



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

ARTICULO CIENTIFICO

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO
RESIDENCIAL OFF-GRID CON PREDICCIÓN ENERGÉTICA”**

Articulo científico presentado previo a la obtención del Título

de Ingeniero Eléctrico

AUTORES:

Herrera Robayo David Ramiro

Lovato Caiza Washington Gregorio

Tutor:

Ing. Castillo Fiallos Jessica Nataly. MSc.

LATACUNGA – ECUADOR

AGOSTO 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Herrera Robayo David Ramiro, con cédula de ciudadanía No. 0550670079, **Lovato Caiza Washington Gregorio**, con cédula de ciudadanía No. 1600674327 declaramos ser autores del artículo científico: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL OFF-GRID CON PREDICCIÓN ENERGÉTICA”**, siendo la **Ing. Castillo Fiallos Jessica Nataly MSC.**, tutor del presente trabajo: y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

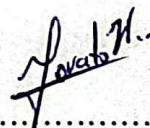
Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, julio 30 del 2025



Herrera Robayo David Ramiro

C.C. 0550670079



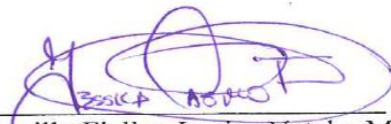
Lovato Caiza Washington Gregorio

C.C. 0550675110

Latacunga, 31 de Julio del 2025

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “**IMPLEMENTATION OF A RESIDENTIAL OFF-GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH ENERGY PREDICTION**”, propuesto por los estudiantes **Herrera Robayo David Ramiro, Lovato Caiza Washington Gregorio** de la Carrera de **Electricidad** considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



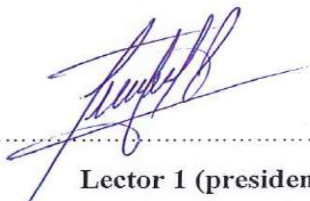
Ing. Castillo Fiallos Jessica Nataly, Mg.
C.C. 0604590216
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Artículo académico de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **David Ramiro Herrera Robayo** con cedula de ciudadanía C.C: **0550670079** y **Washington Gregorio Lovato Caiza** con cedula de ciudadanía C.C: **0550675110**, con el título del Artículo académico: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL OFF-GRID CON PREDICCIÓN ENERGÉTICA”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Latacunga, Julio 2025

Para constancia firman:



Lector 1 (presidente)

Ing. Mg. Byron Paul Corrales Bastidas
CC: 0502347768



Lector 2

Ing. Franklin Hernán Vasquez Teneda
CC: 1710434497



Lector 3

Ing. Mg. Manuel Ángel León Segovia
C.C. 0502041353

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, institución que ha sido nuestra segunda casa durante estos años de formación. Gracias por abrirnos las puertas, por brindarnos las herramientas académicas, humanas y profesionales necesarias para crecer y convertirnos en los ingenieros que hoy estamos orgullosos de ser. Sin duda, llevar el nombre de esta universidad será siempre motivo de honor y gratitud.

Agradecemos profundamente por cada una de las experiencias que nos regaló este camino: las enseñanzas en el aula, los retos académicos, los espacios de formación, pero también los momentos de compañerismo, las risas compartidas, las amistades sinceras que nacieron aquí, y cada instante que quedará guardado como una parte imborrable de nuestra historia personal y profesional.

Reconocemos y valoramos las oportunidades que la universidad nos brindó para crecer, no solo como estudiantes, sino como personas comprometidas con un futuro mejor. Cada paso dado dentro de sus aulas y laboratorios nos ha acercado más a nuestros sueños.

De manera especial, queremos extender un agradecimiento profundo a la Ingeniera Jessica Catillo, quien, como nuestra tutora, ha sido una guía cercana y constante en este proceso. Su apoyo, compromiso y dedicación han sido fundamentales en la construcción de este trabajo y en nuestra formación profesional. Más allá de la dirección académica, su acompañamiento humano ha sido un pilar clave para motivarnos, orientarnos y ayudarnos a superar cada dificultad con confianza.

Gracias por creer en nosotros, por impulsarnos a ser mejores y por estar siempre dispuesto a apoyarnos.

A todas las personas que fueron parte de este camino, directa o indirectamente, gracias. Este logro no es solo el resultado de nuestro esfuerzo, sino también del acompañamiento, la fe y el cariño de todos quienes confiaron en nosotros.

DEDICATORIA

A Dios, mi roca eterna y Padre fiel, por concederme la vida, las fuerzas y la sabiduría para alcanzar este logro. A ti confío mi camino y te agradezco por guiar cada pensamiento y cada paso.

A mi familia, el motor y la base de todo lo que he logrado. Cada uno de ustedes ha sido una parte esencial en este camino, y no tengo palabras suficientes para agradecer tanto amor, paciencia y apoyo. A mis padres, por su entrega incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por cada sacrificio silencioso, por cada palabra de aliento y cada gesto de amor. Si hoy estoy aquí, es gracias a ustedes. Este logro no me pertenece solo a mí: es nuestro. Y ahora, con orgullo, puedo decir que en la familia ya existe un ingeniero.

A mis hermanos, quienes siempre estuvieron ahí, cada uno a su manera. En especial a mi hermano Giovanny Lovato, una fuente constante de inspiración. Desde muy temprano ha sido un ejemplo a seguir, y muchas veces, sin darse cuenta, con sus ocurrencias, consejos y forma de ver la vida, me ha impulsado a seguir adelante. Su presencia ha sido clave, incluso cuando no lo decía en voz alta.

Este logro es una suma de amor, esfuerzo, constancia y compañía. No lo hice solo, lo hicimos juntos. Gracias a todos, de corazón.

Washington Lovato

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo agradecimiento a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres, por su amor incondicional, por creer siempre en mí y por ser mi mayor fuente de inspiración y apoyo. Su esfuerzo, sacrificio y confianza han sido fundamentales en este logro.

A mi familia, por acompañarme con palabras de aliento en los momentos difíciles y celebrar conmigo cada avance alcanzado.

A mis amigos y compañeros, que con su compañía, consejos y colaboración hicieron de este camino una experiencia enriquecedora.

Y finalmente, a todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a que este proyecto se hiciera realidad.

Con todo mi cariño y gratitud.

David Herrera

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL OFF-GRID CON PREDICCIÓN ENERGÉTICA”

Autores:

Herrera Robayo David Ramiro

Lovato Caiza Washington Gregorio

RESUMEN

Esta investigación aborda la implementación de un sistema fotovoltaico para un usuario tipo D. Se basó en el uso de dos modelos para predecir la radiación solar: regresión polinómica de grado dos y aprendizaje automático (árbol de decisión). Los datos se extrajeron de la página de NAPA POWER para los años 2019 a 2024; el 80 % se utilizó para entrenamiento y el 20 % para validación. Ambos modelos se evaluaron utilizando métricas de validación, como el error cuadrático medio (EMM), el error absoluto medio (EMA) y el coeficiente de determinación (R^2). Los resultados mostraron que el modelo de árbol de decisión superó al modelo de regresión polinómica, con un ECM de 0,2120468 y un R^2 de 0,8561, lo que indica un mejor ajuste y precisión de predicción. Además, el modelo Árbol de Decisión estimó un valor de 416,21 W/m² de radiación solar a las 12:00 horas durante el mes de enero, lo que demuestra su eficacia para predecir la radiación solar en este contexto específico.

Palabras clave: Usuario, predicción, radiación, regresión, árbol de decisión.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “IMPLEMENTATION OF A RESIDENTIAL OFF-GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH ENERGY PREDICTION”

Authors

Herrera Robayo David Ramiro

Lovato Caiza Washington Gregorio

Abstract

This research addresses the implementation of a photovoltaic system for a type D user; it was also based on the use of two models to predict solar radiation: Polynomial regression of degree two and Machine Learning (Decision Tree). The data were extracted from the NAPA POWER page for the years 2019 to 2024, 80% were used for training and 20% for validation. Both models were evaluated using validation metrics, such as Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE) and Coefficient of Determination (R^2). The results showed that the Decision Tree model outperformed the Polynomial Regression model, with an MSE of 0.2120468 and an R^2 of 0.8561, indicating a better fit and prediction accuracy. In addition, the Decision Tree model estimated a value of 416.21 W/m² of solar radiation at 12:00 PM during the month of January, which demonstrates its effectiveness in predicting solar radiation in this specific context

Keywords: User, prediction, radiation, regression, decision tree.

