



Facultad de Veterinaria  
Universidad Zaragoza



# Trabajo Fin de Grado Veterinaria

Impacto de la acuicultura marina en el medio ambiente y análisis de posibles soluciones

-

Environmental impact of marine aquaculture and analysis of possible solutions

Autor/es

Mario Boix Miralles

Director/es

Imanol Ruiz Zarzuela  
Miguel Ángel Peribáñez López

Facultad de Veterinaria

2022



# ÍNDICE

<b>1. Resumen</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Introducción</b> .....	<b>5 - 7</b>
<b>4. Justificación y objetivos</b> .....	<b>8</b>
<b>5. Metodología</b> .....	<b>9 - 11</b>
<b>6. Resultados y discusión</b> .....	<b>12</b>
<b>6.1. IMPACTOS</b> .....	<b>12</b>
6.1.1. Cultivo y vida salvaje .....	<b>12 - 13</b>
6.1.2. Parásitos, patógenos y ecosistema .....	<b>14 - 15</b>
6.1.3. Los escapes .....	<b>15 - 17</b>
6.1.4. Genética y adaptación .....	<b>17 - 18</b>
6.1.5. Los residuos de la producción .....	<b>18 - 22</b>
6.1.6. Alimentación, recursos y progreso .....	<b>23 - 24</b>
<b>6.2. SOLUCIONES</b> .....	<b>24</b>
6.2.1. Soluciones generales .....	<b>25 - 26</b>
6.2.2. Soluciones específicas .....	<b>26 - 30</b>
<b>7. Conclusiones</b> .....	<b>30</b>
<b>8. Conclusions</b> .....	<b>31</b>
<b>9. Valoración personal</b> .....	<b>31</b>
<b>10. Bibliografía</b> .....	<b>32 - 40</b>



## 1. RESUMEN.

La acuicultura marina tiene una gran importancia en el sistema global de aprovisionamiento de comida, su producción puede ser comparable con la del sector pesquero y se muestra como una potencial alternativa a las capturas salvajes. El ritmo de crecimiento actual y la presión antrópica ejercida sobre el planeta, contribuyen a la necesidad de buscar futuras opciones que consigan aunar un modelo de producción más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. El cultivo de peces en el mar ofrece una serie de beneficios considerables, tanto desde un punto de vista económico como ecológico; sin embargo, es necesario estudiar en detalle las relaciones que existen entre el sistema de producción y la naturaleza, caracterizarlas y evaluar los posibles impactos que traen asociados. Las jaulas marinas son entidades que interactúan de forma ininterrumpida con el espacio que les rodea; las poblaciones salvajes se ven condicionadas inevitablemente por su presencia y quedan introducidas como un factor más a tener en cuenta dentro de la dinámica del ecosistema. Este impacto global se divide en multitud de relaciones que han de abordarse desde un punto de vista preventivo y es necesario investigar acerca de posibles soluciones que reviertan la problemática o que impidan que esta progrese hasta causar daños irreparables. Cada impacto tiene diferente magnitud en función de la situación concreta, sin embargo, algo que caracteriza a todos estos impactos es que pueden perjudicar gravemente a la dinámica establecida dentro de un ecosistema y modificar su funcionamiento. En mayor o menor medida, acaban alterando la previsibilidad esperada de modelos futuros y contribuyen a esta actual presión climática. El cultivo acuícola es interdependiente del medio ambiente y se correlacionan el uno con el otro, de modo que cualquiera puede verse afectado por la situación del otro.

**Palabras clave:** maricultura, acuicultura, alimentación, pez, alternativas.



## 2. ABSTRACT.

Marine aquaculture is of great importance in the global food supply system, its production can be comparable to that of the fishing sector and it is a potential alternative to extractive fishing. The current rate of growth and the anthropic pressure exerted on the planet demand the need to look for future options to achieve a more sustainable and environmentally friendly production model. Marine aquaculture offers a series of considerable benefits, both from an economic and ecological point of view; however, it is necessary to study in detail the relationships that exist between the production system and nature, characterize them and evaluate the possible associated impacts. Aquaculture cages are entities that interact uninterruptedly with the surrounding space, inevitably conditioning wild populations by their presence and being introduced as another factor to be taken into account within the dynamics of the ecosystem. This global impact is divided into a multitude of relationships that must be addressed from a prophylactic point of view and it is necessary to investigate possible solutions to reverse the problem or to prevent its progress to the level of causing irreparable damage. Each impact has a different magnitude depending on the specific situation, however, one characteristic of them all is that they can seriously damage the established dynamics within an ecosystem and modify its functioning. To a greater or lesser extent, they end up altering the expected predictability of future models and contribute to the current climate pressure. Aquaculture farming is interdependent with the environment and they correlate with each other, so that either can be affected by the situation of the other.

**Key words:** mariculture, aquaculture, fisheries, feeding, fish, alternatives.



### 3. INTRODUCCIÓN.

La acuicultura se define como el cultivo de alimentos en un medio acuático, la antítesis de la ganadería y la agricultura, una forma alternativa de obtener nutrientes que no utiliza la tierra y que puede ofrecer una serie de productos que sí coinciden en ser igual de valiosos desde el punto de vista biológico a estos otros de origen terrestre.

Según datos de Naciones Unidas (U.N., 2019), para el año 2050, se estima que la población mundial llegará a superar los 9.700 millones de personas. Un dato a tener en cuenta en 2022, en un planeta en el que la capacidad de carga es limitada y en el que los recursos se agotan a un ritmo cada vez mayor (F.A.O., 2012; Infante, 2014).

A nivel global, la acuicultura tiene una labor importante como componente del sistema de aprovisionamiento de comida, la producción acuícola mundial ha ido aumentando año tras año desde 7,8 millones de toneladas en 1980 a 114,5 millones de toneladas en 2018 (F.A.O., 2020). Una cifra que refleja el creciente sistema de producción y que lo consolida como una alternativa presente y futura a la industria pesquera (Kobayashi *et al.*, 2015), que desde 1980, ha quedado estancada y sufre un descenso en el número de capturas sustraídas, causado en parte por la sobrepesca y la degradación de los hábitats (Jackson *et al.*, 2001; Pauly *et al.*, 2003).

En 2016, la acuicultura se convirtió en la principal fuente de pescado de consumo humano y en 2018 alcanzó a superar el 50% del aprovisionamiento total. Un sector con un gran desarrollo que muestra, desde 1961 a 2017, una tasa de crecimiento anual superior a la tasa de crecimiento de la población, lo que indica que no sólo se produce más, si no que se puede consumir más (F.A.O., 2020), algo positivo teniendo en cuenta que uno de los retos más importantes que actualmente se plantea la sociedad es el de incrementar la producción de alimento en la misma proporción con la que aumenta la humanidad.

El desarrollo tecnológico en los sistemas de producción, así como la mejora en el manejo y la reducción de pérdidas, ha permitido alcanzar los niveles de producción actuales. Bien es cierto que no todos los países del globo cuentan con estrategias tecnológicas y de competitividad; algunos países están empezando a desarrollar tempranamente la acuicultura, lo que limita la estabilidad, rentabilidad y previsibilidad del sector local, convirtiéndose en productores a pequeña escala. Sin embargo, la acuicultura sigue siendo un instrumento clave en el aprovisionamiento de productos marinos y el desarrollo económico; el sector suple con una

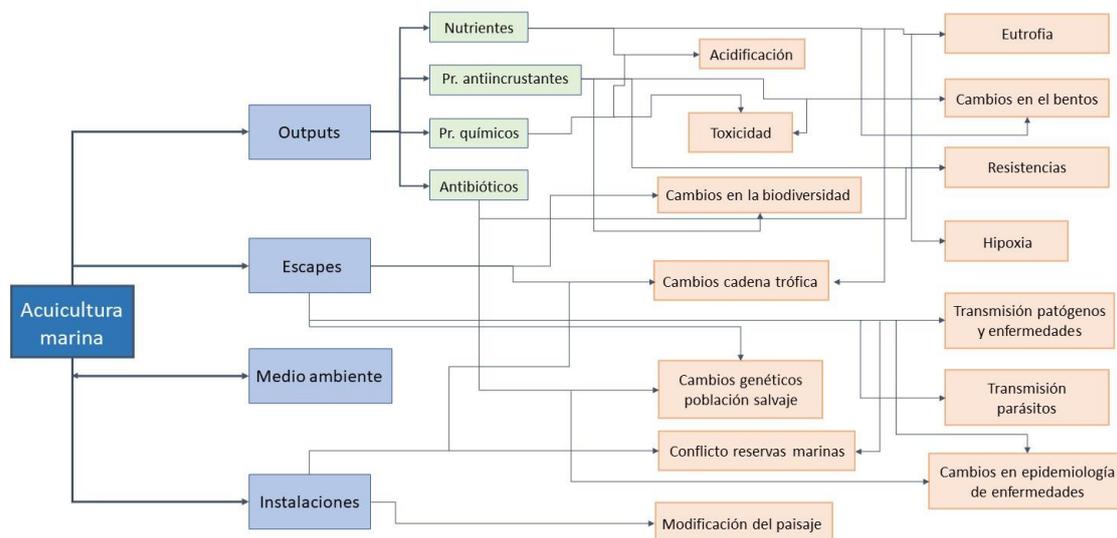


demanda proteica cada vez más creciente y tiene el potencial para asumir un mayor rol en la alimentación humana de los años venideros (Duarte *et al.*, 2009; Troell *et al.*, 2014)

