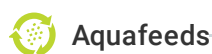




ALLIANCE™

[.https://www.globalseafood.org](https://www.globalseafood.org)

# Uso de herramientas multi-criterios de apoyo a la toma de decisiones para diseñar alimentos acuícolas ambientalmente eficientes

11 October 2021

By Ronan Cooney , Alex H.L. Wan, Ph.D. , Fearghal O'Donncha, Ph.D. and Eoghan Clifford, Ph.D.

## Estudio presenta un marco conceptual para mejorar el diseño de alimentos acuícolas

Continúan esfuerzos significativos para abastecer ingredientes alternativos de menor costo para los alimentos acuícolas. La investigación se ha centrado en la sustitución de la harina de pescado por otros ingredientes, como subproductos vegetales, algas (micro y macro), insectos, subproductos de animales terrestres y proteínas unicelulares (incluidas bacterias y levaduras).

Las fuentes de proteínas alternativas deben cumplir una serie de criterios para que se consideren comercialmente viables. Estos criterios incluyen (i) nutricionalmente adecuados (por ejemplo, digerible y no perjudica significativamente el rendimiento del crecimiento de los peces o el estado fisiológico y de salud); (ii) apetecibles a los peces; (iii) escalables a niveles comerciales; (iv) físicamente estables; (v) fáciles de manipular y almacenar; (vi) fundamentalmente, tener menores impactos ambientales y



Este estudio evalúa la optimización del diseño de alimentos acuícolas a través de enfoques innovadores que incluyen el aprendizaje automático y el análisis de criterios múltiples. Foto de Darryl Jory.

del ciclo de vida. Por último, cualquier alimento acuícola debe cumplir con las realidades comerciales, es decir, la rentabilidad, para que los fabricantes de alimentos lo utilicen con éxito. Dados los complejos criterios que deben cumplir los estos alimentos, existe una brecha en las herramientas disponibles para la formulación de alimentos acuícolas que equilibran la eficiencia económica y medioambiental.

Este artículo – adaptado y resumido de la **publicación original** (<https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100276>) (Cooney, R. et al. 2021. Designing environmentally efficient aquafeeds through the use of multi-criteria decision support tools. Current Opinion in Environmental Science & Health, Vol. 23) – propone herramientas multi-criterios de apoyo a la toma de decisiones que aprovecha técnicas de aprendizaje automático [machine-learning, ML, el estudio de algoritmos informáticos que pueden mejorar automáticamente a través de la experiencia y mediante el uso de datos. Los algoritmos ML construyen un modelo basado en datos de muestra, conocidos como “datos de entrenamiento,” para hacer predicciones o decisiones sin estar programados explícitamente para hacerlo] y presentan un marco conceptual para interrogar diferentes conjuntos de datos para identificar formulaciones de alimentos más eficientes más rápidamente.

## Hacia alimentos sostenibles: sustitución de los enfoques de prueba y error

El modelado computacional y estadístico avanzado a través del aprendizaje automático se ha aplicado a áreas como la medicina, las energías renovables y el tratamiento de aguas residuales para optimizar el diseño u operación de diversos productos y procesos. Este paso no excluye la necesidad de una validación experimental in vivo o in vitro, pero permite un enfoque más específico para la selección inicial de las características del producto. Esto ha sido demostrado por los esfuerzos durante la pandemia de COVID-19, donde el papel de los modelos de aprendizaje automático condujo al rápido desarrollo de nuevas vacunas. Se utilizaron modelos de aprendizaje automático para investigar las vías de infección viral, modelar las respuestas de las biomoléculas y ayudar en la identificación de patrones de respuesta favorables dentro de los datos de entrenamiento.

