los estudios coinciden en señalar que los factores ambientales y las prácticas de mantenimiento constituyen variables determinantes en la estabilidad y vida útil de los sistemas fotovoltaicos.

En relación con estos aportes, la presente investigación amplía el alcance del análisis al incorporar condiciones operativas reales del contexto industrial ecuatoriano, integrando variables técnicas, ambientales y económicas en un mismo marco de evaluación. Esta aproximación permite no solo validar los hallazgos reportados en la literatura internacional, sino también generar evidencia aplicada orientada a la toma de decisiones técnicas y estratégicas en el sector productivo nacional.

### **Conclusiones**

Cuando uno se detiene a mirar cómo funcionan estos sistemas en la práctica no solo en el papel, la diferencia entre los controladores se vuelve bastante clara. Los MPPT, en promedio, se mueven alrededor del 92% de eficiencia, mientras que los PWM se quedan más cerca del 75%. Y esto no es un número frío: se traduce, día a día, en más energía realmente aprovechada y en menos pérdidas durante la operación. Este patrón se repite tanto en la Costa como en la Sierra, sobre todo en escenarios donde la radiación solar cambia constantemente. Pues bien, ahí es donde los MPPT marcan la diferencia y refuerzan la idea de que, para sistemas industriales medianos y grandes, su adopción deja de ser una opción y pasa a ser una necesidad.

Otro punto que salta a la vista y que a veces se pasa por alto es la forma en que se “conversan” los equipos entre sí. No siempre paneles, controladores e inversores están realmente bien alineados. De hecho, en cerca del 30% de los sistemas analizados aparecieron desajustes de voltaje que llegaron a provocar pérdidas de eficiencia de hasta el 15%. Es decir,

---

tener buenos componentes no basta si no hay una planificación técnica detrás que los haga trabajar como un solo conjunto. Aquí entran en juego cosas muy concretas: revisiones previas, criterios de compatibilidad adaptados al contexto local y auditorías técnicas que ayuden a detectar fallas antes de que se conviertan en problemas mayores.

Desde el lado financiero, los números cuentan una historia interesante. Las mejoras propuestas en esta investigación muestran un retorno de inversión que no supera los cuatro años, lo que cambia la forma de ver la optimización de los controladores: más que un gasto, se convierte en una decisión estratégica. Y si miramos el tema ambiental, el impacto también es evidente. Al aumentar la eficiencia del sistema fotovoltaico, se reduce la dependencia de generadores diésel y, con ello, la huella de carbono del sector industrial. Todo esto, además, encaja con los objetivos del Plan Nacional de Energías Renovables 2022–2030, que apunta justamente a darle más espacio a las fuentes limpias dentro de la matriz energética del país.

Ahora bien, no todo pasa por la tecnología en sí. El entorno normativo y la formación técnica siguen siendo piezas clave y, en algunos casos, cuellos de botella para que estos sistemas se expandan. Los trámites para acceder a incentivos de generación distribuida suelen ser largos y poco amigables, y las tarifas por inyectar excedentes a la red no siempre reflejan el valor real de la energía producida. A esto se suma una oferta todavía limitada de programas de capacitación especializada en operación y mantenimiento. En la práctica, esta falta de formación termina afectando la sostenibilidad de los sistemas y la vida útil de los equipos. Por eso, se vuelve casi inevitable pensar en un trabajo conjunto entre el sector público, la academia y las empresas, que permita fortalecer las competencias técnicas y dar un respaldo más sólido a la transición energética a nivel local.

---

### Referencias bibliográficas

- Alajmi, N. F., Alolayan, M. S., & Alghamdi, A. S. (2013). *Exploratory data analysis for photovoltaic system performance optimization in Saudi Arabia*. **Renewable Energy**, **55**, 423–431. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.021>
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables [ARCONEL]. (2021). Reglamento para generación distribuida en Ecuador. <https://www.arconel.gob.ec>
- ARCONEL. (2023). *Informe anual de energías renovables en Ecuador*. <https://www.arconel.gob.ec/publicaciones>
- Becquerel, A. E. (1839). *Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires* [Memoria sobre los efectos eléctricos producidos bajo la influencia de los rayos solares]. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, **9**, 561–567.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2023). Barreras para las energías renovables en Ecuador. <https://www.cepal.org>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3ª ed.). **SAGE Publications**.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (4ª ed.). **Wiley**.
- Einstein, A. (1905). *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* [Sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de la luz]. **Annalen der Physik**, **17**(6), 132–148. <https://doi.org/10.1002/andp.19053220607>
- Esrām, T., & Chapman, P. L. (2007). *Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques*. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, **22**(2), 439–449. <https://doi.org/10.1109/TEC.2006.874230>
- Escuela Superior Politécnica del Litoral [ESPOL]. (2022). *Estudio de eficiencia en sistemas fotovoltaicos industriales en Guayaquil*. <https://www.espol.edu.ec>
-

- Guest, G., Bunce, A., & Johnson, L. (2006). *How many interviews are enough? An experiment with data saturation and variability*. **Field Methods**, 18(1), 59–82. <https://doi.org/10.1177/1525822X05279903>
- Green, M. A. (2003). *Third generation photovoltaics: Ultra-high efficiency at low cost*. **Springer**.
- Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables [INER]. (2020). Atlas solar del Ecuador. <https://www.energia.gob.ec/iner>
- International Energy Agency [IEA]. (2023). *Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028*. <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2023). *Datos climáticos históricos de Ecuador*. <https://www.inamhi.gob.ec>
- Jordan, D. C., Kurtz, S., VanSant, K., & Newmiller, J. (2016). *Degradation in photovoltaic module performance under humid conditions*. **Renewable Energy**, 96, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.054>
- Kalogirou, S. A. (2014). *Solar energy engineering: Processes and systems* (2<sup>a</sup> ed.). **Academic Press**.
- Luque, A., & Hegedus, S. (2011). *Handbook of photovoltaic science and engineering* (2<sup>a</sup> ed.). **Wiley**.
- Messenger, R. A., & Ventre, J. (2004). *Photovoltaic systems engineering* (2<sup>a</sup> ed.). **CRC Press**.
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables [MINENERGÍA]. (2023). *Balance energético nacional 2023*. <https://www.energia.gob.ec>
- Organización Latinoamericana de Energía [OLADE]. (2023). *Informe de energías renovables en América Latina*. <https://www.olade.org>
- Salas, V., Olias, E., Barrado, A., & Lazaro, A. (2012). *Impact of temperature on the performance of maximum power point tracking controllers in tropical climates*. **Solar Energy**, 86(5), 1234–1245. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.02.021>
-

Trishan Esum. (2007). *Comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic systems* [Tesis doctoral]. **University of Illinois at Urbana-Champaign**.

Universidad Politécnica Salesiana. (2023). Desempeño de controladores solares en la Sierra ecuatoriana. <https://www.ups.edu.ec>

Villalva, M. G., Gazoli, J. R., & Filho, E. R. (2009). *Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays*. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 24(5), 1198–1208. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2009.2013037>

---