



SMARTBITE

INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA

TECNOLOGÍAS 4.0 PARA EL DESARROLLO DE MODELOS MATEMÁTICOS QUE PERMITAN MEJORAR LA PREDICCIÓN DEL APETITO EN EL PROCESO DE ALIMENTACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ACUÍCOLA

Este informe ha sido elaborado por la Asociación Empresarial de Investigación Centro Tecnológico Naval y del Mar gracias al Convenio suscrito con el Instituto de Fomento de la Región de Murcia con el apoyo del fondo FEDER.



Autores: M^a Ángeles García, Paula Gómez, Ana Juan, Hamid Errachdi, Rosa Martínez e Ivan Felis

Más info: www.ctnaval.com



**Fondo Europeo de
Desarrollo Regional**

**"Una manera de
hacer Europa"**

© CTN, 2021

Todos los derechos están reservados. Se autoriza la reproducción total o parcial de este informe con fines educacionales, divulgativos y no comerciales citando la fuente. La reproducción para otros fines está expresamente prohibida sin el permiso de los propietarios del copyright.

1. Introducción	4
2. Metodología.....	5
3. Sustainable Blue Economy.....	8
4. Estado del arte.....	8
4.1. La transformación digital en la acuicultura.....	9
4.2. Sistemas IoT para granjas de acuicultura off-shore	10
4.3. Modelos para la predicción del apetito para el diseño de estrategias de alimentación en acuicultura	13
4.4 Nivel de innovación para el sector	15
5. Tendencias.....	16
5.1. Literatura científica.....	16
5.1.1. Análisis de tendencias en la literatura.....	36
5.2. Proyectos	43
5.2.1. Análisis gráfico de la financiación	50
6. Bibliografía.....	52

1. Introducción

Este informe, elaborado por el equipo del Centro Tecnológico Naval y del Mar, tiene como finalidad ofrecer al tejido empresarial una mejora en el conocimiento del entorno, que permita detectar tendencias y desarrollar estrategias adecuadas basadas en niveles superiores de certidumbre a través de la captación y divulgación de información y conocimiento de importancia estratégica en los ámbitos social, tecnológico y económico, que incidan en la detección de nuevas oportunidades de desarrollo regional.

Los contenidos de este informe están estrechamente relacionados con el desarrollo del proyecto *Investigación de tecnologías 4.0 para el desarrollo de modelos matemáticos que permitan mejorar la predicción del apetito en el proceso de alimentación de la producción acuícola*.

El objetivo del proyecto es la aplicabilidad de las tecnologías IoT para la monitorización de los factores que influyen en el proceso de alimentación en la acuicultura, así como su integración en la digitalización del sector, especialmente en la conectividad con sistemas que permitan el tratamiento de los datos *on premise* o en la nube.

Se parte de la identificación de modelos de IA que se puedan aplicar para la mejora del proceso de alimentación, se contrastan con modelos matemáticos clásicos y se implementan con datos reales. La finalidad es integrar modelos basados en técnicas de IA con nuevas fuentes de datos, como tecnologías IoT integradas en granja de acuicultura e históricos disponibles de bases de datos o modelos existentes, capaces de predecir en tiempo real la ingesta del alimen-



to esperado en la jaula y/o granja.

Para la realización de este informe se han aplicado técnicas de Vigilancia Tecnológica, una herramienta al servicio de las empresas y organizaciones que permite detectar oportunidades y amenazas aportándoles ventajas competitivas y fundamentos para la toma de decisiones estratégicas mediante la selección y análisis de información de diversos tipos (científica, tecnológica, comercial, de mercado, social...).

Para ello se parte de una introducción me-

todológica sobre las técnicas y fases de la Vigilancia Tecnológica que se han aplicado para el desarrollo del informe. A continuación, se introduce la Economía Azul como iniciativa europea con el fin de contextualizar los contenido temáticos del informe. Seguidamente se realiza un análisis del estado de la técnica, proyectos y literatura científica.

Por último, se incluyen las fuentes que se han manejado para la realización de este informe.

2. Metodología

La vigilancia tecnológica se entiende como una “forma organizada, selectiva y permanente de captar información del exterior sobre tecnología, analizarla y convertirla en conocimiento para tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios” [1]. Su finalidad última es generar ventajas competitivas para la empresa ya que le proporciona datos para:

Para el desarrollo de la Vigilancia Tecnológica el primer paso es plantear los aspectos básicos [2]: ¿Cuál es el objeto de la vigilancia? ¿Qué debemos vigilar? ¿Qué información buscar? ¿Dónde localizarla?

Cuando el objetivo de la VT está claramente delimitado, se procede a planificar la estrategia de búsqueda. Para el despliegue de esta fase conviene tener en cuenta que la información puede presentarse de dos formas: estructurada y no estructurada. La primera es propia de las bases de datos, conjuntos de datos homogéneos, ordenados de una forma determinada, que se presenta

en forma legible por ordenador [3]. Su unidad es el registro –o ficha de un artículo científico o una patente- que presenta la información ordenada en campos: autor, título, fecha de publicación, titular de la patente, inventores, etc. En cambio, la información no estructurada se presenta en textos sin un formato determinado (noticias de periódicos, sitios web, blogs, correos electrónicos) cuyo tratamiento requerirá de nuevas herramientas capaces de “leer” y analizar estos textos. Estas herramientas son útiles también para analizar la información de textos completos de artículos científicos o de patentes. Hoy se considera que el texto es la mayor fuente de información y conocimiento para las empresas [4].

La finalidad de la Vigilancia Tecnológica es generar ventajas competitivas para la empresa

Tras la selección de palabras clave se automatiza la búsqueda en función de las diferentes tipologías de fuentes a utilizar, se lanza la misma y se filtran los resultados en términos de pertinencia, fiabilidad, relevancia, calidad y capacidad de contraste [1].

Una vez comprobada la calidad de la información, los métodos de análisis han de garantizar su valor para la explotación de los mismos [5]. El objetivo del análisis es transformar la información en bruto recogida en un producto con alto valor añadido. A par-

tir de aquí, la aportación de los expertos es crítica para crear información avanzada, para generar conocimiento. Pasamos de una masa ingente de información en distintos formatos y lugares a una etapa en la que se captura la información más relevante, se organiza, indexa, almacena, filtra y, finalmente, con la opinión del experto que aporta en este punto del proceso un máximo valor añadido [6]. A continuación, se incluye un esquema con las distintas fases de la metodología empleada durante la generación de este informe.



Detectar nuevas oportunidades



Conocer la competencia



Controlar las amenazas



Descubrir nuevos aliados



Identificar nuevos clientes



Encontrar alternativas de financiación



OBJETIVO DE VT

En esta fase se define el objetivo concreto de la Vigilancia mediante preguntas clave y se delimita el alcance acotando parámetros cronológicos, geográficos...

ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

A continuación se define el listado de keywords, se genera el listado de fuentes de información así como la estrategia de automatización de las búsquedas.



BÚSQUEDA Y FILTRADO

Posteriormente se procede a obtener información y aplicar filtros de pertinencia, fiabilidad o relevancia y se organizan, clasifican y archivan los resultados.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante esta fase se analiza la información obtenida a nivel científico-tecnológico, estratégico y bibliométrico.



PUESTA EN VALOR

Por último, basándose en la fase anterior, los expertos extraen conclusiones y se genera el Informe de Vigilancia Tecnológica.

3. Sustainable Blue Economy

La Economía Azul Sostenible es el nuevo enfoque que da la Unión Europea a la Economía Azul para incorporarla de pleno derecho a los esfuerzos que van a marcar el rumbo de la economía europea en los próximos años: el Pacto Verde Europeo y el Plan de Recuperación para Europa.

Es una manera de ver la economía que subraya la necesidad de invertir en investigación e innovación para conseguir que las actividades económicas en el sector marítimo reduzcan su impacto en el medio marino, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático, con el fin de lograr el objetivo de convertir a Europa en el primer continente climáticamente neutro en el mundo en 2050.

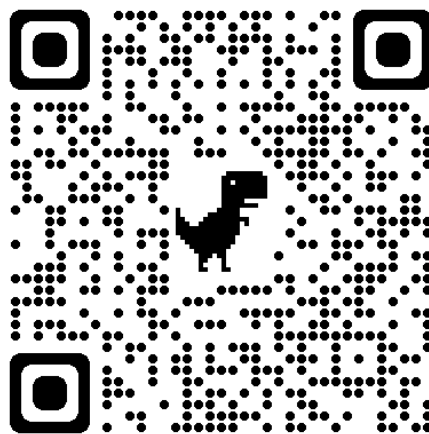
El programa Horizonte Europa, junto a instrumentos de financiación como el Fondo Europeo Marítimo, garantizan una base sólida en ciencia e innovación enfocada en:

- Preservar y restaurar los mares y océanos y eliminar la contaminación.
- Controlar el uso de los recursos que se

obtienen de mares y océanos para utilizarlos de manera más sostenible y renovable.

- Adaptación a las consecuencias del cambio climático.
- Cómo utilizar los recursos oceánicos para mitigar el cambio climático.
- Impulsar la innovación y ayudar a empresas del sector marítimo para fomentar la economía circular y las soluciones sostenibles.

Puedes ampliar información sobre la economía azul en el story map de nuestro [observatorio tecnológico](#).



4. Estado del arte

A continuación, se presenta el gemelo digital como tendencia para la digitalización en la producción animal en acuicultura, las tecnologías IoT en el sector acuícola y las nuevas tendencias en el marco del aprendizaje automático.

El estado del arte recoge la situación de una determinada tecnología: lo más innovador o reciente con respecto a un arte específico

4.1. La transformación digital en la acuicultura

El ritmo de crecimiento de la acuicultura de peces dentro de la Unión Europea (UE) desde al año 2000 ha sido muy escaso debido a la existencia de severas limitaciones para su desarrollo, las cuales están más presentes en unos países que en otros¹. La Comisión Europea persigue construir un futuro para la acuicultura impulsando estrategias para el desarrollo sostenible, cuyos objetivos pretenden, entre otros, fomentar la competitividad de la producción europea mediante la investigación y el desarrollo tecnológico². Para ello, son importantes algunos aspectos como su evaluación, la monitorización y reducción de su impacto en el medio, el uso de dietas alternativa o el manejo correcto de enfermedades y tratamientos³.

**La Acuicultura Inteligente
ofrece al sector
oportunidades y mejoras en
la producción sostenible**

En los últimos años ha incrementado el interés por la adopción de tecnologías basadas en la Industria 4.0 y, con ello, de la Inteligencia Artificial, debido a las oportunidades y mejoras que la **Acuicultura Inteligente** ofrece al sector, tales como mejora de la productividad y una producción más sostenible⁴. El **Gemelo Digital (GD)**⁵ es una de las tecnologías emergentes que permite la

replicación casi en tiempo real del entorno de las granjas de peces y que garantiza la optimización procesos en un entorno virtual, minimizando pérdidas y maximizando rendimientos.

La terminología “Gemelo Digital” (GD) se refiere a una de las tecnologías de digitalización que ha tenido gran éxito en las áreas industriales, ya que su conceptualización se basa en la optimización e incremento de la eficiencia de la producción⁶. Los GD crean el equivalente digital de un objeto o proceso real que refleja su comportamiento y sus estados a lo largo de su vida en un espacio virtual⁷. Este equivalente virtual permite realizar simulaciones del objeto mientras sincroniza datos de campo en tiempo real, siendo capaz de decidir entre un conjunto de acciones y ejecutar la más óptima de forma automática en función al propósito simulado⁶.

El GD ya ha demostrado ser beneficioso en la **producción vegetal**, elevando los niveles de sostenibilidad y productividad mediante la simulación **animal** está empezando a surgir y se espera que evolucione rápidamente en los próximos años⁸.

En la **producción acuícola**, las mayores potencias del sector estudian las primeras aproximaciones para aplicar este GD a la acuicultura intensiva, no obstante, aún no se encuentran excesivas las soluciones tecnológicas desarrolladas. Algunos ejemplos

1. Apromar. (2020). Informe de Acuicultura España 2020. 95. <http://www.apromar.es/content/informes-anales>

2. Parlamento Europeo (2020). LA PRODUCCIÓN ACUÍCOLA EN LA UNIÓN EUROPEA. Fichas técnicas sobre la Unión Europea.

3. Aquaculture policy. The European Commission helps EU countries improve the competitiveness of their aquaculture sector. European Commission website. https://ec.europa.eu/oceans-and-fisheries/policy/aquaculture-policy_en

4. Mustafa, S., Estim, A., Shapawi, R., Shalehand, M. J., & Sidik, S. R. M. (2021). Technological applications and adaptations in aquaculture for progress towards sustainable development and seafood security. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 718(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/718/1/012041>

5. Ramos, L. (2021). How Digital Twin could double down farm efficiency. Aquaculture North America. <https://www.aquaculturenorthamerica.com/how-digital-twin-could-double-down-farm-efficiency/>

6. Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine, 51(11), 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>

de las temáticas abordadas para la creación de GDs en los cultivos *offshore* nacen de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU) que llevó a cabo el análisis estructural de las instalaciones que componen una jaula rígida de cultivo para explorar su GD. Asimismo, el instituto de investigación de referencia SINTEF y la universidad NMBU, lideran los proyectos DigitalCage¹⁰ y DigiSal¹¹, respectivamente, que aproximan el GD al sector acuícola, en el primer caso mediante la creación de una plataforma digital para monitorizar las redes de cultivo y distribución de los peces y, en el segundo caso, para mejorar la nutrición en peces. Por otro lado, en el ámbito empresarial, la empresa noruega MOWI ha desarrollado la “Identidad Digital” de los peces para incrementar la confiabilidad del consumidor en el producto¹². Otros estudios tra-

tan de acercar el GD a cultivos de peces en tierra, persiguiendo la optimización de tecnologías de recirculación de agua¹³ o la optimización energética de granjas hidropónicas urbanas¹⁴. En base a este abanico de posibilidades recopiladas y ante los beneficios que ofrece la digitalización con el uso de IoT, principalmente el incremento de la eficiencia de la producción y la mitigación de sus impactos¹⁵, en el presente estudio **se propone** avanzar en la Transformación Digital del sector acuícola orientada a la mejora del proceso de alimentación de las principales especies de peces marinos producidas en España (dorada y lubina)¹, en concreto a la predicción del apetito como una aproximación e acciones preventivas⁷, mientras que en la **producción** hacia el Gemelo Digital.

4.2. Sistemas IoT para granjas de acuicultura offshore

La acuicultura en jaulas en mar abierto presenta ventajas productivas frente a los métodos tradicionales de cultivo de peces debido a la mejor calidad de agua y al mayor volumen de producción disponible. A

pesar de esto, las granjas offshore tienen riesgos añadidos al estar expuestas a corrientes y oleaje. Esto hace que los sistemas tradicionales de monitoreo se queden desactualizados para este medio, sugieren-

7. Verdouw, C., Tekinerdogan, B., Beulens, A., & Wolfert, S. (2021). Digital twins in smart farming. *Agricultural Systems*, 189(April), 103046. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103046>

8. Neethirajan, S., & Kemp, B. (2021). Digital twins in livestock farming. *Animals*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/ani11041008>

9. Staalesen, K. (2019). Exploring the Digital Twin Concept for a Rigid Aquaculture Cage – insight through structural analysis and sensor (Issue June) [Norwegian University of Science and Technology]. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2626186>

10. RACE Digital Cage (2020-2022). A digital platform for monitoring and visualisation of aquaculture net cages and fish distribution based on sensors, real-time simulations and data assimilation (theoretical, mathematical models combined with observations).

11. DigiSal (2016-2023). Towards the Digital Salmon: From a reactive to a pre-emptive research strategy in aquaculture. Funded by the Programme of the Research Council of Norway

12. Holland, J. (22 julio 2019). Transparency technology puts aquaculture on the front foot. Global Aquaculture Alliance. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/transparency-technology-puts-aquaculture-on-the-front-foot/>

13. Zhabitskii, M. G., Andryenko, Y. A., Malyshev, V. N., Chuykova, V. S., & Zhosonov, A. A. (2021). Digital transformation model based on the digital twin concept for intensive aquaculture production using closed water circulation technology Digital transformation model based on the digital twin concept for intensive aquaculture production using closed. *Earth and Environmental Science PAPER*, 723. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032064>

14. Jans-Singh, M., Leeming, K., Choudhary, R., & Girolami, M. (2020). Digital twin of an urban-integrated hydroponic farm. *Data-Centric Engineering*, 1(January). <https://doi.org/10.1017/dce.2020.21>

15. Stack, K. (2019). European aquaculture: opportunities in the future. Federation of European Aquaculture Producers. The smartagrihubs journey: digitalising the aquaculture sector. FEAP. https://smartagrihubs.h5mag.com/digitalising_the_aquaculture_sector/cover

16. Wei, Y., Wei, Q., & An, D. (2020). Intelligent monitoring and control technologies of open sea cage culture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169(October 2019), 105119. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105119>

do así la necesidad de utilizar tecnologías inteligentes avanzadas¹⁶.

Integrar tecnologías de IoT como tecnologías 4.0 permite alimentar sistemas para realizar predicciones y tomar decisiones más eficaces, además estas tecnologías tienen la capacidad de aprender conforme se incrementa la toma de datos¹⁷.

En el sector acuícola, el empleo de tecnologías 4.0 ayuda a hacer más eficientes y *eco-friendly* las operaciones que se llevan a cabo. En el majeo de alimento, la tecnología es capaz de predecir patrones de alimentación¹⁸, recomendar estrategias de alimentación o de mejorar la calidad de los procesos al aplicar el uso de algoritmos para el análisis de datos⁴.

En este contexto, encontramos diferentes resultados de proyectos¹⁹ de investigación que asientan las bases de una nueva acuicultura. Por ejemplo, se demuestra que el monitoreo del agua en acuicultura, con la ayuda del IoT, puede ser altamente sensible gracias a los sensores PROTEUS basados en la tecnología de nanotubos de carbono de vanguardia. Estos sensores son baratos y fáciles de usar como se demostró en el caso de uso de WAZIUP en Ghana, además son inteligentes y respetuosos con el medio ambiente como presenta el proyecto IMPAQT.

A continuación, se muestra una revisión más específica de investigaciones, tecnologías y casos de uso del IoT en acuicultura, agrupadas según el lugar donde se ha reali-

zado el estudio (laboratorio, esteros o en una granja en alta mar).

Laboratorio: en este contexto, destacan estudios en los que se utilizan un conjunto de sensores para monitorear la calidad del agua y el comportamiento de los peces en tanques de acuicultura durante el proceso de alimentación^{20,21}. El sistema propuesto puede monitorear los parámetros de calidad del agua, el estado del tanque, la caída del alimento y la profundidad y velocidad de nado de los peces.

Otros estudios van un poco más allá, proponen el desarrollo de un sistema de acuicultura inteligente utilizando IoT y análisis de datos para monitorear la granja de acuicultura²². En estos casos, el sistema se implementa con microcontrolador, sensores y actuadores para automatizar el proceso de control de los parámetros de calidad del agua como nivel, temperatura, pH turbidez, etc.; estos valores se almacenan en la nube para que los acuicultores puedan verlos en sus teléfonos móviles a través de una aplicación móvil o una aplicación web en cualquier lugar de forma remota.