La maricultura o acuicultura oceánica ofrece un escenario en el que los peces son criados en jaulas dentro del mar en zonas protegidas de oleaje, un tipo de producción interesante dado que tres cuartas partes de nuestro planeta está cubierto por agua y, teniendo en cuenta, la sobreexplotación de los terrenos costeros en una economía y cultura íntimamente vinculada al océano (Agudelo, 2005).

Además, el cambio climático, la falta de terreno cultivable y el estrés hídrico que el planeta asume, pueden poner límites a la expansión de la acuicultura continental, la más antigua de las formas de cultivar peces y que utiliza fertilizantes y grandes masas de agua dulce para proveer alimento (Cretu *et al.*, 2016; Lebel *et al.*, 2018; F.A.O., 2020; Sánchez *et al.*, 2020).

En la actualidad, la acuicultura marina se enfrenta a desafíos muy diversos; el conocimiento sobre los ecosistemas acuáticos de gran tamaño es limitado, pues son sistemas abiertos con cierta complejidad y que deben ser entendidos desde un punto de vista holístico. La producción interacciona de forma directa con el océano y, teniendo en cuenta su gran desarrollo, esto supone un problema desde el punto de vista medioambiental.



**Fig.1.** Esquema de los impactos asociados a la acuicultura marina y sus causas principales. En él se puede observar la cantidad de relaciones que pueden existir dentro de un sistema abierto como el de la acuicultura marina y la relación causa conjunta de muchos de los impactos estudiados.



Los desechos de la maricultura afectan negativamente a los lechos marinos, el uso de hormonas y el abuso de antibióticos podrían suponer un grave reto para escenarios futuros y para la salud humana; productos tóxicos como los denominados *anti-fouling*, los escapes y la transmisión de enfermedades a poblaciones salvajes, pueden afectar gravemente a la dinámica y al equilibrio establecido (Wang et al., 2010).

Ante los impactos ambientales que están asociados a esta práctica, mostrados en la *Figura 1.*, surge la necesidad de estudiar la repercusión que tienen tanto de forma global como local y encontrar soluciones. La denominada 'economía verde', destaca como una opción comprometida con el medio ambiente y combatiente contra los efectos del desarrollo del consumo y la opulencia.

Se entiende que para hacer frente a estos problemas es necesaria una comprensión integral y a escala global de la sostenibilidad en acuicultura. La sostenibilidad general de la acuicultura mundial es baja (Ahmed et al., 2019; Jiang et al., 2022) y es necesario desarrollar e implantar nuevas políticas adaptadas al momento actual, que puedan revertir y prevenir cualquier amenaza ambiental añadida que agrave la situación.



#### 4. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.

La cría de organismos acuáticos se ha practicado a lo largo de los siglos (Bardach et al., 1974). El ser humano siempre ha estado en busca de métodos de producción cada vez más eficientes que consiguieran cubrir las necesidades básicas de alimentación, así como cualquier demanda de mercado que pudiera surgir.

La zootecnia, basada en la optimización de las condiciones de producción, ha logrado desde 1960 un aumento en la producción acuícola; ha facilitado la cría, recría y engorde de muchas de las especies que actualmente se pueden consumir (Stickney, 1994). Basándose en este principio; se ha mejorado la calidad del agua, el bienestar animal y el control de ciertas enfermedades; se ha implantado una nutrición adaptada al periodo productivo y se ha hecho una cría selectiva, que junto con la hibridación y el uso de la genética molecular, han conseguido obtener unas poblaciones mucho más resistentes y resilientes ante cualquier perturbación.

Uno de los retos más importantes a los que se enfrenta el sector es el cambio climático; la acidificación y contaminación de los mares son dos de los muchos ejemplos que contribuyen a la presión antropogénica ejercida y que modifica el clima a escala global. La maricultura depende del medio ambiente y la tendencia climática actual se caracteriza por un aumento en la intensidad de las posibles perturbaciones y una falta de previsibilidad; lo que supone una mayor vulnerabilidad de la producción ante fenómenos externos (Reid et al., 2019).

La razón del presente trabajo viene dada por la necesidad de encontrar soluciones a los impactos actuales de la maricultura sobre el medio ambiente, una serie de repercusiones que contribuyen aún más a la modificación y degradación de los hábitats, y que pueden perpetuar el problema actual.

De esta forma, los objetivos que se pretenden cumplir son, mediante una revisión bibliográfica de diversos casos y estudios recientes:

- Poner de manifiesto los principales impactos y amenazas de la acuicultura marina en el medio ambiente.
- Analizar y evaluar sus efectos, tanto a pequeña como a gran escala, así como estimar el impacto de cada uno de estos en el contexto actual.
- Valorar, en consecuencia, posibles soluciones para remediar y/o prevenir las consecuencias negativas que puede llevar asociada este tipo de producción acuícola.



## 5. METODOLOGÍA.

La siguiente revisión bibliográfica fue realizada por el autor del presente trabajo y de forma manual en el periodo de tiempo comprendido entre los meses de febrero a junio del año 2022. La información fue consultada a partir de tres fuentes principales: ResearchGate, Web of Science (WOS) y Scopus como bases de datos; el archivo bibliotecario de la Biblioteca Universitaria de Zaragoza (UNIZAR) y el de la Biblioteca Universitaria de Murcia (UMU); y, de forma puntual, se utilizó el buscador de Google “Google Académico”.

### - Estrategia de búsqueda:

#### a. Búsqueda en bases de datos:

La búsqueda en las bases de datos citadas anteriormente se dividió en dos. El primer grupo de publicaciones, consistió en artículos que reunieran información básica y más general a cerca de la acuicultura global y su desarrollo, la acuicultura marina, evaluaciones sobre el sector pesquero y artículos de revisión sobre los impactos asociados.

Para ello se acotó el rango temporal a artículos publicados en los últimos 25 años y se emplearon las siguientes cláusulas:

- “global aquaculture”, “aquaculture history” and “aquaculture contamination review”
- “sustainable aquaculture”
- “mariculture impact review” or “mariculture review”
- “global fisheries” or “marine captures”

El segundo grupo de publicaciones englobó estudios más específicos sobre el impacto medioambiental de la acuicultura marina y también sobre el impacto que genera el sector de la acuicultura a escala global. Además, quedaron incluidas en esta búsqueda, todas las publicaciones relativas a las posibles soluciones y estrategias de prevención o trato directo, así como aquellas que se mostraron como potencialmente interesantes para un futuro próximo.

Para ello, el rango de tiempo se redujo a los últimos 15 años; aunque se tuvo en cuenta puntualmente algún artículo de interés fuera de esta franja temporal. Se emplearon las siguientes cláusulas:

- “antifouling aquaculture” and “biofouling aquaculture”



- “aquaculture wildlife” or “aquaculture wild fishes” or “aquaculture wild population” and “aquaculture scapes”
- “mariculture antibiotics” or “aquaculture resistances” or “aquaculture antibiotic resistances”
- “aquaculture genetics” and “aquaculture genetics impacts”
- “aquaculture feeding” and “aquaculture feeding alternatives”
- “aquaculture alternatives” and “aquaculture sustainability”

**b. Búsqueda en el archivo bibliotecario de la UNIZAR y UMU:**

Se emplearon los servicios de la Biblioteca de la UNIZAR y de la UMU para solicitar artículos no disponibles encontrados en las bases de datos mencionadas y, también, para la consulta de libros de los siguientes campos:

- Producción acuícola.
- Veterinaria en acuicultura.
- Estudios de impacto medio ambiental.

