

# ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA UNA ACUICULTURA MÁS SOSTENIBLES

## PROYECTO FISHFLOC



## TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	4
2. Objetivos del informe.....	4
3. Definición de acuicultura sostenible .....	6
Acuicultura ecológica vs sostenible.....	7
4. Origen de la proteína para los piensos de peces .....	8
5. Energías renovables para la sostenibilidad en la acuicultura .....	10
Energía eólica.....	12
Energía solar.....	12
Energía hidráulica.....	13
Resto de renovables.....	14
6. Sistemas de producción sostenibles .....	15
Sistemas de recirculación en acuicultura (RAS).....	15
Tecnología de biofloc (TBF).....	17
Acuicultura multitrófica integrada (IMTA).....	19
7. Tecnologías para industria 4.0 .....	21
8. Nuevas especies: mugílidos.....	23
9. Residuos.....	24
Productos de limpieza, desinfección y veterinarios.....	24
Materiales, envases y embalajes .....	27
Subproductos acuícolas en el transformado.....	30
Organismos incrustantes (fouling).....	30
10. Conclusiones.....	32

11. Bibliografía .....	33
Publicaciones científicas.....	33
Proyectos .....	35
Legislación.....	37
Otras fuentes.....	37

## 1. INTRODUCCIÓN

La Tecnología Biofloc (BFT, sus siglas en inglés) surgió como estrategia para la eliminación de compuestos nitrogenados tóxicos (amonio y nitrito fundamentalmente) producidos en acuicultura intensiva en tierra, como alternativa a la renovación de agua o a la utilización de biofiltros para potenciar el proceso de nitrificación en los sistemas de producción (Avnimelech, 1999). El sistema biofloc regulan la calidad de agua a través de la adición de carbohidratos al sistema, los cuales estimula el crecimiento y proliferación de bacteria heterótrofas que asimilan el amonio y lo transforman en proteína microbiana. Esta proteína microbiana, a su vez, constituye una fuente de alimento disponible para los peces en cultivo (Avnimelech, 1999). Los mugílidos o lisas son especies de interés económico y con elevado potencial para su cultivo debido a su hábito de alimentación omnívoro, a su tolerancia a la baja calidad del agua y a su naturaleza eurihalina y euriterma (Vinatea et al., 2018).

Con el objetivo de aportar más luz para dirimir la aplicabilidad de esta tecnología en la acuicultura de las lisas, dentro del proyecto FISHFLOC se ha abordado la realización de dos pruebas piloto para evaluar la BFT en:

- el cultivo de engorde de lisas con BFT.
- y, el cultivo larvario de rodaballo.

## 2. OBJETIVOS DEL INFORME

Recientemente la Asociación Empresarial de Acuicultura de España (APROMAR) ha publicado la primera Memoria de Sostenibilidad de Acuicultura de España. En esta memoria se ha realizado la categorización de índices de sostenibilidad social y producto, medioambiental y económica, que permiten establecer la base para su comparativa y evolución a lo largo de tiempo. Estos objetivos se han establecido para el horizonte del año 2030 (H30).

El objetivo de este informe es presentar alternativas tecnológicas a nivel de I+D disponibles o que se han propuesto para continuar acuicultura marina intensiva más sostenible, haciendo hincapié en las posibilidades de su nivel de aplicación en España, y

realizar un análisis de su viabilidad desde la perspectiva del sector. Dejaremos fuera de este informe los temas de sostenibilidad de la acuicultura marina extensiva y la acuicultura de agua dulce.

Para ello se comenzará con un análisis de la definición de sostenibilidad centrándonos en las implicaciones a nivel de acuicultura. Hoy en día, nadie duda que la innovación y la sostenibilidad sean dos conceptos estrechamente vinculados. Por ello, a continuación, iremos analizando las estrategias tecnológicas y de I+D para encaminarnos hacia una acuicultura más sostenible.

### 3. DEFINICIÓN DE ACUICULTURA SOSTENIBLE

El origen del concepto moderno de "sostenibilidad" aparece definido por primera vez en el informe conocido como Informe Brundtland (1987). En él, se afirma que "el desarrollo sostenible satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. En los sectores de la agricultura, silvicultura y pesca conserva los recursos terrestres, el agua, las plantas y animales, es ambientalmente no degradante (limpio), técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable" (Consejo de la FAO 1988).

El desarrollo sostenible se basa en consideraciones a largo plazo con un enfoque integrador, no sectorial. El término se encuentra englobado dentro de tres dimensiones: ecológica, económica y social. Todas las dimensiones tienen la misma importancia, se influyen mutuamente y no se pueden separar (Fig. 1)

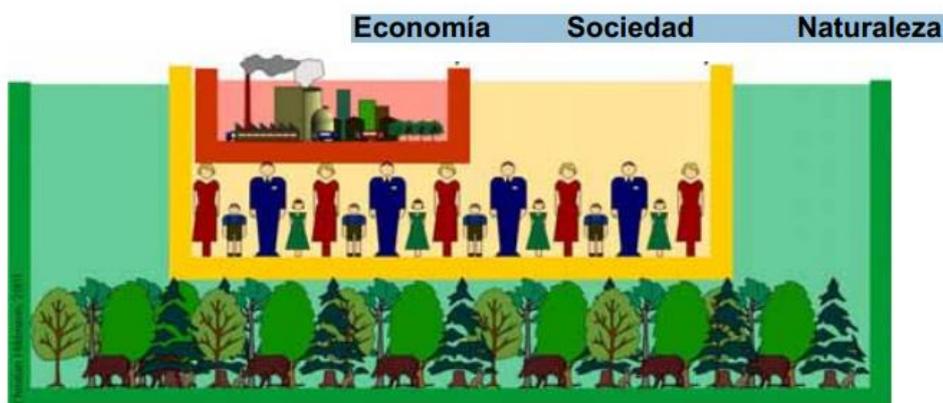


Figura 1. Estructura jerárquica de la sostenibilidad. Fuente "SustainAqua–Integrated approach for a sustainable and healthy freshwater aquaculture" (2009). SustainAqua handbook – A handbook for sustainable aquaculture"

El concepto de ACUICULTURA SOSTENIBLE ha evolucionado y crecido junto con la creciente evidencias científicas del impacto de la sobrepesca en ciertos caladeros, la sensibilidad del consumidor sobre estos temas y la necesidad de afrontar cambios en el sector agroalimentario frente al cambio climático.

Recientemente la Asociación Empresarial de Acuicultura de España (APROMAR) ha publicado la primera Memoria de Sostenibilidad de Acuicultura de España. Un

documento en el que se han implicado de forma técnica y rigurosa las empresas que forman parte de esta Asociación, y que pretende que los consumidores adquieran hábitos de vida saludables de manera informada y escojan los productos de acuicultura españoles por su calidad, pero también por su sostenibilidad medioambiental, social y económica. También incorpora los objetivos y compromisos de mejora sectoriales para el año 2030 en cada una de las áreas identificadas. Estas áreas son: el área medioambiental, donde se incluye la alimentación de los peces, escapes, huella de carbono o bienestar animal; área social y de producto y área económica.

Así, la elaboración de la Memoria de Sostenibilidad, de acuicultura de España se ha apoyado principalmente en la categorización de índices de sostenibilidad social y producto, medioambiental y económica, que permiten establecer la base para su comparativa y evolución a lo largo de tiempo. Estos objetivos se han establecido para el horizonte del año 2030 (H30).

Hoy en día, nadie duda que la innovación y la sostenibilidad sean dos conceptos estrechamente vinculados.

## ACUICULTURA ECOLÓGICA VS SOSTENIBLE

Aunque la acuicultura ecológica ha venido creciendo en los últimos años, su participación del mercado global sigue siendo muy pequeña para asumir los riesgos que representa cambiar una granja de producción convencional a ecológica.

Está previsto que el próximo 1 de enero de 2022 entre en vigor el reglamento para la producción ecológica aprobado en 2018 (RUE 2018/848). Hoy en día la acuicultura ecológica no alcanza el 0,5% del total acuícola mundial y con un futuro bastante incierto.

Tres son los temas clave que condicionarán el crecimiento del sector de la acuicultura ecológica en los próximos años: mejora en la investigación, particularmente en el campo de los piensos; mejora de la competitividad de la piscicultura ecológica; y mejoras en las acciones de marketing, a través de promociones, envasado, mayor gama de productos, o disponibilidad, entre otras.

Los consumidores deberán ser formados para tener conocimiento de las diferencias entre productos ecológicos y convencionales.

Además de estos aspectos, los expertos consideran “esencial” una simplificación del marco regulatorio a nivel mundial para reducir los obstáculos para la adopción de prácticas ecológicas y para reducir las barreras en el comercio internacional de estos productos. Vistos todos los obstáculos para poder ser etiquetados como productos ecológicos, el sector opta principalmente por seguir luchando por conseguir una acuicultura más sostenible, aunque no sea bajo la etiqueta de ecológica.

#### 4. ORIGEN DE LA PROTEÍNA PARA LOS PIENSOS DE PECES

La acuicultura se postuló en la década de los 90 por la FAO como la solución para proveer de proteína de origen animal a la incipiente sobrepoblación. Pero una de las principales preguntas que se hicieron los expertos fue si se podía considerar sostenible una actividad que para obtener un kg de pescado necesitaba pescar previamente varios kg de pescado.