Por último, para granjas de cultivo de camarón, también encontramos estudios que proponen un prototipo de bajo costo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua²³. El sistema está compuesto por tres nodos: un nodo sensor, un nodo coordinador y nodo de publicación. Ofrece

17. Güelfo, A. (24 agosto 2020). Acuicultura 3.0, llegó el momento de hablar con las máquinas. Portal de Acuicultura Mis Peces. <https://www.mispeces.com/noticias/Acuicultura-3.0-llego-el-momento-de-hablar-con-las-maquinas/#.YJJ5fbUzbIU>

18. Rejcek, P(25 junio 2018). The Benefits of Aquaculture with IoT Technology. Nanalyze. <https://www.nanalyze.com/2018/06/benefits-aquaculture-iot-technology/>

19. Dupont, C., Cousin, P., & Dupont, S. (n.d.). IoT for Aquaculture 4.0 Smart and easy-to-deploy real-time water monitoring with IoT. Retrieved April 30, 2021, from <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/>

20. Parra, L., Sendra, S., García, L., & Lloret, J. (2018). Design and deployment of low-cost sensors for monitoring the water quality and fish behavior in aquaculture tanks during the feeding process. *Sensors (Switzerland)*, 18(3). <https://doi.org/10.3390/s18030750>

21. Parra, L., García, L., Sendra, S., & Lloret, J. (2018). The use of sensors for monitoring the feeding process and adjusting the feed supply velocity in fish farms. *Journal of Sensors*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1060987>

22. Patkar, T., More, K., Lad, S., Tanawade, R., & Maurya, A. (2020). IoT Based Aquaculture. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net

23. Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. (n.d.). Retrieved April 30, 2021, from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61458109001>

una herramienta tecnológica para el monitoreo eficiente de parámetros que permita tomar mejores decisiones a los productores acuícolas para lograr una mayor productividad y rentabilidad.

Esteros: existen diversos estudios en los que se propone el desarrollo de un sistema de monitoreo remoto de la calidad del agua para la acuicultura basado en IoT^{24,25,26,27}. Estos sistemas son capaces de identificar variables en tiempo real como pH, oxígeno disuelto, temperatura, nivel del agua, etc. Algunos de ellos también proporcionan una App/Web para que los usuarios puedan visualizar los datos que se monitoreen. En otros, se añade la opción de poder enviar alertas cuando se rebasen los límites de referencia especificados o incluso intervenir en el proceso mediante actuadores. Uno de estos ejemplos de interés para la perspectiva del presente proyecto consiste en un sistema de monitoreo y control en tiempo real para la acuicultura basado en el modelo *If This Then That* (IFTTT)²⁸ e integración en la nube, compuesto por un módulo de sensor inteligente (sensor de oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, temperatura del agua y nivel del agua) y un sistema de aireación para controlar el estado del agua, parámetros clave para el control del apetito de los peces.

Piscifactoría alta mar: a diferencia de es-

teros, aquí es más controlar los parámetros del agua, ya que se necesitan sistemas y sensores más robustos. No obstante, encontramos estudios que definen cuatro casos de uso destinados a resolver desafíos específicos relacionados con el monitoreo de biomasa, el control del suministro de alimento, el monitoreo de parásitos y la gestión de operaciones de hacinamiento²⁹. Por otra parte, existen infraestructuras de monitoreo LoRaWAN para la transmisión en tiempo real basada en el uso de nodos fijos y sumideros móviles para el control remoto y en tiempo real de granjas marinas en alta mar³⁰. En varios estudios, se introduce el concepto de piscicultura de precisión (PFF), su objetivo es aplicar principios de ingeniería de control a la producción pesquera, mejorando así la capacidad del agricultor para monitorear, controlar y documentar los procesos biológicos en las granjas de peces.

Además de estos estudios, empresas como *OxyGuard*, *AKVA Group*, *Observe Technologies*, *Eruvaka*, *Cage Eye*, *AQ1 Systems* o *BiOceanOr* desarrollan soluciones comerciales basadas en la monitorización de diferentes parámetros del medio para la mejora del control del proceso de alimentación.

Con todo lo expuesto hasta ahora, quedan demostrados los esfuerzos para mejorar el grado de automatización de la acuicultura

24. Contreras, C., Molina, J. A., Osmá, P., & Zambrano, D. (2018). Construcción de un Sistema de Adquisición y Transmisión Remota de la Calidad del Agua Basado en el Internet de las Cosas (IoT) para la acuicultura. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 2018-July. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.367>
25. Raju, K. R. S. R., & Varma, G. H. K. (2017). Knowledge based real time monitoring system for aquaculture Using IoT. *Proceedings - 7th IEEE International Advanced Computing Conference, IACC 2017*, 318–321. <https://doi.org/10.1109/IACC.2017.0075>
26. Lin, C.-B., Yang, K.-C., & Wei, C.-C. (n.d.). Aquaculture Monitoring System Based on Internet of Things by Mesh Wi-Fi Access.
27. Espinosa-Faller, F. J., & Rendón-Rodríguez, G. E. (2012). A zigbee wireless sensor network for monitoring an aquaculture recirculating system. *Journal of Applied Research and Technology*, 10(3), 380–387. <https://doi.org/10.22201/icat.16656423.2012.10.3.391>
28. Dzulqornain, M. I., Udin, M., Al Rasyid, H., & Sukaridhoto, S. (n.d.). Design and Development of Smart Aquaculture System Based on IFTTT Model and Cloud Integration. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816401030>
29. Føre, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfreidson, J. A., Dempster, T., Eguiraun, H., Watson, W., Stahl, A., Sunde, L. M., Schellewald, C., Skøien, K. R., Alver, M. O., & Berckmans, D. (2018). Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture. In *Biosystems Engineering* (Vol. 173, pp. 176–193). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.10.014>
30. Parri, L., Parrino, S., Peruzzi, G., & Pozzebon, A. (2020, May 1). A LoRaWAN network infrastructure for the remote monitoring of offshore sea farms. *I2MTC 2020 - International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/>

en alta mar, siendo los mayores campos de monitorización la calidad del agua, la salud

y manejo animal, la monitorización del medio y la gestión del alimento.

4.3. Modelos para la predicción del apetito para el diseño de estrategias de alimentación en acuicultura

El éxito y la rentabilidad de la producción acuícola depende del empleo de técnicas depuradas y de la toma de decisiones adecuadas durante el periodo de cultivo. Los sistemas acuícolas son ecosistemas muy complejos por su variabilidad biológica añadida a los procesos físicos y químicos que operan en el sistema. Por tanto, conocer los procesos e interacciones de un sistema es vital para reducir la degradación del medio en la producción intensiva de peces. La modelización puede ser usada para facilitar la evaluación de las complejas interacciones de estos ecosistemas y predecir la condición instantánea de un sistema, sus efectos en el cultivo y el impacto medioambiental. Además, facilita los estudios y evaluación de interacciones complejas, ya que provee herramientas de trabajo para llevar a cabo numerosos experimentos y evalúa las consecuencias de diferentes estrategias de manejo³¹.

Los **modelos matemáticos** pueden usarse para predecir la ingesta de alimento. Entre ellos, los modelos de crecimiento empíricos (principalmente regresiones) y los modelos bioenergéticos (ecuaciones basadas en dinámicas energéticas) son los más comunes. Aunque el modelo matemático es muy útil para evaluar la ingesta de alimentos de toda la población de peces, requiere estable-

cer artificialmente la relación entre la ingesta de alimentos y los factores de impacto, lo cual es muy susceptible de la experiencia subjetiva. Tradicionalmente los cultivos de peces han sido alimentados de acuerdo con tablas de alimentación, en función a una temperatura del agua dada y un número y talla de los peces concreta. Sin embargo, cada proceso de alimentación se ha visto afectado por la experiencia del observador, haciendo variar los resultados de un operario a otro, lo que hace imposible formular un estándar de alimentación unificado³².

Buenas técnicas y correctas decisiones en el periodo de cultivo garantizan éxito y rentabilidad en la producción acuícola

También encontramos algunos ejemplos en la literatura científica como los **modelos de tipo estocásticos espacio-temporales**, que son desarrollados para evaluar la expansión de enfermedades

infecciosas entre granjas y dentro de ellas³³. Muchos otros modelos son utilizados para estimar el rendimiento y crecimiento de especies en producción considerando factores de comportamiento y crecimiento de los peces, distribución y eficiencia de conversión del alimento (FCR), condiciones del medio, etc^{34, 35}. Asimismo, se pueden encontrar herramientas ya desarrolladas en las que se hace uso de estos modelos para la evaluación y simulación de los cultivos de la granja o para mejorar la conciencia de cómo las

31. Anyadike, C., Mbajorgu, C., & Ajah, G. (2016). Review of Aquacultural Production System Models. Nigerian Journal of Technology, 35(2), 448. <https://doi.org/10.4314/njt.v35i2.29>

32. Chen, L., Yang, X., Sun, C., Wang, Y., Xu, D., & Zhou, C. (2020). Feed intake prediction model for group fish using the MEA-BP neural network in intensive aquaculture. Information Processing in Agriculture, 7(2), 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.001>

características de la granja y su manejo impactan en la presencia y severidad de parásitos³⁷. Sin embargo, debido a la relación compleja y no lineal entre la ingesta de alimentos y otros muchos factores, es difícil resolver este problema mediante modelos matemáticos tradicionales, de aquí surge la necesidad de establecer **modelos más avanzados mediante técnicas de aprendizaje automático** (ML). La realización de estas predicciones inteligentes facilita no solo la gestión diaria de las operaciones que se llevan a cabo en la granja, sino también la determinación de las tasas de alimentación, predicción de los niveles de oxígeno disuelto o incluso análisis de los efectos de diferentes estrategias de gestión⁶. En este sentido, en la literatura se encuentran muestras sobre:

La predicción de la temperatura o el oxígeno disuelto benefician el estado de bienestar de los peces durante el proceso de producción

cies^{38,39,40}.

- Estimación de la resistividad de las especies ante enfermedades, así como la predicción de estas para favorecer los estudios de cría y crecimiento de especies^{38,39,40}.
- Predicción de parámetros de calidad del agua y parámetros ambientales como la temperatura y el oxígeno disuelto para beneficiar el estado de bienestar de los peces durante la producción. También para mantener un equilibrio con el medio, favoreciendo igualmente a los resultados de la producción en términos de biomasa y FCR^{41,42}.
- Estrategias de alimentación, gestión y producción acuícola con los que se mejore las estrategias de producción, toma de decisiones y se maximice el desempeño

33. Aldrin, M., Huseby, R. B., Jensen, B. B., & Jansen, M. D. (2021). Evaluating effects of different control strategies for Infectious Salmon Anaemia (ISA) in marine salmonid farming by scenario simulation using a disease transmission model. *Preventive Veterinary Medicine*, 105360. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105360>

34. Føre, M., Alver, M., Alfredsen, J. A., Marafioti, G., Senneset, G., Birkevold, J., Willumsen, F. V., Lange, G., Espmark, Å., & Terjesen, B. F. (2016). Modelling growth performance and feeding behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in commercial-size aquaculture net pens: Model details and validation through full-scale experiments. *Aquaculture*, 464, 268–278. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.045>

35. Seginer, I. (2016). Growth models of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) for aquaculture: A review. *Aquacultural Engineering*, 70, 15–32. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.12.001>

36. Baldan, D., Porporato, E. M. D., Pastres, R., & Brigolin, D. (2019). An R package for simulating growth and organic wastage in aquaculture farms in response to environmental conditions and husbandry practices. *PLoS ONE*, 13(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195732>

37. ParaFishControl farm level tool. (n.d.). Retrieved May 4, 2021, from https://openscience.cefas.co.uk/parafish_economic/

38. Palaikostas, C. (2021). Predicting for disease resistance in aquaculture species using machine learning models. *Aquaculture Reports*, 20 (March), 100660. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100660>

39. Besson, M., Allal, F., Chatain, B., Vergnet, A., Clota, F., & Vandeputte, M. (2019). Combining Individual Phenotypes of Feed Intake with Genomic Data to Improve Feed Efficiency in Sea Bass. *Frontiers in Genetics*, 10(MAR), 219. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00219>

40. Li, B., Zhang, N., Wang, Y.-G., George, A. W., Reverter, A., & Li, Y. (2018). Genomic Prediction of Breeding Values Using a Subset of SNPs Identified by Three Machine Learning Methods. *Frontiers in Genetics*, 9(JUL), 237. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.002370>

41. Manoharan, H., Teekaraman, Y., Kshirsagar, P. R., Sundaramurthy, S., & Manoharan, A. (2020). Examining the effect of aquaculture using sensor-based technology with machine learning algorithm. *Aquaculture Research*, 51(11), 4748–4758. <https://doi.org/10.1111/are.14821>

42. Li, C., Li, Z., Wu, J., Zhu, L., & Yue, J. (2018). A hybrid model for dissolved oxygen prediction in aquaculture based on multi-scale features. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.11.002>

43. Li, D., & Liu, C. (2020). Recent Advances and Future Outlook for Artificial Intelligence in Aquaculture. *Smart Agriculture*, 2(3), 1–20. <https://doi.org/10.12133/J.SMARTAG.2020.2.3.202004-SA007>

44. Mathisen, B. M., Haro, P., Hanssen, B., Björk, S., & Walderhaug, S. (2016). Decision Support Systems in Fisheries and Aquaculture: A systematic review. <http://arxiv.org/abs/1611.08374>

económico de la piscifactoría^{43,44}. De estos estudios encontramos distintos algoritmos típicos de aprendizaje automático como máquinas de vector soporte (SVM), árboles de decisión (DT) o modelos ensamblados como mejoramiento de gradiente (XGB) o los bosques aleatorios (RF), además de otros modelos de predicción de series temporales. Asimismo, los resultados producidos por los diferentes modelos suponen un valor añadido en el desarrollo de estrategias de producción en tanto que aportan la información necesaria para que los productores puedan tomar las decisiones oportunas, soportadas por datos relevantes para su produc-

ción, por lo que conforman un sistema basado en decisión (DSS). Más allá de estos modelos de aprendizaje automático, se encuentran los **algoritmos genéticos**, una de las aproximaciones heurísticas más populares para la optimización de procesos y toma de decisiones basadas en múltiples criterios y que se encuentran dentro del campo de la inteligencia artificial (IA). En este sentido, los algoritmos genéticos se han empleado tanto para la determinación de estrategias de cultivo óptimas que maximizan el desempeño económico como para la determinación de secuencias de piensos que favorezcan el periodo de engorde^{45,46}.

4.4. Nivel de innovación para el sector

Nivel Internacional

A nivel internacional se están desarrollando estrategias para alcanzar una acuicultura de precisión mediante la digitalización del sector, basadas principalmente en la automatización de procesos y las operaciones remotas⁴⁷. Estas soluciones se encuentran en potencial desarrollo en algunos de los sectores más potentes de la acuicultura, como la producción de salmón Atlántico, liderado por los países más productivos como Noruega, China, Canadá e incluso Chile, donde están aplicando servicios especializados de alta tecnología⁴⁸. Más allá de estas propuestas de tecnificación y digitalización, tal como se ha comentado en el apartado 4.1, encontramos algunos estudios y proyec-

tos^{10,11} orientados a la creación de gemelos digitales en acuicultura, pero pocos que estén cerca del éxito a nivel comercial¹². Las tecnologías, tanto de IoT como de Inteligencia Artificial, han creado inmensas oportunidades para la innovación en la producción y son claves para avanzar en el desarrollo de generar datos para mejorar el entendimiento biológico en esta transformación digital de la acuicultura⁴. Conviene también mencionar la relación del ámbito temático de este informe con las iniciativas europeas de mejora de la sostenibilidad y la competitividad global (EATIP); con los objetivos del Programa de trabajo Horizon Europe 2021-2022 y con su estrategia “De la Granja a la Mesa” (Farm to Fork Strategy). El objetivo de esta estrategia es transformar

45. Luna, M., Llorente, I., & Cobo, A. (2019). Determination of feeding strategies in aquaculture farms using a multiple-criteria approach and genetic algorithms. *Annals of Operations Research*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03227-w>

46. Cobo, Á., Llorente, I., Luna, L., & Luna, M. (2019). A decision support system for fish farming using particle swarm optimization. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161(February), 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.036>

47. Güelfo, A. (24 de septiembre 2020). Si Europa quiere ser autosuficiente en el suministro de productos acuáticos tiene que hacer crecer su acuicultura. Portal de Acuicultura Mis Peces. <https://www.mispeces.com/noticias/Si-Europa-quiere-ser-autosuficiente-en-el-suministro-de-productos-acuaticos-tiene-que-hacer-crecer-su-acuicultura/#.YJKEFrUzbIV>

los métodos de producción hacia sistemas alimentarios más sostenibles⁴⁹, capacitándolos de innovaciones tecnológicas, digitales y sociales para el procesamiento de la gran cantidad de datos generados, considerados factores muy importantes para alcanzar estas metas^{50,54}.

Nivel Nacional

En la acuicultura nacional, la productividad de las especies de mayor interés como de **dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus Labrax*)**¹ no ha crecido en los últimos años debido, entre otros factores, a la demostrada necesidad de avances

científicos y tecnológicos que solventen sus cuellos de botella⁵¹. No obstante, sí se han llevado a cabo algunos estudios hacia la digitalización a nivel nacional relacionados con el uso de tecnologías 4.0. Algunos ejemplos de interés son la Universidad de Cantabria, que evaluó la aplicación de Ciencia de Datos e Inteligencia Artificial para la optimización de la producción en piscicultura⁵² y desarrolló un sistema de soporte de decisiones (DSS) basado en IA para la optimización de la toma de decisiones en piscicultura⁵³; o la Universidad de Alicante, que desarrolla el proyecto DeepFish para la identificación de especies mediante visión artificial⁵³.

5. Tendencias

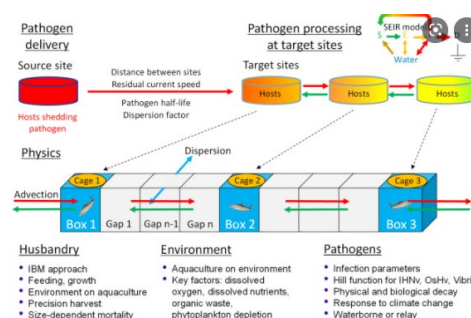
5.1. Literatura científica

An integrated model for aquaculture production, pathogen interaction, and environmental effects

Autor: Joao G.Ferreira, Nick G.H.Taylor, Alhambra Cubilloa, Joao Lencart-Silva, Roberto Pastres, Øivind Bergh, James Guilderc.

Publicado en: Aquaculture. Volume 536, 15 April 2021, 736438 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736438>

Abstract: This work develops, applies, and tests a methodology for simulating three key determinants of aquaculture carrying capacity: production, environmental effects, and pathogen interactions. Deterministic models for simula-



tion of biomass production and environmental effects for fish and shellfish were combined with stochastic host-pathogen models based on the Susceptible-Exposed-Infected-Recovered (SEIR) paradigm to build the Aquaculture, Biosecurity, and Carrying Capacity (ABC) platform. Individual growth models for the finfish

48. Morote Vallejos, L. (13 de marzo 2021). La digitalización en el sector acuícola: impactos y desafíos. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/la-digitalizaci%C3%B3n-en-el-sector-acu%C3%ADcola-impactos-y-morote-vallejos/?originalSubdomain=es>

49. Horizon Europe-Work Programme 2021-2022. Cluster 6. Food Bioeconomy Natural Resources, Agriculture and Environment. Page 16 of 531.

50. FAO. (2020). El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura. Marine Pollution Bulletin, 3(1-2),165-171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.032%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2012.02.007%0Ahttp://www.fao.org/publications/es>

51. Güelfo, A. (27 abril 2017). Uno de los motivos por los que no mejora la productividad de la acuicultura. Portal de la Acuicultura Mis Peces.

52. Llorente, I. (2013). Análisis de competitividad de las empresas de acuicultura: aplicaciones empíricas al cultivo de la dorada (*Sparus aurata*) y la lubina (*Dicentrarchus labrax*). Departamento de Administración de Empresas. Universidad de Cantabria.

species Atlantic salmon (*Salmo salar*) and gilt-head bream (*Sparus aurata*), and the bivalve species Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) and Eastern oyster (*C. virginica*) were integrated into an Individual Based Model (IBM) capable of scaling to any farm size; the resulting framework was coupled to host-pathogen models for: (i) salmon-Infectious Hepatopoietic Necrosis virus (IHNV); (ii) Pacific oyster-Oyster herpes virus (OsHV-1); and (iii) Pacific oyster-*Vibrio aestuarianus*.

