

## Optimización de las decisiones de alimentación en empresas de producción de Dorada: Aplicación de técnicas multicriterio y algoritmos genéticos.

*Manuel Luna, Ignacio Llorente y Ángel Cobo*

### Abstract

The company's economic performance is, very often, taken into account as the most important criterion for the determination of feeding strategies in aquaculture farms. However, decision-making in aquaculture is becoming increasingly complex due to the need for producers to consider different aspects, such as product quality or the environmental sustainability, which are sometimes opposing and difficult to integrate. In addition, there is currently a wide range of feeds in the market, with specific values for each of these aspects and a very differentiated performance. This implies that feeding strategies should not be restricted merely to an election for the whole period, but it is necessary to allow producers to determine the best sequence of feeds to be used throughout the fattening period. For these reasons and many others, there is an increasing need for expert systems applied to decision-making processes that maximize the efficiency of the operational process. In this context, the present work explains the development of a novel methodology, based on the integration of multiple-criteria techniques and genetic algorithms, which allows decision-makers to align its production objectives to their preferences in multiple aspects and thus determine the best feeding strategy to be used throughout the fattening period. The results obtained show the utility of this methodology for integrating numerous objectives and prove that in some cases a sequence of different feeds improves the company's results.

### Resumen

El aspecto económico es, muy a menudo, el más importante a la hora de determinar la estrategia de alimentación más adecuada en las empresas de acuicultura. Sin embargo, el proceso de toma de decisiones se está volviendo cada vez más complejo debido a la necesidad de integrar diferentes aspectos, como la calidad del producto o la sostenibilidad medioambiental, que incluso pueden llegar a ser opuestos entre sí. Además, actualmente existe una gran variedad de piensos en el mercado, con valores específicos para cada uno de esos aspectos y un rendimiento muy diferenciado. Esto implica que las estrategias de alimentación no deben limitarse simplemente a una elección de pienso estática, sino que es necesario permitir que los productores determinen la mejor secuencia de piensos que se utilizarán durante todo el proceso de engorde. De esta forma, en la actualidad existe una creciente necesidad de sistemas expertos aplicados a los procesos de toma de decisiones que maximicen la eficiencia de los procesos operativos. En este sentido, este trabajo muestra el desarrollo de una metodología novedosa, basada en la integración de técnicas multi-criterio y algoritmos genéticos, que permite a los decisores alinear sus objetivos de producción con sus preferencias en múltiples aspectos y así determinar la mejor estrategia de alimentación. Los resultados obtenidos permiten observar la utilidad de esta metodología para integrar numerosos objetivos y demuestran que, en algunos casos, una secuencia de diferentes piensos puede mejorar los resultados de la empresa.

### Justificación

A lo largo de los últimos años, los patrones de producción y consumo en acuicultura han cambiado. Hoy en día, la industria está en pleno crecimiento con la producción intensiva como método más utilizado, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías. Sin embargo, esto también ha aumentado la exigencia y la dificultad a la que se enfrentan los productores. En este sentido la competencia del sector es cada vez más alta y los productores deben responder a las demandas de terceros, no solo en términos de rentabilidad, sino también en términos de responsabilidad ambiental o calidad de los productos. Todo esto ha llevado al incremento de la necesidad de técnicas de optimización, aplicadas a los procesos de toma de decisiones para maximizar su eficiencia, y sistemas expertos que permitan la generalización de estos métodos. En este caso, las técnicas aplicadas se centran en la mejora de la eficiencia de las estrategias de alimentación, las cuales determinan el crecimiento de los peces y gran parte de los costes operativos, pero también la calidad del producto y es responsable del mayor impacto de las granjas en el medio ambiente, permitiendo integrar múltiples objetivos y realizar una planificación variable de los piensos.

### Material y métodos

Entre los piensos para el engorde de dorada, existen diferencias notables en términos de precios, tasas de engorde estimadas y composición nutricional. Además, la elección del alimento más adecuado puede estar condicionada por factores externos. Para permitir seleccionar la mejor estrategia de alimentación se han definido 3 grupos principales y 9 criterios (Fig. 1) en relación a dichas características (Luna et al., 2018).

Para poder definir el objetivo a partir de las preferencias de los productores sobre estos criterios, se ha desarrollado una metodología que en primer lugar aplica la técnica AHP (Saaty, 1980), que compara de dos en dos los grados de importancia de cada criterio y los transforma en un peso final para cada uno. En segundo lugar, se define la función objetivo con el método TOPSIS (Hwang and yoon, 1981) que calcula la cercanía de cada alternativa a la solución ideal para el productor.