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL	xiii
2. INTRODUCCIÓN	xiii
2.1. PROBLEMA	xiv
2.1.1. Situación problemática.	xiv
2.1.2. Formulación del problema.....	xv
2.2. OBJETIVO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	xv
2.2.1. Objeto de Investigación:.....	xv
2.2.2. Campo de Acción:	xv
2.3. BENEFICIARIOS	xv
2.3.1. Beneficiarios directos:	xv
2.3.2. Beneficiarios indirectos:	xv
2.4. JUSTIFICACIÓN.....	xv
2.5. OBJETIVOS.....	xvi
2.5.1. Objetivo General.....	xvi
2.5.2. Objetivos Específicos	xvi
2.6. SISTEMA DE TAREAS.....	xvi
3. MARCO TEÓRICO	xviii
3.1. Energía.....	xviii
3.1.1. Principales Características:.....	xviii
3.1.2. Fuentes de Energía Eléctrica:	xviii
3.2. Energías renovables	xviii
3.2.1. Energía hidráulica.....	xix
3.2.2. Energía solar	xix
3.3. Energías renovables en el hogar	xx
3.4. Componentes de un sistema fotovoltaico	xxi
3.4.1. Paneles fotovoltaicos	xxi
3.4.2. Optimizadores.....	xxii
3.4.3. Reguladores de carga.....	xxiii
3.4.4. Inversores de corriente.....	xxiii
3.4.5. ¿Cómo funciona un inversor solar?	xxiv
3.4.6. Soportes.	xxiv
3.4.7. Baterías.	xxv
3.5. Eficiencia energética.....	xxv
3.6. Eficiencia de los paneles solares	xxv

3.7.	Predicción Energética	xxvi
3.7.1.	Sistema de Semáforo	xxvi
4.	HIPÓTESIS	xxvi
5.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	xxvii
6.	PRESUPUESTO REFERENCIAL	xxix
7.	REFERENCIAS	xxx

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1.	Panel solar	xxii
Figura 2.	Optimizadores de potencia para placas solares	xxiii
Figura 3.	Reguladores de carga solar.....	xxiii
Figura 4.	Inversor de corriente.	xxiv
Figura 5.	Batería de plomo acido.....	xxv

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1.	Sistema de tareas del diseño e implementación de un sistema fotovoltaico residencial off grid con predicción energética a corto plazo mediante un sistema de semáforo.	xvii
Tabla 2.	Cronograma de actividades.....	xxviii
Tabla 3.	Presupuesto referencial del proyecto	xxix

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico residencial off grid con predicción energética a corto plazo mediante un sistema de semáforo.

Modalidad de Titulación: Proyecto de investigación.

Carrera: Ingeniería en electricidad

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto: Modelado Matemático en Ingeniería: Enfoques Generales y Aplicaciones

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Estudiantes:

Herrera Robayo David Ramiro

Lovato Caiza Washington Gregorio

Tutor:

Mgs. Jessica Castillo

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesionales Afines / 0713 Electricidad y Energía.

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la carrera:

Conversión y uso racional de la energía eléctrica.

2. INTRODUCCIÓN

La energía se define como la capacidad para realizar trabajo, que implica causar un cambio físico o realizar un desplazamiento contra una fuerza [1]. Asimismo, en un sistema aislado, la energía no se crea ni se destruye, sino que se mantiene constante con el tiempo, de acuerdo con el principio de conservación de la energía. La energía es fundamental para el funcionamiento de la sociedad moderna y tiene un papel crucial en diversos aspectos de la vida cotidiana [2]. A nivel mundial, la energía hidráulica es una de las fuentes de energía renovable más aprovechadas debido a su capacidad para generar electricidad de manera eficiente y sostenible. La transición hacia fuentes de energía más sostenibles es una prioridad para abordar los desafíos del cambio climático y la seguridad energética [3] [4]. En este contexto, la energía solar emerge como una de las alternativas más prometedoras debido a su abundancia y potencial renovable. La integración de sistemas fotovoltaicos en entornos residenciales representa una estrategia clave para reducir las emisiones de carbono y aumentar la autonomía energética de los hogares [5].

Sin embargo, la implementación efectiva de estos sistemas enfrenta desafíos debido a la variabilidad inherente en la producción de energía solar, lo que puede comprometer la eficiencia energética y la confiabilidad del sistema [6].

Investigaciones anteriores han destacado la importancia de sistemas de gestión de energía inteligentes en la optimización del uso de la energía solar. Por ejemplo, estudios como los de Smith y Johnson (2020) demostraron que la predicción de la generación de energía solar a corto plazo puede mejorar significativamente la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos residenciales, al permitir a los usuarios planificar mejor su consumo energético [7]. Además, la investigación de Lee et al. (2021) enfatizó el valor de interfaces intuitivas para los usuarios, mostrando que los sistemas de señalización como los semáforos inteligentes pueden facilitar una gestión energética más efectiva y accesible para los residentes no especializados [8].

En respuesta a estas necesidades y evidencias, el presente proyecto propone el "Diseño e Implementación de un Sistema Fotovoltaico Residencial con Predicción Energética a Corto Plazo Mediante un Sistema de Semáforo [9] [10]. Este enfoque busca integrar tecnologías para no solo captar y utilizar la energía solar de manera más eficiente, sino también para proporcionar a los usuarios herramientas proactivas que les permitan gestionar su consumo energético en tiempo real [11].

El propósito del proyecto es crear un sistema fotovoltaico residencial capaz de cubrir las necesidades energéticas básicas de un hogar e incorporar una función predictiva que informe a los usuarios sobre la disponibilidad de energía solar para los próximos 2 o 3 días [12]. Para ello, se desarrollará un semáforo que empleará algoritmos de predicción, los cuales analizará la radiación solar junto con el desempeño histórico del sistema fotovoltaico. Este semáforo utilizará colores (verde, amarillo, rojo) para señalar la cantidad de energía disponible, ayudando así a los usuarios a gestionar de manera más eficiente el uso de la energía.

2.1.PROBLEMA

2.1.1. Situación problemática.

A nivel mundial existe diversos recursos naturales para la generación eléctrica, como el sistema hidráulico, biomasa, eólico, térmico y fotovoltaico. Ecuador cuenta con una generación eléctrica que depende un 92% de la energía hidráulica y tan solo un 8% proviene de otras fuentes de energía [13]. Uno de los problemas más significativos que se manifestó durante el último año fue una severa sequía y la dependencia de energía

hidráulica hace que el sistema eléctrico del Ecuador sea vulnerable a estos fenómenos, y una solución sostenible sería diversificar las fuentes energéticas renovables del país para garantizar la estabilidad del suministro eléctrico. La transición hacia fuentes de energía renovables es crucial para mitigar el impacto ambiental del consumo energético en el sector residencial [14]. Los sistemas fotovoltaicos ofrecen una solución sostenible al permitir a los hogares generar su propia energía. Sin embargo, la adopción de estos sistemas enfrenta desafíos significativos relacionados con la variabilidad de la producción energética solar y la gestión eficiente del consumo energético en el hogar [15].

2.1.2. Formulación del problema.

¿Cómo se puede diseñar e implementar un sistema fotovoltaico residencial que incorpore predicciones energéticas a corto plazo y un sistema de semáforo inteligente para optimizar y gestionar de manera eficiente la variabilidad en la generación de energía solar, mejorando así la confiabilidad y la eficiencia del consumo de energía en el hogar?

2.2. OBJETIVO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1. Objeto de Investigación: Sistemas fotovoltaicos.

2.2.2. Campo de Acción: 3306.02 Aplicaciones Eléctricas

2.3. BENEFICIARIOS

2.3.1. Beneficiarios directos:

Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, quienes podrán utilizar el Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico residencial off grid con predicción energética a corto plazo mediante un sistema de semáforo como referencia para futuras investigaciones y proyectos académicos. Además, la comunidad universitaria tendrá acceso a esta investigación, lo que facilitará la comprensión y aplicación de este sistema.

2.3.2. Beneficiarios indirectos:

Usuarios interesados en implementar un sistema fotovoltaico residencial off grid con predicción energética. También se beneficiarán instituciones y laboratorios de investigación que podrán emplear este desarrollo como base para innovaciones en fuentes de energía renovable y calidad de suministro eléctrico.

2.4. JUSTIFICACIÓN

Ecuador depende en gran medida de la energía hidráulica. Sin embargo, esta dependencia hace que el sistema eléctrico sea vulnerable a fenómenos climáticos como sequías. Para garantizar la estabilidad del suministro eléctrico, es esencial la implementación de un

sistema fotovoltaico residencial que sea sostenible y eficiente, alineándose con los desafíos actuales del cambio climático y la transición energética.

Este proyecto no solo busca cubrir las necesidades energéticas del hogar mediante energía solar, sino que también ofrece un valor añadido al integrar un sistema de semáforo para que el usuario pueda predecir las condiciones climáticas y así pueda aprovechar de mejor manera la energía producida garantizando un mejor rendimiento y mayor eficiencia energética. En este sentido, los sistemas fotovoltaicos son una alternativa prometedora para la generación de electricidad a nivel residencial, permitiendo que los hogares generen su propia energía y contribuyan a reducir la dependencia de la red eléctrica nacional, promoviendo la autonomía energética.

2.5. OBJETIVOS

2.5.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema fotovoltaico residencial off grid con predicción energética a corto plazo mediante un sistema de semáforo.

2.5.2. Objetivos Específicos

Investigar fuentes bibliográficas para el desarrollo de la investigación.

Implementar un sistema fotovoltaico para el abastecimiento eléctrico de un usuario tipo D.

Recopilar los datos necesarios para la predicción energética del sistema fotovoltaico.

Validar la predicción energética a corto plazo mediante un sistema de semáforo.