ABC was run for a set of scenarios both with and without pathogens, and results presented for (a) husbandry: food depletion in Eastern oyster, showing the effects of overstocking on production and water-column chlorophyll; an increase in the spacing of farm sections increases yield by 80%; (b) environmental effects: changes due to marine cage culture of gilthead sea bream, and the effect of hydrodynamics on reduction of dissolved oxygen (DO) and increase in ammonia; a farm sited in a high-dispersion area shows a variation of about 1.5 mg L⁻¹ in DO among cages, whereas the range in a low-dispersion site can be up to 5 mg L⁻¹; (c) three case-studies of pathogen interaction: (i) effects of a salmon-IHNV pathogen event on yield and mortality, and consequences of event timing (early- or late-stage in the culture); the late-stage event costs almost 300,000 USD more in wasted feed, and the Feed Conversion Ratio (FCR) increases from 1.5 to 2.3; (ii) consequences for a *Vibrio* outbreak in oysters; even though the disease event is very short, there is a 7.8% decrease in oyster harvest, and net nitrogen removal, a key regulatory ecosystem service, decreases by 10.2%; and (iii) climate change scenarios based on Representative Concentration Pathway (RCP) 8.5 and consequences for a herpes outbreak in oysters; ABC results show that the direct effect of climate change on growth, which leads to earlier harvest and less non-harvestable animals, is strongly outweighed by the indirect effect of a pathogen out-

break, which results in a 27.8% increase in dead biomass and a 28.6 t (20.1%) reduction in harvested biomass. Furthermore, since there is a relationship between the colonisation of *C. gigas* by *Vibrio* and full-blown outbreaks of oyster herpes, climate change may lead to synergistic mortality effects of significant concern to oyster growers in temperate waters. The importance of a combined approach to aquaculture carrying capacity that includes the disease component and its relationship to environmental stressors is discussed, together with the management relevance and potential application by industry of an integrated framework.

Mechanistic approach for oyster growth prediction under contrasting culturing conditions

Autor: Sofia Saraiva, Vânia Freitas, Rodrigo Ozório, Ana Rato, Sandra Joaquin, Domitília Matias y Ramino Neves.

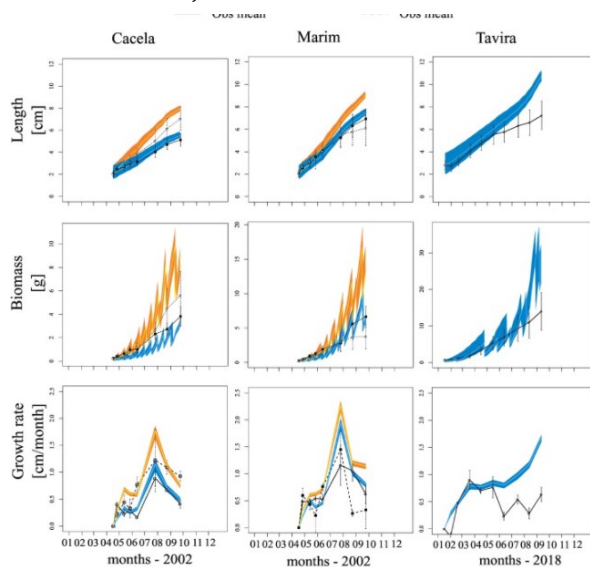
Publicado en: Aquaculture Volume 522, 30 May 2020, 735105 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735105>

Abstract: A model based on the Dynamic Energy Budget (DEB), was setup to simulate the growth of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* at three different intertidal farming sites, located in Ria Formosa (South Portugal). Locations differed in terms of environmental conditions and culture configurations, namely in density and distance from the bottom. The aim was to test the model capacity for bivalve growth prediction under contrasting environmental conditions and to provide understanding on the main processes driving the growth limitation at those sites (temperature, tide, food quantity and quality factors). The model implementation used, as much as possible, field measurements obtained at each specific site and model results on bivalve growth were com-

pared with in situ growth data. Water level information at each site was extracted from a hydrodynamic model simulation of the entire Ria Formosa. Results showed that all the drivers are significantly important and confirmed that the effect of high inorganic particles concentration in the environment can be as important as the effect of immersion time on the organisms growth. The model performance was satisfactory in reproducing the growth dynamics in both shell length and biomass at each of the three study locations and in different culture configurations without site specific calibration. The model is thus considered to be generic enough to be used in a fully coupled setup with an ecosystem model (MOHID Water Modelling System) in different ecosystems, locations, conditions, and aquaculture configurations, providing a powerful tool to sustainably optimize aquaculture practices.

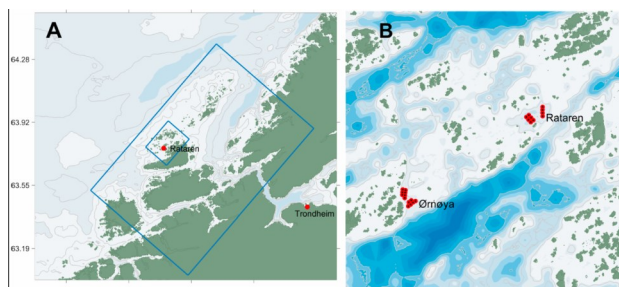
Multiscale modelling of cage effects on the transport of effluents from open aquaculture systems

Autor:Ole Jacob Broch, Pascal Klebert, Finn Are Michelsen, Morten Omholt Alver.



Publicado en: PLoS ONE 15(3): e0228502
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228502>

Abstract: Most Atlantic salmon mariculture operations use open sea cages for the grow out phase. The ultimate fate and effects of the effluents and the possibilities of disease transfer between fish farms are major con-



cerns for farmers, governance and the general public alike. Numerical model systems applied to studying and managing effluents and disease transfer in mariculture must realistically resolve the hydrodynamics in the vicinity of the fish farms. In the present study, the effects of the aquaculture structures on the current patterns were introduced in the ocean model system SINMOD. The drag parameters for the ocean model were determined by comparing the simulation results from the ANSYS Fluent ® software suite and SINMOD in an idealized channel setting with uniform currents. The model was run for a number of realistic scenarios in high horizontal resolution (≈ 30 m) with sea cages influencing the flow field. Comparisons between extensive current measurements and the simulation results showed that the model system reproduced the current local current field well. By running simulation scenarios with and without the effects of the sea cages on the flow field, it was possible to assess the importance of such effects for numerical dispersal models

and aquaculture environment interactions simulations and hence for assessment of environmental impacts.

Life history and temporal variability of escape events interactively determine the fitness consequences of aquaculture escapees on wild populations

Autor: LuoJun Yang, Robin S. Walpes, Marissa L Baskett.

Publicado en: Theoretical Population Biology 129(3) DOI: 10.1016/j.tpb.2018.12.006

Abstract: Domesticated individuals are likely to be maladaptive in the wild due to adaptation to captivity. Escaped aquaculture fish can cause unintended fitness and demographic consequences for their wild conspecifics through interbreeding and competition. Escape events from different sources exhibit great heterogeneity in their frequencies and magnitudes, ranging from rare but large spillover during a storm, to continuous low-level leakage caused by operational errors. The timescale of escape events determines the distribution of gene flow from aquaculture to the wild. The evolutionary consequences of this variation in timescale will depend on the degree of generation overlap and the focal species' life history attributes, especially those under selection in aquaculture (e.g., growth rate, which can influence additional demographically important traits such as age at maturity). To evaluate the effects of variable escape both within and across generations, we construct an age-structured model of coupled genetic and demographic dynamics and parameterize it for species with contrasting life history characteristics (*Salmo salar* and *Gadus morhua*). Our results are

consistent with earlier discrete-generation models that constant, low-level spillover can have a greater impact than rare, large pulses of leakage, even after accounting for the averaging effects of overlapping generations. The age-structured model also allows detailed evaluation of the role of different life history traits, which reveals that species with longer generation times might experience greater fitness consequences of aquaculture spillover but are less sensitive to variability in spillover. Additionally, environment-induced earlier maturity of escapees can increase the fitness effects on wild fish, especially those with shorter generation times. Our results suggest that effective management to minimize the unintended fitness consequences of aquaculture releases might require extensive monitoring efforts on constant, low-level spillover and assessment of the focal species' life history characteristics.

ESTIMACIÓN DEL CRECIMIENTO, TASA DE ALIMENTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE DESECHOS EN PISCICULTURA MEDIANTE UN MODELO BIOENERGÉTICO

Autor: Miguel Jover Cerdá

Publicado en: Revista Aquatic 9(2000).

Abstract: El crecimiento de los peces está determinado fundamentalmente por la cantidad de alimento ingerido (energía y nutrientes) y por la temperatura del agua. Los peces, como animales poiquiloterms son incapaces de regular su temperatura corporal, por lo que su metabolismo únicamente funciona de forma óptima dentro de un rango de temperaturas adecuadas, dentro del cual la ingestión y el crecimiento son máximos, pero disminuyen cuando la tem-

peratura está por encima o por debajo del rango óptimo.

Evaluación de la frescura del pescado diseño de modelos predictivos y estudio comparativo en la cadena agroalimentaria



Autor: Juan Benito Calanche Morales

Publicado en: Universidad de Zaragoza (2015).

Abstract: El pescado representa una importante fuente de suministro para la alimentación. Actualmente, un 77% de la producción pesquera mundial se destina al consumo humano lo que representa un aumento considerable en los últimos decenios, siendo el consumo de pescado fresco superior al de otros productos. El consumo de pescado en la Unión Europea para el año 2013 fue de 23,3 kg/hab/año, donde España ocupó el segundo lugar superando esta media con 43 kg/hab/año. El pescado es un alimento muy perecedero que debe ofrecer seguridad y calidad para su consumo, términos asociados a su estado de frescura. En tal sentido, conocer el criterio del consumidor es fundamental para establecer si las industrias del sector se ajustan a esos re-

querimientos y en qué medida lo hacen. La presente investigación ha sido dirigida a evaluar y contrastar la calidad del pescado fresco, entendida como un concepto multidimensional. A tales efectos, se evaluó una empresa del sector en cuanto a su capacidad para gestionar la calidad tecnológica. Se realizó un análisis y caracterización de la frescura como un requisito para la calidad objetiva de las especies de pescado: sardina (*S. pilchardus*), salmón (*S. salar*), dorada (*S. aurata*) y merluza (*Merluccius spp.*), consumidas habitualmente en España. Tipificando sus respectivos deterioros y diseñando modelos predictivos para su estimación. Por último, se desarrolló un estudio exploratorio, enmarcado dentro de la calidad subjetiva, dirigido a determinar rasgos de importancia para dorada de acuicultura en los distintos eslabones de la cadena agroalimentaria basados en sus percepciones y preferencias. Se determinó una gran influencia de las oscilaciones de temperaturas así como del efecto de la heterogeneidad de la materia prima sobre la frescura en los productos elaborados por la empresa, especialmente para la sardina. Se establecieron tiempos de vida útil para dorada, salmón y merluza de 10, 12 y 12 días respectivamente de acuerdo con los perfiles de deterioro sensorial establecidos. En todas las especies tanto las branquias como los ojos fueron los aspectos más afectados durante el almacenamiento. Así mismo, se diseñaron un total de 15 ecuaciones predictivas basadas en parámetros físico-químicos para la determinación del índice de frescura, el tiempo transcurrido de almacenamiento en hielo y la carga microbiana remanente. Todas exhibieron más de un 90%

de precisión durante su validación práctica con datos reales provenientes de distintos lotes y comparándolas con los resultados proporcionados por un programa informático de reconocido prestigio (Food Spoilage & Safety Predictor -FSSP versión. 4.0- del DTU Aqua). Dichos modelos representan una novedosa y potente herramienta para la industria pesquera, cuya ventaja competitiva está basada en la combinación de la evaluación sensorial con métodos analíticos rutinarios que logran una estimación rápida y de alta fiabilidad, permitiendo reducir el tiempo necesario para la toma de decisiones en la empresa. Finalmente el estudio en la cadena, indicó que el orden de importancia dado por los consumidores a los atributos de frescura del pescado resultó distinto entre hombres y mujeres. No existieron diferencias significativas para los factores de calidad estudiados entre las localidades consideradas, ni entre los distintos puntos de venta que conformaron la muestra. Tanto productores como vendedores minoristas poseen un adecuado conocimiento acerca de los parámetros de frescura que deben caracterizar a la dorada procedente de acuicultura. En tal sentido, la opinión del productor discrepó de la del vendedor, ya que este último a diferencia del primero, consideró la frescura como lo más importante, incluso antes que el precio. A su vez, la opinión del vendedor coincidió con el criterio de los consumidores quienes sostuvieron que el factor de calidad más importante fue la frescura seguida del precio de venta. En la evaluación de la conformidad con los requisitos, el productor exhibió el valor más alto (87%), seguido por los vendedores minoristas (79%) y en último lugar los con-

sumidores con solo un 50%. Esta investigación evidencia el gran potencial que representa la modelización, a partir de análisis multivariante, para la calidad e inocuidad de los alimentos.

Desarrollo y validación de modelos predictivos para la estimación de vida útil en productos pesqueros procedentes de acuicultura y pesca extractiva

Autor: Begoña Alfaro

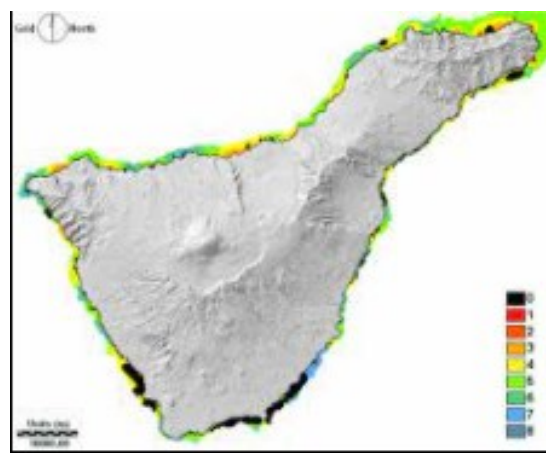
Publicado en: Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea (2013).

Abstract: Entre los principales retos que debe afrontar la industria pesquera para su desarrollo sostenible se encuentran la adaptación a la globalización en la cadena de producción de alimentos, responder a la demanda de los consumidores, cumplir las exigencias establecidas por las autoridades sobre higiene y seguridad así como disminuir los costes económicos generados por las pérdidas de pescado a lo largo de la cadena de producción y distribución. En consecuencia, la industria pesquera necesita disponer de herramientas cuantitativas con soporte científico que ofrezcan estimaciones precisas de la pérdida de calidad y vida útil de los productos pesqueros frescos refrigerados durante su almacenamiento, distribución y punto de venta. Los principales objetivos de la presente Tesis Doctoral son el desarrollo y validación de modelos matemáticos que permitan monitorizar parámetros de calidad de los productos pesqueros procedentes de la acuicultura y de la pesca extractiva a lo largo de la cadena de distribución. Las actividades realizadas se dividieron en dos partes diferenciadas. En una primera parte se investigó la evolución de

los atributos de calidad en una especie de acuicultura, rodaballo (*Psetta maxima*), centrándose en el estudio de la influencia de la temperatura (0-15°C) en la cinética de crecimiento de los microorganismos alterantes, la evolución de atributos sensoriales y la cinética de respuesta de un indicador tiempo-temperatura (TTI). Como resultado se han desarrollado modelos cinéticos que permiten predecir la aceptabilidad sensorial y el crecimiento de microorganismos específicos de deterioro en rodaballo así como la eficacia del uso de TTI. La segunda parte estuvo enfocada al estudio de una especie pesquera procedente de pesca extractiva, concretamente el chicharro (*Trachurus trachurus*) envasado en atmósfera modificada. Esta parte englobó el estudio del proceso de deterioro a nivel microbiológico y organoléptico en función de la temperatura de almacenamiento y el aislamiento e identificación genética de la microflora presente. Posteriormente, se desarrollaron modelos matemáticos que cuantificaron el crecimiento de cuatro microorganismos asociados al deterioro, aislados e identificados en chicharro, en función de la temperatura de almacenamiento (0-20°C) y la composición gaseosa del envase, dióxido de carbono (0-100% v/v) y condiciones aerobias. Los modelos desarrollados han sido validados en productos pesqueros almacenados tanto a temperaturas constantes como fluctuantes. Dichos modelos se han implementado en dos aplicaciones informáticas de fácil manejo con objeto de facilitar su posterior aplicación. Los resultados obtenidos en esta Tesis Doctoral suponen un avance en el conocimiento sobre los microorganismos asociados al deterioro en pro-

ductos pesqueros procedentes de acuicultura y de pesca extractiva así como su cinética de crecimiento en función de la temperatura y composición gaseosa. Asimismo, esta investigación aporta herramientas innovadoras, basadas en modelos matemáticos de predicción de vida útil, que pueden contribuir al control de calidad de los productos pesqueros a lo largo de la cadena productiva (extracción-cultivo, industria transformadora, distribución, mayorista, minorista y consumidor).

Optimización de la acuicultura marina de jaulas flotantes en Tenerife, Islas Canarias, mediante el uso de modelos basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG)



Autor: O. M. Pérez, J.C. Télfer, L.G. Ross

Publicado en: Revista AquaTIC 17(2002).

Abstract: Este estudio se centra en la optimización de la acuicultura marina en jaulas flotantes en Tenerife, Islas Canarias. El objetivo principal fue la selección de las zonas más óptimas (estudio de zonación) para la ubicación de las jaulas flotantes dedicadas al cultivo de peces marinos. Este es un factor importante, ya que afectará tanto el éxito de la operación como a un desarrollo sostenible de esta industria. Además, puede solucionar posibles conflictos entre los dife-

rentes usos que se le dan a la zona costera, haciendo un uso racional de esta. La zonación se realizó mediante el uso de modelos desarrollados en sistemas de información geográfica (SIG) y tecnología relacionada, tales como imágenes de satélite, GPS, etc. La integración, manipulación, análisis, y representación de resultados mediante el uso de los SIG resultó una herramienta muy útil en el proceso de toma de decisiones.

Este estudio propuso tres sistemas de jaulas para su uso en diferentes zonas de la Isla. Los resultados muestran que aquellos sistemas de jaulas que pueden instalarse en zonas más expuestas al oleaje, se distribuirán en un área mayor que los más débiles. De los 228 km² de costa disponibles para ubicar jaulas a profundidades menores de 50 m, se identificaron como zonas adecuadas (sumatoria de las mayores puntuaciones) para ubicar el sistema más robusto (SeaStation?) un área de 61 km², mientras que para los sistemas intermedios (OceanSpar©) y menos robustos (Corelsa©) se identificó un área de 49 y 37 km² respectivamente.

Dispersión de materia orgánica en granjas de acuicultura: desarrollo de un modelo matemático para garantizar sus sostenibilidad ambiental

Autor: Tuya F., Castro JJ., Haroun Ricardo y Viera-Rodríguez M.A.

Publicado en: ULP GC – Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (2014).

