

# Inteligencia de enjambre: de los sistemas naturales a los artificiales

## *Swarm intelligence: from natural to artificial systems*

Marco Antonio Márquez Vera

### Resumen

La inteligencia artificial (IA) ha dejado de ser ciencia ficción, y ya es algo común en nuestra vida. Las distintas áreas de la IA imitan lo que ocurre en la naturaleza, un ejemplo es el comportamiento de diferentes animales gregarios, como las abejas o los lobos. El comportamiento de estas estructuras sociales se emplea para buscar soluciones a diferentes problemas. En este artículo se presentan algunos ejemplos de algoritmos que imitan el comportamiento de distintos animales y su aplicación en la vida diaria, en el marco de una disciplina que se conoce como inteligencia de enjambre.

**Palabras clave:** inteligencia artificial, inteligencia de enjambre, optimización, animales gregarios, algoritmos.

### CÓMO CITAR ESTE TEXTO

Márquez Vera, Marco Antonio. (2023, enero-febrero). Inteligencia de enjambre: de los sistemas naturales a los artificiales. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 24(1). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.1.11>

### Abstract

Artificial intelligence (AI) is no longer science fiction and is already commonplace in our lives. The different areas of the AI imitate what happens in nature, an example is the behavior of different gregarious animals, such as bees or wolves. The behavior of these social structures is used to find solutions to different problems. This article presents some examples of algorithms that imitate the behavior of different animals and their application in daily life, within the framework of a discipline known as swarm intelligence.

**Keywords:** artificial intelligence, swarm intelligence, optimization, gregarious animals, algorithms.



**Marco Antonio Márquez Vera**

*Universidad Politécnica de Pachuca*

Profesor Investigador Titular en Ingeniería y Maestría en Mecatrónica de la Universidad Politécnica de Pachuca. Ingeniero en Electrónica, maestro en Ciencias de Automatización y Control, y doctor en Ciencias de la Computación por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel I. Editor asociado en las revistas *International Journal of Robotics and Control Systems* y *Journal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika*. Sus principales temas de interés e investigación son el control de bioprocesos, automatización de sistemas mecatrónicos, aplicaciones de inteligencia artificial (especialmente de lógica difusa) en la ingeniería, y la programación de microcontroladores.

 [marquez@upp.edu.mx](mailto:marquez@upp.edu.mx)

 [orcid.org/0000-0002-2969-9084](https://orcid.org/0000-0002-2969-9084)

## Introducción

Podemos definir a la inteligencia artificial (IA) como una metáfora del mundo natural. Existen deferentes situaciones en la naturaleza que son copiadas dentro de un algoritmo para resolver diferentes problemas de la vida diaria. A estos algoritmos que imitan alguna cosa del mundo natural se les conoce como algoritmos bio-inspirados. Por ejemplo, se puede imitar la manera en que un águila mueve las piernas y garras para tomar una presa, y plasmar esos movimientos en un brazo robótico que es llevado por un dron, con el fin de recoger alguna carga (Han et al., 2009). Otro ejemplo son las redes neuronales que imitan la conexión entre neuronas de un cerebro, con esto se pueden reconocer objetos en imágenes o palabras dentro de audios (Kim et al., 2018).

Vamos a definir como algoritmos bio-miméticos a aquellos que resuelven problemas basándose en la imitación de algo en la naturaleza, pero de una forma más abstracta, no una copia fiel de algún comportamiento o movimiento. En este caso podemos hablar de los sistemas inmunes artificiales, que hacen una analogía entre los anticuerpos que combaten alguna infección, para luego llevar esa idea a la detección de fallas en algún proceso industrial. Así, una señal de falla, será algo similar a una enfermedad, y ahora, viendo la analogía descrita, se puede ver que anticuerpos combaten la enfermedad, lo que nos llevaría a saber qué tipo de falla hubo en la industria y hasta su

causa (Bayar et al., 2015). Un método reciente es el de autómatas celulares, los cuales emplean operaciones matemáticas para imitar un órgano biológico, y la información que entra es tratada como si fueran nutrientes, toxinas y hasta bacterias, al ir pasando a través de diferentes operadores matemáticos es como si el nutriente entrara al órgano (Delvalle-Arroyo et al., 2015).

Hay otro algoritmo bio-mimético llamado algoritmo genético (Yang, 2021), el cual forma parte de los algoritmos evolutivos. Estos algoritmos son una metáfora de la evolución de las especies. Permíteme explicarte este caso para que entiendas mejor qué es la inteligencia de enjambre.