**c. Búsqueda en “Google Académico”:**

Se empleó el buscador “Google Académico” para completar la búsqueda de información en los campos mencionados en el apartado anterior, así como para la búsqueda de algún libro/artículo en específico.

**- Criterios de inclusión:**

- Artículos en inglés.
- Artículos publicados en los últimos 25 años a cerca de la acuicultura global y la acuicultura marina.
- Artículos sobre estudios experimentales, informes medio ambientales o artículos de revisión publicados en los últimos 15 años a cerca de los impactos directos e indirectos de la acuicultura marina en materia de medio ambiente y sus soluciones prácticas.



- Artículos y libros en castellano o inglés, disponibles o susceptibles de ser solicitados a través de la Biblioteca de la UNIZAR o UMU.

**- Resultados de la búsqueda:**

Inicialmente, se reunieron un total de 28 artículos publicados en los últimos 25 años a partir de las bases de datos PubMed, WOS y Scopus; y de la consulta de las referencias citadas en las propias publicaciones. De esta primera selección, y una vez se consideró que las publicaciones reunían la información requerida, se emplearon finalmente 20 artículos.

Por otro lado, la búsqueda en esta franja de 15 años sobre artículos específicos de cada impacto asociado a la acuicultura marina, los estudios experimentales relacionados y las posibles soluciones ante ellos, ofreció un total de 104 artículos, de los cuales se emplearon 81 artículos.

Finalmente, sobre la información de los libros consultados fue incluida toda aquella que se consideró relevante para el tema a tratar.



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La acuicultura marina contribuye a la seguridad alimentaria y ofrece una serie de beneficios sociales y económicos como la generación de empleo o la reducción del hambre y la pobreza (Ottinger et al. 2016). Sin embargo, la rápida expansión de la industria acuícola a nivel global puede transformar valiosos espacios ecosistémicos que ofrecen importantes servicios y recursos naturales (Pattanaik et al., 2011). El cultivo de peces en un medio marino se relaciona directamente con el entorno, y esto supone un problema medioambiental si no se maneja y planifica debidamente la producción.

La correcta gestión comienza por conocer cuáles son los puntos a tener en cuenta, caracterizarlos y estudiar en detalle su naturaleza, pues muchos de ellos están relacionados y en muchas ocasiones pueden llegar a ser causa conjunta de un problema concreto.

### 6.1. IMPACTOS.

#### - Cultivo y vida salvaje.

La infraestructura acuícola presenta un entorno novedoso para las poblaciones de animales salvajes. La gran biomasa que concentra puede ofrecer oportunidades beneficiosas para muchas especies. Sin embargo, también tiene una parte negativa; si los individuos se sienten atraídos por un hábitat que ofrece peores resultados de aptitud física que otros hábitats disponibles caen en una “trampa ecológica” (Robertson y Hutto, 2006; Hale y Swearer, 2016), y comparativamente, sus tasas de supervivencia y éxito reproductivo son menores.

El principal factor atrayente en la mayoría de las granjas es la disponibilidad de alimento, ya sea de forma directa (depredación) o de forma indirecta, a través de desechos agrícolas. Las aves y los pinnípedos son depredadores bien documentados (Dorr et al., 2012; Sepúlveda et al., 2015) y es probable que una gran abundancia de peces también contribuya a la atracción de grandes depredadores, como los delfines (Bonizzoni et al., 2014). Cabe destacar que la luz, la eutrofización y las altas densidades de depredadores también pueden tener un efecto repulsivo en ciertos taxones (Becker et al., 2011).

La presencia de jaulas produce cambios en el hábitat circundante, tanto en abundancia como en distribución, y esto puede significar cambios en las relaciones tróficas del ecosistema y cambios en la biodiversidad global.



La presencia constante de alimento disponible también condiciona el estado físico de las poblaciones salvajes, siendo aquellos peces asociados a las granjas, más grandes y pesados (Barret et al., 2018); representan por lo tanto, una biomasa local muy alta debida a la agregación de los peces o a las altas tasas de crecimiento por este subsidio trófico.

Las jaulas a menudo quedan fijadas en el mismo lugar durante varios años, y los peces, que se alimentan de forma regular en unas horas concretas, aprovechan este recurso ecosistémico que puede ser predecible a través del espacio y el tiempo. A su vez, estas altas densidades de comensales pueden atraer a depredadores o facilitar la propagación de enfermedades (Goodbrand et al., 2013).

La acuicultura marina no sólo tiene efectos asociados a la biota, si no que transforma el medio acuático y genera cambios en el biotopo, de manera que de forma indirecta condiciona el espacio en el que los animales se desarrollan (Casadevall et al., 2021). La ubicación altera el escenario en el que los animales viven, las relaciones tróficas que existen entre ellos y la comunidad de especies en función de su nicho biológico; siendo menos evidente en la columna de agua en espacios alejados de la costa (Stagličić et al., 2017).

Estas nuevas condiciones ecológicas pueden favorecer el desarrollo de ciertos organismos, como diatomeas y algas, que podrían cubrir el lecho marino y la biocenosis existente. Tičina y colaboradores (2020); muestran en jaulas de cultivo, que las poblaciones de lubina (*Dicentrarchus labrax*) y atún rojo (*Thunnus thynnus*) pueden alterar localmente los parámetros ecológicos y afectar al lecho marino y a la distribución de la comunidad bentónica.

El cultivo en el mar condiciona tanto de forma directa como indirecta a las poblaciones salvajes y a las relaciones interespecíficas ya establecidas. Una nueva entidad ecosistémica con varios factores a tener en cuenta; la ubicación de las jaulas, los desechos de comida, la atracción y el contacto con especies salvajes son algunos de los factores que se ven implicados en la transformación del hábitat y en la forma en la que la naturaleza se relaciona (Zheng et al., 2022).

Sin embargo, aún no se conoce con exactitud el grado de presión que puede generar este impacto en las poblaciones salvajes, debido principalmente a la cantidad de relaciones indirectas que existen en cualquier ecosistema.



## - Parásitos, patógenos y ecosistema.

El emplazamiento directo de las jaulas en el mar permite un intercambio de agua entre el sistema de producción y el medio natural, de modo que existe un alto intercambio de parásitos y patógenos entre las poblaciones salvajes y las poblaciones cultivadas (Johansen et al., 2011).

En un estudio realizado en Noruega sobre jaulas de salmón atlántico (*Salmo salar*) (Fjellidal et al., 2018) se comprobó que los peces salvajes a menudo pueden introducirse dentro de la jaula en algún punto de su ciclo vital, quedando atrapados en fases posteriores cuando su tamaño les impide salir. Además, cabe destacar, que los individuos salvajes son más abundantes en el lateral de la jaula que en el estrato inferior de la jaula (San Lázaro et al., 2010), lo que demuestra hasta qué punto pueden interactuar las dos poblaciones y el estrecho contacto que contribuye en la transmisión de patógenos y parásitos.

Estas enfermedades pueden generar unos costes económicos elevados que encarecen el sistema de producción, principalmente por el manejo y el tratamiento; sin embargo, también generan costes ambientales que han de tenerse en cuenta.

Las enfermedades que aparecen en una nueva especie tras un evento de propagación interespecífica se conocen como enfermedades emergentes y pueden tener consecuencias graves. Los nuevos hospedadores no han tenido una historia de coevolución con el parásito o patógeno introducido y pueden ser muy vulnerables, especialmente cuando este parásito o patógeno no causa mortalidad en su hospedador original y queda como reservorio para las poblaciones salvajes.

Cuando un parásito o patógeno es transmitido desde las poblaciones salvajes a las poblaciones cultivadas, estas últimas, y debido a las altas densidades, pueden actuar como amplificadoras de la enfermedad (Jensen et al., 2010). De forma que existe una relación epidemiológica entre las poblaciones cultivadas y las poblaciones salvajes, siendo condicionadas cada una de ellas por el estado de salud de la otra y actuando ambas como reservorio de ciertas enfermedades (Uglem et al., 2014; Bouwmeester et al., 2020).

Por ejemplo, se ha demostrado que los piojos que afectan al salmón de piscifactoría en Norteamérica infectan al salmón rosado salvaje (*Oncorhynchus gorbuscha*) al pasar cerca de las jaulas durante su migración; lo que ha provocado un descenso en las poblaciones salvajes y un riesgo local de extinción de la especie (Krkosek et al., 2007).