2.6. SISTEMA DE TAREAS

Nº	Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
1	Investigar fuentes bibliográficas para el desarrollo de la investigación	Indagar repositorios académicos y fuentes confiables como Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect, Scopus, informes técnicos y normativas relacionadas.	Generación de un informe preliminar de revisión bibliográfica, que sirva de base para el desarrollo de la investigación y facilite la toma de decisiones en el diseño del sistema propuesto.	Revisión bibliográfica, Internet y diferentes repositorios de documentos digitales
		Clasificar fuentes bibliográficas según su relevancia, actualidad y relación con la temática del estudio.	Elaboración de un marco teórico sólido, estructurado con información actualizada y pertinente sobre sistemas fotovoltaicos y predicción climática	Revisión bibliográfica, Internet y diferentes repositorios de documentos digitales

2	Implementar un sistema fotovoltaico para el abastecimiento eléctrico de un usuario tipo D	Realizar un análisis de consumo energético del usuario tipo D, determinando la demanda promedio.	Funcionamiento exitoso del sistema fotovoltaico, garantizando el abastecimiento eléctrico del usuario tipo D.	Análisis del consumo energético, fuentes bibliográficas y normativas
		Diseñar la distribución y ubicación óptima de los paneles solares, considerando la radiación solar disponible, la orientación y la inclinación más eficiente.	Generación de energía solar eficiente y sostenible	Diseño, planificación del sistema, software de dimensionamiento
		Adquirir e instalar los equipos y materiales necesarios, asegurando el cumplimiento de normativas técnicas y de seguridad.	Mayor autonomía energética, minimizando el impacto de posibles fallas o interrupciones en la red.	Herramientas de instalación, sistemas de monitoreo, Protocolos de instalación y pruebas
3	Recopilar los datos necesarios para la predicción energética del sistema fotovoltaico.	Definir las variables clave a medir, como radiación solar, temperatura ambiente y consumo energético del usuario.	Recolección de datos precisos de las variables que serán utilizados para predecir la generación de energía del sistema fotovoltaico.	Medición de variables climáticas, software de monitoreo y almacenamiento de datos
		Instalar los sensores en ubicaciones estratégicas para obtener datos representativos de las condiciones ambientales y del rendimiento del sistema fotovoltaico.	Generación de un conjunto de datos históricos y representativos de las condiciones climáticas y de funcionamiento del sistema, lo que permitirá crear modelos predictivos confiables.	Monitoreo continuo, dispositivo electrónico de monitoreo, sensores de medición.
		Realizar mediciones continuas durante un período determinado, garantizando la recopilación de datos suficientes para la predicción de generación energética.	Establecimiento de un sistema de monitoreo continuo para la recopilación de datos en tiempo real, garantizando la actualización constante de la información necesaria para la predicción.	Almacenamiento de datos, dispositivo electrónico de monitoreo, medidor de energía
4	Validar la predicción energética a corto plazo mediante un sistema de semáforo.	Implementar un sistema de señalización con colores (verde, amarillo, rojo) que represente la disponibilidad de energía solar según las predicciones realizadas	El sistema de semáforo debe ser capaz de indicar de manera clara y precisa la disponibilidad de energía permitiendo a los usuarios ajustar su consumo energético de forma eficiente.	Pruebas de validación comparativa, dispositivo electrónico de monitoreo, software de monitoreo
		Analizar cómo los usuarios responden a las señales del semáforo en la gestión de su consumo energético y si este sistema ayuda a optimizar el uso de la energía.	Los usuarios, guiados por el sistema de semáforo, deben ser capaces de gestionar mejor su consumo de energía, aprovechando los días con alta producción solar y reduciendo el uso en días con baja generación.	Análisis de errores, dispositivo electrónico de monitoreo, software de simulación y predicción

Tabla 1. Sistema de tareas del diseño.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Energía

La energía es la capacidad para realizar trabajo o causar cambios. Es un concepto fundamental en la física y se presenta en diversas formas, como la energía cinética, la energía potencial, la energía térmica, la energía eléctrica, la energía química y la energía nuclear, entre otras [16].

La energía no se puede crear ni destruir, solo puede transformarse de una forma a otra. Este principio se conoce como el principio de conservación de la energía. Además, la energía es esencial en todos los procesos naturales y humanos, desde el funcionamiento de las células en los organismos vivos hasta las actividades industriales y el transporte [17].

La energía eléctrica es una forma de energía resultante del movimiento de electrones a través de un conductor. Se genera a partir de diversas fuentes, como combustibles fósiles, energía solar, eólica, hidroeléctrica y nuclear, y se transporta a través de redes eléctricas para su uso en hogares, industrias y comercios [18].

3.1.1. Principales Características:

- **Transformable:** Se puede convertir en otras formas de energía, como luz, calor o movimiento.
- **Transmisión a larga distancia:** Se distribuye a través de cables eléctricos y redes de transmisión.
- **Uso cotidiano:** Es esencial en casi todas las actividades diarias, desde la iluminación hasta el funcionamiento de electrodomésticos y dispositivos electrónicos.

3.1.2. Fuentes de Energía Eléctrica:

- **Renovables:** Solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, biomasa.
- **No renovables:** Carbón, gas natural, petróleo y energía nuclear.

3.2. Energías renovables

Las energías renovables son fuentes de energía que se regeneran naturalmente con el tiempo y no se agotan. Son la parte más importante de la transición hacia un sistema energético que abandone los combustibles fósiles, contrarrestando así el calentamiento global. Y son energías limpias que protegen la salud humana y el medioambiente [19].

Las principales fuentes de energía renovable son:

- energía solar.
- energía eólica.
- hidroeléctrica.
- energía geotérmica.
- energía de la biomasa.
- energía marina.

3.2.1. Energía hidráulica

El agua es una de las fuentes de energía más antiguas utilizadas por el ser humano, fundamental para la vida, la producción de alimentos y la higiene. Y también es el origen de uno de los tipos de energía renovable más extendidos, la energía hidroeléctrica [20]. Según el informe de 2022 de la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA), la capacidad total de las centrales hidroeléctricas en todo el mundo es de 1.392 GW, lo que representa alrededor del 38% del total de las fuentes de energía renovable. Si bien es la más antigua de todas las energías renovables, con el curso de los años la innovación continua ha conseguido que las centrales hidroeléctricas sean cada vez más eficientes [21]. Gracias a la tecnología actual, alrededor del 90 % de la energía del agua se puede convertir en electricidad, un porcentaje casi tres veces mayor que con las fuentes convencionales. El bajo impacto medioambiental y la alta eficiencia son dos de los factores que contribuyen a un excelente rendimiento final cuyo resultado es que, de las centrales renovables más grandes del mundo, las cinco primeras por energía producida reciban el impulso de la fuerza del agua[22].

Uno de los problemas más críticos que tiene la generación hidroeléctrica es la falta del recurso hídrico en tiempos de sequía, esto afecta significativamente al abastecimiento de la demanda energética, este problema afecta a la confiabilidad del sistema eléctrico y nos lleva a buscar otras fuentes de energías renovables más eficientes y confiables. En este contexto, la energía solar emerge como una de las alternativas más prometedoras debido a su abundancia y potencial renovable [23].

3.2.2. Energía solar

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores [24].

Aunque el efecto fotovoltaico era conocido desde el siglo XIX, fue en la década de los 50, en plena carrera espacial, cuando los paneles fotovoltaicos comenzaron a experimentar un importante desarrollo. Inicialmente utilizados para suministrar electricidad a satélites geoestacionarios de comunicaciones, hoy en día constituyen una tecnología de generación eléctrica renovable[24].

La energía solar fotovoltaica ha emergido como una de las alternativas más factibles y eficaces para abordar el cambio climático y progresar hacia la reducción de emisiones de carbono en la industria energética a nivel mundial. Según un estudio realizado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), el rendimiento económico de las tecnologías solares fotovoltaicas es considerablemente superior a los costos asociados, principalmente como resultado de la constante reducción en los precios de los paneles solares y el incremento en su eficacia. El estudio demuestra que a medida que los costos de producción y despliegue de paneles solares disminuyen, las ventajas en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y mejoras en la calidad del aire aumentan significativamente [25].

3.3. Energías renovables en el hogar

Las energías renovables en el hogar desempeñan un papel fundamental en la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y la transición hacia una matriz energética más sostenible y baja en carbono. La adopción de estas tecnologías en el ámbito doméstico puede contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de GEI, dado que el sector residencial representa una parte considerable del consumo de energía y las emisiones asociadas a nivel mundial (IPCC, 2018). Este TFG también tiene como objetivo describir y analizar cómo funcionan las tecnologías de energías renovables más relevantes en la generación de calefacción, agua caliente sanitaria y electricidad en el ámbito doméstico. También se busca identificar y discutir las tendencias emergentes y las oportunidades en el campo de las energías renovables en el hogar, como la integración de sistemas de almacenamiento de energía, la y tecnologías a través de redes de energía descentralizadas [26].