Algunas cosas sonarán extravagantes, pero espero que me tengas paciencia, te explicaré: tienes algún problema a resolver, por ejemplo, qué pasos seguir para elaborar algún producto, o quizá con qué clientes comenzar a tratar para hacer crecer un negocio. También podría ser que buscas la mejor combinación de materiales para reducir gastos y mejorar la calidad. Todos estos problemas tienen diferentes condiciones o variables que debemos evaluar, y cada posible solución nos dará un diferente resultado, pero ¿cuál será la mejor opción?

Ahora, piensa en las diferentes posibles soluciones, cada una es una combinación de circunstancias o materiales, a estas soluciones les llamaremos individuos. Al evaluar cada solución propuesta —a cada individuo— seleccionamos las que

mejor resultado nos dieron y nos olvidamos de las que no cumplen nuestras expectativas, es decir, los individuos mejor capacitados sobreviven y los de más se extinguen. Continuemos, de entre las mejores soluciones hacemos una mezcla, sería como el tener una descendencia de los individuos mejor capacitados, a estas nuevas soluciones se les hacen algunos cambios fortuitos, lo podemos ver como algunas mutaciones en los genes de la siguiente generación. Volvemos a evaluar a esta nueva generación, descartamos los individuos más débiles y llegamos a otra generación, y luego a otra, hasta que alguno de los descendientes cumple con nuestro objetivo, esta será la mejor solución encontrada.

algoritmo se estanque en una solución que puede no ser la mejor.

Pero entonces, ¿qué es la inteligencia de enjambre? Te adelanto que este tipo de algoritmos son similares a los algoritmos genéticos descritos, y cada vez hay nuevas propuestas y combinaciones entre ellos. A través de este texto te presentaré algunas técnicas de optimización para que puedas comprender cómo las soluciones de la naturaleza son usadas para resolver varios de nuestros problemas como sociedad. Eso sí, esto es a penas un vistazo de las cosas que hace la gente de computación en el área de la inteligencia artificial.

## Los primeros pasos

Uno de los primeros algoritmos que imitan el comportamiento gregario de los animales es la optimización por enjambre de partículas. La idea es imitar cómo una parvada de aves buscan alimento (Figura 1). La ubicación espacial de cada ave es una posible solución a algún problema y la cantidad de comida que encuentra cada una es la evaluación de la posible solución propuesta (Obando-Paredes, 2017). Generalmente, se utiliza una función que mide la diferencia entre lo que buscamos y lo que aporta la solución, a esta diferencia la llamaremos *error*. La función que evalúa el error suele ser llamada función de costo o función objetivo, de este modo, si buscamos el mayor valor (maximización) o el más pequeño en el caso de medir el error (minimización), estamos hablando de optimización, te prometo que ya no usaré más tecnicismos oscuros.

¿Te sonó extravagante? Pues no es todo, déjame comentarte que a veces se ejecuta el algoritmo genético en diferentes computadoras, y después de varias generaciones, se intercambian individuos entre ellas, para simular la migración de especies, esto para enriquecer la población y evitar que el



**Figura 1.** Estorninos en Gretna. Fotografía tomada por Walter Baxter. Licencia Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 Generic.

Existen diversos métodos de optimización basados en la inteligencia de enjambres, uno muy usado es el algoritmo de murciélagos, donde la frecuencia del sonar que usa cada individuo le ayuda a buscar su comida, así los murciélagos que emplean la mejor frecuencia son los que se alimentan (Chaudhary y Banati, 2019), un método muy parecido es el algoritmo de delfines (Wu et al., 2016). Otro caso es el de un cardumen de peces, en este método, cada posible solución es un pez, su tamaño depende de lo bien que se haya evaluado la solución que representa cada uno, después los peces grandes se comen a los pequeños — las peores soluciones. Pero ocurre un problema, si la población de peces se reduce, las posibilidades de encontrar la mejor solución también baja, por lo que los peces sobrevivientes se reproducen dando lugar a nuevas soluciones a nuestro problema (Lobato y Steffen, 2014).

En la Tabla 1 mostrada por Valdez et al. (2014) se señalan los algoritmos bio-inspirados usados en optimización

desde 1965 hasta el año 2012, y explica que la adaptación de los parámetros usados en los algoritmos es importante para mejorar su desempeño y agilizar la obtención de la solución.