La primera solución lógica a este dilema era pensar en producir especies piscícolas vegetarianas como las tilapias. Sin embargo, para el consumidor europeo, el pescado demandado es mayoritariamente carnívoro, siendo excepcionales las especies piscícolas vegetarianas u omnívoras con valor culinario. Una de estas excepciones son las lisas, pero su valor de mercado es muy reducido, sobre todo si se compara con el de otras especies carnívoras.

A nivel de investigación se plantearon varias alternativas para reducir esta necesidad de pescar para obtener proteína animal para producción de harinas de pescado necesarias para la obtención de piensos con los que alimentar a los peces. Las primeras investigaciones se centraron en estudiar la sustitución de las harinas de pescado por diferentes tipos y proporciones de harinas vegetales. La principal conclusión de estos estudios es que esta sustitución nunca podría ser total, y aunque se redujo

significativamente las harinas de pescado en la composición de los piensos, solo Walt Disney puede transformar a animales carnívoros en vegetarianos.

Otras interesantes líneas de investigación han ido encaminadas en buscar alternativas para obtención de proteínas origen animal, como son las harinas elaboradas con restos de ganadería o producidas a partir de insectos (Luthada-Raswiswi et al., 2021). Pero otra realidad que se ha obtenido de estos trabajos es que para que un pez sepa a pescado una parte importante de su fuente de alimentación debe proveer del mar. Por ello también son interesantes estudios para su obtención a través del cultivo de macroalgas, microalgas (Nagarajan et al, 2021) o incluso a partir del cultivo pequeños animales acuáticos herbívoros o detritívoros.

Otras novedosas líneas de investigación son la obtención de proteína microbiana o proteína unicelular (SCP, Single Cell Protein) (Sharif et al. 2021) El SCP es producido por microorganismos como algas, levaduras, hongos y bacterias, empleando para su cultivo nutrientes provenientes de la industria alimentación (Fig. 2). Aunque en este caso se trasladaría el problema del origen de las fuentes de proteína al origen de la fuente de carbono que necesitan los microorganismos para conseguir la fermentación.

Ante los resultados que indican que la inevitable necesidad de seguir acudiendo a la pesca para la obtención harinas y aceites de pescado, las empresas productoras de las harinas de pescado en Europa han adoptado las medidas para trabajar solo en caladeros autorizados y debidamente controlados para evitar la sobreexplotación de los mares.

El futuro de lo obtención de fuentes de proteínas para la acuicultura probablemente implique aplicar varias de estas estrategias conjuntamente. Aunque aún serán necesarias más investigaciones para que optimizar y desarrollar la tecnología necesaria.

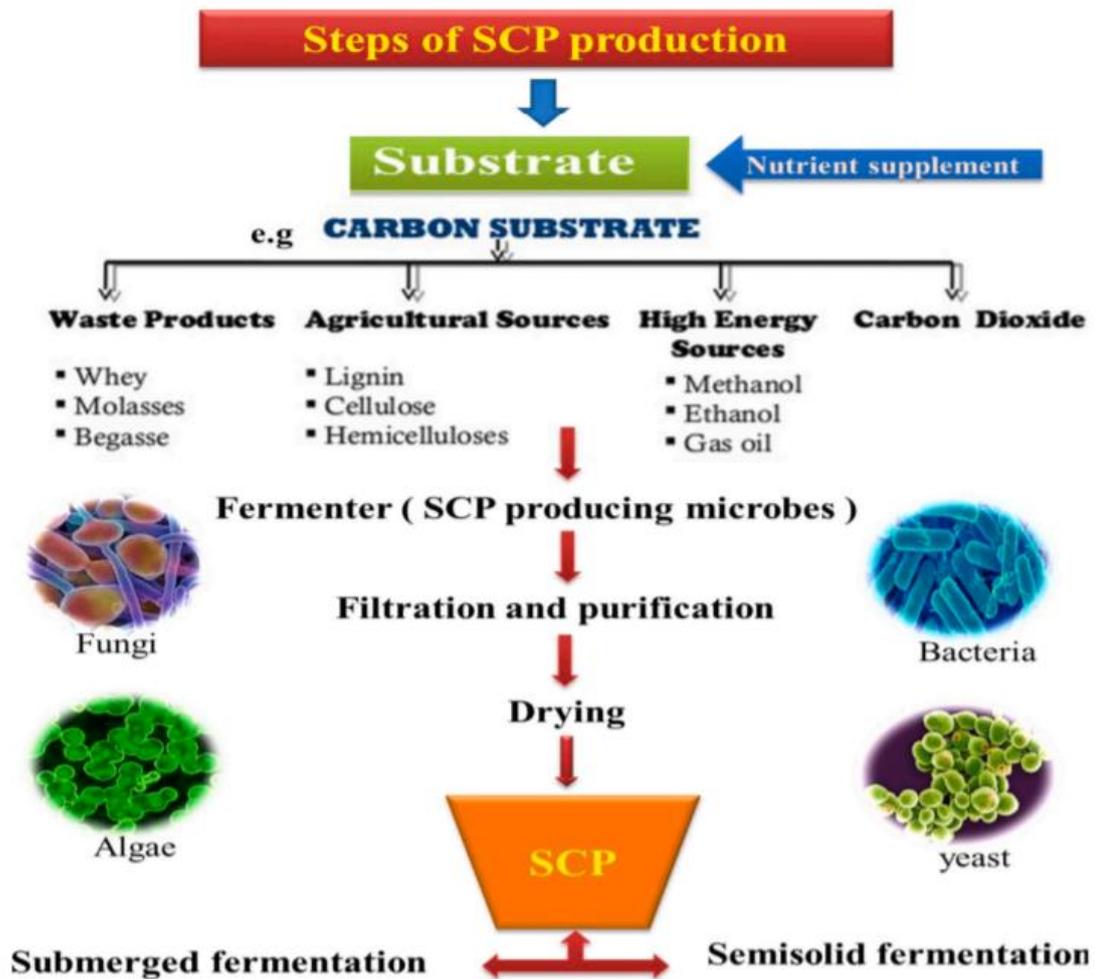


Fig. 1. General steps during industrial production of SCP.

Figura 2. Pasos generales durante la producción industrial de proteína microbiana o unicelular (Sharif et al., 2021)

## 5. ENERGÍAS RENOVABLES PARA LA SOSTENIBILIDAD EN LA ACUICULTURA

La energía renovable es una energía que se genera a partir de procesos naturales que incluye desde la luz solar, calor geotérmico, viento, mareas, agua y diversas formas de biomasa. Esta energía no se puede agotar y es inagotable. La energía renovable también se llama "Energía limpia" o "energía verde" porque no contamina el entorno.

La energía renovable que se produce en España ha experimentado un gran incremento durante los últimos años gracias al esfuerzo del gobierno central y provincial, las operadoras eléctricas y las empresas, organizaciones y usuarios.

El aumento de las energías renovables ha marcado un máximo histórico al situarse en una cuota de generación eléctrica del 44 % del total generado. Esto supone un incremento de 3,5 puntos en relación con el anterior registro que data del año 2014, según recoge este informe de Red Eléctrica sobre “Las energías renovables en el sistema eléctrico español”.

Los consumos eléctricos del sector acuícola in-shore se concentran en los sistemas de bombeo y la iluminación que se requiere para el proceso de desarrollo de los peces. La necesidad de incrementar la temperatura en los tanques de cultivo de alevines, especialmente durante el invierno, exige el uso habitual de resistencias de calefacción de alta potencia durante un tiempo prolongado, con las correspondientes consecuencias a nivel de costes.

Por tanto, el uso de energías renovables en la acuicultura reduce los costes de producción y aumenta la sostenibilidad. Existen muchas formas en la acuicultura para el uso de estas fuentes de energía renovables

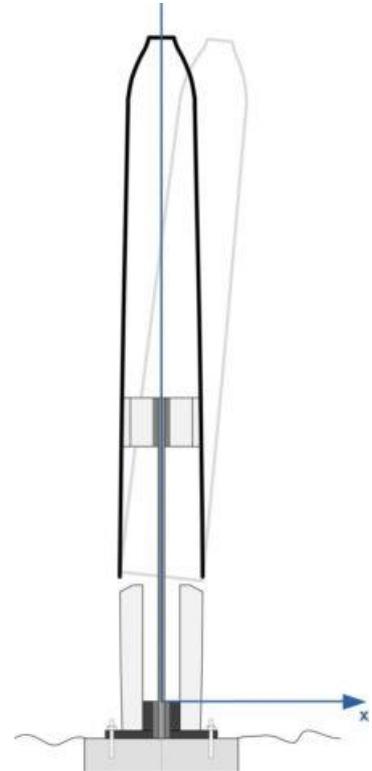
Las fuentes de energía renovables en España más usadas en 2020 fueron:

1. La energía eólica.
2. La energía solar
3. La energía hidráulica
4. Resto de renovables.

## Energía eólica.

La energía renovable que más se utiliza en el mix de energías español es la producida por el viento. El porcentaje de la energía eólica durante 2020 fue del 21,8 %. Sin embargo, la instalación de aerogeneradores en instalaciones acuícolas en tierra es prácticamente inexistente al chocar con el hecho de que los terrenos donde se ubican tienen prohibida su instalación al coincidir con territorios costeros con diferentes grados de protección principalmente de aves. En este ámbito podrían ser estudiadas alternativas a los tradicionales molinos con aspas principales causas de los problemas con las aves, de por nuevos modelos sin aspas como son los producidos por Vortex Bladeless (Fig. 3).