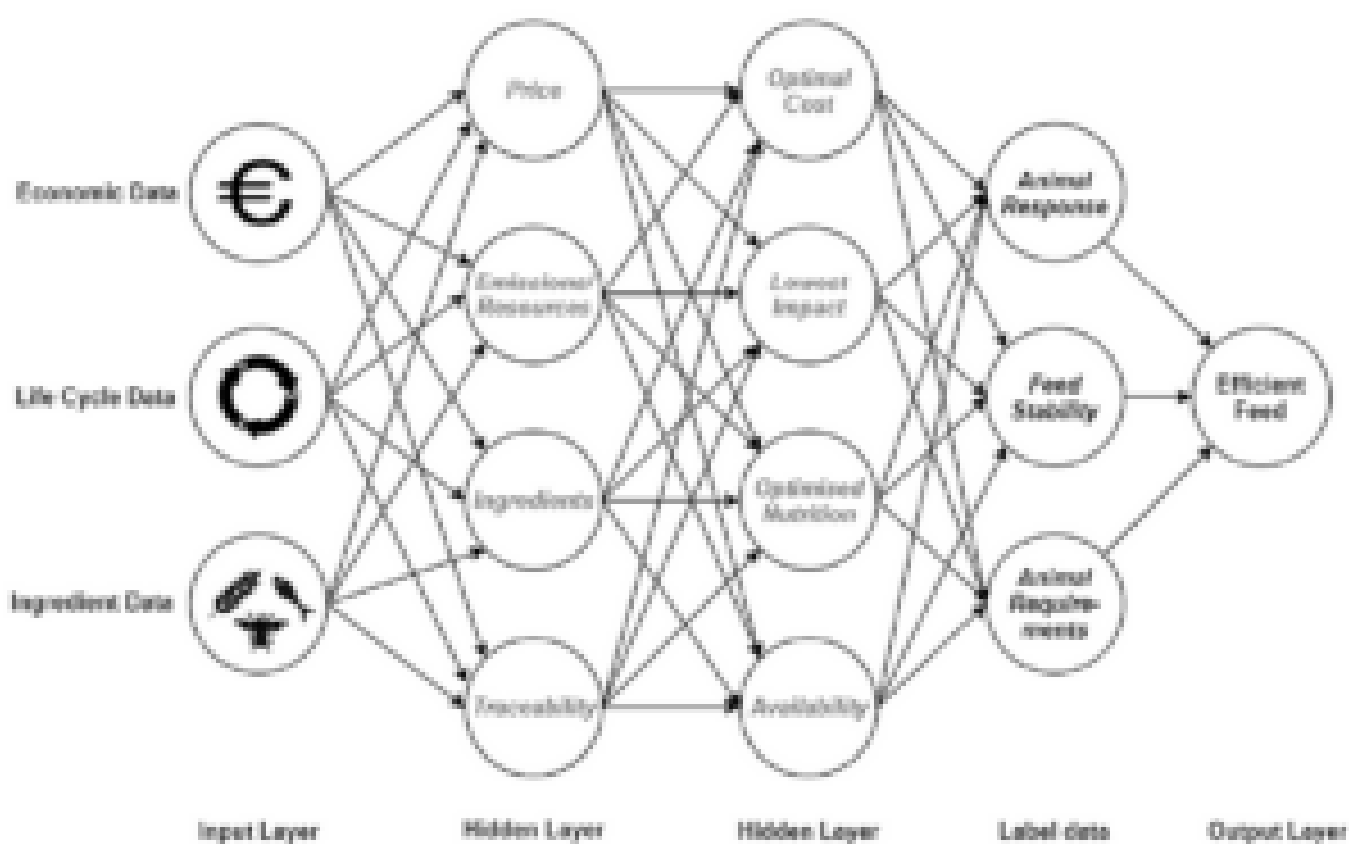


Fig. 1: Un ejemplo propuesto de una red neuronal que interroga factores económicos, ambientales y nutricionales para conocer la composición de alimentos eficientes. El nodo Label Data tiene como objetivo capturar datos de uso a nivel de animales y sitios.

Las capacidades de aprendizaje automático se han utilizado anteriormente en la acuicultura para la detección de enfermedades, el monitoreo de la calidad del agua, la gestión en el sitio, la selección de la ubicación de la granja, la evaluación de riesgos y en los regímenes de alimentación. Las aplicaciones de aprendizaje automático en la formulación de alimentos acuícolas (y de hecho en otros sectores

alimentarios que dependen de los alimentos complementarios) pueden proporcionar un puente entre disciplinas como la ecología industrial, la biología, la ingeniería ambiental y la nutrición para llegar a alimentos acuícolas precisos.