Por otro lado, para incrementar la eficiencia de estas estrategias se valora la posibilidad de adoptar una estrategia con un pienso fijo o determinar la mejor secuencia de piensos que se utilizarán durante el proceso de engorde. Con este objetivo, el proceso continúa con la generación de un conjunto aleatorio de estrategias de alimentación, la estimación de su cercanía a la alternativa ideal con la función objetivo y un proceso,

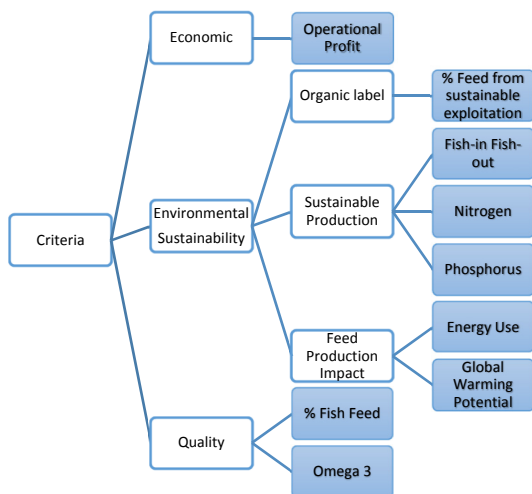


Fig. 1: Criterios de selección de pienso mediante la aplicación de Algoritmos Genéticos, que tratará de evolucionar esas alternativas de forma secuencial hasta encontrar una solución cercana al óptimo.

Criteria	Escenario 1	Escenario 2
<b>Economic Criteria</b>	<b>81.8%</b>	<b>8.3%</b>
Profit	81.8%	8.3%
<b>Environmental Criteria</b>	<b>9.1%</b>	<b>75.0%</b>
% Organic Feed	0.3%	48.2%
Fish-in Fish-out Ratio	3.2%	5.4%
Total Nitrogen	1.0%	5.4%
Total Phosphorus	1.0%	5.4%
Energy Use	1.8%	5.4%
Global Warming Potential	1.8%	5.4%
<b>Quality Criteria</b>	<b>9.1%</b>	<b>16.7%</b>
% Fish origin feed	0.9%	1.9%
Omega 3	8.2%	14.8%

Tabla. 1: Importancia en el objetivo

**Resultados y discusión**

En este apartado se han considerado dos escenarios teóricos de decisión (Tabla 1). El primero presenta una visión centrada en la minimización de los costes de alimentación mientras que el segundo pone su foco en los criterios indicados para a la obtención de una etiqueta ecológica o de calidad. Estos escenarios se han aplicado para un proceso de toma de decisiones de alimentación base, en una granja de dorada en el Mediterráneo durante un año y con la posibilidad de utilizar tres piensos disponibles en el mercado.

Los resultados obtenidos confirman que la metodología desarrollada es útil cuando se establece un objetivo de producción en un entorno complejo donde intervienen criterios diversos y en ocasiones conflictivos, ya que ha permitido seleccionar la mejor estrategia de alimentación. Además, la integración de este objetivo y el algoritmo genético han funcionado a la hora de optimizar las estrategias de alimentación (Fig. 2), evolucionando desde la primera generación y encontrando una buena solución en un tiempo adecuado.

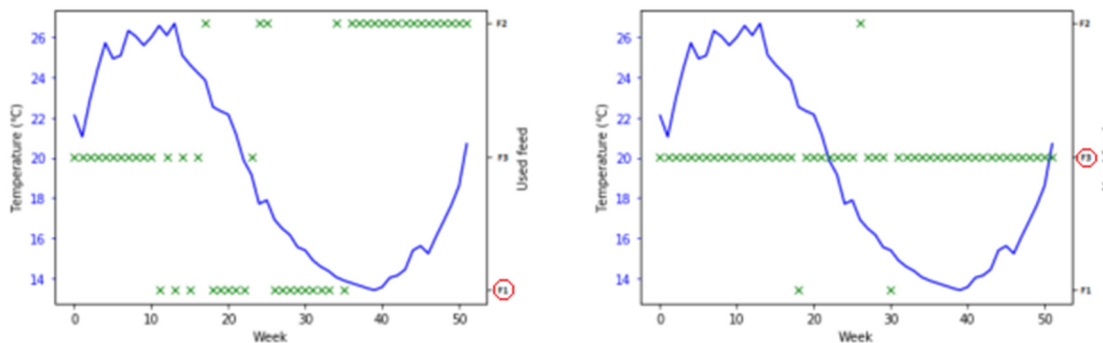


Fig. 2: Selección variable de pienso según temperatura (Marcada selección en caso de pienso único).

**Bibliografía:**

1. Hwang, C.L. y Yoon, K. (1981) Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer-Verlag, New York. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
  2. Luna, M., Llorente, I. y Cobo, A., 2019. Integration of environmental sustainability and product quality criteria in the decision-making process for feeding strategies in seabream aquaculture companies. Journal of Cleaner Production. Volume 217, 691-701. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.248>
  3. Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York
- Esta investigación se realizó en el marco del proyecto MedAID, que ha recibido financiación del Programa de Investigación e Innovación - Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo n.º 727315 (<http://www.medaaid-h2020.eu/>)