Por otro lado, están surgiendo interesantes estudios para la aplicación o cohabitación de plantas energía eólica en con instalaciones acuícolas off-shore (Buck and Gesche, 2012). Un ejemplo reciente de ello es el proyecto que ACUFLOT bajo el Programa pleamar 2020, en el que se analizan las posibles ubicaciones de este tipo de instalaciones atendiendo a diferentes parámetros no sólo productivos sino también de sostenibilidad.



**Figura 3** Esquema de un molino de viento sin aspa. Imagen obtenida de [¿Como funciona un Aerogenerador sin aspas? - Vortex Bladeless](#)

## Energía solar

La energía solar poco a poco va incrementando su importancia e impacto en el mix de energías. Durante el 2020 su generación alcanzó un 7,9 %, correspondiendo un 6.1 a energía solar fotovoltaica y un 1.8 a la energía solar térmica. La energía solar es una de las opciones que con más éxito se ha implantado muchos sectores, como alternativa a

las energías provenientes de la quema de combustibles fósiles. Los paneles fotovoltaicos han sido colocados en numerosas instalaciones acuícolas en tierra, llegando a conseguirse reducción del 30% del gasto eléctrico convencional, incluso alcanzándose el 80% del consumo del gasóleo (Fig. 4)



**Figura 4. Instalación de Paneles solares el Centro Tecnológico del Cluster de la Acuicultura durante los estudios realizados bajo el proyecto europeo Acuaenergy.**

### Energía hidráulica.

El porcentaje de energía hidráulica en España durante 2020 fue del 12.2 %. Esta energía se produce en embalses. Una apuesta interesante de resultado de la aplicación de la tecnología hidráulica en instalaciones en tierra es la posibilidad de recuperar parte de la energía consumida utilizando los caudales y desniveles existentes durante el vertido de agua al mar, tal y como se planteó en el proyecto Acuaenergy (POPTEC) liderado por el Centro Tecnológico del Cluster de la Acuicultura (CETGA) (Fig. 5).

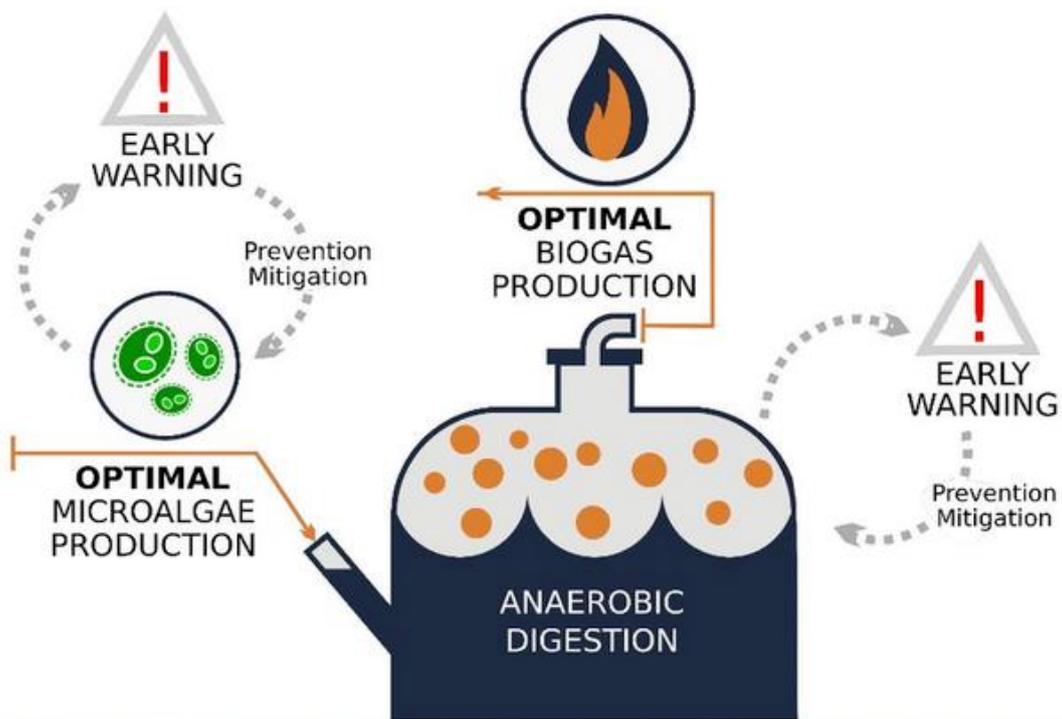


**Figura 5. Esquema de funcionamiento de una microturbina hidráulica planteada para recuperar parte de la energía consumida en el bombeo de una planta acuícola.**

La energía mareomotriz también ha sido estudiada como fuente de energía en las instalaciones acuícolas, aunque por ahora presenta un escaso éxito dada la aparatosidad de las instalaciones necesarias y las grandes dificultades para obtener los permisos para su instalación.

### Resto de renovables

El resto de energías renovables como el biogás alcanzaron un 2,1 % del total generado en España en 2020. En cuanto al biogás en el sector acuicultura, han surgido interesantes iniciativas para su producción a partir de microalgas (Fig. 6).



El objetivo del proyecto es acelerar la comercialización de las tecnologías de producción de biogás a partir de microalgas / ICM-CSIC

Figura 6. Esquema de producción de Biogás obtenido mediante producción de microalgas. Imagen obtenida [http://www.ipacuicultura.com/noticias/en\\_portada/77697/el\\_proyecto\\_europeo\\_prodigio\\_acelerara\\_la\\_produccion\\_de\\_biogas\\_a\\_partir\\_de\\_microalgas.html](http://www.ipacuicultura.com/noticias/en_portada/77697/el_proyecto_europeo_prodigio_acelerara_la_produccion_de_biogas_a_partir_de_microalgas.html)

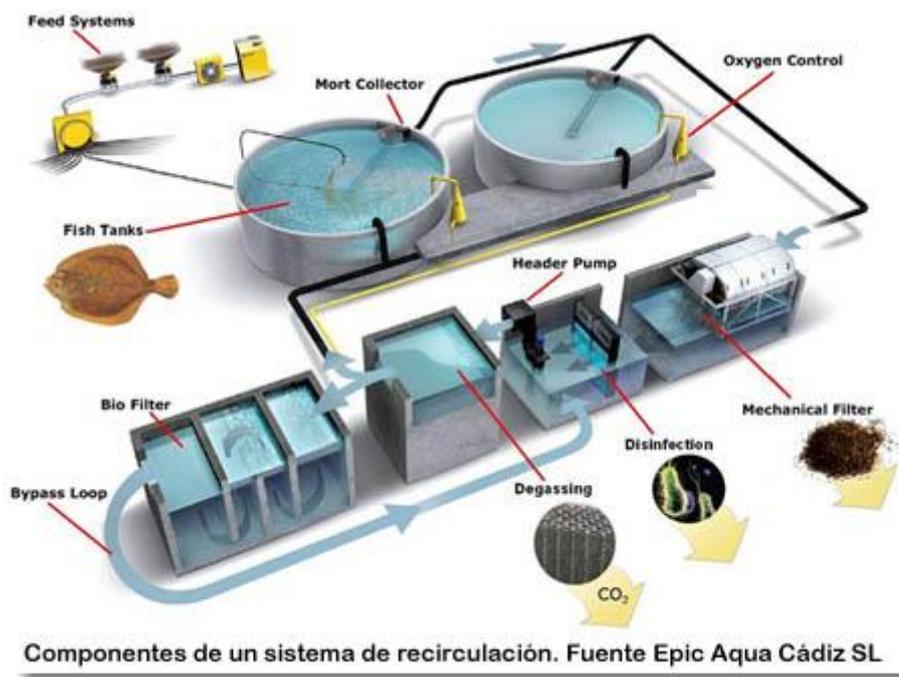
## 6. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SOSTENIBLES

Los sistemas tecnológicos de producción en acuicultura marina intensiva que se consideran que pueden ayudar a la sostenibilidad del sector en España son: Sistemas de Recirculación en Acuicultura (RAS); Sistemas multitróficos; Tecnología Biofloc y Aquapónicos.

### Sistemas de Recirculación en Acuicultura (RAS)

Los Sistemas de Recirculación en Acuicultura (RAS, por sus siglas en inglés) permiten el cultivo intensivo de peces y mariscos con un consumo mínimo del agua y sin emisiones de efluentes al medio, por lo que son altamente sostenibles medioambientalmente. De entre estos sistemas de producción el más extendido y con mayor éxito de implantación

en España ha sido el sistema de Recirculación en Acuicultura el RAS (Fig. 8). Esta tecnología es empleada en el Mediterráneo para el preengorde de doradas y lubinas (hasta la etapa juvenil antes de que los peces sean transferidos a las jaulas en mar abierto) y en peces planos, como el lenguado o el rodaballo, en las instalaciones de engorde. Pero las nuevas instalaciones planeadas contemplan el desarrollo de todo el ciclo productivo mediante RAS. Aunque se trata de una tecnología bien desarrollada y con gran implantación es necesario la realización de estudios dirigidos a aplicar innovaciones que reduzcan coste mediante la aplicación de sistemas que mejoren la eficiencia energética y/o acompañados de energías renovables. Estudios recientes apuntan al tratamiento de aguas mediante un proceso de biorreactores de lecho móvil (MBBR) se ha considerado muy adecuado para mantener una buena calidad del agua, lo que hace que la piscicultura sea más sostenible, aunque se requieren más esfuerzos para mejorar la tecnología para aplicaciones a escala comercial (Shitu et al, 2021).