## Modificaciones en los algoritmos de enjambre

Espero esté quedando claro cómo funcionan estos algoritmos. A veces muchas soluciones parecen ser buenas, pero no es suficiente, la idea es buscar la mejor, la óptima. Al efecto de estancamiento con una solución que quizá no sea la mejor, se le conoce como quedar atrapados en un mínimo local, algo que también ocurre con algoritmos de optimización que emplean matemáticas para buscar una solución, estos métodos emplean el gradiente descendente, como si uno intentara bajar por una colina. Esta es una razón del porqué se busca alguna alteración en la población para evitar quedarnos en un mínimo local, como por ejemplo la mutación en los algoritmos genéticos o que los peces grandes tengan hijos (Figura 2).

En Turquía se han logrado grandes avances en el área de la inteligencia de enjambre, una de estas propuestas es la Colonia Artificial de Abejas (ABC, por sus siglas en inglés) (Kumar et al., 2016). Este proyecto funciona de la siguiente manera:

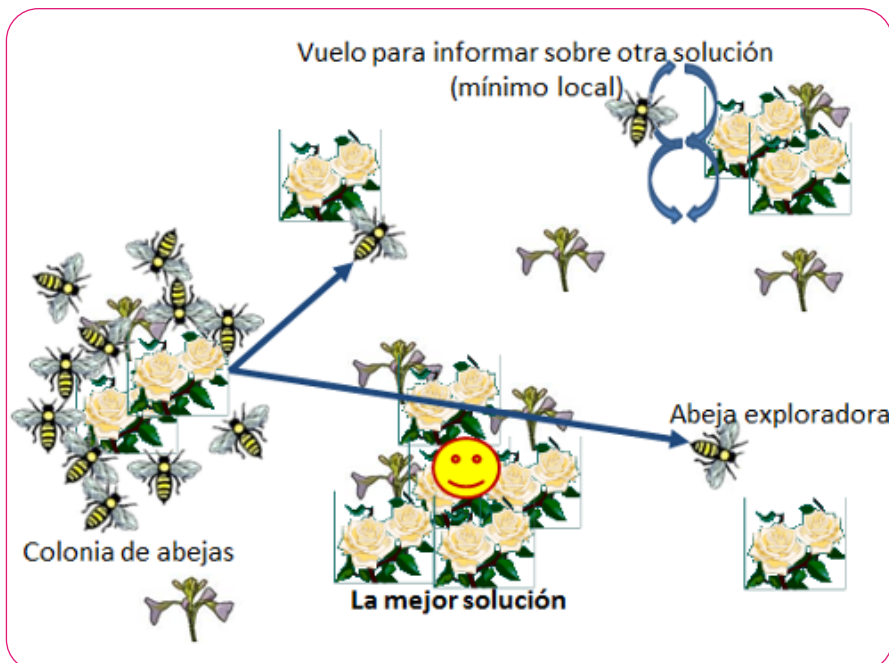
1. Hay una población inicial de abejas, donde la ubicación de cada una es una posible solución.
2. Se evalúa cada solución, la cual representa la cantidad de néctar en esa localidad.

**Figura 2.** *Siganus lineatus*, cardumen en la isla Lizard, Australia. Fotografía tomada por Andy A. Lewis. Licencia Creative Commons Atribución 3.0.



3. Las abejas regresan a la colmena, y en una danza indican a la colonia lo que encontraron.
4. La colmena se desplaza a donde se encontró más alimento, y de manera aleatoria, algunas abejas investigan en las cercanías de la nueva ubicación de la colonia.
5. Algunas abejas exploradoras salen a buscar nuevas fuentes de alimento lejos de la colmena, y su vuelo en forma de ocho, indica lo que han encontrado (Ver Figura 3).
6. Esta acción se realiza varias veces, desplazando a toda la colonia cada vez que una mejor ubicación es obtenida, si después de cierto número de iteraciones no se encuentra una mejor solución, el algoritmo se detiene.

**Figura 3.** Ejemplo de la colonia artificial de abejas, abejas por Emmanuel Boutet.



Pero el truco no termina ahí, a los algoritmos existentes se les han efectuado modificaciones, por ejemplo, a la colonia artificial se le agregó la condición de que a las abejas les fuera más fácil desplazarse a terrenos más bajos —donde el error es menor— que hacia arriba.

