

Optimización eléctrica: el poder de los algoritmos bio-inspirados

Electrical optimization: the power of bio-Inspired algorithms

*José Alfonso Sánchez Cortez, Hernán Peraza Vázquez y
Adrián Fermín Peña Delgado*

Resumen

Cada día, dependemos de sistemas eléctricos que nos permiten llevar una vida conectada, pero detrás de la electricidad que llega a nuestros hogares, hay un desafío complejo: cómo hacer que esos sistemas funcionen de manera más eficiente y menos costosa. Aquí es donde entran los algoritmos bio-inspirados. Estos algoritmos, basados en los comportamientos observados en la naturaleza, ofrecen una manera innovadora de resolver problemas que parecen difíciles de abordar. Si bien su uso tiene un impacto directo en la economía, también pueden mejorar la sostenibilidad de los sistemas eléctricos, reduciendo su huella ambiental. Desde la optimización del consumo energético hasta la mejora de la seguridad operativa, estos algoritmos encuentran soluciones inteligentes a través de patrones que no siempre son evidentes para el ojo humano. En un mundo donde los sistemas eléctricos se vuelven cada vez más complejos, estos algoritmos emergen como aliados poderosos, flexibles y capaces de ofrecernos un futuro energético más limpio y eficiente.

Palabras clave: algoritmos, optimización, sistemas eléctricos, bio-inspirados, eficiencia energética.

CÓMO CITAR ESTE TRABAJO

Sánchez Cortez, José Alfonso, Peraza Vázquez, Hernán y Peña Delgado, Adrián Fermín. (2025, marzo-abril). Algoritmos bio-inspirados aplicados en la optimización de sistemas eléctricos de potencia. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 26(2). <http://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2025.26.2.8>

Abstract

Every day, we rely on electrical systems that keep us connected, but behind the electricity that powers our homes, there is a complex challenge: how to make these systems work more efficiently and cost-effectively. This is where bio-inspired algorithms come in. These algorithms, based on behaviors observed in nature, offer an innovative way to solve problems that seem difficult to tackle. While their use has a direct economic impact, they can also improve the sustainability of electrical systems by reducing their environmental footprint. From optimizing energy consumption to enhancing operational safety, these algorithms find smart solutions through patterns that are not always evident to the human eye. In a world where electrical systems are becoming increasingly complex, these algorithms emerge as powerful, flexible allies capable of offering us a cleaner and more efficient energy future.

Keywords: algorithms, optimization, electrical systems, bio-inspired, energy efficiency.

José Alfonso Sánchez Cortez

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, México.

Es Ingeniero Eléctrico con Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. Actualmente, cursa el doctorado en Tecnología Avanzada en el CICATA-IPN, unidad Altamira. Sus áreas de interés incluyen la optimización aplicada a sistemas eléctricos de potencia, las energías renovables y las redes eléctricas inteligentes.

 jsanchezc2300@alumno.ipn.mx

 0000-0002-8762-1154

Hernán Peraza Vázquez

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, México.

Es egresado de la Facultad de Matemáticas de la UADY, con maestría en computación por el ITCM y doctorado en tecnología avanzada por el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Desde el año 2000, es catedrático del CICATA-IPN, unidad Altamira. Su área de interés incluye la optimización no lineal con restricciones no lineales, el desarrollo de algoritmos bioinspirados y las aplicaciones de inteligencia artificial en salud, energía y medio ambiente. Es líder del grupo de Instrumentación Electrónica y Soft-Computing del CICATA-IPN Altamira.

 hperaza@ipn.mx

 0000-0002-7119-3108

Adrián Fermín Peña Delgado

Universidad Tecnológica de Altamira, México.

Es Doctor en Tecnología Avanzada por el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente, es catedrático en la Universidad Tecnológica de Altamira en el departamento de mecatrónica y energías renovables. Se especializa en la optimización aplicada para resolver problemas en la industria y cuenta con competencia técnica en la entrega y diseño de proyectos de ingeniería eléctrica.

 apea@utaltamira.edu.mx

 0000-0002-4922-414X

El recorrido de la energía: ¿cómo llega a nuestro hogar?