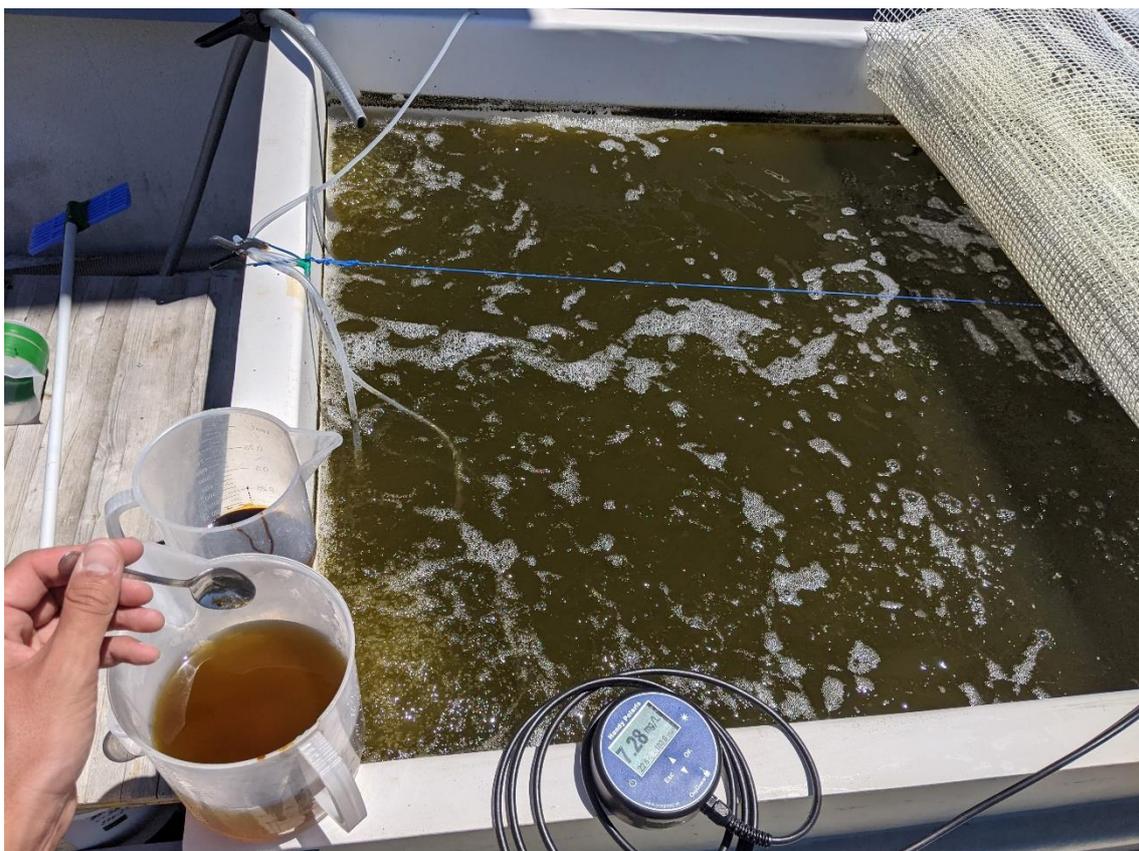
Componentes de un sistema de recirculación. Fuente Epic Aqua Cádiz SL

Figura 7. Componentes de un sistema de recirculación

## La Tecnología de biofloc (TBF)

La Tecnología Biofloc (TBF) es una de las tecnologías innovadoras para la gestión de desechos y retención de nutrientes que ofrece una solución para resolver los problemas ambientales de la acuicultura (Anjalee and Madhusoodana, 2015); el biofloc es una técnica de mejora de la calidad del agua en la acuicultura a través del balance del carbono y el nitrógeno en el sistema (Crab et al., 2012) debido a que permiten sacar estos compuestos del agua. Los sistemas biofloc fueron desarrollados para mejorar el control ambiental sobre la producción en sistemas acuícolas intensivos; no obstante, estos sistemas también ayudan a prevenir la introducción de enfermedades a la granja acuícola (Schock et al, 2013). La tecnología biofloc remueven los desechos metabólicos de los sistemas de producción acuática (Rode, 2014), reduciendo de esta forma el recambio de agua y los costos asociados con esta práctica. Además, los bioflóculos permiten que la acuicultura crezca de una forma ambientalmente amigable, y el consumo de los microorganismos del biofloc reducen los costos de las dietas (Hussain et al., 2014). Al respecto, Schock et al (2013) indica que el biofloc puede proveer nutrición para los organismos en cultivo resultando en una mejora en el crecimiento; lo que permitiría reducir los costos de alimentación en los animales en cultivo. La tecnología biofloc se puede emplear tanto en estanques acuícolas como en sistemas de cultivo cerrados. La utilización del biofloc en los estanques permite que se puedan aumentar las poblaciones de los organismos del cultivo, y por lo tanto se intensifican las cosechas sin tener necesidad de ocupar mayor cantidad de espacios que puedan ser destinados a otras actividades (Castro et al., 2012), asimismo, en los sistemas de recirculación de acuicultura los bioflóculos reemplazan a los biofiltros (Rode, 2014). Un estudio publicado por Betanzo et al (2021) indica que el biofloc y los sistemas de recirculación en acuicultura son similares debido a los requerimientos de personal para cubrir las 24 horas, y que la tecnología biofloc tuvo la mejor tasa costo-beneficio y el menor costo de inversión. La tecnología biofloc está disponible para productores con bajos recursos económicos y con dificultades para la captación de agua de calidad. Por lo que se está desarrollando principalmente en Sudamérica y Centro América, así como en varios países asiáticos. Sin embargo, en España (y en general en Europa) prácticamente no ha habido transferencia

de esta tecnología a nivel industrial. Durante el desarrollo del proyecto FISHFLOC se puso de manifiesto que todo el sector empresarial español encuestado (granjas de viveros y granjas de rodaballo, trucha, esturión y tenca) consideraron muy interesante la TBF para su aplicación en las fases del preengorde. Sin embargo, también consideran que su aplicación, requiere todavía un mayor esfuerzo en investigación y desarrollo además de información técnica, que facilite su uso en las granjas de cultivo. Otra conclusión importante obtenida de las pruebas piloto realizadas durante el proyecto FISHFLOC, es que fue demostrado la viabilidad del cultivo de las lisas con TBF en el sur de España (Fig. 8). Sin embargo, también quedó demostrado que no es viable la aplicación de la TBF autotrófica en el Norte de España, en donde se hubiera podido aplicar en el cultivo de rodaballo y lenguado, dado que las condiciones ambientales son inapropiadas para esta tecnología. Aun así, queda por investigar si en estas regiones del Norte de España sería aplicable en la TBF heterotrófica.



**Figura 8. Sistema Biofloc evaluado para el engorde de lisas durante el proyecto FISHFLOC bajo el Programa Pleamar 2020.**

## Acuicultura Multitrófica integrada (IMTA)

La Acuicultura Multitrófica Integrada (IMTA) es una práctica en la cual los subproductos (desechos) de algunas especies son reciclados para que sirvan como insumos (fertilizantes, alimento) para otros. La acuicultura, en la cual se usa alimento (por ejemplo: peces, camarones), combinada con la acuicultura de extractores inorgánicos (algas marinas) y con la acuicultura de extractores orgánicos (moluscos), con la finalidad de crear un sistema balanceado para la sustentabilidad ambiental (biomitigación), estabilidad económica (diversificación de los productos y reducción del riesgo) y aceptabilidad social (mejores prácticas de manejo). La Unión Europea desde el año 2014 apoya especialmente a aquellos proyectos orientados a la sostenibilidad de la acuicultura especialmente los que lo hagan desde una perspectiva multitrófica.

En base a este apoyo en España (y en toda Europa) se han llevado a cabo numerosos proyectos de investigación en los que se evaluaron diferentes estrategias de sistemas multitróficos. Un ejemplo de esto proyecto ha sido POLIAQUA, en el que se demostró la viabilidad de cultivar algas y oreja de mar en los efluentes de una granja de cultivo de rodaballo (Fig. 9)



**Figura 9. Prueba piloto de acuicultura multitrófica de cultivo de algas y orejas de mar a base de los efluentes de una granja de rodaballo del CETGA, realizada durante el Proyecto POLIAQUA del Programa Pleamar**

Sin embargo, aún no se ha producido una transferencia real a la industria. Esto se debe principalmente, a que se ve muy frenada por los “cuellos de botella” de tipo

administrativo. Esto se debe a la falta de entornos adecuados autorizados para realizar esta actividad y la dificultad de obtener con la necesaria agilidad los permisos necesarios para implantar el cultivo de nuevas especies. Además, como cualquier nueva iniciativa empresarial al principio genera muchos gastos derivados de las nuevas infraestructuras necesarias, la incorrecta gestión de problemas técnicos debidos a inexperiencia, o de los errores de planteamiento que, con los estrechos o nulos márgenes económicos derivados de su implantación, influyen de forma negativa en la posibilidad de establecer este tipo de sistemas.

El proyecto IMPAQT ha presentado una nueva forma de entender el concepto IMTA, basado en que los vínculos tróficos en los ecosistemas acuáticos pueden extenderse a gran escala espacial, es decir, dependiendo de la hidrodinámica local y de los procesos biogeoquímicos involucrados, la separación espacial puede ser incluso beneficiosa. Aunque este tipo de co-ubicación no concuerda exactamente con la definición estricta de IMTA, es una interesante visión de cara a una planificación espacial más organizada y así optimizar la limitación de espacio que existe en acuicultura.