En un ejemplo conceptual, el uso de redes neuronales [una red artificial, compuesta de neuronas o nodos artificiales, que puede usarse para modelado predictivo, control adaptativo y aplicaciones donde se pueden entrenar a través de un conjunto de datos. El autoaprendizaje resultante de la experiencia puede ocurrir dentro de las redes, que pueden derivar conclusiones de un conjunto de información complejo y aparentemente no relacionado] podría permitir el uso de metadatos y literatura para ayudar a diseñar opciones para una formulación de alimentos de menor costo, específicos de cada especie, utilizando ingredientes de bajo impacto ambiental, al tiempo que se acorta la cadena de suministro y se optimiza el crecimiento de los peces (Fig. 1). Dicha herramienta podría aprovechar grandes conjuntos de datos para identificar patrones y generar nuevas formulaciones que satisfagan las necesidades específicas de los peces. Este enfoque multi-criterio se ha investigado en la literatura utilizando programación lineal y se ha denominado formulación multi-objetivo.

El uso del aprendizaje automático como parte de esta formulación permite un enfoque integral de estos métodos establecidos y puede presentar nuevas posibilidades con respecto a la automatización y la eficiencia del proceso, al tiempo que se alinea con las políticas emergentes. Mediante la iteración de nuevos prototipos de productos a través de experimentos de prueba y error “virtuales” que también simulan la respuesta de los peces, el paradigma de desarrollo de alimentos puede revolucionarse. Las tendencias emergentes de aprendizaje automático explicable se pueden utilizar además para interrogar conexiones significativas dentro de las formulaciones de alimentos y la respuesta de los peces asociada para una mejor comprensión.

## Disponibilidad de datos

Los vínculos entre los ingredientes de alimentos acuícolas, el perfil nutricional y el impacto ambiental se han incluido en varios estudios y bases de datos (<https://www.feedtables.com/>), importantes sobre ingredientes de alimentos balanceados. En lugar de datos experimentales, se pueden utilizar conjuntos de datos públicos y privados para desarrollar modelos de aprendizaje automático. Por ejemplo, los conjuntos de datos nutricionales y los impactos esperados en los animales de granja pueden obtenerse de bases de datos de información de alimentos de acceso abierto en línea como Feedipedia (<https://feedipedia.org/>), IAFFD (<https://iaffd.com/>), y otras. Estos sistemas recopilan datos de alimentos y actúan como repositorios de información sobre ingredientes de alimentos establecidos, históricos y emergentes. Incluyen estadísticas sobre variabilidad, que se pueden utilizar para modelos predictivos o análisis de incertidumbre.

Se pueden integrar varias bases de datos de ciclo de vida con los conjuntos de datos nutricionales antes mencionados, y los datos económicos sobre los ingredientes de los alimentos pueden obtenerse de bases de datos en línea, índices de precios o mediante asociaciones de la industria. Estas asociaciones industriales pueden ser difíciles de formar debido a los derechos de propiedad intelectual y las sensibilidades comerciales; sin embargo, el conocimiento que generan puede hacer avanzar significativamente los temas y abrir nuevas vías de investigación. Algunos ejemplos son la participación de la empresa de alimentos acuícolas Sparos a través del proyecto GAIN (<https://www.unive.it/pag/33897/>), y AllerAqua que es parte de los proyectos FutureEUAqua (<https://futureeuqua.eu/index.php/project/partners/>) y iFishIENCI (<http://ifishienci.eu/partners/>).