Despertas en una mañana cualquiera: preparas tu café, enciendes la radio y entre el murmullo de la rutina se desliza la pregunta, casi sin darte cuenta, ¿cómo se hace posible que la energía llegue de las centrales eléctricas hasta el enchufe de tu celular? En ese ir y venir diario se esconde una realidad fascinante: la optimización de sistemas eléctricos. Optimizar, en su esencia, significa encontrar la forma más inteligente y eficiente de hacer algo, una habilidad que la naturaleza domina con maestría y que, sorprendentemente, ha inspirado soluciones tecnológicas de gran alcance.

La sabiduría del entorno se refleja en los algoritmos “bio-inspirados”, herramientas que imitan procesos naturales para resolver problemas complejos de manera sencilla y rápida. En el ámbito de la generación y distribución de energía, estos algoritmos no sólo reducen el uso de combustibles ni minimizan las pérdidas energéticas, sino que también permiten gestionar sistemas cada vez más complejos. Este viaje de descubrimiento nos invita a explorar cómo la inspiración de la naturaleza puede transformar la manera en que operan los sistemas eléctricos de potencia.

Algoritmos Bio-inspirados: la naturaleza como maestra

En nuestro día a día, sin darnos cuenta, seguimos pequeños algoritmos: secuencias de pasos que nos ayudan a resolver desde qué ruta tomar hasta cómo organizar nuestros gastos. Un algoritmo, en términos simples, es una serie de instrucciones para alcanzar una solución. Los algoritmos bio-inspirados llevan esta idea un paso más allá, emulando comportamientos naturales para aproximarse a la mejor solución en problemas complejos (Márquez Vera, 2023).

Piensa en la agilidad de una araña al cazar, o quizás inspirados en la evolución biológica y su base genético-molecular como en el algoritmo genético (Sastry et al., s/f). Así funcionan estos algoritmos: generan, de forma aleatoria, una población inicial de posibles soluciones y, a partir de patrones inspirados en la naturaleza, seleccionan y mejoran esas soluciones para acercarse a un resultado óptimo (Jakšić et al., 2023).

Para visualizarlo de manera otra manera, piensa en alguien que organiza su quincena para pagar tarjetas de crédito, servicios, renta y despensa, sin quedarse en números rojos. La persona debe equilibrar ingresos y egresos, decidiendo cuáles deudas liquidar por completo y cuáles sólo abonar. Este desafío, común en la vida diaria, es análogo a un problema de optimización en ingeniería, donde un algoritmo bio-inspirado podría ayudarnos a distribuir los recursos de manera ideal y sin sobresaltos.

Sistema eléctrico de potencia: el recorrido de la energía

Antes de adentrarnos en la aplicación de estos algoritmos, es necesario comprender qué es un sistema eléctrico de potencia. Este sistema se encarga de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica que usamos cada día. Desde las imponentes centrales de generación hasta las torres y postes que adornan nuestras carreteras y vecindarios, cada componente juega un papel vital en llevar la energía a nuestros hogares (n.d, 2023) (figura 1).

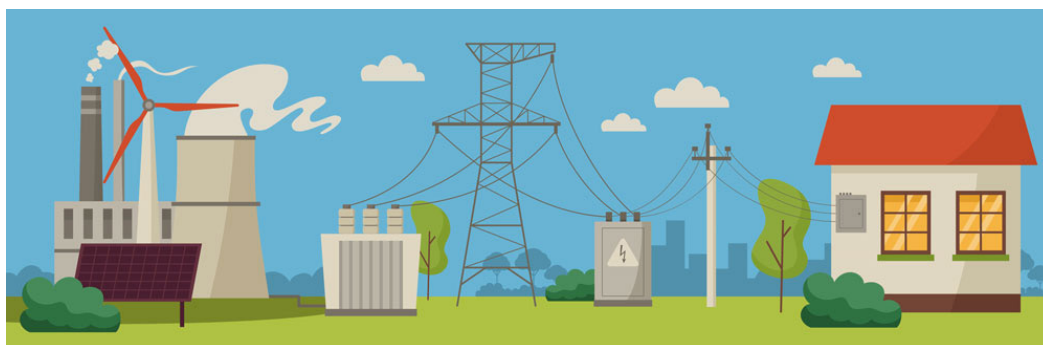


Figura 1. Representación de un sistema eléctrico de potencia que abarca la generación, transmisión y distribución de energía, ilustrando el recorrido de la energía desde su origen hasta nuestros hogares.