Otro algoritmo interesante, y que suele dar mejores resultados que la colonia artificial de abejas, es el algoritmo de luciérnagas (Yang, 2021), esto si la población de luciérnagas es adecuada, de lo contrario se cae en mínimos locales. Este algoritmo ubica de manera aleatoria a las luciérnagas, las cuales son atraídas por el brillo de las demás, este brillo depende de que tan buena sea la solución donde se encuentra la luciérnaga, y además, mientras más lejana está una luciérnaga, las demás la verán menos brillante. Como te has dado cuenta, se imita alguna característica del comportamiento de animales sociales.

Una crítica interesante es la que detonó el mal llamado algoritmo del ave del paraíso<sup>1</sup> (Moosavi y Bardsiri, 2017). La crítica comienza diciendo que alguien ve algo en el mundo natural y de la nada, se inventa un método de optimización basado en enjambres, como en el método de caza de una manada de lobos grises (Ileri et al., 2020). Ante esta situación, proponen un nuevo algoritmo que resolverá más rápido y de mejor modo algunos casos de estudio, por ejemplo la función Rastrigin, la cual asemeja a los cartones donde se vende el huevo.

<sup>1</sup> Hay que aclarar que el ave al que hace referencia el algoritmo es el *satin bowerbird* (pergolero satinado), el cual habita en Australia, mientras que el ave del paraíso vive en Indonesia.

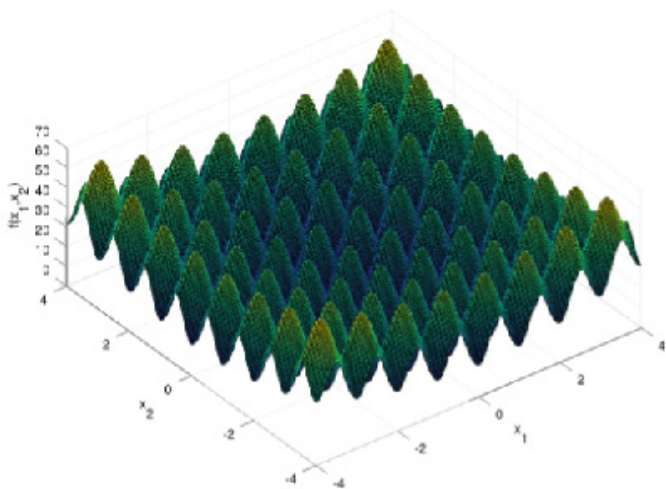


**Figura 4.** Satin bowerbird en Lamington National Park, Queensland, Australia. Fotografía tomada por Joseph C. Boone.

En el trabajo de Moosavi y Bardsiri (2017) se describe el comportamiento de las aves macho que hacen nidos para atraer a las hembras. En esta conducta, la ubicación del nido es importante, y es que mientras el macho va por material para su nido, otra ave, que resulta ser su vecino, daña el nidal. El método que mencionan es llamado *satin bowerbird optimization* y resulta mejor para los ejemplos que muestran que otros algoritmos que usan la inteligencia de enjambres.

**Figura 5.** Función Rastrigin usada para evaluar los algoritmos de optimización, creada por el autor usando el software libre Octave.

Actualmente, hay nuevas técnicas de inteligencia de enjambres, es fácil ubicarlas, ya que la mayoría



se titulan "Un nuevo método de optimización basado en tal o cual especie animal...". También han surgido algoritmos como el del pez eléctrico (Yilmaz y Sen, 2020) o el cardumen de atunes (Xie et al., 2021).

Pero existe otro algoritmo de inteligencia de enjambres que más bien se suele ocupar en el problema del agente de ventas. El problema a resolver es el de un vendedor que debe visitar diferentes ciudades, donde el peaje para ir de una ciudad en particular a otra es distinto, así como los tiempos de transporte, y lo que venderá en cada ciudad. El vendedor debe elegir en qué orden visitará las ciudades para gastar lo menos, vender lo más, y emplear el menor tiempo posible.

Para resolver este problema se tiene la optimización por colonia de hormigas, en la analogía, las hormigas avanzan por los mejores trayectos, y van dejando feromonas tras de sí, mientras que por los caminos menos transitados las feromonas se van volatilizando hasta desaparecer, finalmente las hormigas muestran el mejor trayecto para el vendedor (Mandloi y Bhatia, 2017).

## Conclusiones

La inteligencia artificial imita *algo* que ocurre en el mundo natural, en el caso de la inteligencia de enjambres, se programa el comportamiento de animales gregarios para así resolver algún problema, generalmente son casos de optimización, donde se busca reducir algún criterio empleado para describir lo malo que es una solución.