## Del alimento a la granja

Las emisiones de nutrientes (por ejemplo, materia fecal y amoníaco) de los animales acuáticos cultivados de los alimentos modelados se pueden aproximar dentro de un modelo de aprendizaje automático. Se han utilizado modelos nutricionales en la aproximación de los desechos metabólicos de los peces en la evaluación del ciclo de vida [LCA, una metodología para evaluar los impactos ambientales asociados con todas las etapas del ciclo de vida de un producto, proceso o servicio comercial] de la acuicultura de peces. La vinculación entre formulación y uso puede ampliar aún más el alcance de los modelos de aprendizaje automático en la acuicultura, lo que permite a los desarrolladores estimar los impactos a lo largo de la cadena de producción (materia prima, producción y uso). Estos datos también se pueden alinear con datos de estudios a largo plazo de descargas al agua de instalaciones acuícolas. Esto se basa en las tendencias emergentes en el aprendizaje automático para combinar datos reales y sintéticos o generados para mejorar el entrenamiento de modelos.

La extracción de datos relevantes para cada uno de los ingredientes de los conjuntos de datos nutricionales, económicos y del ciclo de vida puede permitir el primer paso en el desarrollo de una herramienta de diseño de alimentos más amplia. El siguiente paso consiste en transformar los datos en una forma que se pueda usar en algoritmos específicos de aprendizaje automático.

El uso de varios enfoques de programación computacional puede descubrir patrones ocultos en conjuntos de datos ambientales, económicos y nutricionales complejos que se pueden usar para generar formulaciones de alimentos eficientes más rápidamente. Esto puede mejorar la eficiencia de los enfoques de prueba y error (que debe decirse que están respaldados por una experiencia significativa) y, a su vez, generar alimentos más optimizados que se pueden probar e integrar en cadenas de suministro de alimentos sostenibles. Este cambio de un enfoque centrado en el modelo a uno centrado en los datos significa que no hay restricciones sobre el tipo de datos que se deben considerar y permite interrogar las relaciones no lineales.

## Otras consideraciones

El desarrollo de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones multi-criterio es un paso para optimizar los costos económicos, mantener el valor nutricional y la digestibilidad de los nutrientes mientras se minimizan los impactos ambientales (Fig. 2). La evaluación rápida de estos factores de manera simulada puede permitir a los fabricantes e investigadores de alimentos interrumpir el proceso de desarrollo de alimentos, optimizar su diseño antes de la etapa de prueba, y enfocarse en el diseño de alimentos con prioridades específicas en mente.

Esta herramienta debe basarse en el pensamiento del ciclo de vida. Como tal, es necesario expandir los límites de la herramienta y conectarla con otras aplicaciones y herramientas basadas en aprendizaje automático propuestas anteriormente. Tal expansión permitiría contabilizar los impactos directos, indirectos e inducidos que la producción y el uso de alimentos balanceados pueden tener en el ciclo de vida de los productos de la acuicultura. Hasta ahora, la formulación eficiente de alimentos acuícolas solo puede aumentar la sostenibilidad de la acuicultura.

Un manejo deficiente del alimento a nivel de la granja puede resultar en deficiencias nutricionales en las poblaciones cultivadas y/o una carga excesiva de nutrientes en el sistema de agua. Esto puede introducir o exacerbar la propagación de enfermedades dentro de la población de peces cultivados, lo que aumenta las necesidades de alimentación y las cargas ambientales (por ejemplo, debido a tratamientos químicos para mejorar los problemas de salud, procesos de eutrofización por deposición excesiva de alimento). Estos datos a nivel de granja se pueden conectar con herramientas de aprendizaje automático explicables que permiten a las partes interesadas interrogar tanto las formulaciones de alimentos generadas como las razones subyacentes que hacen que estas

Fig. 2: Un esquema conceptual para el desarrollo de una herramienta multi-criterios de sostenibilidad para la producción y formulación de alimentos acuícolas.

formulaciones sean la elección óptima y las prácticas de gestión óptimas.

Una versión finalizada o comercial del enfoque discutido aquí podría incluir el uso de blockchain para aumentar la rastreabilidad y la inocuidad a través de la cadena de suministro mientras se satisfacen las demandas del consumidor o del mercado. Blockchain se ha convertido en los últimos años en un

medio popular para garantizar la disponibilidad de ingredientes y productos. Su inclusión y uso en alimentos acuícolas puede ayudar a reforzar la confianza y las percepciones de los consumidores frente a la publicidad negativa, como la que rodea a las cadenas de suministro de harina de pescado.