## Sistema Acuapónico

Un sistema acuapónico realiza la integración beneficiosa entre la hidroponía (producción de plantas sin suelo) y la acuicultura (producción de animales acuáticos) (Love et al. 2014). Los efluentes de la acuicultura se utilizan como solución nutritiva para el crecimiento de las plantas, mejorando así la calidad del agua que luego se devuelve a los peces (Hasan et al. 2017) o se elimina.

La producción acuapónica se puede realizar en muchos entornos y escenarios diferentes, escalas y con fines variados, como comerciales, educativos, como entretenimiento o pasatiempo, investigación o producción de alimentos para la subsistencia y uso doméstico (autoconsumo familiar). Las instalaciones comerciales tienden a ser sistemas más grandes, ya que se ha descrito una relación positiva entre tamaño y productividad (Tokunaga et al. 2015).

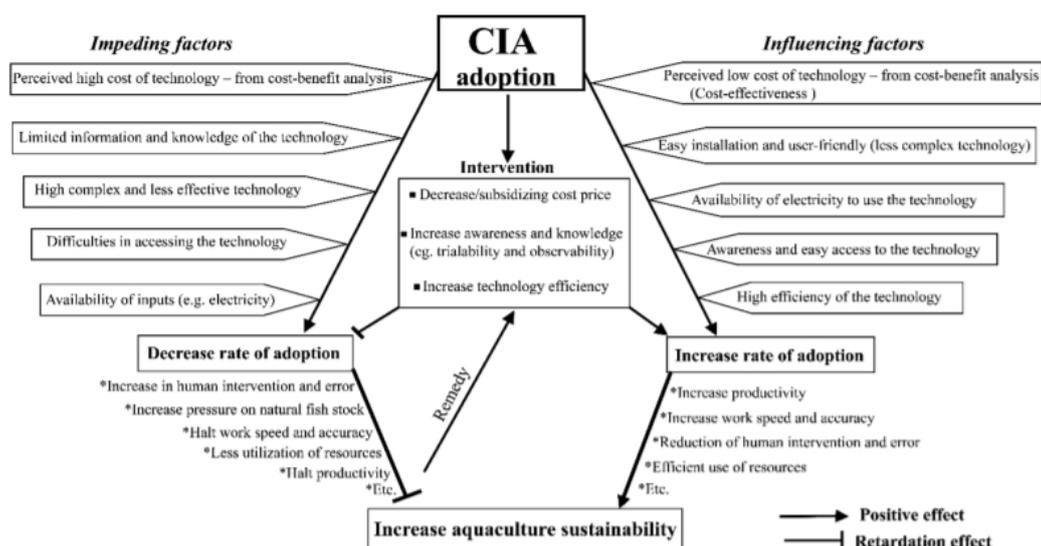
De todas formas, según Suarez-Cáceres et al. (2021) los principales objetivos de las instalaciones acuapónicas fueron por orden de frecuencia: educación, producción de alimentos para el autoconsumo y como hobby. Siendo prácticamente inexistentes su aplicación a nivel industrial.

Además, los trabajos de investigación se habían centrado en los sistemas acuapónicos en agua dulce, y no ha sido hasta hace pocos años en que se han aparecido interesantes trabajos para la aplicación de la acuaponía en la acuicultura marina. Recientemente, han publicado los resultados de un análisis con modelos matemáticos sobre la viabilidad de este tipo de sistemas acuapónicos en los principales cultivos de especies de peces marinos del Mediterráneo (Rossi et al, 2021). El resultado final del proceso de decisión mostró que de las especies cultivadas en España tanto la lubina como la dorada eran los candidatos más adecuados para ser criados dentro de este tipo de sistemas. Aunque los mugílidos, rodaballos y lenguados demostraron ser especies "buenas" para este tipo de sistemas de producción.

## 7. TECNOLOGÍAS PARA INDUSTRIA 4.0

Los sensores utilizados en la acuicultura suelen incluir cámaras para controlar la alimentación, así como sensores de oxígeno y corriente. Algunas granjas también implementan sensores para monitorear la salinidad, la turbidez y el comportamiento de los peces. La llegada de la computación en la nube, el Internet de las cosas y la inteligencia artificial (CIA) ha ampliado numerosas posibilidades para aplicar e integrar la tecnología de la información en todos los trabajos de la vida, incluida la acuicultura. El uso de técnicas y herramientas de la CIA como drones, nano y microsensores, robots biónicos, cámaras remotas, clasificación inteligente, equipos de procesamiento que ahorran energía, módulos estadísticos y algoritmos reducirán la intervención humana y aumentarán la productividad de la acuicultura. Además, la aplicación de la CIA en la cadena de valor de la acuicultura para garantizar la efectividad en la trazabilidad, la alimentación, la detección de enfermedades, la predicción del crecimiento, el monitoreo

ambiental, la información de mercado y otros es clave para aumentar la productividad y la sostenibilidad de la acuicultura. Por lo tanto, el futuro de las operaciones de acuicultura con menos trabajo humano, mantenimiento efectivo y utilización de recursos depende en gran medida de tecnologías innovadoras. Recientemente Mustapha et al. (2021) establecieron un interesante análisis de las dificultades de adoptar la CIA en acuicultura y sus efectos en sostenibilidad de este sector. Siendo el principal factor la baja aplicación de la CIA en acuicultura la apreciación del alto coste de los equipos frente al beneficio. Aparte del factor costo-beneficio, otros factores obstaculizadores como la tecnología compleja, el conocimiento limitado del uso de la tecnología, las dificultades para acceder a la tecnología, etc., también podrían atribuirse al retraso de la adopción de la CIA en la industria de la acuicultura (Fig. 10).



**Figura 10. Factores que impiden y dificultan la adopción de medidas CIA y sus efectos en la acuicultura (Mustapha et al., 2021).**

Pero existe un importante apoyo a nivel de Europa para ayudar a revertir esta tendencia que ha derivado en importantes ayudas por parte del gobierno a nivel nacional y autonómicos que han permitido la aparición HUBs Tecnológicos en los que el sector acuícola también está involucrado como, por ejemplo, DATALIFE.

## 8. NUEVAS ESPECIES: MUGÍLIDOS

El proyecto Diversify financiado por la Comisión europea identificó a los mugílidos como los especies no carnívora de interés para la diversificación de la producción acuícola en base a su potencial biológico por estar en los primeros niveles tróficos alimenticios. Y esta característica los hace candidatos ideales para ser cultivados en bajo la tecnología biofloc. Sin embargo, los mugílidos son una especie con una valoración comercial muy desigual dependiendo de la región geográfica. Esto se debe a que se trata de especies que se pueden alimentar de algas como de los detritus muy habituales de puertos y zonas de vertidos, que adquieren el sabor de lo que se alimentan. Por todo ello en el proyecto FISHFLOC se abordó el estudio de la capacidad del cultivo de lisas bajo la tecnología biofloc, y su posible comercialización. La lisa es una especie con una buena calidad de carne, aunque su imagen frente al consumidor varía radicalmente dependiendo de una región a otra. No presenta competencia con otras especies acuícolas. Tiene un potencial de elaboración alto, dado su tamaño de comercialización y los subproductos que de ella se obtienen. Es un pescado muy apreciado en algunos mercados locales del Mediterráneo oriental y sobre todo en los países asiáticos y árabes. Por el contrario, esta especie no está reconocida en otros mercados, debido a que se asocia a lugares y zonas de agua contaminada. En el Mediterráneo la lisa es comercializada en fresco, normalmente entera y ocasionalmente eviscerada. De la lisa también se obtienen productos de alto valor en el mercado, como es la carne de lisa salada y fermentada muy valorada en los países árabes, o como son las huevas preparadas en salazón (botarga), cuya elaboración se remonta a la época romana. La lisa se consume principalmente en asado, a la espalda, a la sal o en elaboraciones y recetas algo más complejas como guisos y calderetas. La talla de venta habitual está entre los 600 y los 1200 g. Su precio de venta medio es de 3 €/kg, aunque puede superar los 5€/kg en ciertos mercados locales.

Sin embargo, el proyecto FISHFLOC evidenció que hoy por hoy las empresas del sector de la acuicultura en ESPAÑA no consideran a la lisa como especie potencial para su

cultivo en los modelos productivos actuales por su difícil adaptación a sus modelos productivos y por el escaso interés de mercado. Aunque valoraron muy positivamente sus características como especie acuícola sostenible.

## 9. RESIDUOS

En 2017 OESA junto con la Fundación Biodiversidad publicó una guía para la minimización de subproductos y residuos de la acuicultura. Dejando aparte los residuos asimilables a urbanos, en este punto trataremos los siguientes tipos de residuos:

- Subproductos animales no destinados a consumo humano (SANDACH).
- Residuos no SANDACH:
  - o Productos de limpieza, desinfección y veterinarios.
  - o Materiales, envases y embalajes.
  - o Perdidas por mortalidad.
  - o Pérdidas de pienso.
  - o Subproductos acuícolas en el transformado.
  - o Organismos incrustantes (Fouling).

La gestión de los subproductos SANDACH está regulada por el Reglamento (CE) nº 1069/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano.

### Productos de limpieza, desinfección y veterinarios.

La resistencia a los antimicrobianos es uno de los mayores peligros para la salud pública del siglo XXI, amenazando el tratamiento y la prevención de enfermedades infecciosas a nivel mundial.