El proceso de llevar energía eléctrica a las poblaciones alejadas de las grandes ciudades - poblaciones que viven en pequeñas aldeas o en forma dispersa-, exige la implementación de alternativas adecuadas, eficientes y de fácil uso para el usuario final. El sistema fotovoltaico domiciliario permite aprovechar la energía solar, transformarla en energía eléctrica, almacenarla y brindarla según sea el uso específico de una vivienda en la zona

rural. Este aprovechamiento de la energía solar asegura el acceso a la electricidad permitiendo el uso de equipos de iluminación, artefactos electrodomésticos y/o pequeños motores, según sea la necesidad. Pero la adecuada implementación del sistema fotovoltaico, exige un adecuado conocimiento del funcionamiento de los distintos componentes que forman tal sistema [27].

3.4. Componentes de un sistema fotovoltaico

Básicamente, los componentes de una central fotovoltaica para autoconsumo son 8, más uno opcional y apenas varían si la misma está conectada a la red eléctrica o aislada. La única diferencia entre ambos sistemas es que, en el caso de las instalaciones aisladas, la electricidad no utilizada puede almacenarse en baterías solares [28]. Por lo demás, tanto las partes de los paneles fotovoltaicos, como los componentes de instalación de ambas opciones tienen los siguientes elementos en común:

- Paneles fotovoltaicos.
- Optimizadores.
- Reguladores de carga.
- Inversores de corriente.
- Soportes.
- Baterías.
- Equipos de seguridad y conexión a tierra.
- Cableado eléctrico.
- Seguidores solares (opcionales).

3.4.1. Paneles fotovoltaicos

Los paneles solares o paneles fotovoltaicos consisten en una estructura rectangular con una unidad básica de transformación que es la célula solar y que mide aproximadamente 10 centímetros cuadrados. Un panel une sobre una plancha varias de estas células, que se recubren con un plástico llamado EVA (Etilen Vinil Acetato). Este plástico puede aguantar condiciones y temperaturas extremas y, además, permite que pase la luz, pero no los rayos ultravioletas [29].



Figura 1. Panel solar [30].

3.4.1.1. Tipos de paneles fotovoltaicos.

El elemento principal de cualquier instalación de energía solar es el generador, que recibe el nombre de célula solar. Se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol. Su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico. Una célula solar se comporta como un diodo: la parte expuesta a la radiación solar es la N, y la parte situada en la zona de oscuridad, la P. Los terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor [31].

3.4.1.2. Cristalinas

- **Monocristalinas:** se componen de secciones de un único cristal de silicio (Si) (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, si se puede apreciar en la imagen, se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada).
- **Policristalinas:** cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.
- **Amorfos:** cuando el silicio no se ha cristalizado.

Su efectividad es mayor cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y costo. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 22 % mientras que el de las últimas puede no llegar al 10 %, sin embargo, su costo y peso es muy inferior [32].

3.4.2. Optimizadores

Los optimizadores de potencia para paneles solares son pequeños dispositivos que se utilizan para reducir las pérdidas que se puedan producir en las instalaciones fotovoltaicas, por ejemplo, por posibles sombras u obstáculos en la cubierta; y maximizar

la eficiencia. A diferencia del inversor, que suele trabajar con toda la instalación, el optimizador se debe colocar para cada panel y así poder optimizar el punto de máxima potencia de cada panel como un inversor, no todo el grupo [33].

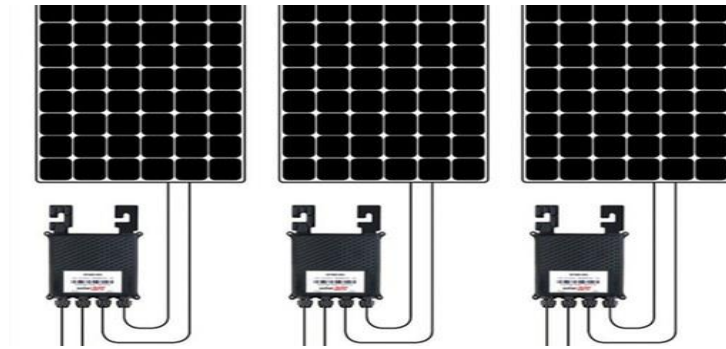


Figura 2. Optimizadores de potencia para placas solares [34]

3.4.3. Reguladores de carga.

Un regulador de carga solar se coloca entre el campo fotovoltaico y el campo de baterías y básicamente se encarga de controlar el flujo de energía que circula entre ambos equipos.

El control del flujo de energía se realiza mediante el control de los parámetros de Intensidad (I) y Voltaje (V) al que se inyecta en la batería. Este flujo de energía depende del estado de carga de las baterías y de la energía generada por el campo fotovoltaico. El regulador de carga solar controla constantemente el estado de carga de las baterías para hacer el llenado óptimo y así alargar su vida útil [35].

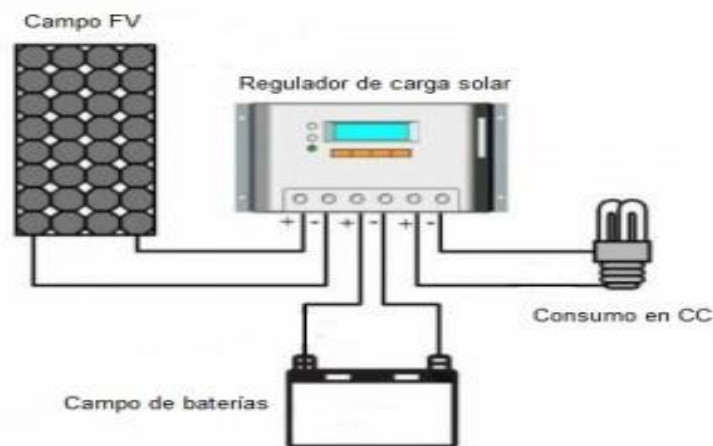


Figura 3. Reguladores de carga solar [36].

3.4.4. Inversores de corriente.

Un inversor de placas solares es un convertidor que transforma la corriente continua que recibe de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna. Esta corriente es la que puedes

usar en tu hogar, almacenar en baterías o verter a la red. La función del inversor en un sistema fotovoltaico es fundamental para el funcionamiento de nuestra instalación [37].

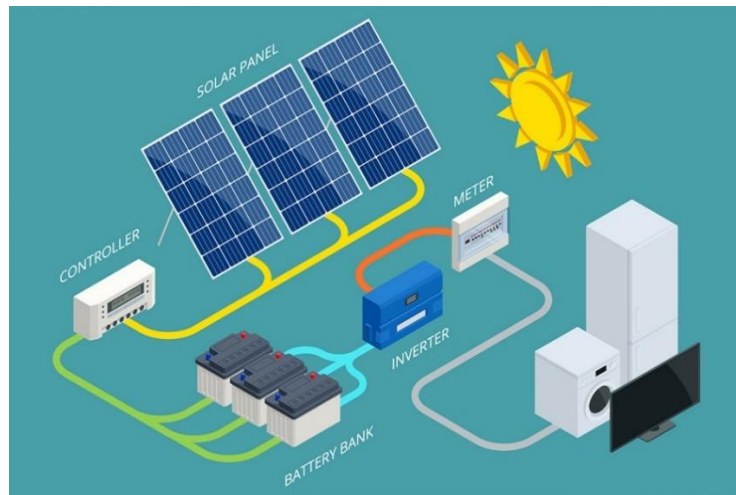


Figura 4. Inversor de corriente [38].

3.4.5. ¿Cómo funciona un inversor solar?

Cuando nuestras placas fotovoltaicas reciben la luz del sol, los electrones comienzan a moverse dentro de las células solares, lo que produce electricidad continua. Los circuitos dentro de las células fotovoltaicas recogen esa energía para que la usemos en nuestra casa o negocio. Es aquí donde entra en juego el inversor solar. La mayoría de las viviendas usan electricidad de corriente alterna, no de corriente continua, por lo que la energía producida por las placas solares no es útil por sí misma. Cuando los paneles solares recogen la luz solar y la convierten en energía, ésta se envía al inversor, que recibe la electricidad de corriente continua y la convierte en corriente alterna. Es entonces cuando la electricidad solar puede alimentar los electrodomésticos y los aparatos electrónicos. Si estamos produciendo más electricidad de la que necesitamos, también podemos almacenarla en baterías o verterla a la red eléctrica para recibir una compensación económica a cambio [37].

3.4.6. Soportes.

Los soportes para paneles solares no son más que estructuras hechas con materiales rígidos que sostienen las placas con fuerza en la superficie. Su función principal es evitar cualquier movimiento indeseado que pueda modificar la instalación fotovoltaica. Además, los soportes tienen el objetivo de establecer los paneles solares en la posición correcta, así como también de asegurar su estabilidad a través del tiempo sin importar el clima [39].

3.4.7. Baterías.

Las baterías de plomo ácido, hasta hace algunos años, eran una de las mejores opciones en paneles solares por su precio, su vida útil y los ciclos que brinda. Sin embargo, actualmente, existen en el mercado otras opciones más duraderas y con mejor calidad-precio dentro del rubro de baterías para celdas solares. Su vida útil es en promedio de seis años, siempre y cuando se dimensionen de manera adecuada y se les dé el mantenimiento correcto [40].