Fig. 3: El desarrollo y el “diseño” de las composiciones de alimentos pueden verse interrumpidos por enfoques innovadores que optimizan simultáneamente, mediante un análisis multi-criterio, la selección de ingredientes mediante el aprovechamiento de los conjuntos de datos económicos, nutricionales, de costos del ciclo de vida y medio-ambientales. Adaptado del original.

Con más productos alimenticios y sistemas de producción que utilizan blockchain como un medio para aumentar la rastreabilidad, su inclusión en la cadena de producción de alimentos acuícolas puede posicionar a la acuicultura como un excelente ejemplo de un sistema de producción de alimentos rastreable y eficiente en el uso de recursos. Esta combinación de alimento eficiente y rastreabilidad avanzada del producto final cultivado podría atraer a los consumidores conscientes del medio ambiente y, al mismo tiempo, cumplir con los requisitos de la legislación emergente de seguridad alimentaria y rastreabilidad, como el Reglamento de la UE [EU Regulation 2018/775](https://www.legislation.gov.uk/eur/2018/775/article/1) (<https://www.legislation.gov.uk/eur/2018/775/article/1>) y la estrategia [Farm to Fork](https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en) ([https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy\\_en](https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en)), de la Unión Europea.

La vinculación de la LCA, los datos nutricionales, los procesos de producción, la rastreabilidad y la economía tiene un potencial significativo como innovación disruptiva para mejorar la sostenibilidad de los peces y camarones cultivados. La adopción de un enfoque centrado en datos en lugar de centrado en modelos introduce un cambio de paradigma en el que los grandes volúmenes de datos (de

entrenamiento) disponibles permiten que un modelo de aprendizaje automático aprenda las relaciones y asignaciones pertinentes (no lineales) entre entradas y salidas dadas. Este enfoque tiene enormes ventajas en términos de simplificar las implementaciones y permitir que los modelos se apliquen a una amplia variedad de formulaciones de alimentos (ya que solo cambian los datos).

Los marcos semi-automatizados de aprendizaje automático como Lale (<https://arxiv.org/abs/2007.01977>), podrían usarse para simplificar el desarrollo de modelos. Al utilizar un enfoque centrado en los datos, no hay restricciones a los datos que se pueden considerar. La aplicación del aprendizaje automático a las preguntas planteadas por la formulación de alimentos sostenibles abre el campo a una tecnología que ha logrado enormes avances en múltiples industrias durante la última década.

## Perspectivas

Este artículo describe y presenta los beneficios de la interconexión de conjuntos de datos de impacto económico, nutricional y ambiental para desarrollar un marco innovador para el diseño de fórmulas de alimentos para animales acuáticos de granja utilizando el aprendizaje automático. Existen numerosos conjuntos de datos y bases de datos disponibles para desarrollar la estructura y las herramientas necesarias para implementar dicho sistema. Los beneficios que ofrece esta vía de investigación pueden aumentar la sostenibilidad de la acuicultura y fortalecer su papel en la alimentación del mundo.

## Authors

---



### RONAN COONEY

Corresponding author and Ph.D. candidate  
School of Engineering, National University of Ireland Galway, H91 HX31, Ireland; and  
Ryan Institute, National University of Ireland Galway, H91 TK33, Ireland

[rcooney@nuigalway.ie](mailto:rcooney@nuigalway.ie) (<mailto:rcooney@nuigalway.ie>).



### ALEX H.L. WAN, PH.D.

Ryan Institute, National University of Ireland Galway, H91 TK33, Ireland; and  
Aquaculture and Nutrition Research Group (ANRU), Carna Research Station, National University of  
Ireland Galway, Carna, Co. Galway, H91 V8Y1, Ireland





**FEARGHAL O'DONNCHA, PH.D.**

IBM Research Europe – Dublin, Damastown Ind. Park Mulhuddart, Dublin 15, Ireland



**EOGHAN CLIFFORD, PH.D.**

School of Engineering, National University of Ireland Galway, H91 HX31, Ireland; and  
Ryan Institute, National University of Ireland Galway, H91 TK33, Ireland

Copyright © 2021 Global Seafood Alliance

All rights reserved.