Crédito: Shutterstock, uso reservado.

Sin embargo, el trayecto de la energía no es sencillo: implica superar desafíos de ingeniería, como minimizar las pérdidas durante la transmisión, mantener la estabilidad del sistema ante el crecimiento de la demanda y manejar el costo variable del combustible. Cada día, operadores y especialistas deben resolver cálculos complejos para garantizar un funcionamiento óptimo, abriendo la puerta a la aplicación de algoritmos bio-inspirados.

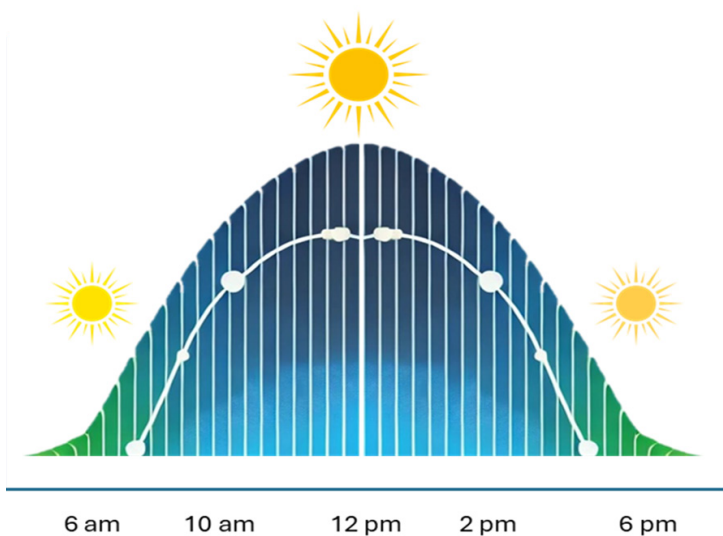


Figura 2. Trayectoria del sol a lo largo de un día, ilustrando la variación de la radiación solar.

Crédito: autoría propia.

Aplicación de algoritmos bio-inspirados en sistemas eléctricos de potencia

Con el crecimiento constante del consumo energético —desde hogares hasta grandes industrias—, la planificación para generar la energía necesaria se ha vuelto una tarea titánica. Se debe contemplar la volatilidad en los precios, las necesidades futuras y, cada vez más, la integración de fuentes de energía renovable. Estas últimas, como la solar, presentan el reto de la intermitencia: sus horas de producción dependen del sol, limitándose, por ejemplo, a un rango entre las 9:00 y 17:00 (Shaheen et al., 2019) (figura 2).

Ante este escenario, surge la necesidad de combinar fuentes para formar sistemas híbridos, donde la energía solar se complementa con, por ejemplo, la eólica, para asegurar un suministro constante (figura 3).



Figura 3. Ejemplo de sistema híbrido de generación que integra energía solar y eólica para satisfacer la demanda eléctrica.

Crédito. Shutterstock, uso reservado.

La optimización en este contexto se vuelve vital. Imagínate resolver el enigma de reducir las pérdidas en la transmisión o equilibrar la generación con la fluctuante demanda, todo mientras se manejan los costos de combustible. Aquí es donde los algoritmos bio-inspirados emergen como soluciones innovadoras. Estos algoritmos aprovechan la adaptabilidad y la eficiencia que la naturaleza ha perfeccionado durante millones de años (Ma et al., 2020; Ullah et al., 2020).

Existen diversas metodologías inspiradas en la naturaleza que ayudan a resolver problemas complejos de forma eficiente (Peraza-Vázquez et al., 2021 y 2024):

- **El algoritmo de enjambre de partículas (psó).** En este enfoque, cada “partícula” representa una posible solución, como una configuración del flujo eléctrico en la red. Estas partículas se desplazan por el espacio de soluciones, ajustando su posición según su experiencia

y la del grupo, tal como lo hacen las aves en una parvada. Este movimiento coordinado permite que el enjambre se acerque gradualmente a la mejor solución, ayudando a reducir las pérdidas en la transmisión o mejorar la distribución de la carga (Kennedy y Eberhart, 1995) (figura 4).



Figura 4. Imagen de una parvada de aves en vuelo, simbolizando la sincronía y dinamismo que dan nombre al algoritmo de enjambre de partículas.

Crédito. Shutterstock, uso reservado.