Figura 5. Batería de plomo ácido [41].

3.5. Eficiencia energética

La eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos está relacionada con la calidad de sus células fotovoltaicas (FV). La eficiencia de conversión de una célula fotovoltaica es el porcentaje de energía solar que brilla en un panel solar y que se convierte en electricidad utilizable. Cuanto más eficiente sea un panel solar, más energía producirá por la cantidad de luz que incide en la célula y esto, a su vez, genera que se ocupe menos superficie para satisfacer tus necesidades energéticas [42].

3.6. Eficiencia de los paneles solares

La eficiencia de los paneles solares ha mejorado espectacularmente en los últimos años, pasando de una media de alrededor del 15 % de conversión de la luz solar en energía utilizable a casi un 20 %. Los paneles solares de alta eficiencia pueden alcanzar un 23 %. La potencia nominal de un panel de tamaño estándar también ha aumentado de 250W a 370W. La eficiencia de los paneles solares está determinada tanto por la eficiencia de la célula fotovoltaica (es decir, el tipo y diseño de la célula) como por la eficiencia total del panel, basada en consideraciones como el tipo de célula, la disposición y el tamaño. Una forma sencilla de medir la eficiencia de los paneles solares es consultar el índice de

eficiencia del fabricante, que se basa en condiciones de ensayo estándar y proporciona una indicación fiable del rendimiento [42].

3.7. Predicción Energética

La predicción energética consiste en estimar la generación de energía futura a partir de datos meteorológicos y registros históricos del sistema fotovoltaico. Investigaciones recientes han demostrado que los algoritmos de machine Learning, como las redes neuronales y los modelos de regresión, mejoran la precisión en la predicción de la generación solar [43].

3.7.1. Sistema de Semáforo

Un sistema de semáforo es una interfaz visual que facilita la interpretación de la disponibilidad energética mediante colores:

- **Verde:** Alta disponibilidad de energía, recomendado para el uso de dispositivos de alto consumo.
- **Amarillo:** Disponibilidad moderada, sugiriendo un uso moderado de energía.
- **Rojo:** Baja disponibilidad, indicando la necesidad de reducir el consumo o recurrir a fuentes alternativas.

Según estudios previos, este tipo de sistemas mejora la gestión energética de los usuarios y promueve un consumo responsable [44].

La implementación de un sistema de predicción energética a corto plazo mediante un semáforo inteligente representa una estrategia innovadora para mejorar la eficiencia en el uso de la energía solar. Al proporcionar a los usuarios información visual y accesible sobre la disponibilidad de energía, se promueve un consumo eléctrico más responsable y sostenible.

4. HIPÓTESIS

La implementación de un sistema fotovoltaico residencial con predicción energética a corto plazo, basado en un semáforo, permitirá optimizar el consumo eléctrico del hogar, mejorando la eficiencia en el uso de la energía solar y facilitando su gestión ya que los usuarios podrán conocer con anticipación la disponibilidad de energía solar y ajustar su consumo eléctrico de manera más eficiente reduciendo el desperdicio energético y maximizando el aprovechamiento de la energía solar.

5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

N°	Objetivos específicos	Actividad (tareas)																	
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	
1	Investigar fuentes bibliográficas para el desarrollo de la investigación	Indagar repositorios académicos y fuentes confiables como Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect, Scopus, informes técnicos y normativas relacionadas.	x																
		Clasificar fuentes bibliográficas según su relevancia, actualidad y relación con la temática del estudio.		x															
2	Implementar un sistema fotovoltaico para el abastecimiento eléctrico de un usuario tipo D	Realizar un análisis de consumo energético del usuario tipo D, determinando la demanda promedio.			x														
		Diseñar la distribución y ubicación óptima de los paneles solares, considerando la radiación solar disponible, la orientación y la inclinación más eficiente.				x	x												
		Adquirir e instalar los equipos y materiales necesarios, asegurando el cumplimiento de normativas técnicas y de seguridad.							x	x									
		Definir las variables clave a medir, como radiación solar, temperatura ambiente y consumo									x	x							

6. PRESUPUESTO REFERENCIAL

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	PRECIO
GASTOS DE PERSONAL	Mano de obra (diseño e implementación)	70.00
	Desarrollo Técnico	20.00
	Logística	50.00
GASTOS DE EJECUCIÓN	Panel Solar de 300w	200.00
	Controlador Dc/Dc	90.00
	Batería de gel de 100 amp	170.00
	Inversor de 3000w	200.00
	Arduino	35.00
	Materiales a utilizar	50.00
COSTOS INDIRECTOS	Electricidad y entre otros servicios	50.00
	Material bibliográfico	60.00
	Costo de publicación	55.00
TOTAL ESTIMADO		1.050

Tabla 3. Presupuesto referencial del proyecto

7. REFERENCIAS

- [1] «La energía», Endesa. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fundacionendesa.orghttps://fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/que-es-la-energia>
- [2] «World Energy Outlook 2021 – Analysis», IEA. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- [3] «El cambio climático pone en riesgo la seguridad energética», Organización Meteorológica Mundial. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://wmo.int/es/media/el-cambio-climatico-pone-en-riesgo-la-seguridad-energetica>
- [4] «El cambio climático y la transición a la energía verde», SciLine. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciline.org/es/elections/2024-eleccion-ciencia/>
- [5] U. Nations, «Energías renovables: energías para un futuro más seguro | Naciones Unidas», United Nations. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy?utm_source=chatgpt.com
- [6] «¿Cuáles son los principales desafíos a los que se enfrenta la industria de las energías renovables y cómo pueden superarse?» Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.udima.es/energias-renovables.udima-futuro>
- [7] «(PDF) Predicción de radiación solar en sistemas fotovoltaicos utilizando técnicas de aprendizaje automático», *ResearchGate*, ene. 2025, doi: 10.37431/conectividad.v6i1.196.
- [8] «(PDF) SISTEMA PARA EL MONITOREO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TIEMPO REAL.», *ResearchGate*. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/359221006_SISTEMA_PARA_EL_MONITOREO_DEL_CONSUMO_DE_ENERGIA_ELECTRICA_EN_TIEMPO_REAL
- [9] C. Ramírez y K. Alexander, «Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico en una residencia de bajos recursos ubicada en la comunidad Masa 1 del Golfo De Guayaquil».
- [10] «T010_23265454_T.pdf». Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7719/T010_23265454_T.pdf?sequence=1
- [11] «Método de previsión de la potencia fotovoltaica residencial basado únicamente en la radiación directa», *pv magazine Mexico*. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.pv-magazine-mexico.com/2024/07/11/metodo-de-prevision-de-la-potencia-fotovoltaica-residencial-basado-unicamente-en-la-radiacion-directa/>
- [12] «Método de previsión de la potencia fotovoltaica residencial basado únicamente en la radiación directa», *pv magazine Mexico*. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.pv-magazine-mexico.com/2024/07/11/metodo-de-prevision-de-la-potencia-fotovoltaica-residencial-basado-unicamente-en-la-radiacion-directa/>
- [13] «ECUADOR CONSOLIDA LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES – Ministerio de Energía y Minas». Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en:

- <https://www.recursoyenergia.gob.ec/ecuador-consolida-la-produccion-electrica-a-partir-de-fuentes-renovables/>
- [14] «Energía Renovable en Ecuador - Genera Renovables». Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://generarenovables.com/energia-renovable-en-ecuador/>
- [15] D. Neblett, «Desafíos y Soluciones para la Energía Solar Fotovoltaica en la actualidad - Energy and Solar Solutions». Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://energyandsolarsolutions.com/desafios-y-soluciones-para-la-energia-solar-en-la-actualidad/>
- [16] «Energía», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 20 de enero de 2025. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Energ%C3%ADa&oldid=164868459>
- [17] «¿Qué es la conservación de la energía? (artículo)», Khan Academy. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy-tutorial/a/what-is-conservation-of-energy?utm_source=chatgpt.com
- [18] «Energía eléctrica», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 14 de enero de 2025. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica&oldid=164771070
- [19] U. Nations, «¿Qué son las energías renovables? | Naciones Unidas», United Nations. Accedido: 15 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- [20] «Energía hidroeléctrica: una fuente renovable mundial». Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.enel.com/es/nuestra-compania/historias/articulos/2024/07/energia-hidroelectrica-fuente-renovable-mundial>
- [21] «La energía hidroeléctrica | Enel Green Power». Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica?utm_source=chatgpt.com
- [22] «La energía hidroeléctrica». Accedido: 30 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica>
- [23] J. A. Roca 11/11/2024, «La sequía reduce la generación de energía hidroeléctrica en EEUU», *El Periódico de la Energía*. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/la-sequia-reduce-la-generacion-de-energia-hidroelectrica-en-eeuu/>
- [24] «¿Qué es la energía fotovoltaica?», APPA Renovables. Accedido: 30 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/>
- [25] S. A. R. Leal, «PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES SOLARES EN COMUNIDADES ENERGÉTICAS URBANAS DE BARRANCABERMEJA, SANTANDER».
- [26] C. Ruiz Bravo, «Las energías renovables en el hogar», 2023, Accedido: 30 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/63694>
- [27] «Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf». Accedido: 30 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://energypedia.info/images/0/0b/Gu%C3%ADa_de_instalaci%C3%B3n_de_SFD_-_2013.pdf