La desinfección, la eliminación de especies microbianas mediante la aplicación de biocidas, es fundamental para el control de enfermedades infecciosas y salvaguardar la

salud humana y animal. En una era de resistencia a los antimicrobianos y enfermedades emergentes, la aplicación eficaz de medidas de control es vital para proteger la salud pública. La pandemia de COVID19 es un ejemplo de la creciente demanda de soluciones biocidas eficaces para reducir y eliminar la transmisión de enfermedades. El enfoque de Una sola salud y el plan de acción de la OMS para combatir la RAM requieren una vigilancia y un seguimiento activos de las especies de RAM; sin embargo, a menudo se pasa por alto la resistencia a los biocidas.

Hasta la década final del pasado siglo (90s), la situación de la acuicultura y ganadería en general fue la del uso generalizado de farmacológicos para la prevención y tratamiento de las patologías habituales en estas explotaciones. La integración de las actividades acuícolas en la UE, significó unas mayores exigencias en todo lo relativo a las autorizaciones y registro de los medicamentos, lo que conllevó al establecimiento de los límites máximos de residuos admisibles (LMR). De tal manera que son la Agencia Europea del Medicamento (EMA) y su equivalente español AEMPS (Agencia Española del Medicamento y Productos Sanitarios), las que ordenan la actividad de registro y control de estos medicamentos.

En el momento actual no son muchos los medicamentos registrados para su uso en acuicultura por lo que se sigue utilizando determinadas formas de prescripción, como son: fórmulas magistrales, preparados oficinales y la prescripción excepcional por vacío terapéutico (prescripción en cascada) según el Real decreto 1132/2010. Recientemente entrarán en vigor los Reglamentos 2019/6 sobre medicamentos veterinarios; y el Reglamento 2019/4 relativo a la fabricación, la comercialización y el uso de piensos medicamentosos en los que se incluyeron las particularidades del sector acuicultor español (y europeo), gracias a la intervención de veterinarios de la Federación Española de Agrupaciones de Defensa Sanitaria de Acuicultura (FEADSA) en colaboración con APROMAR entre otros.

Como en cualquier establecimiento de producción animal, la bioseguridad en establecimientos acuícolas implica identificación, priorización e implementación de estrategias eficaces y necesarias para prevenir la introducción, proliferación y

propagación de patógenos, así como también la preparación para cualquier otro desastre. Los planes de bioseguridad deberían presentarse en formato escrito para asegurar coherencia en la comunicación y en la implementación de los procedimientos y protocolos establecidos por el establecimiento. La implementación correcta de medidas de bioseguridad en un establecimiento acuícola puede:

- Promover la sanidad y minimizar la pérdida de los animales acuáticos.
- Proteger la inversión económica del productor
- Aumentar el comercio y exportación de animales acuáticos y sus productos
- Impedir la introducción de patógenos nuevos y emergentes
- Minimizar el impacto de una enfermedad, en caso de que ocurra
- • Proteger la seguridad del suministro de alimentos
- Proteger la salud humana de enfermedades zoonóticas.

Los procedimientos, políticas y prácticas de bioseguridad incluyen aquellos que se utilizan de manera diaria o de rutina como también aquellos que resultan necesarios en situaciones de brotes de enfermedades. Un programa eficaz de bioseguridad debe:

- Prevenir o minimizar los problemas y factores de riesgo de enfermedades antes de que ocurran
- Detectar problemas que sí ocurren.
- Brindar controles y medidas adecuadas
- Evaluar resultados.

Los estudios de investigación a nivel de diseño de estrategias de prevención de la aparición de enfermedades son innumerables y han centralizado gran parte de esfuerzo tanto público como privado en I+D durante las últimas décadas dados los visibles y rápidos beneficios que suponen. Las líneas fundamentales de investigación a nivel de prevención son:

- Estudio de las interacciones entre los microorganismos patógenos y su hospedador.
- Estrategias para combatir las enfermedades producidas por los patógenos.

- 1.- Diseño de vacunas y estrategias de vacunación.
- 2.- Selección de probióticos.
- 3- Empleo de alimentos y componentes funcionales en acuicultura y análisis de los efectos en el hospedador.

A pesar que todas las medidas de prevención permiten reducir de forma significativa el uso de tratamientos veterinarios, en ocasiones su uso es inevitables. En las últimas décadas, ha habido una importante mejora a nivel de formación de los veterinarios en los conocimientos de acuicultura, lo que ha permitiendo que optimizar los tratamientos al aplicarse de forma transversal la metodología de la ganadería tradicional. Sin embargo, el número de medicamentos autorizados para su uso en acuicultura sigue siendo muy reducido. Eso se debe, a que la elevada inversión necesaria por parte de la industria farmacéutica para su registro en Europa no sería rentable dado al reducido consumo existente del mercado acuícola al que iría dirigido. Aunque existe una demanda y un interés del sector acuícola. Otro grave problema derivado de los reducidos registros es que los veterinarios en ocasiones carecen de información abalada científicamente para poder recetar tratamientos adecuados para la especie y la enfermedad de destino.

## Materiales, envases y embalajes

Más del 80 % de la basura del mar es plástico. El plástico se acumula en mares, océanos y playas de la UE y de todo el mundo. Los residuos plásticos se encuentran en especies marinas, como tortugas marinas, focas, ballenas y aves, pero también en peces y mariscos y, por lo tanto, en la cadena alimentaria humana. Por todo ello, la UE ha actuado contundentemente en contra de la contaminación derivada del plástico. A partir del 3 de julio de 2021, los productos de plástico de un solo uso no pueden comercializarse en los mercados de los Estados miembros de la UE (Directiva UE 2019/904). Asimismo, esta medida se aplica a los vasos, envases de alimentos y bebidas de poliestireno expandido y todos los productos de plástico oxodegradable.

El interés público y la literatura científica sobre los microplásticos en el medio ambiente acuático están aumentando. La tendencia de las publicaciones evidencia que el tema de la contaminación marina por microplásticos atraerá aún más atención por parte de los medios de comunicación, consumidores, ONGs medioambientales, mundo académico, autoridades políticas y la industria. Los microplásticos están en todas partes y su cantidad aumentará verosímilmente en un futuro cercano.

Los sectores de pesca y acuicultura son contribuyentes menores comparados con otros sectores (Fig., 11). Por ello, tanto desde el punto de vista económico, como social y medioambiental, las empresas van a encontrar en la innovación sostenible, la mejor forma de enfrentarse a los retos actuales y futuros que les plantean una sociedad y unos consumidores cada vez más exigentes, más preparados y más comprometidos con el medioambiente. Son muchos los estudios que constatan que el consumidor de hoy es más racional y que exige a sus proveedores más y mejor comunicación, que debe ser honesta, veraz y objetiva. En este entorno, determinados aspectos relacionados con el envasado y el transporte de los productos acuícolas cobran especial relevancia e interés, sobre todo en lo que respecta a la sustitución de los envases empleados tradicionalmente, y fabricados a partir de plásticos o poliexpan, por otras alternativas más ecológicas, pero que sigan dando la misma respuesta desde el punto de vista logístico y económico. En respuesta a esta demanda de los consumidores, pero también de la industria, están surgiendo nuevas alternativas como la utilización de envases sostenibles.

Actualmente es tendencia el uso de micropartículas y / o nanopartículas metálicas para mejorar las propiedades de los polímeros. Esto ha llevado al desarrollo de compuestos poliméricos-metálicos con alto potencial para ser aplicados en el envasado de alimentos, debido al efecto mejorado antimicrobiano, barrera de gases, bloqueador de la luz y el efecto antioxidante, además de las propiedades intrínsecas del polímero. Pero, los nuevos compuestos poliméricos-metálicos con potencial prometedor y/o aplicados para el envasado de alimentos ha suscitado preocupación por su posible toxicidad y/o impacto medioambiental (Videira-Quintela et al, 2021). Proyectos europeos como el

ACUINANO y NANOCULTURE, están estudiando si se produce una transferencia de nanopartículas de Ag y TiO<sub>2</sub> existentes en el medioambiente a la cadena alimentaria a través de diferentes productos de procedentes de la acuicultura