En la práctica, al comparar estos diferentes algoritmos se cuentan las iteraciones necesarias para llegar a una solución, el tiempo que tarda en obtenerse, la respuesta deseada y la variación entre los resultados, ya que al comenzar con una ubicación aleatoria de los individuos, los resultados obtenidos y las iteraciones necesarias no son siempre iguales usando un mismo algoritmo. También es importante el hacer modificaciones cuando el algoritmo muestra pocas variaciones alrededor de alguna posible solución para así evitar caer en un mínimo local. Incluso tú puedes notar algún comportamiento característico de alguna especie y proponer tu propio algoritmo con inteligencia de enjambres.

## Referencias

- ❖ Bayar, N., Darmoul, S., Hajri-Gabouj, S. y Pierreal, H. (2015). Fault detection, diagnosis and recovery using artificial immune systems: A review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 46(A), 43-57. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.08.006>
- ❖ Chaudhary, R. y Banati, H. (2019). Swarm bat algorithm with improved search (SBAIS). *Soft Computing*, 23, 11461-11491. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-03688-4>
- ❖ Delvalle-Arroyo, P.E., Fory-Aguirre, C.A. y Serna-Ramírez, J.M. (2015). Cellular automata: Control improvements and immunity in the simulation of propagative phenomena. *Sistemas y Telemática*, 13(35), 9-22.
- ❖ Han, J.H., Lee, J.S. y Kim, D.K. (2009). Bio-inspired flapping UAV design: A university perspective. En las memorias del SPIE, 7295, *Health Monitoring of Structural and Biological Systems*, 729511. <https://doi.org/10.1117/12.815337>
- ❖ Ileri, E., Karaolgan, A. D. y Akpınar, S. (2020). Optimizing cetane improver concentration in biodiesel-diesel blend via grey wolf optimizer algorithm. *Fuel*, 273, 117784. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117784>
- ❖ Kim, H., Kim, J. y Jung H. (2018). Convolutional neural network based image processing system. *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, 16(3), 160-165. <https://doi.org/10.6109/jicce.2018.16.3.160>
- ❖ Kumar, A., Kumar, D. y Jarial, S.K. (2016). A comparative analysis of selection schemes in the artificial bee colony algorithm. *Computación y Sistemas*, 20(1), 55-66. <https://doi.org/10.13053/cys-20-1-2228>
- ❖ Lobato, F.S. y Steffen, V. (2014). Fish swarm optimization algorithm applied to engineering system design. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 11(1), 143-156. <https://doi.org/10.1590/S1679-78252014000100009>
- ❖ Mandloi, M. y Bhatia, V. (2017). Capítulo 12 – Symbol detection in multiple antenna wireless system via ant colony optimization. *Handbook of Neural Computation*, Academic Press, 225-237. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811318-9.00012-0>
- ❖ Moosavi, S. H. y Bardsiri, V. K. (2017). Satin bowerbird optimizer: A new optimization algorithm to optimize ANFIS for software development effort estimation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 60, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.01.006>



- ❖ Obando-Paredes, E.D. (2017). Algoritmos genéticos y PSO aplicados a un problema de generación distribuida. *Scientia et Technica*, 22(1), 15-23.
- ❖ Valdez F., Melin P., Castillo O. (2014). A survey on nature-inspired optimization algorithms with fuzzy logic for dynamic parameter adaptation. *Expert Systems with Applications*, 41(14), 6459-6466. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.04.015>
- ❖ Wu, T.Q., Yao, M. y Yang, J.H. (2016). Dolphin swarm algorithm. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 17, 717-729. <https://doi.org/10.1631/FITEE.1500287>
- ❖ Xie, L., Han, T., Zhou, H., Zhang, Z. R., Han, B. y Tang, A. (2021). Tuna swarm optimization: A novel swarm-based metaheuristic algorithm for global optimization. *Artificial Intelligence and Machine Learning-Driven Decision-Making*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/9210050>
- ❖ Yang, X.S. (2021). Capítulo 9. Firefly algorithms. *Nature-Inspired Optimization Algorithms*. 2<sup>da</sup> ed., Academic Press. 123-139.
- ❖ Yilmaz, S. y Sen, S. (2020). Electric fish optimization: a new heuristic algorithm inspired by electrolocation. *Neural Computing and Applications*, 32, 11543-11578. <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04641-8>