- [28] Redacción, «8 elementos que componen una instalación fotovoltaica», E4e Soluciones. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/8-elementos-que-componen-una-instalacion-fotovoltaica>
- [29] Verde_Solar, «Partes de un Panel Solar: Guía Completa para Conocer sus Componentes», Verde Solar Asesores Energéticos. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://verdesolarasesores.com/partes-de-un-panel-solar-guia-completa-para-conocer-sus-componentes/>
- [30] «Panel fotovoltaico», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 27 de enero de 2025. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Panel_fotovoltaico&oldid=165024847
- [31] «8448171691.pdf». Accedido: 30 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- [32] «Panel fotovoltaico», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 27 de enero de 2025. Accedido: 30 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Panel_fotovoltaico&oldid=165024847
- [33] «¿Qué es un optimizador de potencia? | AutoSolar Blog». Accedido: 30 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://autosolar.co/aspectos-tecnicos/que-es-un-optimizador-de-potencia>
- [34] E. F. C. Solar, «Optimizadores de potencia para placas solares. Características y ventajas», Expertos en energía solar fotovoltaica y placas solares | EFC SOLAR. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.efcsolar.com/energia-solar-fotovoltaica/optimizadores-de-potencia-para-placas-solares/>
- [35] +Jorge Insa, «¿Qué es y qué hace un regulador de carga solar?», Monsolar. Accedido: 30 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.monsolar.com/blog/que-es-y-que-hace-un-regulador-de-carga-solar/>
- [36] +Jorge Insa, «¿Qué es y qué hace un regulador de carga solar?», Monsolar. Accedido: 30 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.monsolar.com/blog/que-es-y-que-hace-un-regulador-de-carga-solar/>
- [37] SotySolar, «Inversores solares: ¿qué son?, ¿qué tipos hay? 🌞 SotySolar», <https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>. Accedido: 30 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>
- [38] «Isometric Solar Panel cell System with Hybrid Inverter, Controller,...», iStock. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.istockphoto.com/es/vector/sistema-de-celda-de-panel-solar-ism%C3%A9trico-con-inversor-h%C3%ADbrido-controlador-banco-gm1306175460-396832281>
- [39] «Soportes para placas solares, todo lo que necesitas saber | Actualidad de Grupo Sinelec». Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://blog.gruposinelec.com/actualidad/soportes-para-placas-solares-todo-lo-que-necesitas-saber/>
- [40] «Baterías para paneles solares: Qué son, para qué sirven y cuánto cuestan». Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.enlight.mx/blog/baterias-para-paneles-solares-que-son-para-que-sirven-y-cuanto-cuestan>
- [41] «Snapshot». Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.enlight.mx/blog/baterias-para-paneles-solares-que-son-para-que-sirven-y-cuanto-cuestan>

- [42] «¿Qué es la eficiencia energética de los paneles solares?», Enel X. Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/are-solar-panels-energy-efficient>
- [43] «(PDF) Solar Power Prediction Using Machine Learning», ResearchGate. Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/369233530_Solar_Power_Prediction_Using_Machine_Learning
- [44] «(PDF) Energy Management for Smart Homes—State of the Art», *ResearchGate*, oct. 2024, doi: 10.3390/app9173459.



Acceptance Letter

Paper ID: 348

Author: Washington Lovato, David Herrera , Jessica N. Castillo, Luigi O. Freire

Title: Implementation of a residential off-grid photovoltaic system with energy prediction

Dear,

It is our pleasure to inform you your paper referenced above has been accepted for oral presentation at the EIGHTH International Conference SOFT COMPUTING AND SIGNAL PROCESSING (ICSCSP-2025).

Acceptance of your paper and publication in the Springer Proceedings of ICSCSP-2025 in Lecture Notes in Networks and Systems ISSN:2367-3370 are made with the understanding that at least one author will attend the conference to present the paper. The conference policy requires that at least one author of a paper registers the conference.

The format of your camera ready (full paper) must strictly adhere to the Springer Proceedings Format.

Congratulations on the acceptance of your manuscript, thank you for helping us achieve a high-quality technical program, and we look forward to seeing you in ICSCSP-2025.

*Yours sincerely,
ICSCSP-2025 Program Chairs*



Implementation of a residential off-grid photovoltaic system with energy prediction

Washington Lovato¹, David Herrera¹, Jessica N. Castillo¹, Luigi O. Freire¹

Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador
washington.lovato5110@utc.edu.ec

Abstract. This research addresses the implementation of a photovoltaic system for a type Duser; it was also based on the use of two models to predict solar radiation: Polynomial regression of degree two and Machine Learning (Decision Tree). The data were extracted from the NAPA POWER page for the years 2019 to 2024, 80% were used for training and 20% for validation. Both models were evaluated using validation metrics, such as Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE) and Coefficient of Determination (R^2). The results showed that the Decision Tree model outperformed the Polynomial Regression model, with an MSE of 0.2120468 and an R^2 of 0.8561, indicating a better fit and prediction accuracy. In addition, the Decision Tree model estimated a value of 416.21 W/m² of solar radiation at 12:00 PM during the month of January, which demonstrates its effectiveness in predicting solar radiation in this specific context.

Keywords: User, prediction, radiation, regression, decision tree

1 Introduction

The consumption of fossil fuels continues to play a crucial role in supplying global energy demand; however, their excessive use has generated environmental impacts, such as the degradation of the ecosystems associated with their extraction. In addition, the accelerated rate of exploitation is high and it is estimated that in the near future it will lead to a progressive depletion, which increases the risk of an energy crisis. In this context, renewable energy sources have become a viable alternative, considering their inexhaustible nature, the environmental benefits they offer, but above all, they will allow the sustainability and development of the energy system.

According to the Ministry of Energy and Mines for the year 2023, the supply of electricity determined by its effective power in the National Interconnected System, comes mainly from hydroelectric power plants in 79% of the total generation. [1], thermal power plants contribute 16%, while international interconnections contribute 4%. Non-conventional renewable sources, such as photovoltaic and wind energy, together account for 1%. Voltaic power plants reported 13 new photovoltaic projects, which will contribute 836.51 MW to the

SIN, reflecting the diversification of the national energy matrix. [2].

The energy sector plays a fundamental role in the socioeconomic, environmental and productive development of any nation. In the case of Ecuador, a country with a great biodiversity of natural resources and a privileged geographical location that gives it a high potential for year-round solar irradiation, with promises ranging between 4.0 and 5.2 kWh/m²/day, exceeding the world average of 4.2 kWh/m²/day. [3], these unique conditions have allowed the country to undergo significant transformations in its energy matrix in the last decade, prioritizing the diversification of its energy generation sources through the development of policies, strategies and measures to encourage the increased use of clean energies that promote development, especially in rural areas. [4]. Currently, electricity coverage reaches 97.5% of homes nationwide. [5]. However, there are still rural sectors where there is no conventional electricity supply, which has meant that many families do not have access to a public network. The Province of Chimborazo is a region of Ecuador that presents limitations in terms of access to basic services, especially in rural areas that do not have electricity infrastructure to meet these needs. [6]. Thus, limiting the quality of life of the inhabitants and restricting the development of productive activities, especially in small agricultural units that need electricity to carry out basic processes. [7].

In this context, we present the design and implementation of an OFF-GRID residential photovoltaic system with energy prediction for an off-grid house type D, a technical and sustainable solution suitable to cover the energy needs of this farm. [8]. This system, which operates independently, allows the generation of electricity from renewable sources, such as sunlight, thus supplying the farm with clean and renewable energy. [9].

This research presents the methodology and results of the hourly solar radiation projection for the months of January, February and March 2025. [10]. The projection is based on data recorded from 2019 to 2024, with the objective of estimating the average radiation values for each hour of the day during those months. These results are relevant for the design and planning of the implemented energy efficiency. [11].

2 Methodology

For the following case study, an OFF-GRID photovoltaic system was implemented in a D-type house to cover the basic needs; Figure 1 shows the one-line diagram of the implementation. [12].