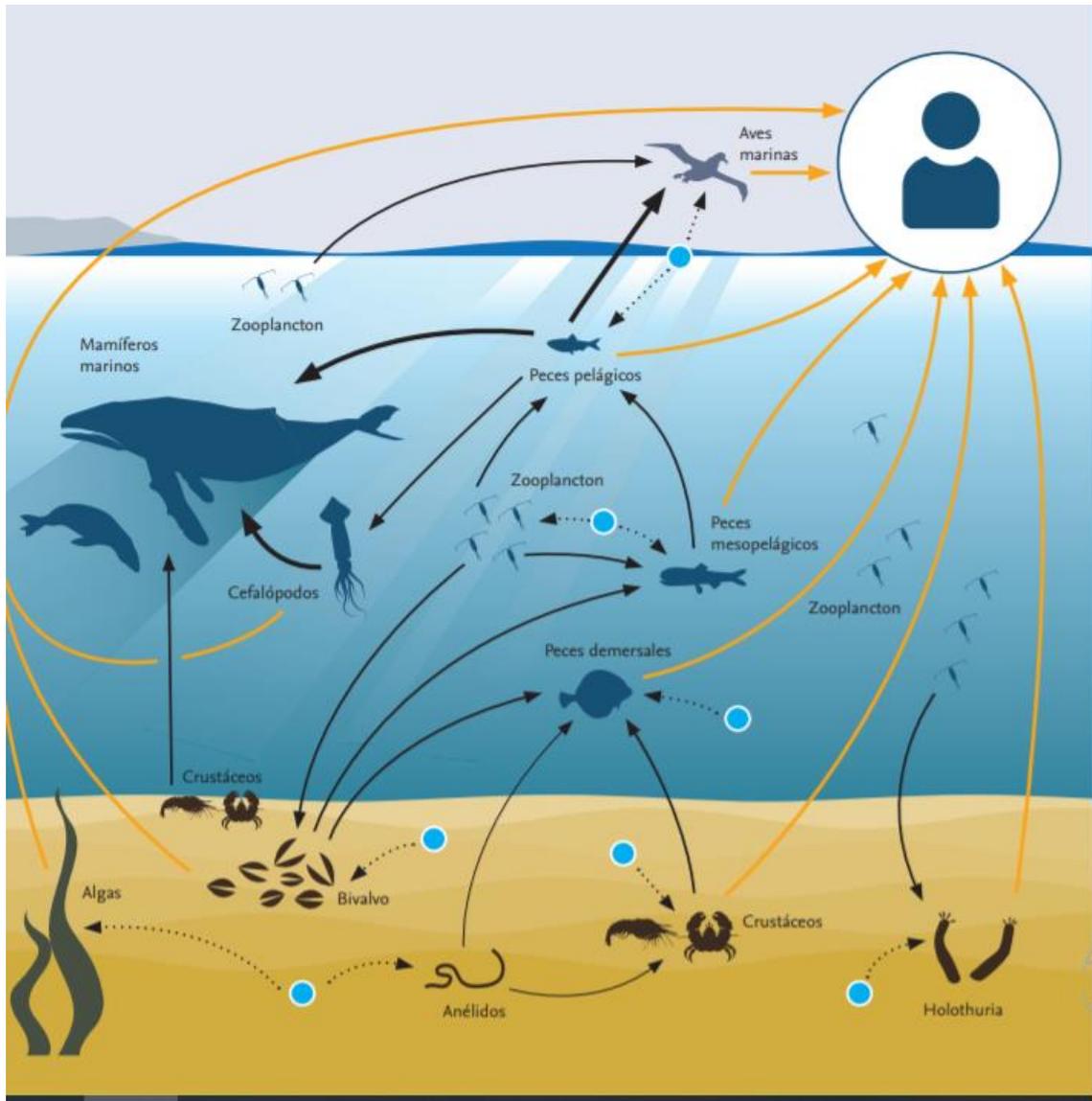


Figura 11. Interacción de los microplásticos con organismos marinos y su transferencia trófica potencial al ser humano. <https://www.fao.org/3/ca3540es/ca3540es.pdf>.

## Subproductos acuícolas en el transformado.

Iñarra et al. (2018) elaboraron una Guía para la valoración de los subproductos de la acuicultura. De las propuestas que se plantearon las siguientes pueden aplicarse a los peces muertos procedentes de la acuicultura:

1. Péptidos bioactivos, Gelatina, Colágeno,
2. Harina de pescado y Aceite de pescado
3. Hidrolizado de proteínas
4. Concentrado de proteína
5. Compost
6. Ensilado
7. Biogás

La mayoría de estos tratamientos requieren instalaciones complejas y ello implica la necesidad de la recogida de los ejemplares por empresas autorizadas para su gestión. Sin embargo, la gestión del tratamiento de las pérdidas mediante ensilado es compatible realizarlo dentro de la propia granja.

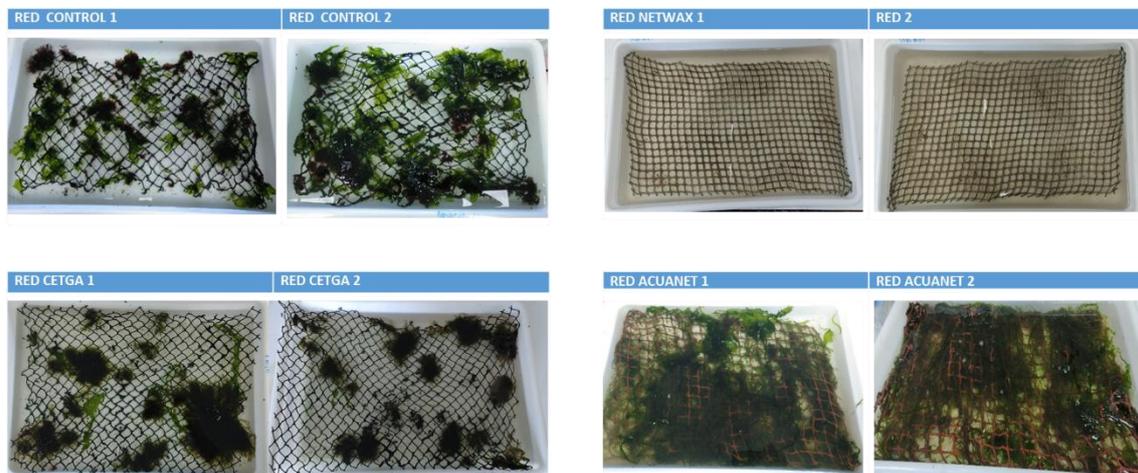
La mayoría de estos tratamientos requieren instalaciones complejas y ello implica la necesidad de la recogida de los ejemplares por empresas autorizadas para su gestión. Sin embargo, la gestión del tratamiento de las pérdidas por mortalidad mediante ensilado es compatible realizarlo dentro de la propia granja.

## Organismos incrustantes (fouling).

La proliferación algas, animales y vegetales que se incrustan en las redes y estructuras de jaulas marinas o tuberías, perjudica en muchos casos el buen funcionamiento de las instalaciones, provocando menores eficiencias y mayores costes por el cambio, lavado, reparación y mantenimiento de las estructuras. La gestión como residuo del fouling requiere también un esfuerzo importante.

Existen nuevos y prometedores desarrollos en el campo de las tecnologías antiincrustantes marinas basadas en nanocompuestos que limitan los posibles inconvenientes de las técnicas y materiales existentes (Kumar et al., 2021). Recientes proyectos como FOULACTIVE han ayudado a ampliar el conocimiento del grado de

incidencia del fouling presente en viveros flotantes, así como el desarrollo de un nuevo tratamiento antifouling más sostenibles basados en la incorporación de nanopartículas de Cu (Fig. 10).



**Figura 12. Aspecto de redes con diferentes recubrimientos antiincrustantes tras 4 meses sumergidas en agua de mar (Proyecto FOULACTIVE)**

En los últimos años, se han planteado muchas tecnologías antiincrustantes que en principio se plantean como ecológicas dada su baja toxicidad, basadas en agentes y materiales antiincrustantes no tóxicos biónicos y no biónicos (Tian et al, 2021). Las tecnologías antiincrustantes no biónicas incluyen principalmente polímeros resistentes a proteínas, recubrimientos que liberan agentes antiincrustantes, recubrimientos antiincrustantes, recubrimientos antiincrustantes conductores y fotodinámicos. Las tecnologías antiincrustantes biónicas incluyen principalmente piel simulada de animales y plantas, como piel de tiburón, piel de ballena, piel de delfín, tentáculos de coral, hojas de loto. Sin embargo, todavía existen muchos problemas en su aplicación práctica. Por ejemplo, las tecnologías antiincrustantes no biónicas solo se han estudiado en recipientes pequeños y el ámbito de aplicación tiene grandes limitaciones. A nivel de las tecnologías incrustantes biónicas, es difícil combatir con una sola estructura biomimética, frente a las complejas comunidades biológicas del océano. Por tanto, falta mucho para poder ser empleadas a nivel comercial.

## 10. CONCLUSIONES

La mejora de la sostenibilidad de la acuicultura pasa por la integración de las diferentes estrategias basadas en las novedosas e interesantes alternativas que nos ofrece las nuevas tecnologías abaladas por las investigaciones científicas. Pero, aunque las instituciones tanto europeas, nacionales como autonómicas apoyan el desarrollo sostenible de la economía, aún falta que vayan acompañadas de herramientas administrativas que hagan posible el reducir el cuello de botella que implica poder implantarlas.

## 11. Bibliografía

### Publicaciones científicas

Anjalee Devi C.A and B. Madhusoodana Kurup. 2015. Biofloc Technology: An Overview and its application in animal food industry. International Journal of Fisheries and Aquaculture Sciences, Volume 5, Number 1 (2015), pp. 1-20.

Betanzo-Torres, Erick A.; Piñar-Álvarez, María d.l.Á.; Sierra-Carmona, Celia G.; Santamaria, Luis E.G.; Loeza-Mejía, Cecilia-Irene; Marín-Muñiz, José L.; Sandoval Herazo, Luis C. 2021. "Proposal of Ecotechnologies for Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Production in Mexico: Economic, Environmental, and Social Implications" Sustainability 13, no. 12: 6853. <https://doi.org/10.3390/su13126853>.

Buck, Bela & Krause, Gesche. (2012). Integration of Aquaculture and Renewable Energy Systems. 10.1007/978-1-4419-0851-3\_180.

Castro L., T. Castro, R. De Lara, J. Castro, G. Castro. 2012. Sistemas biofloc: un avance tecnológico en acuicultura. Revista Digital E-Bios. Vol. 1(1):1-6.