Según la revisión de Goedknegt et al. (2016), existen hasta seis tipos de interacciones ecosistémicas que pueden facilitar la transmisión de un parásito entre poblaciones, tanto de forma intraespecífica como interespecífica. Algunas de estas interacciones incluyen estadios biológicos previos al parásito adulto que podrían utilizar ambas poblaciones para cerrar el ciclo biológico, con la posibilidad de ser transmitidos hacia ambos lados del sistema.

Además de estas características epidemiológicas entre los diferentes individuos y las enfermedades, los escapes también influyen en esta relación global, una serie de modificaciones que pueden alterar la dinámica de las poblaciones y por ende, la biodiversidad esperada.

#### - Los escapes.

Existe una creciente preocupación acerca de las especies invasoras y los efectos que pueden tener en cualquier hábitat; España cuenta con diversas especies alóctonas que han causado serios perjuicios a nivel ecosistémico y que, a día de hoy, son las responsables de un descenso en el tamaño efectivo de muchas poblaciones de especies autóctonas. Los escapes de peces desde las instalaciones a mar abierto pueden traer consigo multitud de efectos económicos y ecológicos sobre las poblaciones de peces nativas.

Los escapes pueden producirse como resultado de varios incidentes relacionados con la instalación, el equipo y su funcionamiento. Los fallos estructurales, los fallos operativos y ciertas causas biológicas como la presión de ciertos depredadores, pueden contribuir a estas pérdidas. Cuanto más expuesta está la instalación acuícola, existe más riesgo de sufrir escapes, por ejemplo, en mar abierto (Jackson et al., 2014); diversos fenómenos climatológicos como fuertes vientos, olas y corrientes, pueden contribuir al efecto que pudiera tener un error humano y agravar la situación.

El riesgo puede aumentar en función del comportamiento del animal en cautividad, pues hay ciertas especies, como el bacalao (*Gadus morhua*) que tiene más pretensión por explorar y morder las redes, contribuyendo a la creación de agujeros y facilitando el posible escape (Moe et al. 2007).

Cuando un pez escapa, interactúa con el ecosistema salvaje de diferentes maneras; ecológicamente, pueden producirse situaciones de competición, depredación, hibridación, colonización o esta transmisión de enfermedades y parásitos de la que se hablaba. Además, el



escape de muchos individuos jóvenes o inmaduros de especies autóctonas, puede modificar la estructura poblacional natural de la especie y condicionar las relaciones intraespecíficas e interespecíficas. Las interacciones pueden resultar negativas o positivas en función de la situación; así por ejemplo, si el pez que ha escapado es capaz de sobrevivir en el medio natural, entra a formar parte del ecosistema e interactúa de forma directa e indirecta con el resto de peces, algo que no podría ocurrir si no se adaptara al nuevo entorno (Liu et al., 2014).

El escape accidental de individuos de las granjas marinas se observa en todo el mundo, sin embargo la información al respecto es muy escasa y limitada, sobre todo en regiones como el mar Mediterráneo, donde se notifican especialmente pocos escapes a la administración competente (Dimitriou et al., 2007; Jensen et al., 2010) encargada de elaborar leyes que aseguren planes de contingencia y prevención.

La competición de recursos que puede surgir por el espacio, la comida o la reproducción, acaba generando cambios en la estructura y la productividad de la comunidad salvaje; dependiendo de la magnitud del escape. Si el número de peces de piscifactoría fugados es pequeño, los efectos pueden ser insignificantes; pero si el número es mayor, la gravedad aumenta; algunas comunidades locales podrían desaparecer con invasiones repetidas (Liu et al., 2014).

En la costa oeste de Canadá (Columbia Británica), la industria y el gobierno está expandiendo agresivamente la acuicultura de dos especies alóctonas; la ostra del Pacífico (*Crassostrea gigas*) y la almeja de Manila (*Venerupis philippinarum*). Las altas densidades han aumentado el acoplamiento bentónico – pelágico y han reducido la densidad y distribución de los demás bivalvos (Bendell, 2013). Este reemplazo de biota local con especies no autóctonas recibe el nombre de homogenización biótica y puede cambiar por completo el orden y la dinámica de las relaciones tróficas.

Por otro lado, la introducción de especies autóctonas o incluso en peligro de extinción, puede tener un efecto positivo en un lugar concreto, pues podría ayudar a aumentar el número efectivo de la población en riesgo y prevenir posibles pérdidas ecosistémicas (Bogmans y Soest, 2021). Sin embargo, en el caso de las especies alóctonas, las situación es diferente; pues pueden colonizar un nicho ecológico que no les corresponde y generar efectos negativos imprevisibles (Ricciardi y Simberloff, 2009). Dada la movilidad de los escapes, podrían afectar a zonas especialmente importantes como las áreas marinas protegidas (AMP); sin embargo, se



ha sugerido que las AMP podrían tener cierta resiliencia ante la perturbación (Holling, 1973; Toledo et al., 2014).

En La Palma (Islas Canarias), por ejemplo, entre 2009 y 2010, se produjo un evento de fuga masiva por un fuerte temporal de olas de hasta 6 metros de altura que provocó la liberación de 1,5 millones de peces (90% lubina y 10% dorada) en una AMP cercana, introduciendo dos especies que hasta la fecha no habían sido documentadas en la isla (Toledo et al., 2008; Ramírez et al., 2011).

Estos nuevos individuos que son introducidos pueden incluso modificar genéticamente a las poblaciones salvajes por hibridación y modificar el acervo genético que les ha permitido adaptarse a situaciones y condiciones puntuales de ese ecosistema en concreto. De esta forma, escapes masivos como el anterior podrían condicionar la supervivencia de la biocenosis y alterar la salud de ecosistemas oceánicos de alta complejidad y muy especializados.

#### - Genética y adaptación.

El uso de la mejora genética ha permitido obtener poblaciones que pueden producirse de forma más económica y práctica. La selección genética y la cría intencionada de ciertos individuos ha consolidado poblaciones que pueden alcanzar su estado adulto con más facilidad y soportar mejor la presión de las enfermedades y de factores ambientales adversos. Sin embargo, estos individuos pueden escaparse y transmitir parte de su genotipo a poblaciones salvajes.

La hibridación puede cambiar el nivel de variabilidad genética de una población y modificar la frecuencia y tipo de alelos presentes. Según Ferguson et al. (2007), la hibridación que existe entre el salmón de piscifactoría y el salmón salvaje puede alterar genéticamente las poblaciones nativas; reduciendo la adaptación local existente y afectando gravemente al carácter y la viabilidad de la población.

Varios estudios han demostrado que los salmones de piscifactoría que han escapado y se han criado en la naturaleza han cambiado la composición genética de las poblaciones salvajes (Clifford et al., 1998; McGinnity et al., 2003; Skaala et al. 2006). Sin embargo, los escapes no son la única forma de introducir nuevo material genético en las poblaciones salvajes; Jørstad et al. (2006) mostraron que el desove del bacalao maduro de piscifactoría puede introducir larvas



viales de bacalao desde las jaulas al exterior, mezclándose con crías silvestres y condicionando su índice de éxito a causa de la competición establecida.

Ocurre de la misma forma en dorada (*Sparus aurata*), donde Somarakis et al. (2013) estudiaron la situación en jaulas de Grecia y Turquía. Los resultados muestran que el escape de huevos de las granjas de dorada y sus consecuencias ecológicas dependen de varios factores relacionados con la producción. Factores como la ubicación de la granja y la intensidad de cría selectiva podrían influir en la cantidad de huevos producidos, su supervivencia o el impacto tras su desarrollo.

La adaptación local se define como un proceso por el que la selección natural aumenta la frecuencia de los rasgos que mejoran la supervivencia o el éxito reproductivo de los individuos que los expresan. La variación de los rasgos relacionados con la aptitud física, como el crecimiento y la composición corporal, la resistencia a las enfermedades, la supervivencia o la maduración, tienen una elevada heredabilidad; y estos aspectos adaptativos, que en muchos casos presentan cierta correlación, podrían verse modificados tras la introducción de nuevo material genético (Thorstad et al., 2008).

Es probable que un componente importante de la adaptación local implique una respuesta genética a la temperatura del agua, la calidad del agua (por ejemplo, el pH o la salinidad), el fotoperiodo o los vectores de enfermedades; estos factores son muy importantes a nivel biológico y pueden variar espacialmente de forma predecible, promoviendo un cambio evolutivo adaptativo. En las metapoblaciones que surgen a consecuencia de la interacción con peces cultivados, se propone que esta adaptación local resulta ser más baja y no tan predecible, pues puede variar inesperadamente de forma más drástica (Thorstad et al., 2008).