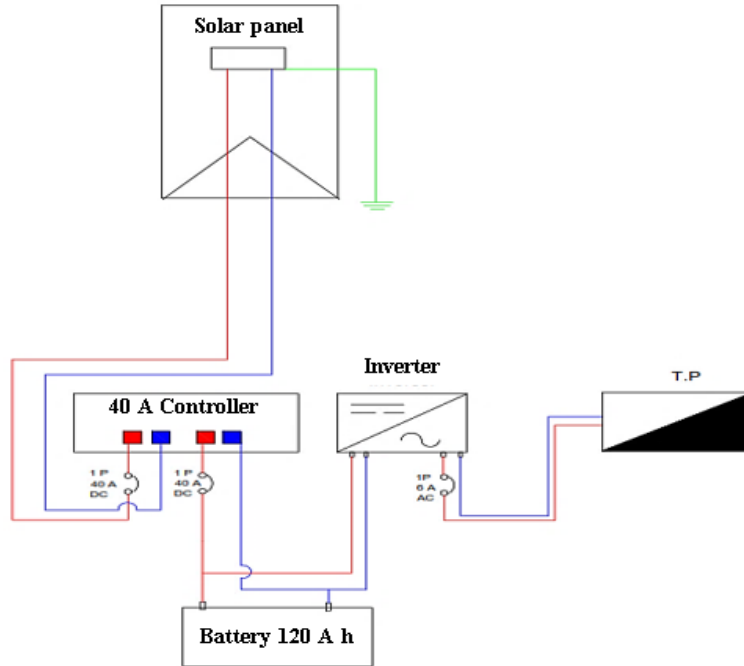


Fig. 1. Single Line Diagram

One of the challenges in photovoltaic energy is to be able to make efficient use of stored energy for this reason the energy prediction is crucial, taking into account that the models do not always identify good potentials and restrictions to predict with better accuracy [13]. Due to the diversity of existing models, it is necessary to make a comparison of these models to identify the behavior and veracity of each one of them, from the basic to a complex model [14]. In this research, it is proposed to use data mining techniques to analyze the behavior, incidence and participation of local measurement variables in a photovoltaic power plant in the region and find which of them should be used as input of the learning machine, using the following methodology shown in Figure 2. [15].

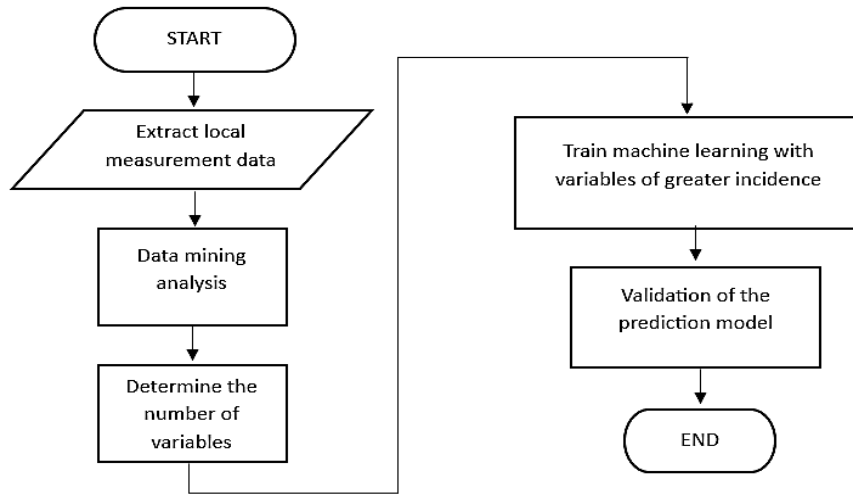


Fig. 2. Structure of the Applied Methodology

For the development of the research, an hourly database of solar radiation from 2019 to 2024 was used and the data was filtered by time of day. Incomplete records were eliminated and data were grouped by month and hour, calculating daily, monthly and annual averages of hourly radiation. With this information, simulated models were fitted in Python. This information was downloaded from the NASA POWER portal.

2.1. Prediction models

The models used in this research are shown below.

2.1.1. Polynomial Regression

The first model used was the polynomial regression of second-degree polynomial regression, which allowed modeling the evolution of radiation over the years. Subsequently, this model was used to project the expected radiation values for the year 2025, hour by hour.

For each of the months considered for prediction (January, February and March), the data were filtered by time of day. Incomplete records were eliminated and the data were grouped by month and hour, calculating annual averages of hourly radiation. With these averages, a second-degree polynomial regression model was fitted to model the evolution of radiation over the years. Subsequently, this model was used to project the expected radiation values for the first quarter of the year 2025, hour by hour. The general equation representing a polynomial regression model of degree n is shown in equation

1.

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \dots + \beta_nx^n + \varepsilon \quad (1)$$

Where:

y : dependent variable (response)

x : independent variable (predictor)

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$: model coefficients

n : degree of the polynomial

ε : error term (residual)

In this research a second order polynomial regression model was used, whose general formulation is presented in equation 2. [16]. This choice is based on its ability to represent nonlinear behaviors in a controlled manner, maintaining both the interpretability of the model and its computational efficiency.

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \varepsilon \quad (2)$$

The monthly average of radiation is calculated, this was useful for an overview of the solar conditions of the month in average radiation from 7:00 to 19:00, it is advisable to consider the hourly values and the radiation peaks as can be seen in figure 3.

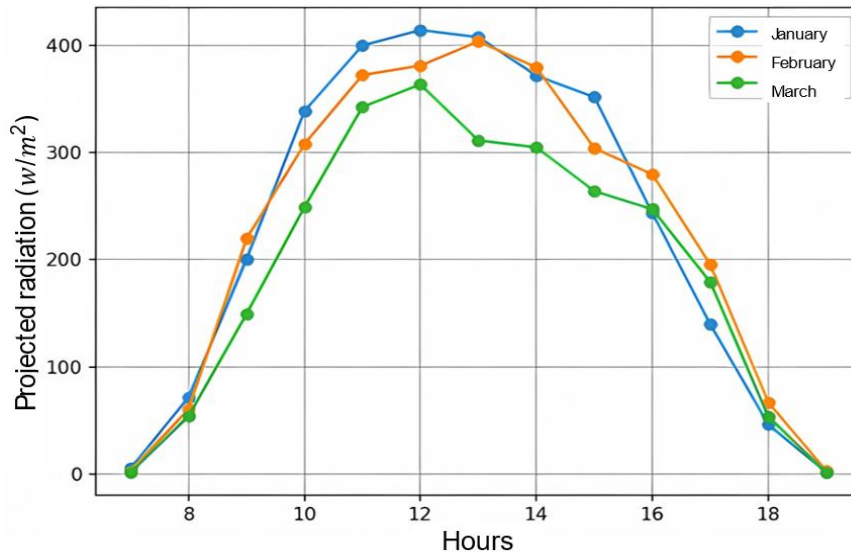


Fig. 3. Prediction of daily polynomial radiation.

For a more detailed analysis, the projected solar radiation behavior by month is calculated as an independent variable, as shown in Figure 4. The projected solar

radiation follows the expected seasonal pattern for the first months of the year. January has the highest radiation compared to February and March, with radiation decreasing as the year progresses, which is typical of seasonal solar variation. This analysis helps to predict the availability of solar energy in different periods and is key to planning the efficient use of the energy stored in the battery.

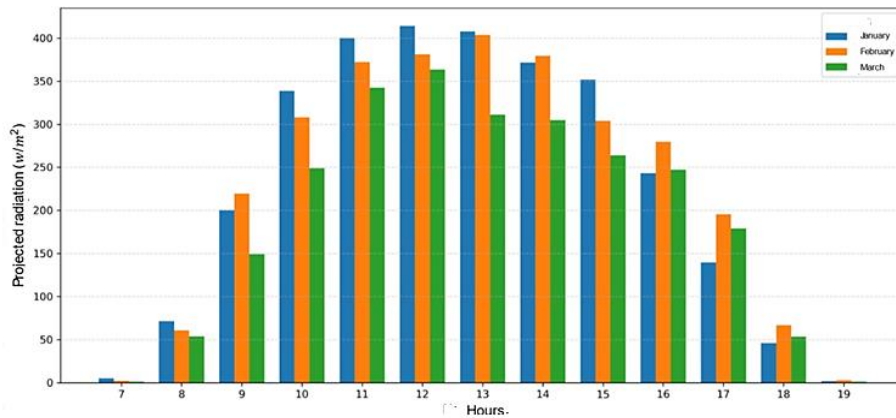


Fig. 4: Monthly radiation forecast January, February and March 2025

2.1.2. Decision Tree

As a second method for predicting solar radiation, a decision tree was used, which is an efficient analytical tool for modeling the relationships between various meteorological variables and fluctuations in solar radiation over time. It is a hierarchical structure represented in the form of a diagram, where each node symbolizes a decision or classification criterion and each branch represents the possible answers or results derived from that decision. Each node in a decision tree divides the feature space, based on criteria such as the Gini index represented by Equation 3. The ability of this model to perform binary divisions in the feature space allows for accurate prediction of solar radiation, adapting to seasonal variations and other factors that influence projected solar energy.

$$Gini(t) = 1 - \sum_{i=1}^m p_i^2$$

(3)

Where:

p_i : is the proposition of elements in class i within node t .

m : is the total number of classes

The decision tree segments the feature space $j \in \{1, \dots, d\}$, by binary splits, and at each decision node a specific feature is chosen to perform the split and a threshold value of $\mathcal{S} \in \mathbb{R}$, this with the objective of minimizing an error measure that for regression we use the Mean Squared Error (MSE). Equation 4 shows:

$$(j^*, s^*) = \arg \min_{j,s} \left[\frac{N_{left}}{N} \right] \cdot Var(D_{left}) + \frac{N_{right}}{N} \cdot Var(D_{right}) \quad (4)$$

Where:

$Var(D)$: variance of the y values in the set D.

N_{left} y N_{right} : } are the sizes of the left and right sets, respectively.

