

Desarrollo de un sistema multiagente basado en Modelos de Lenguaje Grande para la predicción de radiación solar utilizando datos meteorológicos

Lucas Olivera^{1,2}, Marcelo Cappelletti^{1,3}, Martín Morales^{1,4}

¹ Programa TICAPPS, Univ. Nac. Arturo Jauretche, Florencio Varela (1888), Argentina

² Becario de la Comisión de Invest. Científicas (CICPBA), La Plata (1900), Argentina

³ Grupo Cont. Aplic. (GCA), Inst. LEICI (UNLP-CONICET), La Plata (1900), Argentina

⁴ Centro UTN CODAPLI-FRLP, Berisso (1924), Argentina.

{lolivera, mcappelletti, martin.morales } @unaj.edu.ar

Resumen. Este artículo corto presenta un trabajo en desarrollo basado en un enfoque híbrido para la estimación de la radiación solar global horaria bajo condiciones de cielo variables, combinando técnicas de aprendizaje automático supervisado y herramientas de inteligencia artificial generativa. Específicamente, se desarrolla un modelo predictivo basado en algoritmos de Gradient Boosting, utilizando como variables de entrada datos meteorológicos y el índice de claridad (Kt), parámetro derivado de la radiación solar, que permite clasificar la cobertura nubosa y mejorar la precisión del modelo. La radiación solar global horaria es la variable objetivo del sistema. El modelo con mejor desempeño, evaluado mediante métricas como el coeficiente de determinación (R^2), error absoluto medio (MAE) y raíz del error cuadrático medio (RMSE), se integra en un chatbot interactivo diseñado para facilitar su uso y promover el acceso a análisis exploratorios sin requerimientos técnicos por parte del usuario. Por ejemplo, un usuario puede consultar: “¿Cuál fue la radiación solar promedio en abril de 2022?” y obtener una respuesta acompañada de una visualización automática. Este sistema se implementa mediante la tecnología Semantic Kernel de Microsoft, que permite la ejecución de funciones programadas a partir de la interpretación del lenguaje natural, y se complementa con modelos de lenguaje locales gestionados a través de la plataforma Ollama, incluyendo instancias de LLaMA y Qwen. La solución propuesta mejora la precisión en la predicción de la radiación solar y facilita el acceso a modelos científicos mediante interfaces inteligentes y accesibles.

Palabras clave: Chatbot, LLM, Aprendizaje Automático, Radiación Solar.

1 Introducción

Este artículo presenta un trabajo en desarrollo que propone un sistema inteligente para la estimación de la radiación solar global horaria bajo condiciones variables del cielo, integrando técnicas de aprendizaje automático supervisado y modelos de lenguaje grande (LLMs). La radiación solar es una variable fundamental en áreas como las energías renovables, la agricultura de precisión y la planificación energética (Osorio et al., 2023), pero su predicción resulta compleja debido a la alta variabilidad espacial y temporal asociada a factores como la nubosidad, la humedad y la temperatura.

En este contexto, los modelos de aprendizaje automático supervisado, tales como Gradient Boosting (GB) o Redes Neuronales Artificiales (RNA), ampliamente reconocidos por su capacidad de generalización y robustez frente a datos heterogéneos, se presentan como una alternativa eficaz para abordar esta tarea (Feng et al., 2020).

Paralelamente, en los últimos años, los LLMs se han consolidado como una de las herramientas más innovadoras en el campo de la inteligencia artificial (Roumeliotis et al., 2024). Entrenados con volúmenes masivos de texto, estos modelos son capaces de interpretar, generar y manipular lenguaje natural con altos niveles de coherencia y contextualización. Su impacto ha sido significativo en diversas disciplinas, como la ciencia, ingeniería, educación, salud, industria y el comercio. Esta evolución ha abierto nuevas posibilidades para la automatización de procesos científicos y el desarrollo de asistentes inteligentes capaces de interactuar con usuarios, interpretar consultas en lenguaje natural y ejecutar funciones especializadas.

En este trabajo, se desarrolla un modelo predictivo basado en GB, entrenado con datos meteorológicos locales y un indicador clave: el índice de claridad (K_t), calculado como la razón entre la radiación solar global observada y la radiación solar extraterrestre teórica (Hollands et al., 1983). Este índice permite clasificar las condiciones del cielo (despejado, parcialmente nublado o nublado) y mejora la capacidad del modelo para adaptarse a distintos escenarios atmosféricos.

La principal innovación del trabajo radica en la integración del modelo GB dentro de un chatbot interactivo controlado por un orquestador y potenciado por LLMs locales. Esta interfaz permite realizar consultas en lenguaje natural, facilitando el acceso a análisis estadísticos, series históricas y predicciones sin requerir conocimientos técnicos. El chatbot está construido con Semantic Kernel de Microsoft y opera en entornos locales mediante la plataforma Ollama, utilizando modelos como LLaMA 3.2 3B y Qwen 2.5 14B.

Este enfoque busca no solo mejorar la precisión en la predicción de la radiación solar, sino también democratizar el acceso a modelos científicos a través de herramientas accesibles, interpretables y operativas incluso sin conexión a la nube.

2 Metodología

2.1 Recopilación de Datos y Construcción del conjunto de datos

Los datos meteorológicos utilizados provienen de una estación automática ubicada en Florencio Varela, Buenos Aires, Argentina (34.77° S, 58.26° O, altitud 25 m), registrados entre diciembre de 2017 y marzo de 2023. Se incluyeron las siguientes varia-

bles: temperatura media, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento y radiación solar global, con registros cada 30 minutos entre las 8:00 y las 18:00 hs. El conjunto total consta de 40156 muestras. A partir del cálculo del índice de claridad (Kt), se clasificaron las observaciones en tres grupos según el tipo de cielo:

- Cielo despejado: 16284 muestras
- Parcialmente nublado: 10003 muestras
- Nublado: 13869 muestras

Esta clasificación permite entrenar modelos específicos adaptados a cada condición de nubosidad, mejorando su desempeño.