Abstract: El objetivo del proyecto “Dispersión de materia orgánica en granjas de acuicultura: Desarrollo de un modelo matemático para garantizar su sostenibilidad ambiental, MACAROMOD (MAC/3/C136) 1” (en adelante MACAROMOD), es el desarrollo de un modelo estructurado y valida-

do para las condiciones ambientales y especies cultivadas en la región de la macaronesia (Canarias-Madeira-Azores-Cabo Verde), que pueda ser utilizado como herramienta de gestión en la predicción de la dispersión del material de desecho proveniente de jaulas de cultivo de dorada, lubina y corvina, y sus posibles impactos en el medio. Las tareas de creación/adaptación del modelo a las condiciones de la Macaronesia, incluyeron un intenso programa de muestreo para la recopilación de datos ambientales (corrientes, fauna, sedimento, calidad de agua, etc.) y de cultivo (pienso, producción, etc.). Se incluyó una campaña general para la obtención de los datos necesarios para la parametrización del modelo (4 concesiones) y una campaña específica y mucho más detallada, para la obtención de los datos necesarios para la validación del modelo (4 concesiones). También, se realizaron diferentes experimentos para la estimación de la cantidad de materia perdida al medio en las jaulas de cultivo y las velocidades de decantación de los pellets y heces. El modelo consta de cuatro módulos independientes (submodelos), que se estructuran secuencialmente. En el primero, se genera la malla batimétrica de la zona de interés. El segundo calcula la posición inicial de las partículas de pienso y heces. El tercero recalcula esta posición y la cantidad de material depositado en el fondo en función de los procesos de resuspensión y degradación. El cuarto predice la respuesta ambiental del material depositado a través del índice biótico AMBI. La validación del modelo indica que las predicciones del modelo tienen un muy buen ajuste con la realidad, siendo éste una herramienta de predicción con ga-

rantías.

Modelling integrated multi-trophic aquaculture: Optimizing a three trophic level system

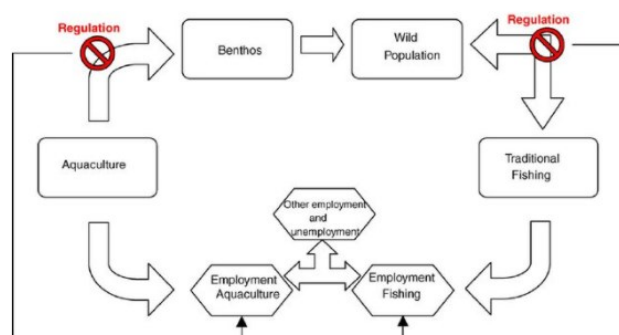
Autor: Luana Granada, Sofía Lopes, Sara C. Novais, Marco F.L. Lemos.

Publicado en: Aquaculture Volumen 495, 1 de octubre de 2018, Pages 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.029>

Abstract: As a fast-growing food production industry, aquaculture is dealing with the need for intensification due to the global increasing demand for fish products. However, this also implies the use of more sustainable practices to reduce negative environmental impacts currently associated with this industry, including the use of wild resources, destruction of natural ecosystems, eutrophication of effluent receiving bodies, impacts due to inadequate medication practices, among others. Using multi-species systems, such as integrated multi-trophic aquaculture, allows to produce economically important species while reducing some of these aquaculture concerns, through biomitigation of aquaculture wastes and reduction of diseases outbreaks, for example. Applying mathematical models to these systems is crucial to control and understand the interactions between species, maximizing productivity, with important environmental and economic benefits. Here, the application of some equations and models available in the literature, regarding basic parameters, is discussed – population dynamics, growth, waste production, and filtering rate – when considering the description and optimization of a theoretical integrated multi-

trophic aquaculture operation composed by three trophic levels.

A simulation model of sustainability of coastal communities: Aquaculture, fishing, environment and labour markets



Autor: W.D. Mccausland, Eleni Mente, Graham John Pierce, Ioannis Theodossiou.

Publicado en: Ecological Modelling 193(3-4):271-294. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.08.028

Abstract: A bio-socio-economic model was developed to simulate (a) biological interactions related to traditional fishing, aquaculture, and the physical marine environment and (b) coastal labour market interactions and the regulatory environment. The model was calibrated using published information on fish farms, fishing, fished stocks and labour activity. Fished stocks were considered as a single unit undergoing constant natural regeneration. Aquaculture production was described by a standard Cobb–Douglas production function. The labour force in the coastal community was taken to comprise four components: (a) traditional fishing, (b) aquaculture, (3) other employment, and (4) the unemployed labour. Simulations investigating the effect of stricter regulation of traditional fishing and aquaculture on biomass, fish production

and employment suggested that while stricter regulation of fishing inevitably leads to declining employment in fisheries, increased regulation of aquaculture will not necessarily stem growth in that sector. The importance of aquaculture as an alternative source of employment is emphasised. Nevertheless, the present model ignores the potential adverse effects of catastrophic stochastic events on the fishing and aquaculture sectors (e.g. recruitment failure in wild fish populations, loss of farm stock) and the relatively optimistic outlook suggested for the aquaculture industry should therefore be viewed with caution. (E. Mente).

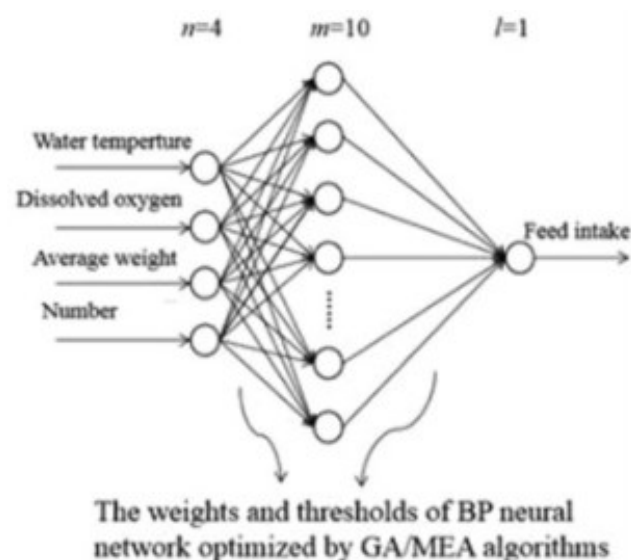
Feed intake prediction model for group fish using the MEA-BP neural network in intensive aquaculture

Autor: Lan Chen, Xinting Yang, Chuanheng Sun, Yizhong Wang, Daming Xu, Chao Zhou.

Publicado en: Information Processing in Agriculture 7 (2): 261:271.

Abstract: In aquaculture, the accurate prediction of feed intake for group fish is considered to be crucial to any feeding system. Previous studies mainly used mathematical statistics to establish the mapping relationship between feed intake and influencing factors. The result was easily influenced by subjective experience. To solve the above issues, this paper proposed a feed intake prediction model for group fish using the back-propagation neural network (BPNN) and mind evolutionary algorithm (MEA). Firstly, four factors, including water temperature, dissolved oxygen, the average fish weight and the number of fish were selected as the input of the BPNN model. Secondly, the initial weight and threshold of the

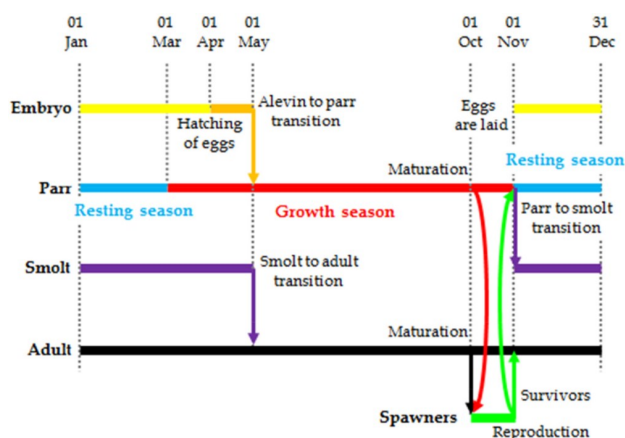
BPNN were optimized by the MEA to improve the matching precision. Finally, the prediction model was achieved after training. Experimental results showed that the correlation coefficient between the predicted and measured values reached 0.96. And the root mean squared error, mean square error, mean absolute error, mean absolute percent error of the model was 6.89, 47.53, 6.17 and 0.04, respectively. In addition, the proposed method also had the better non-linear fitting ability than BPNN and GA-BP. By using an intelligent optimization algorithm, the mapping relationship between fish intake and environmental factors was automatically established, thus avoiding the subjectivity of traditional methods. Therefore, it can lay a theoretical foundation for the development of intelligent feeding equipment and meet the needs of the smart fishery.



IBSEM: An Individual-Based Atlantic Salmon Population Model

Autor: Marco Castellani, Mikko Heino, John Gilbey, Kevin A Glover.

Publicado en: PLoS ONE 10(9):e0138444.
DOI: 10.1371/journal.pone.0138444



Abstract: Ecology and genetics can influence the fate of individuals and populations in multiple ways. However, to date, few studies consider them when modelling the evolutionary trajectory of populations faced with admixture with non-local populations. For the Atlantic salmon, a model incorporating these elements is urgently needed because many populations are challenged with gene-flow from non-local and domesticated conspecifics. We developed an Individual-Based Salmon Eco-genetic Model (IBSEM) to simulate the demographic and population genetic change of an Atlantic salmon population through its entire life-cycle. Processes such as growth, mortality, and maturation are simulated through stochastic procedures, which take into account environmental variables as well as the genotype of the individuals. IBSEM is based upon detailed empirical data from salmon biology, and parameterized to reproduce the environmental conditions and the characteristics of a wild population inhabiting a

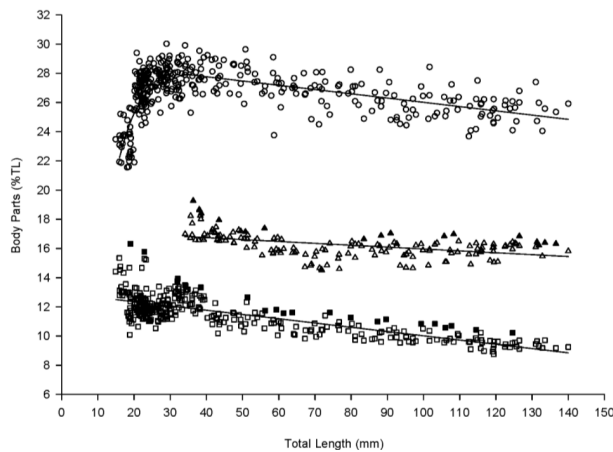
Norwegian river. Simulations demonstrated that the model consistently and reliably reproduces the characteristics of the population. Moreover, in absence of farmed escapees, the modelled populations reach an evolutionary equilibrium that is similar to our definition of a 'wild' genotype. We assessed the sensitivity of the model in the face of assumptions made on the fitness differences between farm and wild salmon, and evaluated the role of straying as a buffering mechanism against the intrusion of farm genes into wild populations. These results demonstrate that IBSEM is able to capture the evolutionary forces shaping the life history of wild salmon and is therefore able to model the response of populations under environmental and genetic stressors.

Modelling Size-Dependent Cannibalism in Barramundi *Lates calcarifer*: Cannibalistic Polyphenism and Its Implication to Aquaculture

Autor: Flavio F. Riberiro, Jian G. Qin.

Publicado en: PLoS ONE 8(12): e82488
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082488>

Abstract: This study quantified size-dependent cannibalism in barramundi *Lates calcarifer* through coupling a range of prey-predator pairs in a different range of fish sizes. Predictive models were developed using morphological traits with the alternative assumption of cannibalistic polyphenism. Predictive models were validated with the data from trials where cannibals were challenged with progressing increments of prey sizes. The experimental observations showed that cannibals of 25–131 mm total length could ingest the conspecific



prey of 78–72% cannibal length. In the validation test, all predictive models underestimate the maximum ingestible prey size for cannibals of a similar size range. However, the model based on the maximal mouth width at opening closely matched the empirical observations, suggesting a certain degree of phenotypic plasticity of mouth size among cannibalistic individuals. Mouth size showed allometric growth comparing with body depth, resulting in a decreasing trend on the maximum size of ingestible prey as cannibals grow larger, which in parts explains why cannibalism in barramundi is frequently observed in the early developmental stage. Any barramundi has the potential to become a cannibal when the initial prey size was <50% of the cannibal body length, but fish could never become a cannibal when prey were >58% of their size, suggesting that 50% of size difference can be the threshold to initiate intra-cohort cannibalism in a barramundi population. Cannibalistic polyphenism was likely to occur in barramundi that had a cannibalistic history. An experienced cannibal would have a greater ability to stretch its mouth size to capture a much larger prey than the models predict. The awareness of

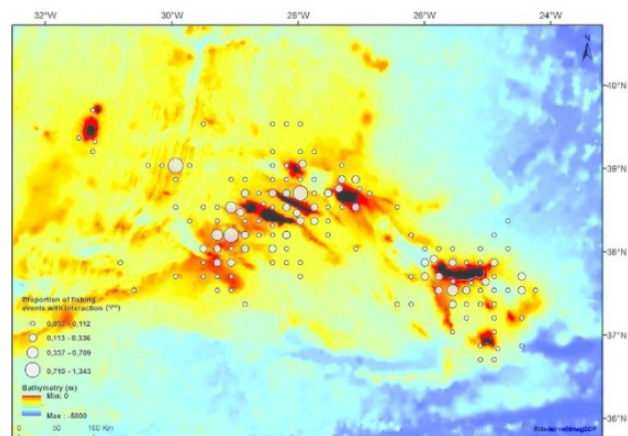
cannibalistic polyphenism has important application in fish farming management to reduce cannibalism.

Predicting Interactions between Common Dolphins and the Pole-and-Line Tuna Fishery in the Azores

Autor: María Joao Cruz, Gui Menezes, M.A. Machete, Mónica A Silva.

Publicado en: PLoS ONE 11(11):e0164107
DOI: 10.1371/journal.pone.0164107

Abstract: Common dolphins (*Delphinus delphis*) are responsible for the large majority of interactions with the pole-and-line tuna fishery in the Azores but the underlying drivers remain poorly understood. In this study we investigate the influence of various environmental and fisheries-related factors in promoting the interaction of common dolphins with this fishery and estimate the resultant catch losses. We analysed 15 years of fishery and cetacean interaction data (1998–2012) collected by observers placed aboard tuna fishing vessels. Dolphins interacted in less than 3% of the fishing events observed during the study period. The probability of dolphin interaction varied significantly between years with no evident trend over time. Generalized additive modeling results suggest that fishing



duration, sea surface temperature and prey abundance in the region were the most important factors explaining common dolphin interaction. Dolphin interaction had no impact on the catches of albacore, skipjack and yellowfin tuna but resulted in significantly lower catches of bigeye tuna, with a predicted median annual loss of 13.5% in the number of fish captured. However, impact on bigeye catches varied considerably both by year and fishing area. Our work shows that rates of common dolphin interaction with the pole-and-line tuna fishery in the Azores are low and showed no signs of increase over the study period. Although overall economic impact was low, the interaction may lead to significant losses in some years. These findings emphasize the need for continued monitoring and for further research into the consequences and economic viability of potential mitigation measures.

Technological applications and adaptations in aquaculture for progress towards sustainable development and sea-food security

Autor: Saleem Mustafa, Abentin Estim, Rosita Shapawi, S R M Sidik

Publicado en: IOP Conference Series Earth and Environmental Science 718(1):012041. DOI: 10.1088/1755-1315/718/1/012041

Abstract: Fish demand has been steadily increasing globally. Due to stabilization of harvest from capture fisheries the aquaculture has grown rapidly at the rate of 7.5 – 9.2 annually. Currently, the contribution of this sector to the global seafood supply has exceeded the landings from the sea. A review of fish production and consumption scenario was carried out in a systems ap-

proach that envisaged case-based reasoning for the synthesis of new knowledge. This enabled the identification of ways and means of applying modern technologies to the existing aquaculture production methods. How the aquaculture systems can be transformed by such interventions to further enhance its contribution to food security which is at the heart of all the Sustainable Development Goals has been elaborated. Technology access and adoption, workforce transformation, and adjusting to the global value chains are the issues that have to be addressed. In this context, research and development institutions can help by leveraging their resources and expertise in motivating a review of the existing policies and knowledge transfer to the farming communities to shape the development of aquaculture along the sustainability pathways.

How Digital Twin could double down farm efficiency

Autor: Ramos, L.

Publicado en: Aquaculture North America (2021).

Abstract: Automated fish feeders are now standard in most fish farms but, someday, in a not-so-distant future, you will be able to “install” and test run an advanced automated fish feeder in your farm without bringing the actual equipment in your facility. You will be able to “build” enclosures in a distant bay within minutes and without physically doing it. Say hello to “Digital Twin,” an emerging technology that enables near- or real time replication of fish farm environment, allowing you to streamline processes in a virtual environment to mini-

mize loses and maximize yields of your farm. In this issue of Tech Talk, we will take a closer look at Digital Twin and how its benefits will trickle down to smaller farmers who do not have the resources to deploy this nascent and potentially costly technology.



Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification

Autor: Werner Kritzinger, Matthias Karner, Georf Traar, Jan Henjes, Wilfred Sihn.

Publicado en: IFAC-PapersOnLine Volume 51, Issue 11, 2018, Pages 1016-1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>

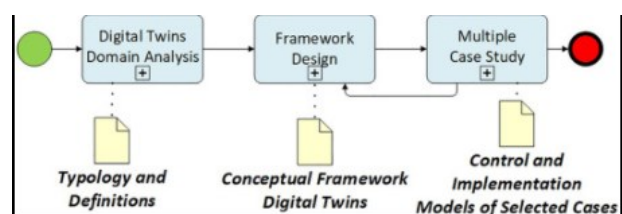
Abstract: The Digital Twin (DT) is commonly known as a key enabler for the digital transformation, however, in literature is no common understanding concerning this term. It is used slightly different over the disparate disciplines. The aim of this paper is to provide a categorical literature review of the DT in manufacturing and to classify existing publication according to their level of integration of the DT. Therefore, it is distinct between Digital Model (DM), Digital Shadow (DS) and Digital Twin. The results are showing, that literature concerning the highest development stage, the DT, is scarce, whilst there is more literature about DM and DS.

Digital twins in smart farming

Autor: Cor Verdouw, Bedir Tekinerdogan, Andrie Beulens y Sjaak Wolfert.

Publicado en: Agricultural Systems, Volumen 189, Abril 2021, 103046. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103046>

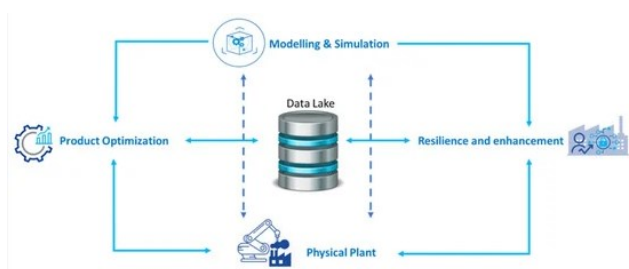
Abstract: Digital Twins are very promising to bring smart farming to new levels of farming productivity and sustainability. A Digital Twin is a digital equivalent of a real-life object of which it mirrors its behaviour and states over its lifetime in a virtual space. Using Digital Twins as a central means for farm management enables the decoupling of physical flows from its planning and control. As a consequence, farmers can manage operations remotely based on (near) real-time digital information instead of having to rely on direct observation and manual tasks on-site. This allows them to act immediately in case of (expected) deviations and to simulate effects of interventions based on real-life data. This paper analyses how Digital Twins can advance smart farming. It defines the concept, develops a typology of different types of Digital Twins, and proposes a conceptual framework for designing and implementing Digital Twins. The framework comprises a control model based on a general systems approach and an implementation model for Digital Twin systems based on the Internet of Things—Architecture (IoT-A), a reference architecture for IoT systems. The framework is applied to and validated in five smart farming use cases of the European IoF2020 project, focussing on arable farming, dairy farming, greenhouse horticulture, organic vegetable farming and livestock farming.



Digital transformation model based on the digital twin concept for intensive aquaculture production using closed water circulation technology

Autor: M. Zhabitskii, Y.A. Andreyenko, A.S. Zhosanov.