#### - Los residuos de la producción.

Cualquier sistema de producción tiene asociados a su actividad una serie de residuos que deben ser gestionados de la mejor manera posible para evitar efectos que pongan en riesgo el medio ambiente. Entre estos residuos, y haciendo referencia a la acuicultura marina, encontramos una serie de externalidades negativas orgánicas e inorgánicas que contaminan el medio y además, condicionan la dinámica ambiental de las zonas cercanas y lejanas a las jaulas.



Desde que las jaulas flotantes de salmón comenzaron a proliferar en las aguas del Atlántico Norte a principios de la década de 1980, los ecólogos marinos se han preocupado por el impacto ambiental de estas instalaciones (Maldonado et al., 2005).

Los desechos orgánicos particulados (principalmente materia fecal y restos alimentarios) se asientan en el fondo del mar, generando sedimentos caracterizados por altos niveles de materia orgánica, urea, ácido úrico, nitrógeno, fósforo y compuestos reducidos de azufre. Estos compuestos orgánicos y nutrientes se originan a partir de fertilizantes, alimento y procesos metabólicos, como alimentos no ingeridos, alimentos ingeridos pero no digeridos o alimentos ingeridos y eliminados como excreción (Wang et al., 2020).

Este tipo de residuo se considera uno de los principales factores de cambio en las comunidades bentónicas (Holmer et al., 2003; Riera et al., 2017), pues los gránulos de alimento no consumidos y las heces liberadas por los peces pueden exceder la capacidad de carga del medio ambiente, especialmente en suelos fangosos (Papageorgiou et al., 2010; Zhao et al., 2020). Este es uno de los problemas que intenta resolver la acuicultura sostenible, trata de reducir el impacto de esta descarga de efluentes en función de la capacidad de asimilación concreta que presenta el sistema (Yucel-Gier et al., 2019).

La acuicultura multitrófica integrada (IMTA) actualmente está ganando popularidad en todo el mundo, ya que integra espacialmente los desechos orgánicos y los sistemas de descarga (jaulas de peces) con el cultivo de organismos extractores de nutrientes, como los mejillones y las algas (Troell et al., 2009). Sin embargo, son sistemas en estudio, pues el conocimiento sobre la dinámica oceánica y la capacidad de asimilación de las diferentes especies en este escenario es escaso.

El impacto principal de este problema es que esta materia orgánica depositada genera una reducción de los niveles de oxígeno disuelto (hipoxia); concentraciones significativas de materia orgánica y nutrientes provocan el crecimiento excesivo de bacterias y fitoplancton, lo que reduce la transparencia de la columna de agua, afectando a la fotosíntesis y perjudicando el equilibrio entre la productividad primaria y secundaria (Silva et al., 2013). Esto puede significar la reducción de las poblaciones silvestres y de su calidad de vida por el deterioro del hábitat.

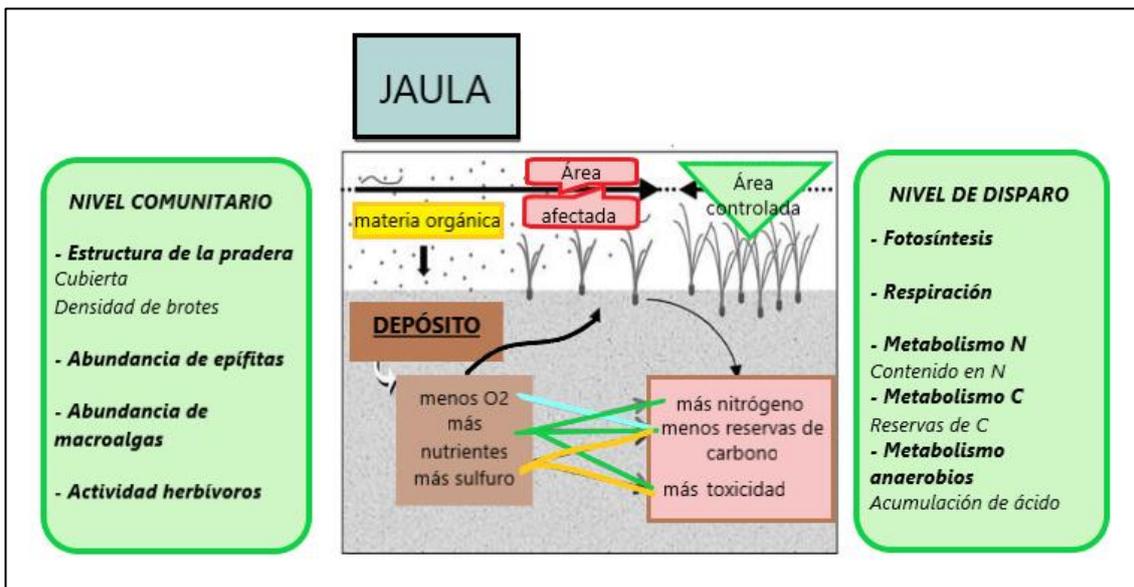
Cuando las partículas depositadas se han acumulado en el lecho marino durante un período de tiempo relativamente largo, pueden volver a suspenderse en la columna de agua, en función



de la velocidad de la corriente, la profundidad del agua, el tipo de suelo o el tamaño de las partículas (Wang et al., 2020).

Cualquier pradera de *Posidonia oceanica*; puede servir como indicadora de salud de la comunidad bentónica. La planta marina se ve gravemente afectada por la presencia de las jaulas; la reducción de la incidencia lumínica junto con un desajuste en el balance de carbono de los rizomas por el exceso de nutrientes, reduce el crecimiento de las hojas y compromete la supervivencia de la fanerógama hasta en 200 metros de distancia, mostrando una situación más crítica en los 50 primeros metros (Holmer et al., 2003).

Además, hay que destacar que las praderas de posidonia juegan un papel primordial en la lucha contra el cambio climático por sus servicios ecosistémicos; contribuyen a la oxigenación de los mares, siendo una de las plantas con mayor valor biológico en el mar Mediterráneo. Tienen una función de refugio y guardería para muchas de las especies de peces y además, protege las costas de la erosión del mar siendo considerada especie ingeniera (Rigo et al., 2021).



**Fig. 2.** Esquema visual de la acción de los efluentes de jaulas de cultivo en praderas de *Posidonia oceanica*. Esquema basado en Holmer et al. (2020).

Esto demuestra que las relaciones tróficas van más allá de lo que se podría pensar; la perturbación de una sola especie puede generar un impacto ambiental muy grave, condicionado en parte por las relaciones directas e indirectas que se establecen dentro del ecosistema.



La contaminación química asociada a la maricultura también incluye productos químicos y metales pesados. Los productos terapéuticos son los productos químicos más utilizados para una amplia variedad de propósitos; antibióticos en la lucha contra las enfermedades, alguicidas, pesticidas y parasiticidas para evitar algas y fauna indeseada, hormonas y desinfectantes para mejorar la producción, etc.

En cuanto a los metales pesados, el zinc, el cobre y el plomo suelen estar contenidos en pinturas antiincrustantes y revestimientos para las estructuras de las jaulas, aunque también se encuentran en ciertos pesticidas y alguicidas.

Las pinturas antiincrustantes pueden disuadir o matar a los microorganismos responsables de la bioincrustación, un fenómeno natural por el cual se asientan microorganismos, plantas y animales de forma continua sobre las superficies sumergidas. De esta forma se puede mantener un control o prevención de los organismos no objetivo. El uso de biocidas en el medio acuático ha demostrado ser nocivo ya que tiene efectos tóxicos sobre el medio marino; no sólo puede favorecer la bioacumulación de metales pesados en la cadena trófica, si no que puede contribuir a la pérdida de biodiversidad y generar resistencias (Guardiola et al., 2012).

Después de que se impusieran restricciones al uso del tributilestaño (TBT), el cobre se ha convertido en el principal componente biocida de la mayoría de las pinturas. El zinc inorgánico se usa a menudo en combinación con el cobre para aumentar la toxicidad general de la formulación.

La bioconcentración de las sustancias químicas empleadas se produce principalmente por difusión pasiva a través de branquias, tejidos epiteliales o el tracto gastrointestinal (Katagi, 2010), pudiendo acumularse durante toda la fase de producción tanto en las poblaciones cultivadas como en las poblaciones salvajes.