2.2 Modelos Predictivos

Se entrenaron distintos modelos de Gradient Boosting para estimar la radiación solar horaria a partir de las variables meteorológicas y el índice de claridad. El algoritmo GB se basa en la combinación secuencial de modelos débiles para construir un predictor robusto, ideal para capturar relaciones no lineales entre variables (Hassan et al., 2017). El 80 % de los datos fue utilizado para entrenamiento y el 20 % restante para validación.

La optimización de hiperparámetros se realizó mediante búsqueda bayesiana con validación cruzada de 5 pliegues. Los parámetros ajustados incluyen: número de árboles, tasa de aprendizaje, profundidad máxima, número mínimo de muestras por hoja y número máximo de nodos hoja.

Los modelos fueron evaluados utilizando métricas estadísticas como el error absoluto medio (MAE), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el coeficiente de determinación (R^2).

2.3 Integración del chatbot

El sistema se complementa con un chatbot basado en LLMs, desarrollado con Semantic Kernel, que interpreta la intención del usuario expresada en lenguaje natural y ejecuta funciones programadas específicas. Un orquestador central administra los mensajes entrantes, determina el dominio de la consulta (por ejemplo, predicción o análisis de datos) y delega la tarea al agente experto correspondiente.

Este orquestador también gestiona el contexto conversacional y el límite de tokens procesables por los modelos. Para asegurar el funcionamiento en entornos sin conexión, el sistema utiliza modelos de lenguaje locales desplegados con Ollama, específicamente LLaMA 3.2 3B y Qwen 2.5 14B, seleccionados por su buen balance entre razonamiento, velocidad y capacidad operativa.

La Fig. 1 muestra un esquema de los componentes del sistema y su interacción.

3 Conclusiones

Los resultados preliminares obtenidos hasta el momento son alentadores, alcanzando un coeficiente de determinación (R^2) superior a 0.90 en escenarios de cielo despejado y parcialmente nublado. Estos valores indican un buen ajuste del modelo y resaltan el potencial de la solución desarrollada para mejorar la automatización de procesos, la interpretación contextual de datos y la toma de decisiones informadas en entornos complejos.

La incorporación del índice de claridad como variable de entrada ha resultado clave para adaptar el modelo a condiciones cambiantes del cielo, incrementando tanto su precisión como su robustez. Asimismo, la integración del modelo predictivo dentro de un chatbot basado en modelos de lenguaje grandes permite ampliar el acceso a estos sistemas a usuarios sin conocimientos técnicos, a través de una interfaz natural e intuitiva. Por ejemplo, el usuario puede preguntar “¿Cuál fue la radiación solar promedio el 15 de marzo de 2024?”, “Mostrame la tendencia de radiación solar para la próxima semana si el cielo está nublado” o “Generá un resumen estadístico de la radiación registrada este mes”.

Como líneas futuras de trabajo se propone:

- Evaluar formalmente la experiencia de usuario e interacción con el chatbot.
- Desarrollar un dispositivo físico que integre el sistema para estimación en tiempo real de la radiación solar y consulta dinámica de datos meteorológicos.
- Ampliar su aplicación a otros contextos, como la agricultura de precisión o la gestión energética distribuida.

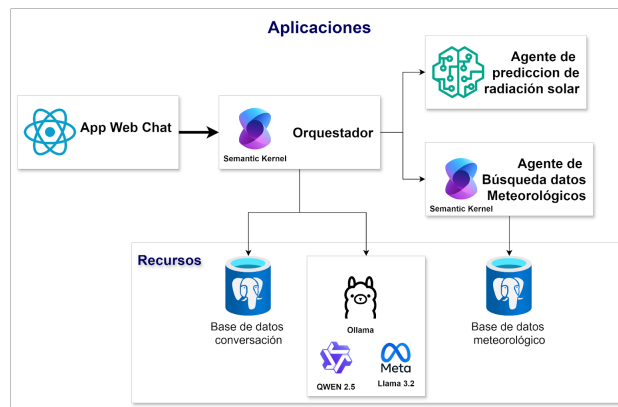


Fig. 1. Arquitectura de componentes de la solución.

Referencias

- Feng, Y., Hao, W., Li, H. Cui, N., Gong, D. y Gao, L. (2020). Machine learning models to quantify and map daily global solar radiation and photovoltaic power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 118, 109393.
- Hassan, M. A., Khalil, A., Kaseb, S. y Kassem, M. A. (2017). Exploring the potential of tree-based ensemble methods in solar radiation modeling. *Applied Energy* 203, 897–916.
- Hollands, K.G.T. y Huget, R.G. (1983). A probability density function for the clearness index, with applications. *Solar Energy* 30(3), 195–209.
- Osorio, J. D., Zea, S., Rivera-Alvarez, A. Patiño-Jaramillo, G. A., Hovsapien, R. y Ordonez, J. C. (2023). Low temperature solar thermal-power systems for residential electricity supply under various seasonal and climate conditions. *App. Thermal Engineering* 232, 120905.
- Roumeliotis, K.I., Tselikas, N.D. y Nasiopoulos, D.K. (2024). Llms in e-commerce: A comparative analysis of gpt and llama models in product review evaluation. *Natural Language Processing Journal* 6, 100056.