Publicado en: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,



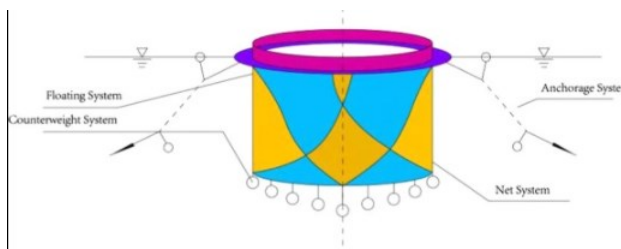
Abstract: The article discusses the complex digital transformation problem for the functioning aqua-biotechnological industrial company. The structure of the information model and digital twin for such objects is identified and described. The results of a comprehensive engineering and economic inspection of the state of the biotechnological, engineering, and economic system from the point of view of digital transformation are described. A conceptual scheme of the enterprise functioning based on the results of digital transformation is presented. The target effects of modernization and reconstruction of the existing biotechnological enterprise based on the end-to-end digital technologies of the fourth industrial revolution are formulated.

Intelligent monitoring and control technologies of open sea cage culture: A review

Autor: Yaoguang Wei, Qiong Wei, Fong An.

Publicado en: Computers and Electronics in Agriculture, Volumen 169, Febrero 2020, 105119. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105119>

Abstract: Since open sea cage culture sites are far from shore, the sea situation is complex and changeable, and the monitoring of cage culture water quality, fish behaviour, cage operation and other states is the basis of intelligent control of cage casting, feeding, capture, and cage washing to achieve high yield, high efficiency, and safety of cage farming. First, a cage farming model is introduced for analysis of the needs of intelligent monitoring and control technology. The applications of underwater robots, unmanned aerial vehicles, online monitoring networks and other technologies involved in aquaculture water environment information monitoring are summarized. Secondly, the intelligent management of cages is summarized. This paper demonstrates that cage farming is the trend of aquaculture. In the future, applications will combine information monitoring technology, intelligent control technology, and intelligent equipment technology to realize intelligent, digital, automatic and unmanned operation of cage aquaculture.



Growth models of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) for aquaculture: A review

Autor: Ido Seginer

Publicado en: Agricultural Engineering, Volumen 70, Enero 2016, Páginas 15-32. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.12.001>

Abstract: Gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) is a fish commonly cultivated in the Mediterranean sea in marine cages and recirculating aquaculture systems. Managing such growing systems, requires a growth model to describe the response of the fish to their environment. The dominant predictors of growth, assuming adequate water quality, are fish size, M , water temperature, T , and feed ration, F . Over the past 30 years many experimental studies with gilthead sea bream have been conducted, each providing partial information regarding the growth function $GM, T, F, \dots$. In this study an attempt is made to critically review the available information from an aquacultural management point of view, selecting simple sub-models which preserve the essentials of the various processes. It seems that for the practical range of application for gilthead sea bream (first two years of life and sub-optimal ($<25^\circ\text{C}$) temperatures), growth is exponentially dependent on body size and linearly dependent on both temperature and feed ration. A representative growth model with these features, calibrated with the available data, is proposed. Unlike the more sophisticated, two-term bioenergetic models, the suggested model consists of just one multiplicative term. Final calibration of the growth model for any particular facility may be achieved by on-line adaptation of a few of the model parameters.

Knowledge Based Real Time Monitoring System for Aquaculture Using IoT

Autor: K. Raju y G. Varma.

Publicado en: Computer Science 2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC) <https://doi.org/10.1109/IACC.2017.0075>

Abstract: Internet of things is one of the rapidly growing fields for delivering social and economic benefits for emerging and developing economy. The field of IOT is expanding its wings in all the domains like medical, industrial, transportation, educa-

tion, mining etc. Now-a-days with the advancement in integrated on chip computers like Arduino, Raspberry pi the technology is reaching the ground level with its application in agriculture and aquaculture. Water quality is a critical factor while culturing aquatic organisms. It mainly depends on several parameters like dissolved oxygen, ammonia, pH, temperature, salt, nitrates, carbonates etc. The quality of water is monitored continuously with the help of sensors to ensure growth and survival of aquatic life. The sensed data is transferred to the aqua farmer mobile through cloud. As a result preventive measures can be taken in time to minimize the losses and increase the productivity.

IoT Based Aquaculture. International Research Journal of Engineering and Technology



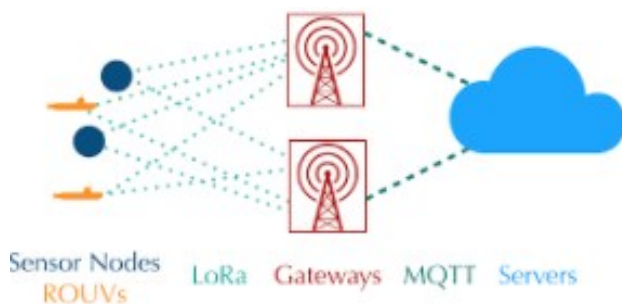
Autor: Tanvi Patkar, Komal More, Sarthak Lad, Rohit Tanawade, Amit Maurya.

Publicado en: International Research Journal of Engineering Technology (IRJET) 7(5), mayo 2020.

Abstract: Aquaculture, also known as aqua farming, is the farming of aquatic organisms such as fish, crustaceans and crabs by using the various sensors to reduce the risks. Water problem is the major effect for the growth of fish. Monitoring is essential for water quality. This can help to save number of lives. The proposed work supports remote monitoring of the fish farming system based on Internet of Things (IOT) for realtime monitor and control of a fish

farming system. This will be helpful to be aware of the danger and can take necessary safety measures. IoT is used in this project helps updating the information about water quality through mail. pH sensor, Water level Indicator, Temperature Sensor & Turbidity sensor is used to measure the water quality level. Esp32 takes the information and sends the information through the mail if the water quality is not in the given thresholds suitable for aquatic organisms.

A LoRaWAN Network Infrastructure for the Remote Monitoring of Offshore Sea Farms



Autor: Parri, L., Parrino, S., Peruzzi, G., Pozzebon, A.

Publicado en: Conference: 2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). DOI: [10.1109/I2MTC43012.2020.9128370](https://doi.org/10.1109/I2MTC43012.2020.9128370)

Abstract: Fish farming is nowadays a crucial sector for food industry all around the world. While the total amount of captured fish production has remained almost constant in the last 30 years (around 90 millions tonnes according to the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United States), in the same span of time the quantity of bred fish has increased tenfold, almost reaching the quantity of the captured one. What was once little more than a hand-crafted production, is now an actual industrial sector, employing around 60 million workers all around the world. Like all industrial sectors, aquaculture can considerably benefit by the introduction of Internet of Things (IoT) technologies, thus adopting

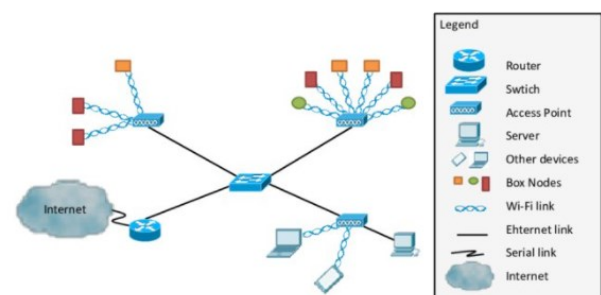
them within the context of Industry 4.0 to optimize fish farming processes. In this context, this paper proposes a real-time monitoring infrastructure based on the use of Fixed Nodes and Mobile Sinks for the remote, real-time control of offshore sea farms. The proposed architecture exploits a LoRaWAN network infrastructure for data transmission: different configurations are tested on the field, proving the reliability of the communication channel in a worst case scenario up to a 8.33 km offshore distance. A complete real-time monitoring system is presented, allowing to measure in real time several parameters about the quality of water in the fish cages as well as their maintenance status.

Design and Deployment of Low-Cost Sensors for Monitoring the Water Quality and Fish Behavior in Aquaculture Tanks during the Feeding Process

Autor: L. Parrra, Sandra Sndra, Jaime Lloret.

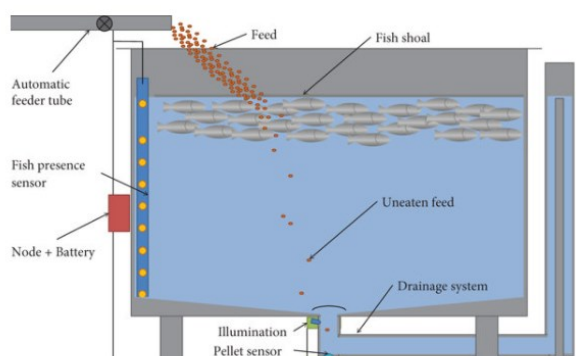
Publicado en: Computer Science, Medicine, Sensors.

Abstract: The monitoring of farming processes can optimize the use of resources and improve its sustainability and profitability. In fish farms, the water quality, tank environment, and fish behavior must be monitored. Wireless sensor networks (WSNs) are a promising option to perform this monitoring. Nevertheless, its high cost is slowing the expansion of its use. In this paper, we propose a set of sensors for monitoring the water quality and fish behavior in aquaculture tanks during the feeding process. The WSN is based on physical sen-



sors, composed of simple electronic components. The system proposed can monitor water quality parameters, tank status, the feed falling and fish swimming depth and velocity. In addition, the system includes a smart algorithm to reduce the energy waste when sending the information from the node to the database. The system is composed of three nodes in each tank that send the information through the local area network to a database on the Internet and a smart algorithm that detects abnormal values and sends alarms when they happen. All the sensors are designed, calibrated, and deployed to ensure its suitability. The greatest efforts have been accomplished with the fish presence sensor. The total cost of the sensors and nodes for the proposed system is less than 90 €.

The Use of Sensors for Monitoring the Feeding Process and Adjusting the Feed Supply Velocity in Fish Farms



Autor: L. Parrra, Sandra Sndra, Jaime Lloret, Laura García.

Publicado en: Journal of Sensors 2018:1-14 - DOI: [10.1155/2018/1060987](https://doi.org/10.1155/2018/1060987)

Abstract: Aquaculture is a growing industry, and its sustainability is crucial. One of its major environmental impacts is the uneaten feed that pollutes the water. To minimize the uneaten feed, many systems have been developed. Nevertheless, current systems can be improved by considering the fish position in the tank and the falling feed. In this paper, we propose a system based on fish presence sensors set at differ-

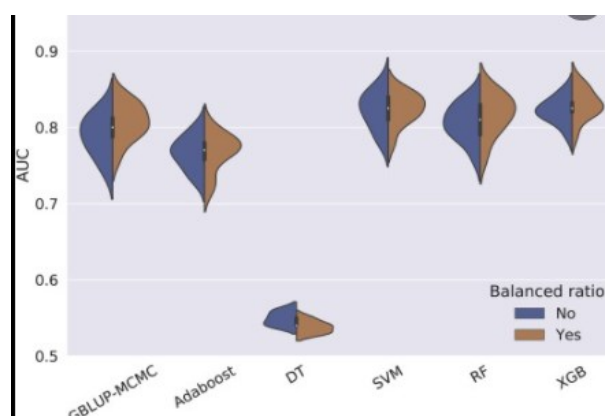
ent tank heights and a feed detection sensor located in the drainage tubes. The fish presence sensor is based on light-dependent resistor (LDR). The calibration of these sensors is shown. When the output voltage is higher than 1.467 V, we can consider that fish are present. On the other side, the falling feed sensor is based on a CMOS sensor. The calibration process is performed with 40 pictures. The summation of pixels, with brightness value between 0 and 15 in the blue histogram, is used as an indicator of feed presence. If this value is higher than 520 pixels, we can consider that there is feed in the picture. Moreover, a verification process of both sensors is done. The results of the verification confirm the calibration. Finally, the operation of the system is shown.

Predicting for disease resistance in aquaculture species using machine learning models

Autor: Christos Palaiokostas

Publicado en: Aquaculture Reports, volumen 20, julio 2021, 100660. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100660>

Abstract: Predicting disease resistance is one of the most prominent applications of aquaculture selective breeding. Reductions in genotyping costs have allowed the implementation of genomic selection in an abundance of aquaculture species and their related diseases showing promising results. Machine learning (ML) models can be of value for prediction purposes, as suggested by several studies in both plants and live-



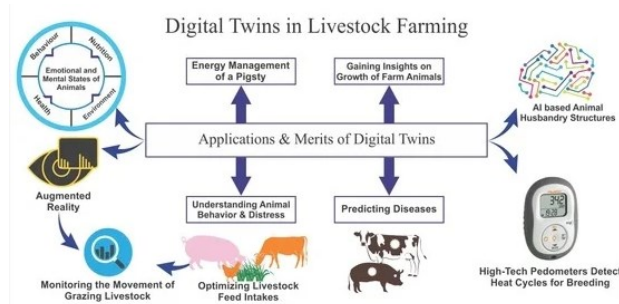
stock. The current study aimed to test the efficiency of various ML models in predicting disease resistance using both simulated and real datasets. More specifically, models like decision trees (DT), support vector machines (SVM), random forests (RF), adaptive boosting (Adaboost) and extreme gradient boosting (XGB) were benchmarked against genomic best linear unbiased prediction for threshold traits backend by Markov chain Monte Carlo (GBLUP-MCMC) both in terms of prediction efficiency and required computational time. Moreover, the model ranking was tested in datasets where the ratio between the two observed phenotypes (resistant vs non-resistant) was unbalanced. Across all tested datasets, XGB ranked first with a slight advantage over GBLUP-MCMC, ranging between 1–4 %. SVM and RF delivered predictions in tight proximity with the ones from XGB and GBLUP-MCMC. In addition, predictions 3–4 % lower compared to GBLUP-MCMC were obtained with Adaboost. On the other hand, the predictions from DT were consistently low (≈40 % lower compared to GBLUP-MCMC). All tested ML models had significantly reduced computational requirements than GBLUP-MCMC. In the case of XGB, the computational requirements were reduced more than 20-fold as opposed to GBLUP-MCMC under the settings of the current study. RF delivered both competitive predictions and was highly efficient in terms of the required computational time (≈3 min). Overall, the results of the current study suggest that ML models can be valuable tools in aquaculture breeding studies for disease resistance.

Digital Twins in Livestock Farming

Autor: Suresh Neethirajan, Bas Jemp

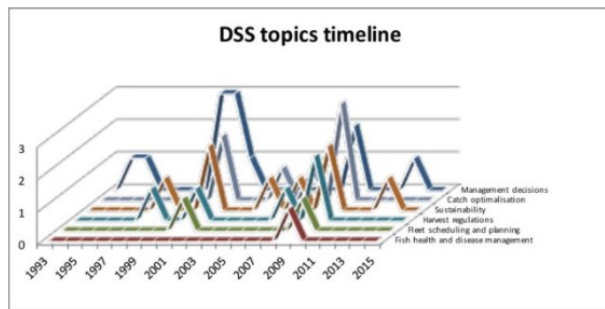
Publicado en: *Animals* 2021, 11, 1-14. Digital Twins in Livestock Farming

Abstract: Digital twin technology is already improving efficiencies and reducing costs across multiple industries and sectors. As the earliest adopters, space technology and



manufacturing sectors have made the most sophisticated gains with automobile and natural resource extraction industries following close behind with recent investments in digital twin technology. The application of digital twins within the livestock farming sector is the next frontier. The possibilities that this technology may fuel are nearly endless as digital twins can be used to improve large-scale precision livestock farming practices, machinery and equipment usage, and the health and well-being of a wide variety of farm animals. Currently, many pioneers of digital twins in livestock farming are already applying sophisticated AI technology to monitor both animals and environment around the clock, which leads to a better understanding of animal behavior and distress, disease control and prevention, and smarter business decisions for the farmer. Mental and emotional states of animals can be monitored using recognition technology that examines facial features such as ear postures and eye white regions. Used with modeling, simulation and augmented reality technologies, digital twins can help farmers build more energy-efficient housing structures, predict heat cycles for breeding, discourage negative behaviors of livestock, and potentially much more. As with all disruptive technological advances, the implementation of digital twin technology will demand a thorough cost and benefit analysis by individual farms. Digital twin application will need to overcome challenges and accept limitations that arise. However, regardless of these issues, the potential of digital twins promises to revolutionize livestock farming in the future.

Decision Support Systems in Fisheries and Aquaculture: A systematic review



Autor: Bjørn Magnus Mathisen, Peter Hal-land Haro, Bard Hanssen, Srale Walderhaug.

Publicado en: Computer Science

Abstract: Decision support systems help decision makers make better decisions in the face of complex decision problems (e.g. investment or policy decisions). Fisheries and Aquaculture is a domain where decision makers face such decisions since they involve factors from many different scientific fields. No systematic overview of literature describing decision support systems and their application in fisheries and aquaculture has been conducted. This paper summarizes scientific literature that describes decision support systems applied to the domain of Fisheries and Aquaculture. We use an established systematic mapping survey method to conduct our literature mapping. Our research questions are: What decision support systems for fisheries and aquaculture exists? What are the most investigated fishery and aquaculture decision support systems topics and how have these changed over time? Do any current DSS for fisheries provide real-time analytics? Do DSSes in Fisheries and Aquaculture build their models using machine learning done on captured and grounded data? The paper then detail how we employ the systematic mapping method in answering these questions. This results in 27 papers being identified as relevant and gives an exposition on the primary methods concluded in the

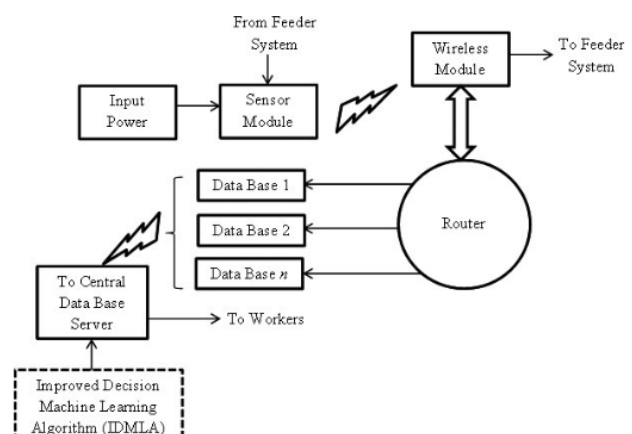
study for designing a decision support system. We provide an analysis of the research done in the studies collected. We discovered that most literature does not consider multiple aspects for multiple stakeholders in their work. In addition we observed that little or no work has been done with real-time analysis in these decision support systems.

Examining the effect of aquaculture using sensor-based technology with machine learning algorithm

Autor: Hariprasath Manoharan, Yubaraja Teekaraman, Pravin Kshirsagar, M. Abirami.

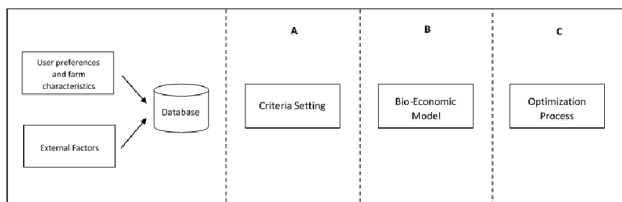
Publicado en: Aquaculture Research 51 (03).

Abstract: This article envisages a new flanged technique for monitoring the aquaculture. Since a new conservative method is needed for monitoring the feed of fish, this article introduces an Internet of Things (IoT)-based system with integration of improved decision machine learning algorithm (IDMLA). The advancement in system on chip technologies has been emerging as a platform for monitoring the important parameters like quality of water, range, velocity and flow of water pumps. All the parameters if monitored correctly will increase the lifetime of fish. Therefore, a sensor-based technology has been used for monitoring the necessary parameters



which is easily connected in low cost. The IDMLA has been tested with the information in database system by using an online monitoring system, and the results are plotted using MATLAB where the efficiency of IDMLA is more efficient when compared with other techniques.