Crab R., T. Defoirdt, P. Bossier and W. Verstraete. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. Aquaculture, 356-357: 351-356.

Hasan Z, Dhahiyat Y, Andriani Y, Zidni I (2017) Water quality improvement of Nile tilapia and catfish polyculture in aquaponics system. Nasant Biosci 9:83–85.

Hussain A., Deyaaedin A. Mohammad, Elham M. Ali and Wafaa S. Sallam. 2014. Nutrient Optimization for the Production of Microbial Floccs in Suspended Growth Bioreactors. Journal of the aquaculture society - Arabian Aquaculture Conference. Vol. 9 No 1.

Iñarra, B., Bald, C., San Martín, D., Orive, M., Cebrián, M. & Zufía, J. (2018) Guía para la valorización de subproductos de la acuicultura. AZTI, Derio, España. 44 páginas.

Kumar A, Al-Jumaili A, Bazaka O, Ivanova EP, Levchenko I, Bazaka K, Jacob MV. Functional nanomaterials, synergisms, and biomimicry for environmentally benign marine antifouling technology. *Mater Horiz.* 2021 Nov 29;8(12):3201-3238. doi: 10.1039/d1mh01103k. PMID: 34726218.

Love DC, Fry JP, Genello L, Hill ES, Frederick JA, Li X, Semmens K (2014) An International Survey of Aquaponics Practitioners. *PLoS One* 9:e102662.

Luthada-Raswiswi, R.; Mukaratirwa, S.; O'Brien, G. Animal Protein Sources as a Substitute for Fishmeal in Aquaculture Diets: A Systematic Review and Meta-Analysis. *APPL. SCI.* 2021, 11, 3854. <https://doi.org/10.3390/app11093854>

Mustapha, U. F., Alhassan, A. W., Jiang, D. N., & Li, G. L. (2021). Sustainable aquaculture development: a review 1074 on the roles of cloud computing, internet of things and artificial intelligence (CIA). *Reviews in Aquaculture.* 1075 <https://doi.org/10.1111/raq.12559>.

Nagarajan Dillirani, Sunita Varjani, Duu-Jong Lee, Jo-Shu Chang, 2021.Sustainable aquaculture and animal feed from microalgae – Nutritive value and techno-functional components, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 150, 111549,

Rode R. 2014. *Marine Shrimp Biofloc Systems: Basic Management Practices*. Purdue Extension. FNR-495-W. 5 p.

Rossi, Lorenzo & Bibbiani, Carlo & Fierro-Sañudo, Juan & Maibam, Chingoi & Incrocci, Luca & Pardossi, Alberto & Fronte, Baldassare. (2021). Selection of marine fish for integrated multi-trophic aquaponic production in the Mediterranean area using DEXi multi-criteria analysis. *Aquaculture.* 535. 736402. 10.1016/j.aquaculture.2021.736402.

Schock TB, Duke J, Goodson A, Weldon D, Brunson J, Leffler JW, et al. (2013) Evaluation of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Health during a Superintensive Aquaculture Growout Using NMR-Based Metabolomics. *PLoS ONE* 8(3): e59521. doi:10.1371/journal.pone.0059521

Sharif Muhammad, Muhammad Hammad Zafar, Amjad Islam Aqib, Muhammad Saeed, Mayada R. Farag, Mahmoud Alagawany, Single cell protein: Sources, mechanism of production, nutritional value and its uses in aquaculture nutrition, *Aquaculture*, Volume 531, 735-885.

Shitu, Abubakar, Gang Liu, Aliyu Idris Muhammad, Yadong Zhang, Musa Abubakar Tadda, Wanhe Qi, Dezhao Liu, Zhangying Ye, Songming Zhu Recent advances in application of moving bed bioreactors for wastewater treatment from recirculating aquaculture systems: A review, *Aquaculture and Fisheries*, 2021. In press.

Suárez-Cáceres, G.P., Fernández-Cabanás, V.M., Lobillo-Eguívar, J. *et al.* Characterisation of aquaponic producers and small-scale facilities in Spain and Latin America. *Aquacult Int* (2021). <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00793-4>

Tian, L., Yin, Y., Bing, W. *et al.* Antifouling Technology Trends in Marine Environmental Protection. *J Bionic Eng* 18, 239–263 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42235-021-0017-z>.

Tokunaga K, Tamaru C, Ako H, Leung P (2015) Economics of small-scale commercial aquaponics in Hawai'i. *J World Aquac Soc* 46:20–32. <https://doi.org/10.1111/jwas.12173>

Videira-Quintela, Diogo & Cadiz, Olga Martin & Montalvo, Gemma. (2021). Recent advances in polymer-metallic composites for food packaging applications. *Trends in Food Science & Technology*. 109. 10.1016/j.tifs.2021.01.020.

## Proyectos

ACUAENERGY. -Mejora de la competitividad de las plantas acuícolas a través de la eficiencia energética. POPTEC. <https://acuaenergy.eu/>

ACUFLOT - Interacciones entre la ACUicultura offshore y la energía eólica FLOTante: retos y oportunidades hacia la "transición ecológica" del espacio marítimo español Programa Pleamar ([programapleamar.es](http://programapleamar.es)).

ACUINANO-. Impacto de nanopartículas metálicas en ecosistemas acuáticos, y en productos de Acuicultura: desarrollo de métodos para su detección. Programa: INTERREG V-A España Portugal (POCTEP) 2014-2020 Convocatoria 2. <https://acuinano.es/>

DIVERSIFY. - New species for European aquaculture. <https://www.diversifyfish.eu/>

FISHFLOC. - Innovación en el cultivo de peces marinos aplicando la tecnología biofloc en diferentes etapas para una acuicultura más sostenible. Programa Pleamar. <https://www.programapleamar.es/proyectos/fishflocinnovacion-en-el-cultivo-de-peces-marinos-aplicando-la-tecnologia-biofloc-en>

FOULACTIVE- Desarrollo de tratamiento antifouling que permita reducir el impacto en el medio ambiente de viveros flotantes. Programa Pleamar. <https://www.programapleamar.es/proyectos/foulactive-desarrollo-de-tratamiento-antifouling-que-permita-reducir-el-impacto-en-el>

IMPAQT- Intelligent Management Systems for Integrated Multi-Trophic Aquaculture. <https://impactproject.eu/sobre-imta/?lang=es>

Nanoculture- Risk assessment and mitigation of the presence of engineered NANOMaterials in Atlantic aquaculture. Interreg Atlantic Area Program (European Regional Development Fund, ERDF) – EAPA\_590/2018. <https://nanoculture.ciimar.up.pt/>

POLIAQUA- Estudio y desarrollo industrial de sistemas de policultivo integrado peces-macroalgas-macroherbívoros que permitan el aprovechamiento de los efluentes de instalaciones acuícolas. Programa Pleamar. <https://www.programapleamar.es/proyectos/poliaqua-estudio-y-desarrollo-industrial-de-sistemas-de-policultivo-integrado-peces>

## Legislación

Directiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente.

Real Decreto 1132/2010, de 10 de septiembre, por el que se modifica el Real Decreto 109/1995, de 27 de enero, sobre medicamentos veterinarios.

REGLAMENTO (CE) No 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de octubre de 2009 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) no 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales)

Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 834/2007 del Consejo.

Reglamento (UE) 2019/4 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativo a la fabricación, la comercialización y el uso de piensos medicamentosos, por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 183/2005 del Parlamento Europeo y del Consejo y se deroga la Directiva 90/167/CEE del Consejo.

Reglamento (UE) 2019/6 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, sobre medicamentos veterinarios y por el que se deroga la Directiva 2001/82/CE

## Otras fuentes

<https://news.solisclima.com/noticias/energia-solar/aplicaciones-industriales-de-la-energia-solar-acuicultura>)

[http://www.ipacuicultura.com/noticias/en\\_portada/77697/el\\_proyecto\\_europeo\\_prodigio\\_acelerara\\_la\\_produccion\\_de\\_biogas\\_a\\_partir\\_de\\_microalgas.html](http://www.ipacuicultura.com/noticias/en_portada/77697/el_proyecto_europeo_prodigio_acelerara_la_produccion_de_biogas_a_partir_de_microalgas.html)

<https://www.dihdatalife.com/gl/>

<https://news.soliclima.com/noticias/energia-solar/aplicaciones-industriales-de-la-energia-solar-acuicultura>

IPACUICULTURA,

[http://www.ipacuicultura.com/noticias/en\\_portada/77697/el\\_proyecto\\_europeo\\_prodigio\\_acelerara\\_la\\_produccion\\_de\\_biogas\\_a\\_partir\\_de\\_microalgas.html](http://www.ipacuicultura.com/noticias/en_portada/77697/el_proyecto_europeo_prodigio_acelerara_la_produccion_de_biogas_a_partir_de_microalgas.html)

MIS PECES, <https://www.mispecies.com/noticias/Es-rentable-la-acuicultura-ecologica-Depende-de-la-especie-el-pais-productor-y-el-mercado-de-destino/#.YUhjSLgzZPZ>

OESA - Fundación Biodiversidad (2017). Guía de Minimización de Subproductos y residuos de la acuicultura. Fundación Biodiversidad, Madrid, España. 76 páginas

ONU. (1987). Informe Brundtland. Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Recuperado de <https://undocs.org/es/A/42/427>.

SustainAqua–Integrated approach for a sustainable and healthy freshwater aquaculture” (2009). SustainAqua handbook – A handbook for sustainable aquaculture