La evidencia científica de los datos bacteriológicos, bioquímicos y genéticos indica que el uso de moléculas activas en los productos biocidas puede contribuir al aumento de la aparición de bacterias resistentes. Según datos del Comité Científico sobre Riesgos Emergentes y Recién Identificados para la Salud (SCENIHR) de 2009, el estrés selectivo que ejercen los biocidas puede favorecer la existencia de bacterias que expresen mecanismos de resistencia y su diseminación. Existen elementos genéticos móviles que portan genes implicados en la resistencia cruzada entre biocidas y antibióticos. La diseminación de estos elementos móviles, su organización genética y la formación de biopelículas/biofilms, proporcionan condiciones



que podrían crear un riesgo potencial en el desarrollo de resistencia cruzada entre antibióticos y biocidas.

Además, el uso indiscriminado de antibióticos y de antiparasitarios no sólo puede generar estas resistencias, si no que pueden generar una mayor morbilidad y mortalidad en la producción, así como complicaciones que encarecen los tratamientos veterinarios. En acuicultura se administran generalmente a toda la población cultivada, incluyendo a los individuos enfermos, a los portadores y a los sanos; reflejando el uso desmesurado de dicha sustancia.

Hossain et al. (2022) analizando el tejido de pescado cultivado y estudiando la concentración de antibióticos presente, situaron a China, el mayor productor mundial, como segundo país en superar los límites máximos permitidos dentro de su estudio; situando a Bangladesh en el primer puesto.

	<b>COMPOSICIÓN</b>	<b>FUENTE PRINCIPAL</b>
<i>Materia orgánica y nutrientes</i>	Carbón orgánico	Alimentos no consumidos, heces
	Urea	Excreción
	Ácido úrico	Excreción
	Nitrógeno (N)	Alimentos no consumidos, heces
	Fósforo (P)	Alimentos no consumidos, heces
<i>Químicos</i>	Antibióticos	Alimentos no consumidos, heces y excreción biliar
	Pesticidas	Alimentos no consumidos, heces y excreción biliar
	Antiparasitarios	Alimentos no consumidos, heces, excreción biliar y columna de agua (baño)
	Alguicida	Columna de agua (baño)
	Desinfectante	Columna de agua (baño)
	Hormona	Alimentos no consumidos, heces y excreción biliar
	Zinc	Piensos, alguicidas y pesticidas
	Cobre	Pinturas antiincrustantes, alguicidas y pesticidas
Guiar	Pinturas antiincrustantes	

**Fig. 3.** Lista de composición y principal fuente de efluentes de maricultura en el sistema de jaulas. Esquema basado en Wang et al. (2020).



Hay muchos ejemplos que reflejan esta realidad y muestran la problemática futura en la gestión de organismos resistentes, como es el caso del copépodo *Lepeoptherius salmonis* en las costas de Noruega (Langford et al., 2014), bacterias formadoras de biofilm resistentes a ciertos antibióticos como cefalexina, lincomicina o amoxicilina - ácido clavulánico (Navarro, 2019; Qi Ye et al., 2020; Zhao et al., 2020; Schar et al., 2021;) o los residuos antimicrobianos que migran al medio marino seleccionando bacterias con resistencia múltiple (Millanao et al., 2018).

Cabe destacar que la situación puede ser aún más crítica en ciertos países en los que no hay una legislación sólida que indique los límites máximos permitidos en cada uno de los compuestos de la Figura 3, además son situaciones en las que no se lleva a cabo una gestión y control específicos.

#### - Alimentación, recursos y progreso.

El rápido crecimiento de la industria acuícola plantea una serie de cuestiones relativas a los recursos necesarios para alimentar a los peces y plantear un futuro en el que la competencia alimentaria entre el humano y los animales sea la mínima posible.

La mayoría de las especies piscívoras de interés en acuicultura son carnívoras, y tanto peces como crustáceos, dependen de forma relativa de las capturas de peces salvajes para obtener ácidos grasos esenciales como el omega 3 y micronutrientes, un recurso importante pero de acceso limitado (Froehilch et al., 2018).

La harina de pescado con alto contenido proteico y energético se utiliza generalmente en acuicultura para mejorar el crecimiento, el rendimiento digestivo y la absorción de nutrientes; sin embargo, contribuye a encarecer el coste variable de la producción, ya que es un recurso que podría ser aprovechado en la alimentación humana (Nugroho & Nur, 2018); y además, tiene un coste ambiental, pues reduce el número de peces existentes en el mar mediante la pesca extractiva.

En ganadería la situación es similar y la F.A.O. calculó que en la década pasada se destinaron en torno a 18 millones de toneladas de peces capturados en la formulación de pienso para acuicultura y ganadería. Sin embargo, esta cifra se ha mantenido relativamente constante a lo largo del tiempo, mientras que las producciones de la ganadería y la acuicultura han aumentado de forma espectacular (F.A.O., 2020).



Esto refleja que aunque existe una competencia clara, la producción se ha incrementado gracias a aspectos como la mejora genética, la mejora de la tecnología en la formulación de los piensos, el empleo de nuevos recursos alimentarios o la adaptación dietética en cada fase productiva.

La mejora en alimentación se basa en detallar y conocer cuáles son las necesidades nutritivas óptimas de crecimiento, en utilizar una fuente de proteínas y energía capaz de cubrir estas necesidades y, en hacer una buena gestión de alimentación en la granja (programa de alimentación). Los piensos sin harina de pescado, normalmente basados en insectos o material vegetal, se muestran como potenciales alternativas que pueden llegar a sustituir y sustituyen a las capturas destinadas para este fin. Algo positivo teniendo en cuenta que la alimentación suele ser el componente más caro en la producción animal.

## **6.2. SOLUCIONES.**

La acuicultura marina consigue cubrir la demanda de alimento y brinda a los consumidores un producto seguro y de alta calidad, sin embargo, los efectos asociados a las prácticas intensivas deben ser consideradas pues juegan en contra de la tendencia global a conseguir sistemas de producción más respetuosos con el medio ambiente y que salvaguarden el futuro de la humanidad. Es importante establecer nuevas formas de gestión en la práctica acuícola que permitan mejorar la sostenibilidad del sector que hasta ahora es considerada baja (Jiang et al., 2022).

Estas nuevas formas de gestión, basadas en una comprensión integral del clima y nuestro desarrollo, se sustentan en el denominado “enfoque nexo” que permite el análisis global de varios sectores y el uso de varias herramientas integradas y coordinadas capaces de conciliar posibles conflictos de intereses; teniendo en cuenta sinergias y compensaciones (Boas et al., 2016; Rasul y Sharma, 2016). El gasto energético, la huella hídrica o la huella de carbono se entienden como principales indicadores que condicionan cualquier planteamiento establecido.

En los siguientes apartados, se explicará algunas de las medidas que podrían aplicarse para revertir los efectos negativos de la producción y fortalecer el enfoque sostenible de la práctica acuícola; que podría ofrecer muchos más beneficios de los que aporta actualmente (Gentry et al., 2019; Cánovas-Molina, 2020).



## - Soluciones generales.

### **Innovación tecnológica.**

La innovación y transferencia tecnológica, es un aspecto que podría mejorar el sector y dotarle de cierta especialización, reduciendo la presión medioambiental asociada a la cría de peces en jaula (Alleway et al., 2018; Galappaththi et al., 2020).

- La combinación de las nuevas tecnologías, principalmente en ámbitos como el diagnóstico y la vacunación, así como, una aplicación más amplia de mejores prácticas de estudio o gestión, podrían reducir la presión de las enfermedades en los animales y el impacto medioambiental asociado a estas, como es el sobreuso de antibióticos u otros productos y las bioresistencias generadas (Hossain et al., 2022).

- El hecho de introducir una nueva alimentación con mejor formulación y con capacidad de ser aprovechada de forma óptima; podría minimizar el efecto de los efluentes (ricos en fósforo y nitrógeno) sobre el medio ambiente, además de garantizar una calidad del agua que mejoraría los índices productivos y la vida salvaje (Surendra et al., 2015; Hossain et al., 2022). Por esta razón, es esencial, promover las investigaciones en esta materia y sobre el uso de nuevos recursos alimentarios que contribuyan a mejorar la situación global (Nugroho y Nur, 2018; Ido et al., 2019).

- Ahondar sobre sistemas de producción de bajo impacto, como los sistemas integrados, podría mejorar la mayoría de los indicadores de productividad y de impacto ambiental (Ray et al., 2015). Sin embargo, son sistemas que precisan de investigaciones adicionales, pues aún hay muchos aspectos a comprender sobre los sistemas abiertos de la maricultura y su relación con los recursos y su aprovechamiento.

### **Planificación espacial.**

Es esencial para reducir el impacto acumulativo de muchas granjas y garantizar que la acuicultura se mantenga dentro de la capacidad de carga del ecosistema circundante (Infante, 2014; Edwards, 2015).