Determination of feeding strategies in aquaculture farms using a multiple-criteria approach and genetic algorithms



Autor: M. Luna, Ignacio Lorente, Angel Cobo.

Publicado en: Computer Science, Annals of Operations Research. DOI:10.1007/S10479-019-03227-W

Abstract: Since the 1990s, fishing production has stagnated and aquaculture has experienced an exponential growth thanks to the production on an industrial scale. One of the major challenges facing aquaculture companies is the management of breeding activity affected by biological, technical, en-

vironmental and economic factors. In recent years, decision-making has also become increasingly complex due to the need for managers to consider aspects other than economic ones, such as product quality or environmental sustainability. In this context, there is an increasing need for expert systems applied to decision-making processes that maximize the economic efficiency of the operational process. One of the production planning decisions more affected by these changes is the feeding strategy. The selection of the feed determines the growth of the fish, but also generates the greatest impact of the activity on the environment and determines the quality of the product. In addition, feed is the main production cost in finfish aquaculture. In order to address all these problems, the present work integrates a multiple-criteria methodology with a genetic algorithm that allows determining the best sequence of feeds to be used throughout the fattening period, depending on multiple optimization objectives. Results show its utility to generate and evaluate different alternatives and fulfill the initial hypothesis, demonstrating that the combination of several feeds at precise times may improve the results obtained by one-feed strategies.

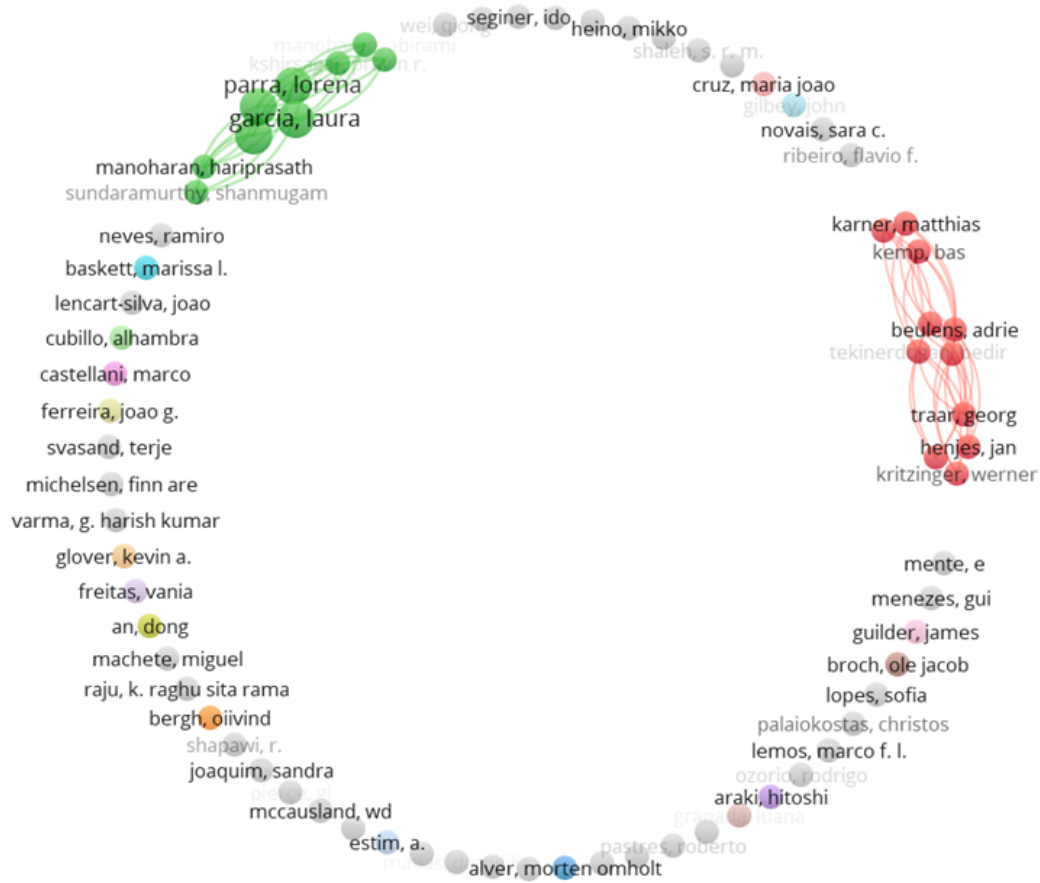
5.1.1. Análisis de tendencias en la literatura

Para el análisis de tendencias de la literatura relacionada con la transformación digital, se han analizado 20 de los 32 artículos propuestos en el apartado anterior, para conocer las relaciones entre ellos según ñas relaciones entre sus autores, país o la entidad a la que pertenecen.

En el siguiente mapa, cada nodo representa a un autor y los enlaces indican las relaciones entre unos y otros. El color de cada uno de los autores determina el clúster al que pertenece. Por otro lado, la distancia entre dos autores marca su relación en función de

las citas. En general, cuanto más cerca están, mayor es su relación. A continuación, haremos un análisis de los principales clústeres.

El **primer clúster (color rojo)** está formado por los autores (ordenados por el número de citas): Henjes Jan, Karner Matthias, Kritzinger Werner, Sihn Wilfried, Traar Georg, Beulens Adrie, Tekinerdogan Bedir, Verdouw Cor, Wolfert Sjaak, Kemp Bas y Neethirajan Suresh.



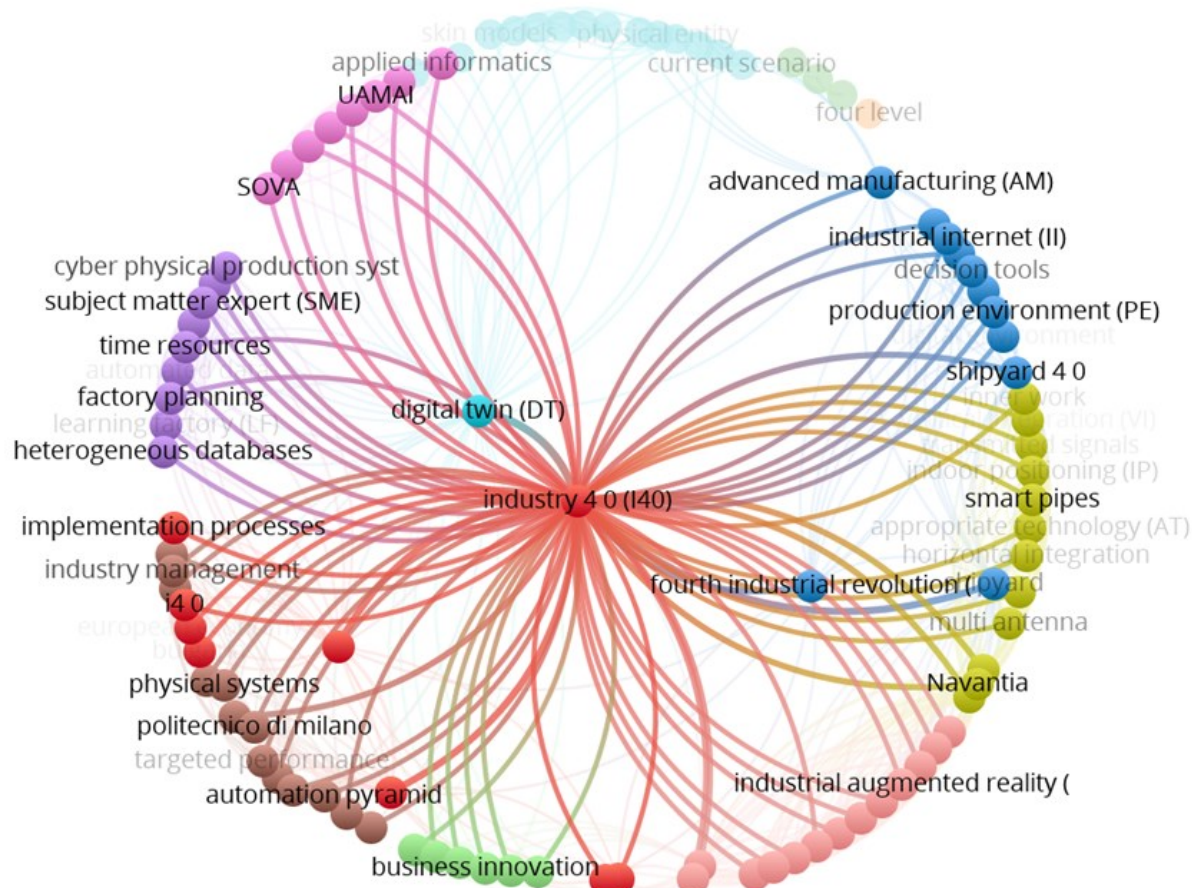
Mapa de Autores



Detalle de los autores del Clúster 1

Basándonos en el análisis de palabras clave que han sido extraídas de manera automática por un software, los

autores de este clúster trabajan principalmente sobre “industry 4.0 (I40)”.

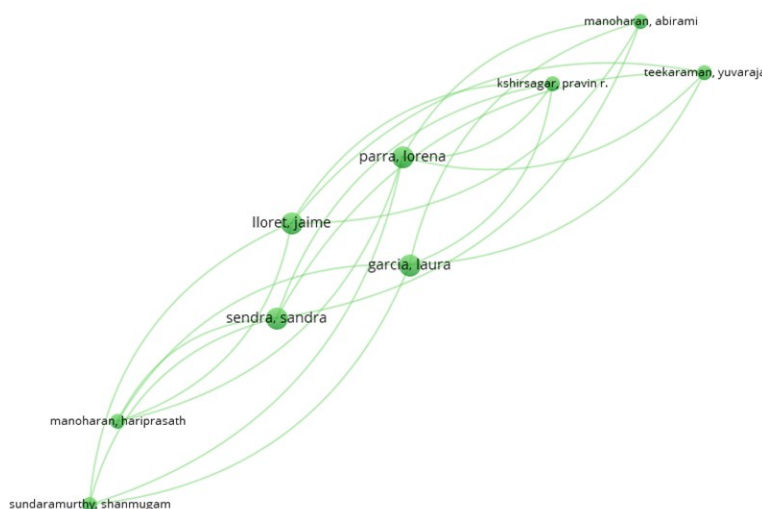


Palabras claves más frecuentes en el Clúster 1

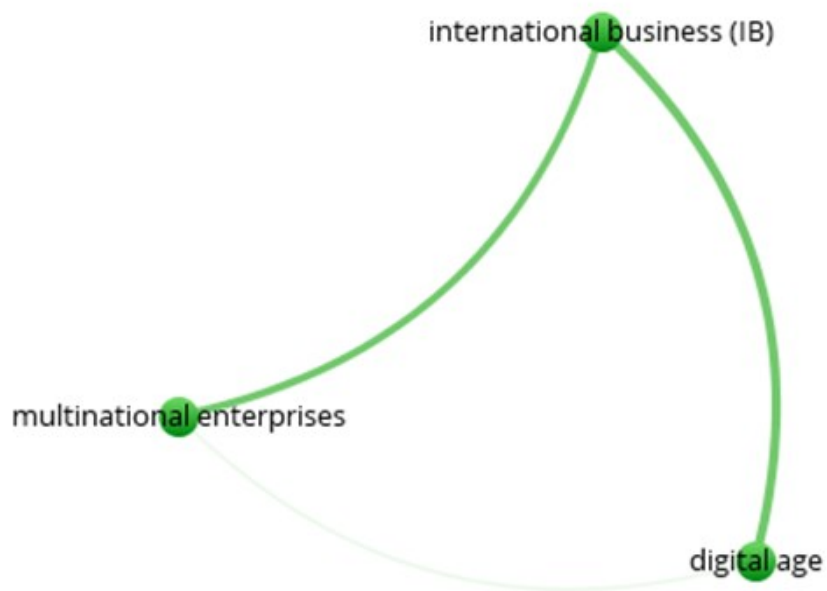
El **segundo clúster (color verde)** está formado por los autores (ordenados por números de citas): Garcia Laura, Lloret Jaime, Parra Lorena, Sendra Sandra, Kshirsagar Pravin R., Manoharan Abirami, Manoharan

Hariprasath, Sundaramurthy Shanmugam y Teekarama, Yuvaraja.

El topic más frecuente entre estos autores es “international business”.



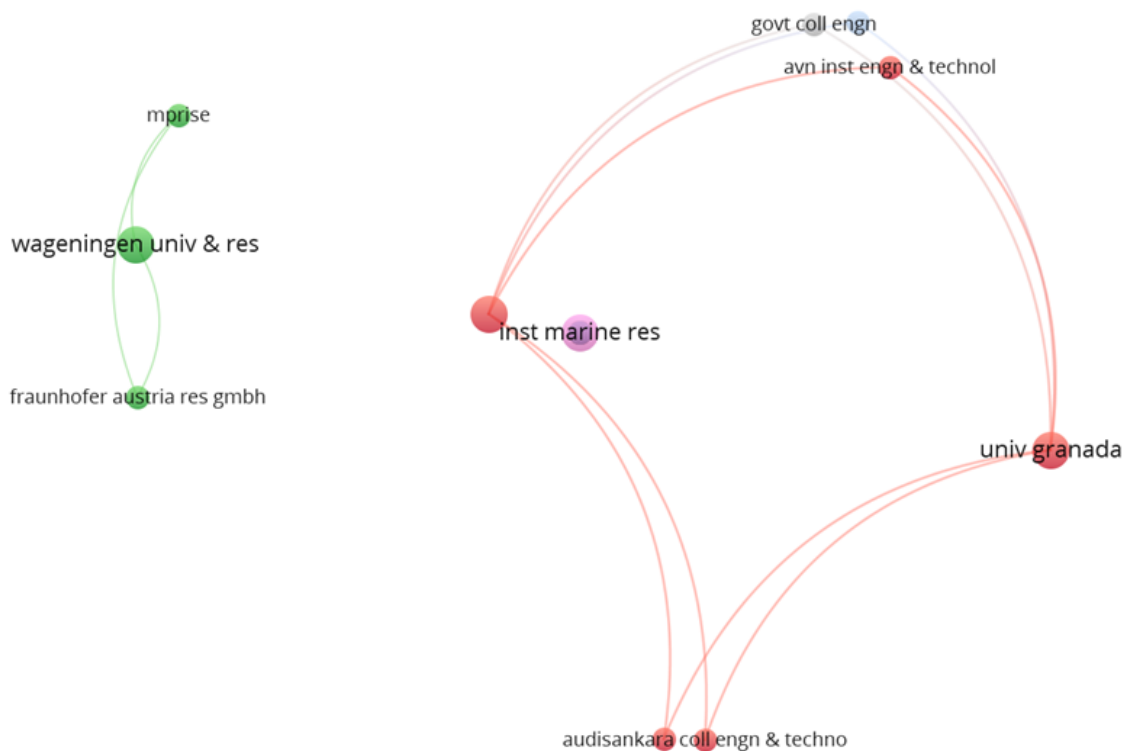
Detalle del Clúster 2



Palabras clave más utilizadas por el Clúster 2

En los siguientes gráficos se muestra la relación por entidades y países de los docu-

mentos analizados en el apartado [5.1 Literatura científica](#).



Mapa de citas por entidades



portugal

india

spain

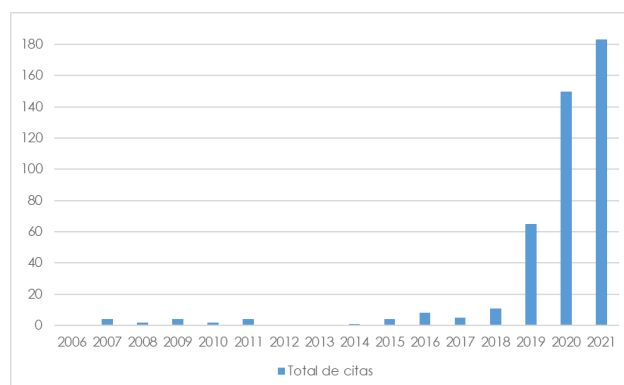
ruusia

Mapa de citas entre países

Según el número de citas de cada publicación, en la siguiente tabla y gráfico podemos observar que el número de referencias da un salto en el año 2019 (65) y sigue creciendo hasta llegar a superar las 180 citas en 2021.

Año	Total de citas
2006	0
2007	4
2008	2
2009	4
2010	2
2011	4
2012	0
2013	0
2014	1
2015	4
2016	8
2017	5
2018	11
2019	65
2020	150
2021	183

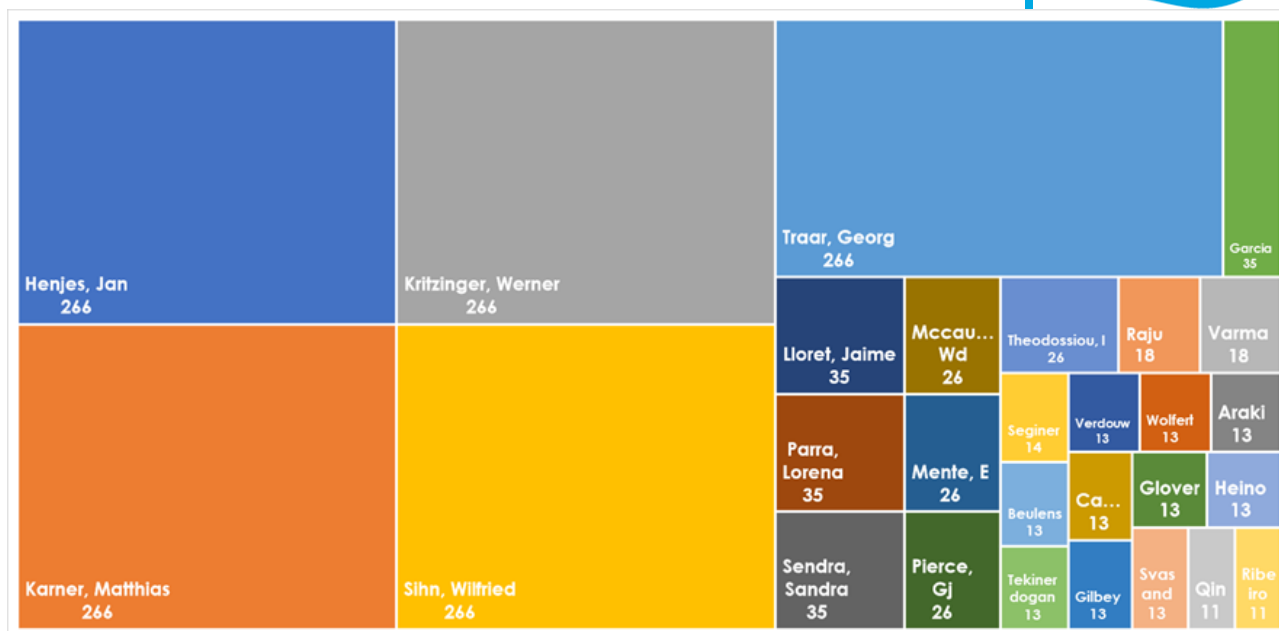
La [Tabla](#) indica que aproximadamente el 85% de los documentos analizados ha sido citado al menos una vez. El 40% ha sido referenciado más de diez veces y solo el 5% ha sido citado más de cincuenta veces.



Evolución del número de citas

En el siguiente mapa podemos ver quiénes de los 73 autores de las publicaciones analizadas, son los más influyentes.

Los cinco autores más citados (Jan Henjes, Werner Kritzinger, Matthias Karner, Wilfried Sihm y Georg Traar, 266) pertenecen al clúster 1.



