



OPTIMIZACIÓN DE REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA UNA GESTIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE

Optimization of smart grids through artificial intelligence for sustainable energy management

Jonathan David Socongocha Talero ¹⁷

Mathew Alexander Leguizamo Leon ¹⁸

RESUMEN

En el contexto de la modernización de sistemas de potencia y la transición hacia Smart Grids, se ha identificado una incapacidad crítica de los métodos estadísticos tradicionales para manejar la estocasticidad de la demanda y la detección reactiva de fallos. Esta variabilidad afecta a los operadores de red y usuarios finales, generando ineficiencias operativas y sobrecostos por mantenimiento correctivo.

Ante esta situación, el presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema integral que optimice la predicción de demanda y la detección de anomalías mediante inteligencia artificial. Para alcanzar este objetivo, se empleó la metodología CRISP-DM, diseñando un pipeline que contrasta modelos de Deep Learning (LSTM) frente a Gradient Boosting (XGBoost) e integra algoritmos no supervisados (Isolation Forest).

Como resultado, se obtuvo que el modelo XGBoost supera drásticamente a las redes recurrentes en datos tabulares, logrando un R^2 de 0.997 frente a 0.539 del LSTM, permitiendo un despacho energético optimizado que prioriza fuentes renovables. Teniendo un impacto social y transferencia tecnológica, en donde el sistema facilita la integración de energías renovables y mejora la confiabilidad del servicio, alineándose con la "Visión Colombia 2030" para reducir la huella de carbono y costos al usuario final. En conclusión, se logró demostrar que la complejidad computacional del Deep Learning no siempre es superior, validando arquitecturas de ensamblaje (Boosting) como la solución más eficiente y resiliente para la gestión energética actual.

PALABRAS CLAVE: aprendizaje automático, detección de anomalías, eficiencia energética, predicción de demanda, redes eléctricas inteligentes, XGBoost.

¹⁷ Profesional, Escuela Superior de Empresa, Ingeniería y Tecnología (ESEIT), https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002399600

¹⁸ Escuela Superior de Empresa, Ingeniería y Tecnología (ESEIT), https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002399536

ABSTRACT

Predictive Energy Management in Smart Grids using AI. In the context of power system modernization and the transition to Smart Grids, a critical inability of traditional statistical methods to handle demand stochasticity and reactive fault detection has been identified. This variability affects grid operators and end-users, generating operational inefficiencies and cost overruns due to corrective maintenance.

Given this situation, the present project aims to develop a comprehensive system that optimizes demand prediction and anomaly detection using artificial intelligence. To achieve this objective, the CRISP-DM methodology was employed, designing a pipeline that contrasts Deep Learning models (LSTM) against Gradient Boosting (XGBoost), and integrates unsupervised algorithms (Isolation Forest).

As a result, it was obtained that the XGBoost model drastically outperforms recurrent networks in tabular data, achieving an R^2 of 0.997 against 0.539 of the LSTM, allowing for optimized energy dispatch that prioritizes renewable sources. Having a social impact and technology transfer: the system facilitates the integration of renewables and improves service reliability, aligning with "Vision Colombia 2030" to reduce the carbon footprint and costs to the end-user. In conclusion, it was achieved to demonstrate that the computational complexity of Deep Learning is not always superior, validating ensemble architectures (Boosting) as the most efficient and resilient solution for current energy management.

KEYWORDS: anomaly detection, demand forecasting, energy efficiency, machine learning, smart grids, XGBoost.

INTRODUCCIÓN

La transformación digital del sector eléctrico hacia las redes eléctricas inteligentes (*Smart Grids*) ha generado un flujo masivo de datos que supera la capacidad de análisis convencional. El problema central radica en la incertidumbre de la predicción de la demanda y la gestión reactiva de fallos, exacerbada por la integración de recursos distribuidos y vehículos eléctricos, lo que compromete la estabilidad de la red.

Este proyecto aborda dicha problemática con el objetivo de diseñar e implementar una arquitectura de inteligencia artificial capaz de optimizar la predicción de consumo y detectar anomalías proactivamente. La investigación se justifica en la necesidad de transitar de un mantenimiento correctivo a uno predictivo, reduciendo costos operativos y mejorando la resiliencia del sistema.

Metodológicamente, se adopta el estándar CRISP-DM utilizando un *dataset* de alta resolución (UCI Machine Learning Repository). Se desarrolla un *pipeline* en Python que abarca desde la limpieza de datos y la ingeniería de características (codificación cíclica y *lags*), hasta el entrenamiento comparativo de modelos supervisados (XGBoost, LSTM, GBC) y no supervisados (*Isolation Forest*), finalizando con un algoritmo de optimización lineal para el despacho económico.

HALLAZGOS O RESULTADOS

El análisis comparativo arrojó una diferencia estadística contundente entre las arquitecturas evaluadas. En la predicción de demanda, el modelo XGBoost optimizado emergió como la solución superior, alcanzando un Coeficiente de Determinación (R^2) de 0.997 y un Error Absoluto Medio (MAE) de 0.028 kW. Por el contrario, la red neuronal LSTM mostró un desempeño deficiente para estos datos tabulares, con un R^2 de 0.539 y un error diez veces mayor (MAE 0.378 kW).

En cuanto a la resiliencia, el módulo de detección supervisada (Gradient Boosting Classifier) logró una sensibilidad (*Recall*) del 94.9% en la identificación de fallos de voltaje simulados, garantizando la detección de casi la totalidad de eventos críticos. Complementariamente, el algoritmo no supervisado *Isolation Forest* aisló autónomamente el 1.9% de las muestras como anomalías, correspondientes estadísticamente a eventos de baja tensión, validando su capacidad de vigilancia sin etiquetas previas.

CONCLUSIONES

Se valida la hipótesis de que la Inteligencia Artificial transforma la gestión operativa de las *Smart Grids*, aunque desafiando la presunción de superioridad del *Deep Learning*. Se concluye que, para series temporales de consumo eléctrico con características tabulares, los algoritmos de ensamblaje (XGBoost) son significativamente más eficientes y precisos que las redes recurrentes (LSTM), debido a su capacidad para explotar características de ingeniería sin requerir volúmenes masivos de datos para converger.

Asimismo, se demostró que la implementación de una estrategia híbrida de detección (Supervisada+No Supervisada) incrementa la resiliencia de la red, permitiendo identificar tanto fallos conocidos como anomalías inéditas. Finalmente, la integración de estas predicciones precisas en un modelo de optimización lineal confirma que la reducción del error de pronóstico se traduce directamente en viabilidad económica y sostenibilidad, priorizando eficazmente el despacho de fuentes renovables.

REFERENCIAS

- Cámara, J. (2019). *Smart grids: Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. Marcombo.
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. En *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 785–794). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>