Si se lleva a cabo una zonificación de manera participativa, se puede disminuir los conflictos inevitables entre una industria acuícola en crecimiento y otras entidades económicas; reduciendo los impactos acumulativos de muchas granjas que operan en la misma área y ayudar a minimizar los riesgos (Waite et al., 2014; Yucel - Gier et al., 2019).



### **Incentivos y sostenibilidad.**

Las iniciativas gubernamentales (las reglamentaciones, los estándares, las políticas de subsidio o los impuestos) y las iniciativas privadas (certificaciones o estándares de compra) pueden realinear los incentivos para fomentar y recompensar sistemas de producción sostenibles.

Su ayuda permitiría reducir los impactos ambientales en los sistemas de producción y estimular la inversión y el despliegue de mecanismos de producción más sostenibles; fomentando además, el respecto al medio ambiente y el valor de compromiso en el sector (Waite et al., 2014).

### **Tecnología de la información.**

Los avances en tecnología satelital, tecnología de mapeo digital, modelado ecológico, conectividad y datos abiertos permiten utilizar sistemas de monitoreo y planificación a nivel global; y pueden apoyar y alentar formas sostenibles de desarrollo en la maricultura (Grizzle et al., 2014).

La creación de una plataforma que integre estas tecnologías podría ayudar a los gobiernos a mejorar la planificación espacial y el monitoreo de la situación en cualquier momento. Además, podría ayudar a la industria a planificar y demostrar la sostenibilidad de sus operaciones, y ayudar a la sociedad a estar más informada y concienciada. (Waite et al., 2014).

- Soluciones específicas.

### **Probióticos.**

La aplicación de inmunoestimulantes como sustitutivo al uso de antibióticos en acuicultura parece una idea prometedora (Banerjee y Ray, 2017); los probióticos son microorganismos vivos que cuando se administran en cantidades adecuadas aportan grandes beneficios para la salud del huésped.

Estos efectos positivos pueden venir determinados por diversos mecanismos de acción; exclusión competitiva de bacterias patógenas, producción de compuestos inhibidores (bactericidas), mejorando la respuesta inmune o generando sensación de apetito lo que



provoca una mejora en el crecimiento de los animales y en su desarrollo durante todo el proceso productivo (Farias et al., 2016; Xia et al., 2018).

El uso de los probióticos, especialmente el uso de especies del género *Bacillus* (*Bacillus subtilis* o *Bacillus licheniformes*) es una herramienta de manejo acorde con la sostenibilidad (Isyakaeva et al., 2020) y es especialmente valorada cuando se conoce el papel de las bacterias y las resistencias en la producción intensiva (Wang et al., 2019).

### **Acuicultura Multitrófica Integrada (IMTA).**

Este sistema integra especies que se alimentan por extracción de nutrientes y que pueden reducir la carga ambiental de los efluentes de las jaulas. El sistema integra organismos de diferentes niveles tróficos y conforma una nueva forma de policultivo; por un lado, incluye especies filtradoras y crustáceos que asimilan la materia orgánica y, por otro lado, algas que acabarán extrayendo la materia inorgánica del medio (La Macchia Pedra et al., 2017).

Ray et al. (2015); demostró que los sistemas IMTA son capaces de reducir el riesgo de eutrofización; el 80% del total de nutrientes provenientes de la jaula fueron asimilados por las algas y además, se comprobó que eran capaces de asimilar también metales pesados; favoreciendo el entorno de las jaulas y permitiendo que muchas de las especies herbívoras asociadas se pudieran alimentar de esta biomasa. Un sistema que transforma los desechos en valiosos recursos y que tiene mucho potencial.

Sin embargo, tiene cierto riesgo, pues altas densidades de algas podrían generar fenómenos de hipoxia al reducir las concentraciones de oxígeno durante la noche, generando situaciones de estrés en los peces (Rodríguez-Martínez et al., 2019).

### **Maricultura en alta mar.**

Este tipo de producción ofrece una alternativa prometedora, pues minimiza los problemas medioambientales y el impacto socio-económico que pueden tener las jaulas de cultivo. Se define como el cultivo de peces en mar abierto, alejando las instalaciones a más de 2 km de la costa y con profundidades que superan los 50 metros.

Todas las especies son potencialmente adaptables a este sistema. Estos sitios alejados ofrecen un área marina con mejor calidad del agua y un crecimiento más saludable en los organismos.



Tanto Muñiz et al. (2019) como Barillé et al. (2020) descubrieron que estas ubicaciones se relacionaban con un mejor crecimiento de ostras y mejillones, y con una mejor composición bioquímica del agua circundante; algo que podría revertir el problema de los efluentes de materia orgánica e inorgánica.

Las corrientes oceánicas tienen un mayor efecto en estas ubicaciones y permiten que el agua cercana a las jaulas esté en continua renovación. Sin embargo, este sistema presenta ciertas limitaciones; como una mayor exposición a factores climáticos y un conflicto espacial directo con otros sectores; aun así, se muestra como una opción ineludible para mantener una producción sostenible de productos marinos de alta calidad (Chu et al., 2020).

### **Gestión de los escapes.**

Con el fin de garantizar el desarrollo sostenible de la acuicultura en mar abierto, es necesario la correcta gestión de los escapes. Para ello es preciso actuar desde un marco legal. Se podrían desarrollar medidas de prevención, contingencia y mitigación, y para que estas fueran eficientes sería necesario que se declararan los escapes producidos.

Países como Noruega, Escocia y Canadá cuentan con normativas que regulan el desarrollo de la acuicultura; en Noruega por ejemplo, desde 1980 se obliga a informar de los escapes y desde el año 2001 existe un seguimiento estadístico de los mismos. En Escocia, los responsables de las instalaciones establecen acuerdos con el sector pesquero para llevar a cabo planes de recaptura, además, se ha elaborado un manual de buenas prácticas que ofrece información ante cada situación: supervisión de redes, parámetros mínimos de resistencia, limpieza de redes, escapes y recaptura, etc. (Dempster et al., 2016).

Como posibles soluciones encontramos:

- Alertar del escape a la autoridad competente durante las 24 horas siguientes.
- Iniciar acciones de recaptura, pues muchos de estos animales podrían tener ciertas cantidades de antibiótico residual.
- Reparar los daños en la instalación para no agravar la magnitud del problema.
- Informar a la administración transcurridos 30 días sobre el éxito de las recapturas.
- Exigir a las administraciones acciones de seguimiento y elaborar un plan de vigilancia ambiental.



## Alternativas en alimentación.

Una de las premisas para alcanzar la sostenibilidad en acuicultura es reducir el impacto ambiental que tiene la alimentación. Este impacto puede reducirse utilizando piensos de forma más eficiente y reduciendo la cantidad de nitrógeno y fósforo que se libera al medio ambiente. Muchos estudios han demostrado que la adición de enzimas a los piensos ha mejorado la digestibilidad de estos, mejorando la eficiencia en alimentación. Especialmente tras el uso de fitasa, la digestibilidad del fósforo aumenta y la cantidad de fósforo liberado en el agua disminuye (Cantas y Yildirim, 2019).

La inclusión de harina y aceites de pescado en la formulación de los piensos puede generar un impacto medioambiental debido al consumo de valiosos recursos (Tran et al., 2015); sin embargo, esto se puede evitar con la utilización de ciertos componentes en la formulación que hasta la fecha no compiten de forma tan directa con las demandas humanas. El gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) o larvas de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), podrían formar parte de la alimentación como fuente alternativa de proteína animal para la acuicultura sostenible (Ido et al., 2019; Tran et al., 2015).

Estudios realizados por Tran et al. (2015), demuestran que el uso de insectos en la alimentación acuícola tiene diferentes efectos en función de la especie, el sistema productivo y la cantidad o porcentaje de insectos introducidos en la dieta.

Así por ejemplo en el salmón atlántico (*Salmo salar*) se sustituyó el 20 % de harina de pescado que contenía una dieta control, por larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en una concentración de 25, 50 o 100 %. En los resultados, se pudo observar que la tasa de crecimiento era similar y que no existían diferencias histológicas apreciables, además, las pruebas sensoriales del pescado tampoco mostraba diferencia alguna (Lock et al., 2014).

En lubina (*Dicentrarchus labrax*), cuando se sustituyó por harina de *Tenebrio molitor* en una concentración del 25 %, se observó que no existía efectos adversos en el aumento de peso; sin embargo, en una concentración del 50 %, se redujo ligeramente el crecimiento, la tasa de crecimiento específica y el índice de consumo de alimento (Gasco et al., 2016).