Obtained the decision tree and to make a prediction on a data x, it is enough to follow the path of the tree according to the values of x until culminating in a leaf, which has a prediction value that most of the time is of this form and is represented in equation 5.

$$\hat{y} = \frac{1}{N_{leaf}} \sum_{i \in leaf} y_i \quad (5)$$

Where:

\hat{y} : It is the model's prediction for an input in the sheet data.

N_{leaf} : The number of instances (or examples) in data that has been classified.

$\sum_{i \in leaf} y_i$: It is the sum of the output values

y: It is the value of the dependent variable

Figure 5 shows the results of the decision tree training, the DecisionTreeRegressor algorithm in Python software was used to train the model, and the data were divided into training (80%) and validation (20%) sets.

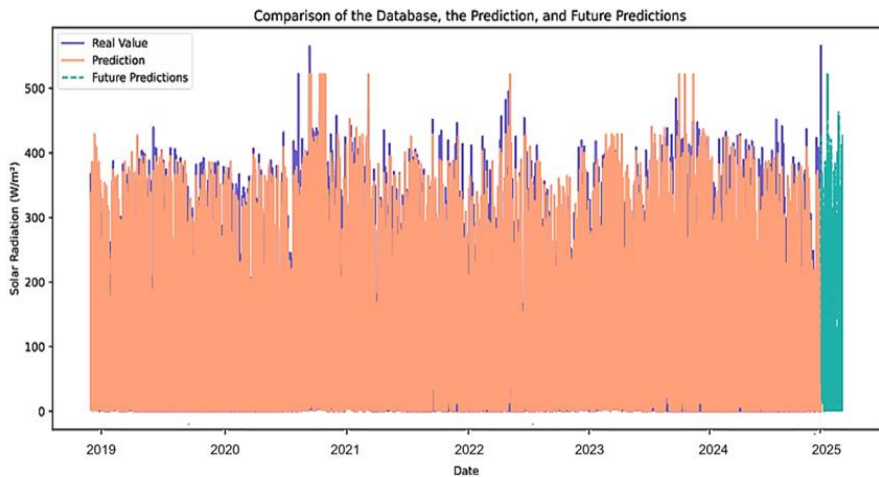


Fig. 5. Monthly radiation prediction with decision tree

The predictions for January, February and March 2025 are quite high compared to the average values of the year, especially in January. The solar radiation projected in these months exceeds the average values of previous years, which is relevant for the design of photovoltaic systems. The predictions show a typical seasonal behavior, with a more pronounced peak at the beginning of the year.

3. Results and discussion

Two short-term prediction models (3 months) were implemented using the Python programming language. Figures 4 and 5 show the prediction with each model. Table 1 shows the projected hourly solar radiation values for January, February and March 2025, expressed in W/m^2 .

Table 1. Predicted values for January, February and March 2025

Hour	Two-tailed polynomial regression			Decision tree		
	January	February	March	January	February	March
7	5.39	2.237	1.03	5.412	2.276	1.235
8	71.55	60.73	52.94	71.657	60.732	53.947
9	200.34	219.59	149.26	200.44	219.595	149.271
10	336.62	307.84	248.99	338.62	307.844	249.01
11	398.79	372.24	341.5	399.80	372.249	342.5
12	414.17	381.01	363.4	416.21	381.017	363.41
13	405.61	403.52	301.19	407.61	403.52	311.200
14	370.64	379.46	304.81	371.639	379.467	304.81
15	351.71	303.9	263.88	351.70	303.88	263.88
16	243.31	279.6	247.1	243.31	279.59	247.1
17	138.62	195.41	176.99	139.62	195.411	178.99
18	45.06	65.9	53.47	46.10	66.90	53.476
19	1.74	2.91	1.31	1.779	2.916	1.320

Although both models provide similar values, the Decision Tree is clearly the more efficient and reliable model in this case. Its ability to capture the nonlinearity in the data and to adapt to variations in solar radiation makes it the better choice compared to degree 2 polynomial regression. This analysis highlights the importance of choosing the right model for predicting complex phenomena such as solar radiation, where machine learning models such as the Decision Tree offer clear advantages over simpler models such as polynomial regression.

3.1. Validation metrics

The results of each of the techniques were evaluated through validation metrics; Table 2 shows the values for each of the metrics.

Table 2. Values of validation metrics

Metrics			Polynomial regression of degree two	Decision tree
Mean Squared Error (MSE)			0,635915	0,2120468
Mean Absolute Error (MAE)			0,3758596	0,1978112
Coefficient Determination (R ²)		of	0,6599	0,8561

4. Conclusions

The Decision Tree performs better on all metrics (MSE, MAE and R²) compared to Degree Two Polynomial Regression. The Decision Tree has a superior generalization and fitting ability on this data set, being more accurate in predictions and with a lower overall error.

The Decision Tree has predicted a solar radiation value of 416.21 W/m² at 12:00 noon in January, which demonstrates its ability to make reliable predictions in real solar measurement situations. This solar radiation value can be useful for solar energy applications, such as optimizing photovoltaic generation at that specific time and month.

5. References

1. O. Boussif, G. Boukachab, D. Assouline, S. Massaroli, T. Yuan, L. Benab-bou y Y. Bengio, "Improving day-ahead Solar Irradiance Time Series Forecasting by Leveraging Spatio-Temporal Context", arXiv preprint arXiv:2306.01112, 2023.
2. E. Zelikman, S. Zhou, J. Irvin, C. Raterink, H. Sheng, A. Avati, J. Kelly, R. Rajagopal, A. Y. Ng y D. Gagne, "Short-Term Solar Irradiance Forecasting Using Calibrated Probabilistic Models", arXiv preprint arXiv:2010.04715, 2020.
3. **M. Khodayar, S. Mohammadi, M. Khodayar, J. Wang y G. Liu**, "Convolutional Graph Auto-encoder: A Deep Generative Neural Architecture for Probabilistic Spatio-temporal Solar Irradiance Forecasting", *arXiv preprint arXiv:1809.03538*, 2018.
4. **J. E. Hammond, R. A. Lara Orozco, M. Baldea y B. A. Korgel**, "Short-Term Solar Irradiance Forecasting Under Data Transmission Constraints", *arXiv preprint arXiv:2403.12873*, 2024.
5. **J. S. Stein**, "The photovoltaic performance modeling collaborative (PVPMC)", en *2012 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2012, pp. 000001-000004. doi: 10.1109/PVSC.2012.6317639.

6. A. Plasencia, L. O. Freire, C. Quinatoa, and J. Castillo, "Optimization of Power System Operation Using Battery Energy Storage Systems," in *Proceedings of the [Conference Name]*, vol. 2367, no. 3370, Springer, 2023, pp. 47-XX, doi: 10.1007/978-3-031-68653-5_47.
7. **W. F. Holmgren, R. W. Andrews, A. T. Lorenzo y J. S. Stein**, "PVLIB Python 2015", en *2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 2015, pp. 000001-000004. doi: 10.1109/PVSC.2015.7356024.
8. **R. W. Andrews, J. S. Stein, C. Hansen y D. Riley**, "*Introduction to the Open Source PVlib for Python Photovoltaic System Modelling Package*", en 2014 40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Denver, CO, EE. UU., 2014, pp. 1-4. DOI: 10.1109/PVSC.2014.6925093.
9. **E. Zelikman, S. Zhou, J. Irvin, C. Raterink, H. Sheng, A. Avati, J. Kelly, R. Rajagopal, A. Y. Ng y D. Gagne**, "*Short-Term Solar Irradiance Forecasting Using Calibrated Probabilistic Models*", arXiv, 2020.
10. J. N. Castillo, G. G. Carrillo, L. O. Freire, and J. Culqui, "Fusion data management and modeling techniques in power quality compensation using SAPF," *Future Perspectives in Applied Energy*, vol. 16, no. 2, 2024, doi: 10.54216/FPA.160201.
11. S. Akhter, "Review on forecasting of photovoltaic power generation based on machine learning and metaheuristic techniques," *IET Renewable Power Generation*, 2019
12. S. R. Radhi, S. D. Al-Majidi, M. F. Abbod, y H. S. Al-Raweshidy, "Machine Learning Approaches for Short-Term Photovoltaic Power Forecasting," *Energies*, vol. 17, n.º 17, art. 4301, 2024
13. R.-J. Wai y P.-X. Lai, "Design of Intelligent Solar PV Power Generation Forecasting Mechanism Combined with Weather Information under Lack of Real-Time Power Generation Data," *Energies*, vol. 15, n.º 10, art. 3838, 2022
14. **W. F. Holmgren, R. W. Andrews, A. T. Lorenzo y J. S. Stein**, "*PVLIB Python 2015*", in 2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), New Orleans, LA, EE. UU. 2015, pp. 1-4. DOI: 10.1109/PVSC.2015.7356024.
15. W. Zhang y Q. Li, "Application of machine learning methods in photovoltaic output power prediction: A review," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 14, n. º 2, art. 022701, mar. 2022
16. Y. Zhang, Li y Q. He, "Application of machine learning methods in photovoltaic output power prediction: A review," *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 14, n. º 2, 2022