XXI Simposio CEA de Control Inteligente
24-26 de junio de 2026, Salamanca

Aplicación de control PID e inteligente en planificación energética nacional

Deniz-Diaz, L.[a, *], Cabrera, P.[a]

[a] Group for the Research on Renewable Energy Systems (GRESS), Department of Mechanical Engineering
University of Las Palmas de Gran Canaria, Spain

To cite this article: Deniz-Diaz, L., Cabrera, P., 2026. Application of PID and intelligent control in national energy planning. XXI Simposio CEA de Control Inteligente, Salamanca (Spain), 2026.

Resumen

La planificación energética basada en simulación requiere optimizar espacios de decisión complejos. Herramientas como EnergyPLAN suelen combinarse con metaheurísticas para buscar soluciones competitivas, con un elevado coste computacional. Este trabajo presenta un estudio preliminar que reinterpreta la optimización de sistemas energéticos nacionales como un problema de control realimentado. El sistema energético de Ghana, integrado mediante la MATLAB Toolbox for EnergyPLAN, sirve como entorno de estudio. Se propone una formulación donde las capacidades instaladas constituyen las variables manipuladas, mientras que las importaciones, exportaciones y el coste total representan las variables observadas para la realimentación. El marco metodológico plantea una evolución desde la regulación clásica PID hacia estrategias de control inteligente apoyadas en machine learning. Este enfoque busca aprovechar modelos sustitutos neuronales para aproximar las sensibilidades del simulador y optimizar la trayectoria de búsqueda de las capacidades óptimas, reduciendo el tiempo de cómputo frente a los algoritmos convencionales.

Palabras clave: Planificación energética, EnergyPLAN, Teoría de control, Control PID, Control inteligente.

Application of PID and intelligent control in national energy planning.

Abstract

Simulation-based national energy planning relies on optimization to explore complex decision spaces. Tools like EnergyPLAN are commonly coupled with metaheuristics, demanding high computational costs. This work presents a preliminary study proposing the reinterpretation of energy system optimization as a feedback control problem. The Ghanaian energy system, integrated via the MATLAB Toolbox for EnergyPLAN, is used as the study case. A formulation is defined where installed capacities act as manipulated variables, while electricity imports, exports, and total system cost constitute the observed feedback variables. The framework outlines a path from classical PID regulation to intelligent control strategies based on machine learning. This approach aims to leverage neural surrogate models to approximate simulator sensitivities, optimizing the search path for capacities and reducing computational time compared to conventional algorithms.

Keywords: Energy planning, EnergyPLAN, Control theory, PID control, Intelligent control.

1. Introducción

La transición hacia sistemas energéticos con alta penetración de energías renovables requiere herramientas capaces de evaluar configuraciones tecnológicas complejas bajo múltiples restricciones técnicas y económicas. Los modelos de simulación energética como EnergyPLAN [1,2] permiten representar sistemas energéticos nacionales y analizar su comportamiento bajo distintos escenarios de generación, demanda y almacenamiento. La exploración del espacio de decisión asociado a estos modelos se realiza habitualmente mediante técnicas de optimización matemática o algoritmos metaheurísticos, tales como algoritmos genéticos o variantes multiobjetivo. Como consecuencia, la práctica totalidad de los estudios que optimizan estos modelos se

*Autor para correspondencia: laura.denizdiaz@ulpgc.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

apoyan en dichas metodologías para la búsqueda de soluciones factibles [3].

En paralelo, la teoría de control proporciona un marco formal basado en realimentación y señales de error que permite guiar sistemas dinámicos hacia estados deseados [4–6]. Sin embargo, la aplicación de estos conceptos al ámbito de la planificación energética nacional mediante simulación ha recibido escasa atención.

El presente trabajo introduce una formulación preliminar que conecta ambos enfoques, reinterpretando el proceso de optimización como un problema de control realimentado aplicado a sistemas energéticos simulados. A partir de esta premisa, se plantea un espacio de desarrollo que abarca desde la regulación clásica mediante controladores Proporcional-Integral-Derivativo (PID) hasta arquitecturas de control inteligente. Este último enfoque busca aprovechar el potencial de las técnicas de machine learning para la identificación de sistemas en línea, permitiendo aproximar de forma eficiente el comportamiento del simulador nacional ante variaciones en la matriz de generación.

2. Caso de estudio y formulación del problema

El trabajo se desarrolla sobre un modelo del sistema energético de Ghana implementado en EnergyPLAN y actualmente integrado con la MATLAB Toolbox for EnergyPLAN [7] para la ejecución de procesos de optimización. La optimización considera como variables de decisión las capacidades instaladas de tecnologías de generación renovable (solar, eólica e hidráulica) y sistemas de almacenamiento mediante baterías, contemplando tanto la potencia nominal como la capacidad de almacenamiento de energía. El objetivo consiste en minimizar el coste total del sistema energético bajo restricciones relacionadas con el balance energético y los intercambios eléctricos con el exterior.

La propuesta de este trabajo consiste en reformular este proceso como un esquema de control realimentado. En este marco, las capacidades instaladas constituyen las variables manipuladas del sistema, mientras que las salidas del modelo, obtenidas tras cada simulación en EnergyPLAN, incluyen las importaciones eléctricas, exportaciones eléctricas y el coste total del sistema. El sistema energético nacional de Ghana constituye la planta del sistema, mientras que EnergyPLAN actúa como el entorno de simulación que evalúa la respuesta del sistema ante cada configuración de variables de entrada.