Figura 5. Comportamiento natural de las mariposas en su búsqueda de alimento y apareamiento, fuente de inspiración para algoritmos de optimización.

Crédito. Shutterstock, uso reservado.

• **El algoritmo de optimización de mariposas (BOA).** Inspirado en la búsqueda de alimento y el ritual de apareamiento de las mariposas, este algoritmo asigna a cada solución una “fragancia” que aumenta conforme se acerca a la óptima. Las soluciones se atraen entre sí a través de funciones matemáticas que simulan estos comportamientos naturales, lo que permite una exploración efectiva del espacio de búsqueda y lleva a configuraciones que minimizan las pérdidas energéticas en el sistema (Arora y Singh, 2019) (figura 5).

• **El algoritmo del chacal dorado (GO).** Basado en la caza cooperativa de estos animales, el algoritmo divide la búsqueda en tres etapas: primero, explora diversas soluciones de forma

aleatoria; luego, agrupa las mejores opciones; y finalmente, “ataca” o explota las soluciones más prometedoras. Este enfoque se utiliza para optimizar la generación eléctrica, reduciendo los costos de combustible (Chopra y Mohsin Ansari, 2022) (figura 6).

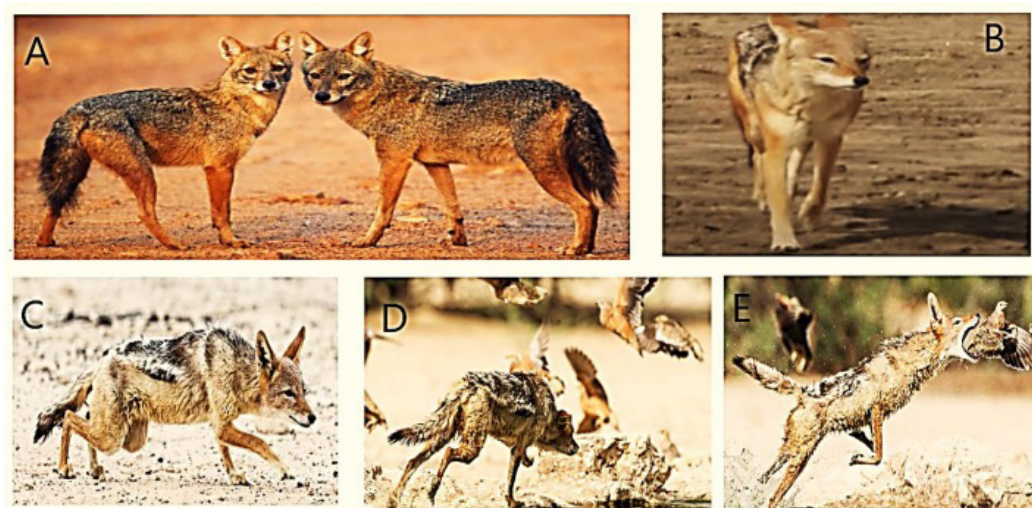


Figura 6. Serie de imágenes que ilustran la estrategia de caza cooperativa del chacal dorado (*Canis aureus*): A) Pareja en acción; B) Búsqueda de presas; C) Acecho y cercamiento; D-E) Abalanzamiento sobre la presa.

Crédito. Chopra y Mohsin Ansari, 2022.

Estos algoritmos no sólo han demostrado ser útiles para reducir pérdidas en la transmisión, disminuir costos de generación y optimizar el flujo eléctrico, sino que también se aplican en la optimización de redes eléctricas inteligentes, donde su integración en tiempo real puede mejorar la distribución y el consumo de energía (R. Wang et al., 2019). Ejemplos de su uso incluyen la reducción de pérdidas de potencia activa en sistemas de prueba de 30 buses (Zadehbagheri et al., 2023) y la mejora de la eficiencia en la distribución de energía en otros escenarios (Dora et al., 2023).

Innovación y sostenibilidad: el futuro de los sistemas energéticos

La fascinante convergencia entre la naturaleza y la tecnología nos muestra cómo los comportamientos observados en el reino animal y vegetal pueden traducirse en soluciones innovadoras para desafíos modernos. Los algoritmos bio-inspirados, basados en procesos tan variados como la caza, el apareamiento o la cooperación en grupo, han demostrado ser herramientas valiosas para optimizar sistemas eléctricos de potencia. Su aplicación no sólo permite minimizar pérdidas y reducir costos, sino que también abre la puerta a una gestión más sostenible y eficiente de los recursos energéticos.