Autores más citados

Lista de autores con h-index, citas y publicaciones

Autores	Afiliación	H-I	CT	PT
Menezes, Gui	-	-	-	-
Pierce, Gj	-	-	-	-
Heino, Mikko	University of Bergen	46	7.534	146
Kemp, Bas	Wageningen University & Research	41	5.859	270
Lloret, Jaime	Universitat Politècnica de València	37	5.773	429
Qin, Jian G.	Flinders University South Australia	34	5.469	375
Bergh, Oivind	Institute of Marine Research - Norway	31	3.903	82
Glover, Kevin A.	Institute of Marine Research - Norway	31	3.837	156
Neves, Ramiro	Instituto Portugues do Mar e da Atmosfera	25	1.968	110
Seginer, Ido	Technion	25	1.694	1247
Baskett, Marissa L.	University of California, Davis	24	1.584	70
Broch, Ole Jacob	SINTEF	24	1.820	99
Svasand, Terje	Institute of Marine Research - Norway	23	1.612	48
Araki, Hitoshi	Hokkaido University	21	3.645	69
Beulens, Adrie	Wageningen University & Research	21	1.523	57
Sendra, Sandra	Universitat Politècnica de Valencia	21	1.390	93
Lemos, Marco F. L.	Instituto Politécnico de Leiria	20	1.357	103
Silva, Monica A.	IMAR - Institute of Marine Research	20	1.254	67
Mente, E	University of Thessaly	17	1.069	56
Novais, Sara C.	Instituto Politécnico de Leiria	17	924	47
Sihn, Wilfried	Technische Universität Wien	17	2.274	103
Theodossiou, I	University of Aberdeen	17	971	66
Gilbey, John	Marine Scotland Sci	16	853	92

Ozorio, Rodrigo	Universidade do Porto	14	515	48
Parra, Lorena	"Universitat Politecnica de Valencia	14	688	57
Verdouw, Cor	Wageningen University & Research	14	1.233	29
Castellani, Marco	-	13	500	43
Alver, Morten Omholt	Norwegian University of Science & Technology (NTNU)	12	454	38
Saraiva, Sofia	Universidade de Lisboa	12	486	18
Waples, Robin S.	National Oceanic Atmospheric Admin (NOAA) - USA	12	674	36
Wei, Yaoguang	China Agricultural University	12	519	70
Machete, Miguel	OKEANOS UAc Univ Azores	11	494	16
Matias, Domitilia	Instituto Portugues do Mar e da Atmosfera	11	623	41
An, Dong	China Agricultural University	10	518	57
Ferreira, Joao G.	Universidade de Lisboa	10	584	45
Taylor, Nick G. H.	Deakin University	10	663	43
Garcia, Laura	"Universitat Politecnica de Valencia	9	271	32
Wolfert, Sjaak	Wageningen University & Research	9	951	14
Klebert, Pascal	SINTEF	8	303	15
Cruz, Maria Joao	FCT Univ Acores	7	142	30
Mccausland, Wd	University of Aberdeen	7	174	20
Cubillo, Alhambra	Longline Environm Ltd	6	157	12
Pastres, Roberto	Universita Ca Foscari Venezia	6	94	24
Ribeiro, Flavio F.	Mote Marine Laboratory	6	85	9
Granada, Luana	Polytech Inst Leiria	5	155	6
Michelsen, Finn Are	SINTEF	5	81	15
Guilder, James	Centre for Environment Fisheries & Aquaculture Science	4	37	8
Henjes, Jan	Fraunhofer Austria Res GmbH	4	310	9
Lopes, Sofia	Polytech Inst Leiria	4	104	6
Rato, Ana	Universidade do Porto	4	55	7
Shaleh, S. R. M.	Universiti Malaysia Sabah	4	73	12
Yang, LuoJun	East China Jiaotong University	4	25	9
Freitas, Vania	Universidade do Porto	3	22	7
Karner, Matthias	Fraunhofer Austria Res GmbH	3	280	3
Manoharan, Abirami	Govt Coll Engn	3	19	8
Raju, K. Raghu Sita Rama	SRKR Engineering College	3	26	5
Kritzinger, Werner	Technische Universitat Wien	2	269	2
Kshirsagar, Pravin R.	AVN Inst Engn & Technol	2	7	11
Manoharan, Hariprasath	Audisankara Coll Engn & Technol	2	14	19
Neethirajan, Suresh	Wageningen University & Research	2	7	6
Sundaramurthy, Shan-mugam	Kongunadu Coll Engn & Technol	2	11	4
Varma, G. Harish Kumar	SRKR Engineering College	2	20	5
Wei, Qiong	China Agricultural University	2	35	4
Joaquim, Sandra	Instituto Portugues do Mar e da Atmosfera	1	4	4
Lencart-Silva, Joao	Longline Environm Ltd	1	2	2

5.2. Proyectos

VALUMICS - Understanding food value chain and network dynamics

Acrónimo: VALUMICS

Financiado por: Horizon2020

Periodo de financiación: 2017 - 2021.

[+ INFO](#)

Resumen:

VALUMICS is a Horizon2020 Research and Innovation project coordinated by University of Iceland. The consortium driving this proposal has a core of 19 European partners from 14 countries, and two Asian partners. Given the complexity and diversity of food value chains, and the contexts within which they operate, VALUMICS offers a comprehensive and multi-dimensional scope that will go beyond the current state of art to provide new approaches and tools for stakeholders on several fronts. This includes new modelling approaches, consumer research, foresight analysis and synthesis into policy options, adding new perspectives for policy makers, both in government and within the food industry sector. The dynamics within the food systems will be modelled using a causal loop analysis framework, covering the interconnected value, supply, and decision chains. The causality dynamics framework for the VALUMICS project methodological approach will be implemented as a key driver of the project work through workshops involving stakeholders. The causal loop framework will be built with involvement of all participants in the project in order to construct a shared vision of the overall system. VALUMICS will challenge and go beyond previous research limitations and boundaries through a highly cross-functional project

design that will provide a bridging analysis across the economic, environmental and social dimensions previously kept separate. This whole chain analysis perspective will deliver comparative assessments at the European level and beyond. The case studies will cover short supply chains, with local and national analysis, as well as reaching global food chains relevant for sustainable food and nutrition security in Europe.

Tools for Assessment and Planning of Aquaculture Sustainability

Acrónimo: TAPAS

Financiado por: H2020-EU.3.2.

Periodo de financiación: 1 de marzo de 2016 hasta el 29 de febrero de 2020.

[+ INFO](#)

Resumen:

Aquaculture is one of five sectors in the EU's Blue Growth Strategy, aimed at harnessing untapped potential for food production and jobs whilst focusing on environmental sustainability. TAPAS addresses this challenge by supporting member states to establish a coherent and efficient regulatory framework aimed at sustainable growth. TAPAS will use a requirements analysis to evaluate existing regulatory and licensing frameworks across the EU, taking account of the range of production environments and specificities and emerging approaches such as offshore technologies, integrated multi-trophic aquaculture, and integration with other sectors. We will propose new, flexible approaches to open methods of coordination, working to unified, common standards. TAPAS will also evaluate existing tools for economic assessment of aquaculture sustainability affecting sectoral growth. TAPAS will critically evalu-

ate the capabilities and verification level of existing ecosystem planning tools and will develop new approaches for evaluation of carrying capacities, environmental impact and future risk. TAPAS will improve existing and develop new models for far- and near-field environmental assessment providing better monitoring, observation, forecasting and early warning technologies. The innovative methodologies and components emerging from TAPAS will be integrated in an Aquaculture Sustainability Toolbox complemented by a decision support system to support the development and implementation of coastal and marine spatial planning enabling less costly, more transparent and more efficient licensing. TAPAS partners will collaborate with key industry regulators and certifiers through case studies to ensure the acceptability and utility of project approach and outcomes. Training, dissemination and outreach activities will specifically target improvement of the image of European aquaculture and uptake of outputs by regulators, while promoting an integrated sustainable strategy for development.

Co-creating a decision support framework to ensure sustainable fish production in Europe under climate change

Acrónimo: ClimeFish

Financiado por: H2020-EU.3.2.

Periodo de financiación: 1 de marzo de 2016 hasta el 29 de febrero de 2020.

[+ INFO](#)

Resumen:

The overall goal of ClimeFish is to help ensure that the increase in seafood production comes in areas and for species where there is a potential for sustainable growth, given the expected developments in climate, thus contributing to robust employ-

ment and sustainable development of rural and coastal communities. The underlying biological models are based on single species distribution and production, as well as multispecies interactions. Forecasting models will provide production scenarios that will serve as input to socio-economic analysis where risks and opportunities are identified, and early warning methodologies are developed. Strategies to mitigate risk and utilize opportunities will be identified in co-creation with stakeholders, and will serve to strengthen the scientific advice, to improve long term production planning and the policy making process. ClimeFish will address 3 production sectors through 16 case studies involving 25 species, and study the predicted effects of 3 pre-defined climate scenarios. For 7 of these cases ClimeFish will develop specific management plans (MPs) coherent with the ecosystem approach and based on a results-based scheme that will allow regulators, fishers and aquaculture operators to anticipate, prepare and adapt to climate change while minimizing economic losses and social consequences. A guideline for how to make climate-enabled MPs will be produced, and published as a low-level, voluntary European standard after a consensus-based open consultation process. As a container for the models, scenarios and MPs ClimeFish will develop the ClimeFish Decision Support Framework (DSF) which also contains the ClimeFish Decision Support System (DSS); a software application with capabilities for what-if analysis and visualization of scenarios. The presence of key international stakeholders in the project will ensure quality and relevance of the project outputs thus ensuring uptake and significant impact also after project end.

Green Aquaculture Intensification in Europe

Acrónimo: GAIN

[+ INFO](#)

Financiado por: H2020-EU.3.2.3

Periodo de financiación: 1 de mayo de 2018 hasta el 31 de octubre de 2021.

Resumen:

GAIN is designed to support the ecological intensification of aquaculture in the European Union (EU) and the European Economic Area (EEA), with the dual objectives of increasing production and competitiveness of the industry, while ensuring sustainability and compliance with EU regulations on food safety and environment. Eco-intensification of European aquaculture is a transdisciplinary challenge that requires the integration of scientific and technical innovations, new policies and economic instruments, as well as the mitigation of social constraints. Successful eco-intensification of aquaculture will provide more and better aquatic products, more jobs, and improve trade balance by reducing imports.

GAIN, besides looking at innovative ways of integrating cultured species, will seek integration with other sectors, in order to promote the implementation of the principles of circular economy in Aquaculture. The GAIN Consortium includes a wide range of complementary expertise and a well blended mix of research institutes and industrial partners, which will ensure the achievement of the following specific objectives:

- (i) Develop and optimize sustainable feeds, without increasing the pressure on land and fish stocks;
- (ii) Add value to cultivation, by means of innovative processes, which turn both by-products and side-streams into valuable secondary materials, thus increasing profits and minimizing the environmental footprint;
- (ii) Improve the management of finfish and shellfish farms, in terms of FCR, fish welfare and reduction of wastes, through the use of sensors, biomarkers, Big Data, IoT

(Internet of Things) and predictive mathematical models;

- (iv) Support integrated policies and address current barriers to the implementation of the principles of circular economy in aquatic production.

AQUAPEF: Promover la implementación efectiva de la Huella Ambiental del producto en el sector de la acuicultura mediterránea

Acrónimo: AQUAPERF

Financiado por: DG Environment

Periodo de financiación: 2018-2021

[+ INFO](#)

Resumen:

Promover la implementación de la iniciativa y metodología PEF en el sector de la acuicultura mediterránea mediante el desarrollo de una metodología y una herramienta integradora para facilitar la disponibilidad de datos, el cálculo de la huella, la verificación y la comunicación B2B y B2C.

Este proyecto validará y demostrará la utilidad de la metodología PEF como una herramienta efectiva para la mejora ambiental de los productos de acuicultura de una manera fácil e integral.

All Atlantic Ocean Sustainable, Profitable and Resilient Aquaculture

Acrónimo: ASTRAL

Financiado por: H2020-EU.3.2., H2020-EU.3.2.5.2., H2020-EU.3.2.5.1

Periodo de financiación: 2018-2021

[+ INFO](#)

Resumen:

In integrated multi-trophic aquaculture (IMTA), multiple aquatic species from dif-

ferent trophic levels are farmed together. Thus, waste from one species can be used as input (fertiliser and food) for another species. The EU-funded ASTRAL project will develop IMTA production chains for the Atlantic markets. Focusing on a regional challenge-based perspective, it will bring together labs in Ireland and Scotland (open offshore labs), South Africa (flow-through inshore) and Brazil (recirculation inshore) as well as Argentina (prospective IMTA lab). The aim is to increase circularity by as much as 60 % compared to monoculture baseline aquaculture and to boost revenue diversification for aquaculture producers. ASTRAL will share, integrate, and co-generate knowledge, technology and best practices, fostering a collaborative ecosystem along the Atlantic.

Developing Innovative Market Orientated Prediction Toolbox to Strengthen the Economic Sustainability and Competitiveness of European Seafood on Local and Global markets

Acrónimo: PrimeFish

Financiado por: H2020-EU.3.2.

Periodo de financiación: 2015-2019

[+ INFO](#)

Resumen:

The overall aim of PrimeFish is to improve the economic sustainability of European fisheries and aquaculture sectors. PrimeFish will gather data from individual production companies, industry and sales organisations, consumers and public sources. The data will be related to the competitiveness and economic performance of companies in the sector; this includes data on price development, supply chain relations, markets, consumer behaviour and successful product innovation. The large industry reference group will facilitate access to data on specific case studies. A data

repository will be created, and PrimeFish will join the H2020 Open Research Data Pilot to ensure future open access to the data. The effectiveness of demand stimulation through health, label and certification claims will be evaluated and compared with actual consumer behaviour. PrimeFish will assess the non-market value associated with aquaculture and captured fisheries as well as the effectiveness of regulatory systems and thereby provide the basis for improved societal decision making in the future. The collected data will be used to verify models and develop prediction algorithms that will be implemented into a computerized decision support system (PrimeDSS). The PrimeDSS, together with the underlying data, models, algorithms, assumptions and accompanying user instructions will form the PrimeFish Decision Support Framework (PrimeDSF).

The lead users, typically fishermen, aquaculture producers and production companies, will be able to use the PrimeDSF to improve understanding of the functioning of their markets and in setting strategic plans for future production and innovation which in turn will strengthen the long term viability of the European fisheries and aquaculture sectors. This will also benefit consumers, leading to more diversified European seafood products, enhanced added value, novel products and improved information on origin, certification and health claims.

Mediterranean Aquaculture Integrated Development

[+ INFO](#)

Acrónimo: MedAID

Financiado por: H2020-EU.3.2.3

Periodo de financiación: 2017-2021

Resumen:

Production and productivity of Mediterranean marine fish aquaculture, mainly sea-

bass and seabream, are stagnating or growing slowly as a result of multiple and inter-related causes. To accomplish the objective of improving its competitiveness and sustainability, MedAID is structured in a first interdisciplinary WP to assess technical, environmental, market, socioeconomic and governance weaknesses, and in several specialized WPs exploring innovative solutions, followed by an integrating WP, which will provide codes of practice and innovative tool-boxes throughout the value chain to enhance the sector performance holistically. Various stakeholders will interact in the consultation, communication, dissemination and training WPs ensuring practical orientation of the project and results implementation. Biological performance (nutrition, health and genetics) will be scrutinized to identify and quantify the relevant components to improve Key Performance Indicators (KPIs: growth rates, mortality and feed efficiency), thus contributing to increase production efficiency. Economic, business, marketing, environmental, social, administrative and legal factors will be addressed to obtain integrated solutions to shift towards a market-oriented and consumer-responsible business and to face the multiple administrative, environmental and social issues constraining competitiveness and public acceptance. An interdisciplinary consortium of research and industrial partners will carry out R&D and case study activities to close the existing gaps. Mediterranean countries (EU and non-EU) with significant aquaculture production are represented. Northern European R&D institutions will participate by bringing successful technological tools and integrated approaches that Mediterranean aquaculture is missing today. MedAID will impact the sector positively by providing innovative tools, integrated marketing and business plans and by improving the sector image, sustainability and governance.

New Technologies, Tools and Strategies for a Sustainable, Resilient and Innovative European Aquaculture

Acrónimo: NewTechAqua

Financiado por: H2020-EU.3.2.3.2

Periodo de financiación: 2020-2023

[+ INFO](#)

Resumen:

In Europe, aquaculture accounts for about 20 % of fish production and directly employs some 85 000 people. EU aquaculture is renowned for its high quality, sustainability and consumer protection standards. Increasing the sector's production and competitiveness is a priority. The EU-funded NewTechAqua project will develop and validate technologically-advanced, resilient and sustainable new solutions to expand and diversify EU production of finfish, molluscs and microalgae. The solutions will be grouped (feed, Industry 4.0 sustainable farming, genetics, new species and new products) and validated on conventional (Atlantic salmon, rainbow trout, seabass and seabream) and emerging (greater amberjack, meagre, Senegalese sole and grey mullet) finfish species, molluscs (Pacific oyster, mussel) and microalgae.

Advanced Research Initiatives for Nutrition & Aquaculture

Acrónimo: ARRINA

Financiado por: FP7-KBBE

Periodo de financiación: 2012-2016

[+ INFO](#)

Resumen:

Sustainable development of European fish farming is dependent on the availability,

environmental sustainability of feeds relying less and less on capture fisheries derived fishmeal and fish oil. The European aquaculture industry has made a determined shift towards the use of feeds based on alternative ingredients which continue to ensure the health and welfare of fish and the nutritional value of farmed seafood. However, the long term effects of such interventions and over the full life cycle of the major species farmed in Europe need to be determined.

To answer this challenge, ARRAINA will define and provide complete data on the quantitative nutrient requirements of the five major fish species and develop sustainable alternative aquaculture feeds tailored to the requirements of these species with reduced levels of fish meal and fish oil. By developing innovative vectors to deliver specific nutrients, ARRAINA will increase significantly the performance at all physiological stages thus improving overall efficiency of fish production.

ARRAINA will apply targeted predictive tools to assess the long-term physiological and environmental consequences of these changes in the different species. This will provide flexibility in the use of various ingredients in the formulation of feeds which are cost-efficient, environmentally friendly and which ensure production of seafood of high nutritional value and quality.

ARRAINA will design and deliver new pioneering training courses in fish nutrition to increase research capacities and expertise, particularly in countries of the enlarged EU.

By developing applied tools and solutions of technological interest in collaborations with SMEs, ARRAINA will further strengthen the links between the scientific community and the EU feed industry and will contribute to increase the productivity and performance of the aquaculture sector

leading to competitive advantage to the whole sector at a global level.

Consumer driven Production: Integrating Innovative Approaches for Competitive and Sustainable Performance across the Mediterranean Aquaculture Value Chain

Acrónimo: PerfomFISH

Financiado por: H2020-EU.3.2.3, H2020-EU.3.2

Periodo de financiación: 2017-2022

[+ INFO](#)

Resumen:

Gilthead sea bream and European sea bass are by volume the third and fourth most farmed fish species in the EU, while their collective value surpasses that of salmon, trout or mussel. These two species are farmed and contribute significantly to wealth and job creation in rural and coastal areas in all EU Mediterranean countries. However, production of sea bream/bass in the EU has remained stagnant for the last decade and the industry faces significant sustainability challenges.

The overarching objective of PerformFISH is to increase the competitiveness of Mediterranean aquaculture by overcoming biological, technical and operational issues with innovative, cost-effective, integrated solutions, while addressing social and environmental responsibility and contributing to “Blue Growth”. PerformFISH adopts a holistic approach constructed with active industry involvement to ensure that Mediterranean marine fish farming matures into a modern dynamic sector, highly appreciated by consumers and society for providing safe and healthy food with a low ecological footprint, and employment and trade in rural, peripheral regions.