3. Formulación basada en realimentación

Un elemento central de la formulación propuesta es la utilización de variables del sistema como base para la construcción de señales de error. En particular, las importaciones y exportaciones eléctricas se utilizan como variables reguladas del sistema, dado que representan restricciones críticas en la planificación de sistemas con elevada penetración renovable. Las señales de error se definen de forma general como:

$$e_{imp} = Import_{max} - Import_{sim}$$

$$e_{exp} = \mathrm{Ex}port_{max} - \mathrm{Ex}port_{sim}$$

donde Import_{max} y Export_{max} representan los límites establecidos para cada escenario, mientras que Import_{sim} y Export_{sim} corresponden a los valores obtenidos tras cada simulación en EnergyPLAN.

Estas señales de error constituyen la base del mecanismo de actualización iterativa de las variables de decisión. En la primera fase de esta investigación, este mecanismo se instrumenta mediante la acción combinada de controladores PID clásicos, donde las componentes proporcional, integral y derivativa actúan sobre el error para guiar la convergencia hacia la capacidad instalada óptima.

No obstante, dada la naturaleza compleja del modelo de EnergyPLAN, la formulación matemática se concibe de manera abierta para permitir la transición hacia estrategias de control inteligente apoyadas en *machine learning*. Específicamente, se contempla el desarrollo de estructuras de control adaptativo donde redes de neuronas artificiales actúen como modelos sustitutos de la planta, realizando una identificación en línea del comportamiento de EnergyPLAN. Asimismo, se plantea el uso de algoritmos de aprendizaje por refuerzo (*reinforcement learning*) para entrenar agentes capaces de determinar de forma óptima los ajustes de capacidad idóneos ante las señales de error, acelerando la convergencia y reduciendo el número de simulaciones requeridas frente a los enfoques metaheurísticos tradicionales.

4. Estado actual del trabajo

El trabajo parte de un modelo energético nacional de Ghana completamente desarrollado y validado en EnergyPLAN. Sobre esta base se dispone de un procedimiento de optimización funcional que permite explorar el espacio de soluciones mediante simulación. La revisión del estado del arte muestra que la optimización de sistemas energéticos mediante EnergyPLAN se apoya de forma generalizada en técnicas metaheurísticas, mientras que la utilización de formulaciones basadas en teoría de control como mecanismo de exploración permanece prácticamente inexplorada.

En este contexto, el trabajo actual se centra en la construcción de una formulación de control aplicada a la planificación energética nacional, estableciendo la correspondencia precisa entre variables de decisión, variables de salida y señales de error. Los esfuerzos actuales se dirigen a la sintonización de los bucles PID base en el entorno MATLAB y al diseño arquitectónico del bloque de control inteligente. Esto incluye la definición de los conjuntos de datos de entrenamiento requeridos para que los modelos de machine learning capturen adecuadamente las sensibilidades del sistema energético de Ghana ante variaciones en la potencia renovable y de almacenamiento instalada.

5. Conclusiones

Este trabajo presenta una formulación preliminar para la optimización de sistemas energéticos nacionales basada en principios de teoría de control aplicada a modelos de simulación energética. A diferencia de los enfoques convencionales basados en metaheurísticas, la propuesta plantea utilizar señales de realimentación derivadas del comportamiento del sistema para guiar iterativamente la actualización de las variables de decisión.

El análisis realizado sobre el sistema energético de Ghana permite establecer una primera correspondencia entre conceptos de teoría de control y variables de planificación energética, utilizando las importaciones y exportaciones eléctricas como variables reguladas. Esta formulación constituye la base para el desarrollo futuro de estrategias de control tanto clásicas (PID) como inteligentes basadas en machine learning. Este enfoque integrado promete ofrecer una alternativa robusta y potencialmente más eficiente en términos de coste computacional, maximizando la sinergia entre las herramientas de simulación energética y las cajas de herramientas de aprendizaje automático en el entorno MATLAB.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado con fondos FEDER a través del programa INTERREG MAC 2021-2027 en el marco del proyecto RESMAC (1/MAC/2/2.2/0011).

Referencias

[1] H. Lund, J.Z. Thellufsen, P.A. Østergaard, P. Sorknæs, I.R. Skov, B.V. Mathiesen, EnergyPLAN – Advanced analysis of smart energy systems, Smart Energy 1 (2021) 100007. https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100007.

[2] D. Connolly, H. Lund, B. V. Mathiesen, M. Leahy, A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems, Appl. Energy 87 (2010) 1059–1082. https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2009.09.026.

[3] F. Giorcelli, P. Cabrera, B. Paduano, S.A. Sirigu, G. Mattiazzo, Energy system co-design approach for WECs optimisation: the pendulum wave energy converter case study, Appl. Energy 402 (2025) 126846. https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2025.126846.

[4] G. Jahedi, M.M. Ardehali, Genetic algorithm-based fuzzy-PID control methodologies for enhancement of energy efficiency of a dynamic energy system, Energy Convers. Manag. 52 (2011) 725–732. https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2010.07.051.

[5] B. Saleh, A.M. Yousef, M. Ebeed, F.K. Abo-Elyousr, A. Elnozahy, M. Mohamed, S.A.M. Abdelwahab, Design of PID Controller with Grid Connected Hybrid Renewable Energy System Using Optimization Algorithms, Journal of Electrical Engineering & Technology 2021 16:6 16 (2021) 3219–3233. https://doi.org/10.1007/S42835-021-00804-7.

[6] S. Chen, J. Liu, P. Wang, C. Xu, S. Cai, J. Chu, Accelerated optimization in deep learning with a proportional-integral-derivative controller, Nature Communications 2024 15:1 15 (2024) 10263-. https://doi.org/10.1038/s41467-024-54451-3.

[7] P. Cabrera, H. Lund, J.Z. Thellufsen, P. Sorknæs, The MATLAB Toolbox for EnergyPLAN: A tool to extend energy planning studies, Sci. Comput. Program. 191 (2020) 102405. https://doi.org/10.1016/J.SCICO.2020.102405.