En una sociedad que cada día demanda más eficiencia y sostenibilidad, la inspiración natural se erige como un faro de innovación. Sin embargo, es fundamental recordar que ningún algoritmo es la solución mágica para todos los desafíos; la continua investigación y el desarrollo de nuevos enfoques seguirán siendo esenciales para responder a las complejidades del mundo actual.

Referencias

- ❖ Arora, S., y Singh, S. (2019). Butterfly optimization algorithm: A novel approach for global optimization. *Soft Computing*, 23(3), 715–734. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3102-4>
- ❖ Chopra, N., y Mohsin Ansari, M. (2022). Golden jackal optimization: A novel nature-inspired optimizer for engineering applications. *Expert Systems with Applications*, 198, 116924. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116924>
- ❖ Dora, B. K., Rajan, A., Mallick, S., y Halder, S. (2023). Optimal Reactive Power Dispatch problem using exchange market based Butterfly Optimization Algorithm. *Applied Soft Computing*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110833>
- ❖ Jakšić, Z., Devi, S., Jakšić, O., y Guha, K. (2023). A comprehensive review of bio-inspired optimization algorithms including applications in microelectronics and nanophotonics. *Biomimetics*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/biomimetics8030278>
- ❖ Kennedy, J., y Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings*, 4. <https://doi.org/10.4018/ijmfmp.2015010104>
- ❖ Ma, R., Li, X., Gao, W., Lu, P., y Wang, T. (2020). Random-fuzzy chance-constrained programming optimal power flow of wind integrated power considering voltage stability. *IEEE Access*, 8. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3040382>
- ❖ Márquez Vera, M. A. (2023). Inteligencia de enjambre: De los sistemas naturales a los artificiales. *Revista Digital Universitaria*, 24(1). <https://doi.org/10.22201/cuaied.16076079e.2023.24.1.11>
- ❖ n.d. (2023, junio 30). Plataforma Nacional de Energía, Ambiente y Sociedad. <https://energia.conacyt.mx/planeas/electricidad/sistema-electrico-nacional>
- ❖ Peraza-Vázquez, H., Peña-Delgado, A., Ranjan, P., Barde, C., Choubey, A., y Morales-Cepeda, A. B. (2021). A Bio-Inspired Method for Mathematical Optimization



Inspired by Arachnida Salticidae. *Mathematics*, 10(1), 102. <https://doi.org/10.3390/math10010102>

- ❖ Peraza-Vázquez, H., Peña-Delgado, A., Merino-Treviño, M., Morales-Cepeda, A. B., y Sinha, N. (2024). A novel metaheuristic inspired by horned lizard defense tactics. *Artificial Intelligence Review*, 57(3). <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10653-7>
- ❖ Sastry, K., Goldberg, D., y Kendall, G. (s/f). Genetic algorithms. En *Search Methodologies* (pp. 97–125). Springer US. https://doi.org/10.1007/0-387-28356-0_4
- ❖ Shaheen, M. A. M., Hasanien, H. M., Mekhamer, S. F., y Talaat, H. E. A. (2019). Optimal power flow of power systems including distributed generation units using sunflower optimization algorithm. *IEEE Access*, 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2933489>
- ❖ Ullah, K., Ali, S., Khan, T. A., Khan, I., Jan, S., Shah, I. A., y Hafeez, G. (2020). An optimal energy optimization strategy for smart grid integrated with renewable energy sources and demand response programs. *Energies*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/en13215718>
- ❖ Wang, R., Li, Q., Zhang, B., y Wang, L. (2019). Distributed consensus-based algorithm for economic dispatch in a microgrid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(4). <https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2833108>
- ❖ Wang, Z., Younesi, A., Liu, M. V., Guo, G. C., y Anderson, C. L. (2023). AC optimal power flow in power systems with renewable energy integration: A review of formulations and case studies. *IEEE Access*, 11. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3314330>
- ❖ Zadehbagheri, M., Ildarabadi, R., y Javadian, A. M. (2023). Optimal power flow in the presence of HVDC lines along with optimal

placement of FACTS in order to power system stability improvement in different conditions: Technical and economic approach. *IEEE Access*, 11. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3283573>