PerformFISH brings together a representative multi-stakeholder, multi-disciplinary consortium to generate, validate and apply new knowledge in real farming conditions to substantially improve the management and performance of the focal fish species, measured through Key Performance Indicators. At the core of PerformFISH design are, a) a link between consumer demand and product design, complemented with product certification and marketing strategies to drive consumer confidence, and b) the establishment and use of a numerical benchmarking system to cover all aspects of Mediterranean marine fish farming performance. Created knowledge and innovative solutions will underpin the developed code of conduct and good practices and will foster modernization through capacity building of the Mediterranean aquaculture workforce.

European Aquaculture Training for improving Seafood Husbandry

Acrónimo: EATFISH

Financiado por: H2020-EU.1.3, H2020-EU.1.3.1

Periodo de financiación: 2020-2024

[+ INFO](#)

Resumen:

Farming finfish, shellfish and aquatic plants is one of the world's fastest growing food sectors. In Europe, aquaculture accounts for about 20 % of fish production and directly employs some 70 000 people. The EU-funded EATFISH project will address current and future challenges related to competition in the market, sustainability, disease in aquaculture systems and governance. Backed by a multidisciplinary consortium composed of universities, research institutes and private sector partners, the project will train researchers in socio-

economic and governance aspects of aquaculture. Specifically, it will focus on the optimisation of the resource economy in European aquaculture so that it contributes to a circular bioeconomy. Moreover, it will ensure animal health and welfare and develop novel aquaculture products targeted at specific market segments.

MARine Management and Ecosystem Dynamics under climate change

Acrónimo: MARmaED

Financiado por: H2020-EU 1.3.1

Periodo de financiación: 2015-2019

[+ INFO](#)

Resumen:

The proposed European Training Network, MARmaED, connects science, policy and people and transcends national borders, disciplinary barriers and sectorial divides. By building a greater knowledge base and train the next generation of scientists to think across disciplines, MARmaED contributes to reinforce Europe's position as a global leader in marine science and ensure blue growth and sustainable exploitation of marine living resources.

The objectives of MARmaED are:

- To increase the marine scientific knowledge base by integrating traditionally separate scientific disciplines within a unified learning platform.
- To train a new generation of innovative researchers with interdisciplinary experience and skilled in promoting marine science to a wide audience.

MARmaED integrates education and research in complementary marine sciences in Norway, Finland, Denmark, the Netherlands, Germany and France. Specifically, the network links state-of-the-art compe-

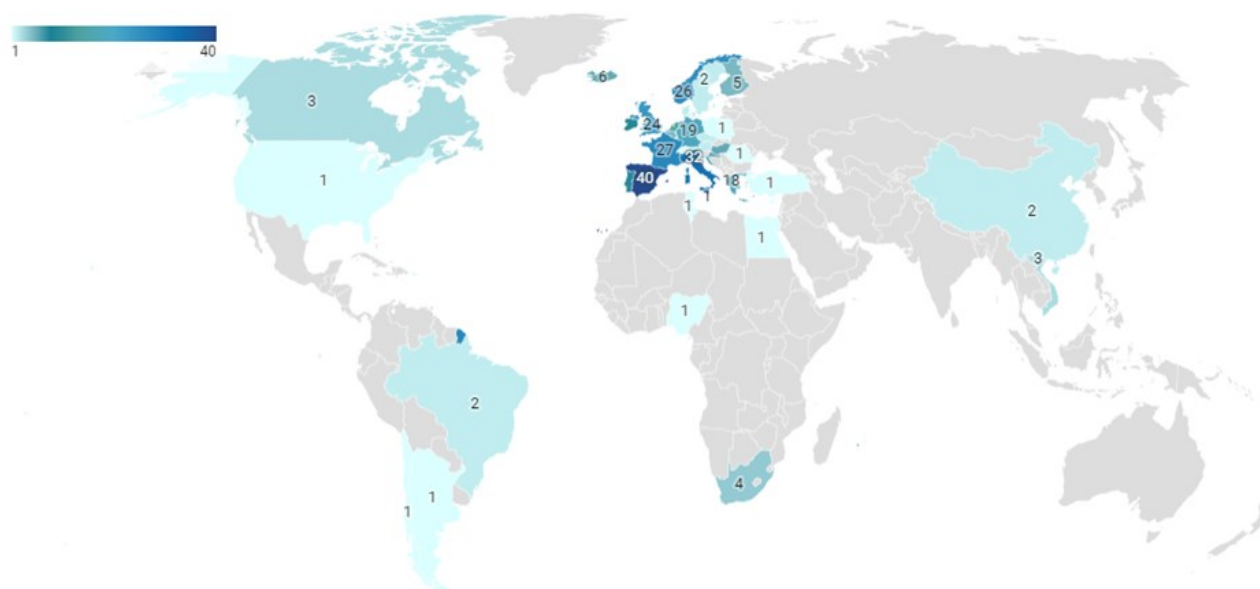
tences in genetics, ecophysiology, ecology, climatology, physical oceanography, statistics and economics. By so doing, the network unifies essential disciplines needed to achieve a good understanding and management of the marine environment. The research will provide new insights into how the cumulative stress from biodiversity loss, climate change and harvesting affects Europe's complex marine systems and the consequences for optimal resource use - knowledge that is needed for sustainable, ecosystem-based management.

MARmaED has a strong focus on training, with a mobility programme facilitating inter-disciplinarity and training modules of transferrable skills such as communication. Targeted secondments in the non-academic sector will provide the network's students with inter-sectorial training and favourable employment opportunities. MARmaED will thus create novel standards in the training of a new generation of multi-disciplinarily skilled and creative marine scientists, fit to address Europe's future challenges.

5.2.1. Análisis de la financiación europea

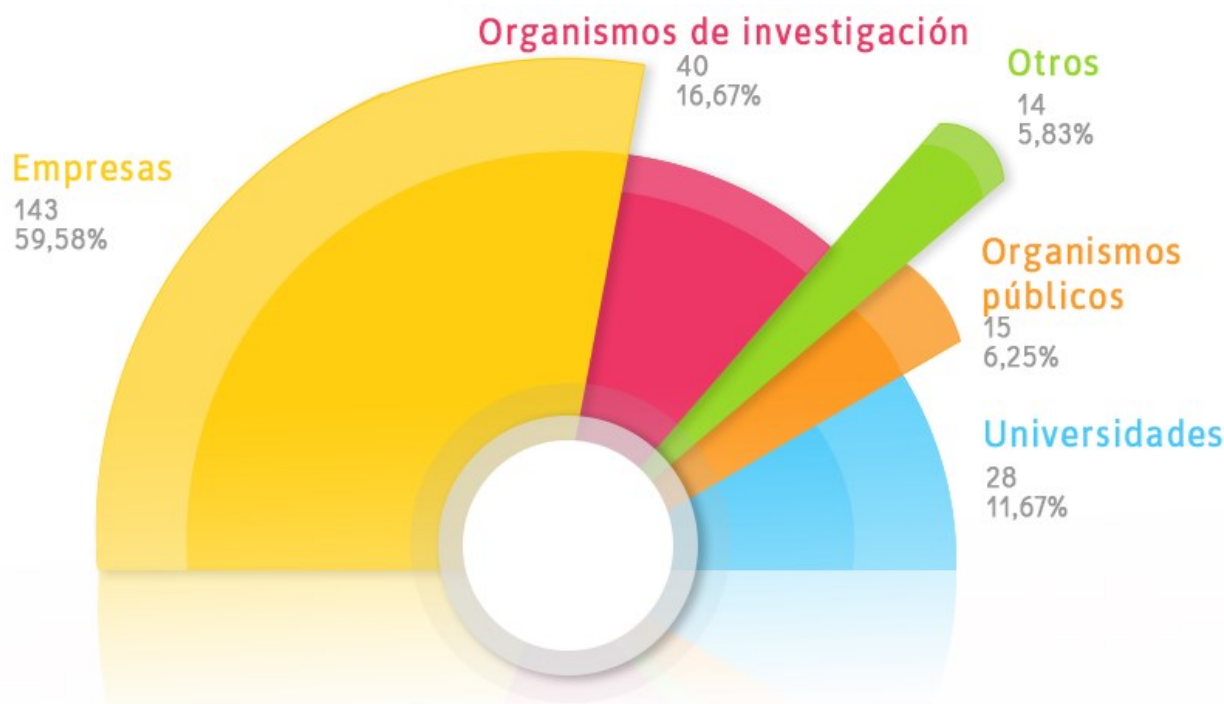
Los proyectos descritos están financiados por Horizonte 2020. El presupuesto total de este programa es de 67,93B€, para estos proyectos concretamente se destinan

68,73M€. En estos proyectos participan 278 organismos de los 175.986 intervienen en total.



Participantes por país

51



6. Bibliografía

[1] AENOR. (2011). Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. UNE 166000 EX, UNE 166001 EX, UNE 166002 EX. Madrid: AENOR.

[2] Degoul, P. (1992). Le pouvoir de l'information avancée face au règne de la complexité. Annales de Mines.

[3] Escorsa, P. R. (2001). De la vigilancia tecnológica a la inteligencia competitiva. Pearson Educación.ed

[4] Escorsa, Pere, Pilar Lázaro Martínez, Círculo de Innovación en Biotecnología. (2007). Intec: la inteligencia competitiva, factor clave para la toma de decisiones estratégicas en las organizaciones. Colección mi+d. Fundación Madri+d para el Conocimiento.

[5] F. Palop, J. V. (Febrero de 1995). Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva. Estudios Cotec, nº 15. Cotec.

[6] CETISME, P. (2003). Inteligencia Económica y Tecnológica. Guía para principiantes y profesionales. Comunidades Europeas.

Apromar. (2020). Informe de Acuicultura España 2020. 95. <http://www.apromar.es/content/informes-anuales>

Aldrin, M., Huseby, R. B., Jensen, B. B., & Jansen, M. D. (2021). Evaluating effects of different control strategies for Infectious Salmon Anaemia (ISA) in marine salmonid farming by scenario simulation using a disease transmission model. Preventive Veterinary Medicine, 105360. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105360>

Anyadike, C., Mbajiorgu, C., & Ajah, G. (2016). Review of Aquacultural Production System Models. Nigerian Journal of Technology, 35(2), 448. <https://doi.org/10.4314/njt.v35i2.29>

Aquaculture policy. The European Commission helps EU countries improve the competitiveness of their aquaculture sector. European Commission website. https://ec.europa.eu/oceans-and-fisheries/policy/aquaculture-policy_en

Baldan, D., Porporato, E. M. D., Pastres, R., & Brigolin, D. (2019). An R package for simulating growth and organic wastage in aquaculture farms in response to environmental conditions and husbandry practices. PLoS ONE, 13(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195732>

Besson, M., Allal, F., Chatain, B., Vergnet, A., Clota, F., & Vandeputte, M. (2019). Combining Individual Phenotypes of Feed Intake with Genomic Data to Improve Feed Efficiency in Sea Bass. Frontiers in Genetics, 10(MAR), 219. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00219>

Chen, L., Yang, X., Sun, C., Wang, Y., Xu, D., & Zhou, C. (2020). Feed intake prediction model for group fish using the MEA-BP neural network in intensive aquaculture. Information Processing in Agriculture, 7(2), 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.001>

Cobo, Á., Llorente, I., Luna, L., & Luna, M. (2019). A decision support system for fish farming using particle swarm optimization. Computers and Electronics in Agriculture, 161(February), 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.036>

Contreras, C., Molina, J. A., Osma, P., & Zambrano, D. (2018). Construcción de un Sistema de Adquisición y Transmisión Remota de la Calidad del Agua Basado en el In-

ternet de las Cosas (IoT) para la acuicultura. Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2018-July. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.367>

DeepFish (2021). Desarrollo de un prototipo de visión artificial para identificación de especies y obtención de datos biométricos en lonja basado en deep learning. Financiado por Fundación Biodiversidad.

DigiSal (2016-2023). Towards the Digital Salmon: From a reactive to a pre-emptive research strategy in aquaculture. Funded by the Programme of the Research Council of Norway

Dupont, C., Cousin, P., & Dupont, S. (n.d.). IoT for Aquaculture 4.0 Smart and easy-to-deploy real-time water monitoring with IoT. Retrieved April 30, 2021, from <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/>

Dzulqornain, M. I., Udin, M., Al Rasyid, H., & Sukaridhoto, S. (n.d.). Design and Development of Smart Aquaculture System Based on IFTTT Model and Cloud Integration. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816401030>

Espinosa-Faller, F. J., & Rendón-Rodríguez, G. E. (2012). A zigbee wireless sensor network for monitoring an aquaculture recirculating system. Journal of Applied Research and Technology, 10(3), 380–387. <https://doi.org/10.22201/icat.16656423.2012.10.3.391>

FAO. (2020). El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura. Marine Pollution Bulletin, 3(1–2), 165–171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.032%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2012.02.007%0Ahttp://www.fao.org/publications/es>

Føre, M., Alver, M., Alfredsen, J. A., Marafioti, G., Senneset, G., Birkevold, J., Willumsen, F. V., Lange, G., Espmark, Å., & Terjesen, B. F. (2016). Modelling growth performance and feeding behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in commercial-size aquaculture net pens: Model details and validation through full-scale experiments. Aquaculture, 464, 268–278. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.045>

Føre, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J. A., Dempster, T., Eguiraun, H., Watson, W., Stahl, A., Sunde, L. M., Schellewald, C., Skøien, K. R., Alver, M. O., & Berckmans, D. (2018). Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture. In Biosystems Engineering (Vol. 173, pp. 176–193). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.10.014>

Güelfo, A. (24 de septiembre 2020). Si Europa quiere ser autosuficiente en el suministro de productos acuáticos tiene que hacer crecer su acuicultura. Portal de Acuicultura Mis Peces. <https://www.mispecies.com/noticias/Si-Europa-quiere-ser-autosuficiente-en-el-suministro-de-productos-acuaticos-tiene-que-hacer-crecer-su-acuicultura/#.YJKEFrUzbIV>

Güelfo, A. (24 agosto 2020). Acuicultura 3.0, llegó el momento de hablar con las máquinas. Portal de Acuicultura Mis Peces. <https://www.mispecies.com/noticias/Acuicultura-3.0-llego-el-momento-de-hablar-con-las-maquinas/#.YJJ5fbUzbIU>

Güelfo, A. (27 abril 2017). Uno de los motivos por los que no mejora la productividad de la acuicultura. Portal de la Acuicultura Mis Peces.

Holland, J. (22 julio 2019). Transparency technology puts aquaculture on the front foot. Global Aquaculture Alliance. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/transparency-technology-puts-aquaculture-on-the-front-foot/>

Horizon Europe-Work Programme 2021-2022. Cluster 6. Food Bioeconomy Natural Resources, Agriculture and Environment. Page 16 of 531.

Jans-Singh, M., Leeming, K., Choudhary, R., & Girolami, M. (2020). Digital twin of an urban-integrated hydroponic farm. Data-Centric Engineering, 1(January). <https://doi.org/10.1017/dce.2020.21>

Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine, 51(11), 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>

Li, B., Zhang, N., Wang, Y.-G., George, A. W., Reverter, A., & Li, Y. (2018). Genomic Prediction of Breeding Values Using a Subset of SNPs Identified by Three Machine Learning Methods. Frontiers in Genetics, 9(JUL), 237. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00237>

Li, C., Li, Z., Wu, J., Zhu, L., & Yue, J. (2018). A hybrid model for dissolved oxygen prediction in aquaculture based on multi-scale features. Information Processing in Agriculture, 5(1), 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.11.002>

Li, D., & Liu, C. (2020). Recent Advances and Future Outlook for Artificial Intelligence in Aquaculture. Smart Agriculture, 2(3), 1–20. <https://doi.org/10.12133/J.SMARTAG.2020.2.3.202004-SA007>

Lin, C.-B., Yang, K.-C., & Wei, C.-C. (n.d.). Aquaculture Monitoring System Based on Internet of Things by Mesh Wi-Fi Access.

Llorente, I. (2013). Análisis de competitividad de las empresas de acuicultura: aplicaciones empíricas al cultivo de la dorada (*Sparus aurata*) y la lubina (*Dicentrarchus labrax*). Departamento de Administración de Empresas. Universidad de Cantabria.

Luna, M., Llorente, I., & Cobo, A. (2019). Determination of feeding strategies in aquaculture farms using a multiple-criteria approach and genetic algorithms. *Annals of Operations Research*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03227-w>

Manoharan, H., Teekaraman, Y., Kshirsagar, P. R., Sundaramurthy, S., & Manoharan, A. (2020). Examining the effect of aquaculture using sensor-based technology with machine learning algorithm. *Aquaculture Research*, 51(11), 4748–4758. <https://doi.org/10.1111/are.14821>

Mathisen, B. M., Haro, P., Hanssen, B., Björk, S., & Walderhaug, S. (2016). Decision Support Systems in Fisheries and Aquaculture: A systematic review. <http://arxiv.org/abs/1611.08374>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Ganadería de la Comunidad autónoma de la Región de Murcia (CARM). Plan Estratégico Acuícola de la Región de Murcia (2014-2020).

Morote Vallejos, L. (13 de marzo 2021). La digitalización en el sector acuícola: impactos y desafíos. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/la-digitalizaci%C3%B3n-en-el-sector-acu%C3%ADcola-impactos-y-morote-vallejos/?originalSubdomain=es>

Mustafa, S., Estim, A., Shapawi, R., Shalehand, M. J., & Sidik, S. R. M. (2021). Technological applications and adaptations in aquaculture for progress towards sustainable development and seafood security. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 718(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/718/1/012041>

Neethirajan, S., & Kemp, B. (2021). Digital twins in livestock farming. *Animals*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/ani11041008>

Palaiokostas, C. (2021). Predicting for disease resistance in aquaculture species us-

ing machine learning models. Aquaculture Reports, 20(March), 100660. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100660>

ParaFishControl farm level tool. (n.d.). Retrieved May 4, 2021, from https://openscience.cefas.co.uk/parafish_economic/

Parlamento Europeo (2020). LA PRODUCCIÓN ACUÍCOLA EN LA UNIÓN EUROPEA. Fichas técnicas sobre la Unión Europea.

Parra, L., García, L., Sendra, S., & Lloret, J. (2018). The use of sensors for monitoring the feeding process and adjusting the feed supply velocity in fish farms. Journal of Sensors, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1060987>

Parra, L., Sendra, S., García, L., & Lloret, J. (2018). Design and deployment of low-cost sensors for monitoring the water quality and fish behavior in aquaculture tanks during the feeding process. Sensors (Switzerland), 18(3). <https://doi.org/10.3390/s18030750>

Parri, L., Parrino, S., Peruzzi, G., & Pozzebon, A. (2020, May 1). A LoRaWAN network infrastructure for the remote monitoring of offshore sea farms. I2MTC 2020 - International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Proceedings. <https://doi.org/10.1109/I2MTC43012.2020.9128370>

Patkar, T., More, K., Lad, S., Tanawade, R., & Maurya, A. (2020). IoT Based Aquaculture. International Research Journal of Engineering and Technology. www.irjet.net

Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. (n.d.). Retrieved April 30, 2021, from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61458109001>

RACE Digital Cage (2020-2022). A digital platform for monitoring and visualisation of aquaculture net cages and fish distribution based on sensors, real-time simulations and data assimilation (theoretical, mathematical models combined with observations).

Raju, K. R. S. R., & Varma, G. H. K. (2017). Knowledge based real time monitoring system for aquaculture Using IoT. Proceedings - 7th IEEE International Advanced Computing Conference, IACC 2017, 318–321. <https://doi.org/10.1109/IACC.2017.0075>

Ramos, L. (2021). How Digital Twin could double down farm efficiency. Aquaculture North America. <https://www.aquaculturenorthamerica.com/how-digital-twin->