La cría de insectos para alimentación en maricultura, ya sea de forma parcial o total, se plantea como una futura gran oportunidad con potencial para hacer prosperar el sector y su estabilidad (Nogales-Mérida et al., 2019). Sin embargo, el uso de algas y aceites vegetales



como el de canola también demostraron que tienen capacidad para substituir el pescado de captura en la alimentación animal (Bowyer et al., 2012; Ruyter et al., 2019).

La alimentación con insectos se caracteriza por generar un menor impacto ambiental. Las condiciones de cría permiten obtener un alimento con alto valor energético y nutritivo, que ha alcanzado un tamaño comercial en poco tiempo y en el cual se ha empleado una cantidad menor de agua y terreno cultivable, menor que en cualquier otro producto conocido destinado a este fin. Además, los índices de conversión relativamente bajos permiten utilizar muy pocos recursos para su obtención. Estas son muchas de las cualidades por las cuales se está investigando actualmente en este campo y por las que se plantea como una gran opción desde el punto de vista productivo y medioambiental (Henry et al., 2015; Tran et al., 2015; Froehlich et al., 2018).

## **7. CONCLUSIONES.**

1. La acuicultura marina se integra de forma directa en el medio marino como un elemento más. Su actividad condiciona las relaciones existentes dentro del ecosistema y, a su vez, es condicionada por los factores ambientales de su entorno.
2. Los impactos medioambientales son consecuencia de la producción y se muestran como efectos de varias causas que a menudo pueden ser conjuntas y estar interrelacionadas.
3. Es necesario establecer planes de investigación que consigan abordar todos los aspectos relativos a la maricultura y su relación con el medio ambiente; logrando un futuro mucho más prometedor y previsible, que permita la estabilidad del sector incluyendo un contexto social y medioambiental sostenible.
4. Se plantea una serie de ideas innovadoras que tienen un alcance muy amplio y que, pese a tener mucha opción de desarrollo, se consolidan como líneas de investigación prometedoras.



## **8. CONCLUSIONS.**

1. Marine aquaculture is directly integrated into the marine environment as another element. Its activity conditions the existing relationships in the ecosystem and, in turn, is conditioned by the environmental factors of its surroundings.
2. Environmental impacts are a consequence of production and are manifested as the effects of several causes that can often be joint and interrelated.
3. It is necessary to establish research plans that manage to address all aspects related to mariculture and its relationship with the environment; achieving a much more promising and predictable future, allowing the stability of the sector including a sustainable social and environmental context.
4. A series of innovative ideas that have a very broad scope and that, despite having many development options, are consolidated as promising lines of research.

## **9. VALORACIÓN PERSONAL.**

El presente trabajo me ha supuesto, sobre todo, una fuente de aprendizaje. He podido desarrollar y ampliar la información que tenía acerca de la maricultura en el ámbito medioambiental y del sistema de producción acuícola a nivel mundial.

He mejorado mi capacidad para buscar información veraz y de forma sencilla y rápida, y para resumir conceptos y elaborar ideas o un juicio crítico sobre ciertos temas como el cultivo de peces en jaula o el uso de alternativas para llegar a una sostenibilidad real.

Además, me ha servido para mejorar mi comprensión lectora en inglés debido a que gran parte de la bibliografía se encuentra en este idioma.

Por último, me gustaría dar las gracias tanto a Imanol Ruiz como a Miguel Ángel Peribáñez por la información y ayuda prestada así como por el apoyo en las correcciones del trabajo.



## 10. BIBLIOGRAFÍA.

- Agudelo, A. (2005). "El agua, recurso estratégico del siglo XXI". *Rev. Fac. Nac. Salud Pública Medellín* 23(1) pp. 91 - 102.
- Ahmed, N. y Thompson, S. (2019). "The blue dimensions of aquaculture: A global synthesis, *Science of the Total Environment*". *Elsevier B.V.*, pp. 851 - 861. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.163.
- Alleway, H.K., Gillies, C. L., Bishop, M. J., Gentry, R. R., Theuerkauf, S. J. y Jones, R. (2018) "The Ecosystem Services of Marine Aquaculture: Valuing Benefits to People and Nature". *BioScience*, 69(1), pp. 59 - 68. DOI: 10.1093/biosci/biy137.
- Banerjee, G. y Ray, A.K. (2017) "The advancement of probiotics research and its application in fish farming industries," *Research in Veterinary Science*. 115(2017) pp. 66 - 77. DOI: 10.1016/j.rvsc.2017.01.016.
- Bardach, J. E., Ryther J. H. y McLarney W. O. (1974) *Aquaculture: the farming and husbandry of freshwater and marine organisms*. Science Editions.
- Barillé, L. Le Bris, A., Gouletquer, P., Thomas, Y., Glize, P., Kane, F., Falconer, L., Guillotreau, P., Trouillet, B., Palmer, S. y Gernez, P. (2020) "Biological, socio-economic, and administrative opportunities and challenges to moving aquaculture offshore for small French oyster-farming companies," *Aquaculture*, (521). DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735045.
- Barrett, L.T., Swearer, S.E. y Dempster, T. (2019) "Impacts of marine and freshwater aquaculture on wildlife: a global meta-analysis," *Reviews in Aquaculture*. *Wiley-Blackwell*, 11(4) pp. 1022 - 1044. DOI: 10.1111/raq.12277.
- Becker, B.H., Press, D.T. y Allen, S.G. (2011) "Evidence for long-term spatial displacement of breeding and pupping harbour seals by shellfish aquaculture over three decades," *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21(3), pp. 247 - 260. DOI: 10.1002/aqc.1181.
- Bendell, L.I. (2013) "Evidence for Declines in the Native *Leukoma staminea* as a Result of the Intentional Introduction of the Non-native *Venerupis philippinarum* in Coastal British Columbia, Canada," *Estuaries and Coasts*, 37(2), pp. 369 - 380. DOI: 10.1007/s12237-013-9677-1.
- Boas, I., Biermann, F. y Kanie, N. (2016) "Cross-sectoral strategies in global sustainability governance: towards a nexus approach," *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 16(3), pp. 449 - 464. DOI: 10.1007/s10784-016-9321-1.
- Bogmans, C.W.J. y van Soest, D. (2021) "Can global aquaculture growth help to conserve wild fish stocks? Theory and empirical analysis," *Natural Resource Modeling*, 35(1). DOI: 10.1111/nrm.12323.
- Bonizzoni, S., S. Furey, N. B., Pirota, E., Valavanis, V. D., Wusig, B. y Bearzi G. (2014) "Fish farming and its appeal to common bottlenose dolphins: Modelling habitat use in a Mediterranean embayment," *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 24(5), pp. 696 - 711. DOI: 10.1002/aqc.2401.



- Bowyer, J.N., Qin, J. G., Smullen, R. P. y Stone, D. A. J. (2012) "Replacement of fish oil by poultry oil and canola oil in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) at optimal and suboptimal temperatures," *Aquaculture*, (356) pp. 211 - 222. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.05.014.
- Cánovas-Molina, A. y García-Frapolli E. (2021) "Socio-ecological impacts of industrial aquaculture and ways forward to sustainability". CSIRO publishing. Marine and Freshwater Research. (72) pp. 1101 - 1109. DOI: <https://doi.org/10.1071/MF20265>.
- Çantaş, İ.B. y Yıldırım, Ö. (2019) "Reducing the impact of feeds on the environment in sustainable aquaculture," *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 36(1), pp. 87 - 97. DOI: 10.12714/egejfas.2019.36.1.12.
- Casadevall, M., Rodríguez-Prieto, C., Torres J., Eira C., Marengo, M., Lejeune, P. Merciai, R. y Richir J. (2021) "Editorial: Marine Aquaculture Impacts on Marine Biota," *Frontiers in Marine Science*. *Frontiers Media S.A.* DOI: 10.3389/fmars.2021.615267.
- Chu, Y. I., Wang, C. M., Park, J. C. y Lader, P. F. (2020) "Review of cage and containment tank designs for offshore fish farming," *Aquaculture*. (519), pp. 734928 DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.734928.
- Clifford, S.L., McGinnity, P. y Ferguson, A. (1998) "Genetic changes in Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations of Northwest Irish rivers resulting from escapes of adult farm salmon". *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 55(2), pp. 358 - 363. DOI: 10.1139/cjfas-55-2-358.
- Cretu, M., Dediú, L., Cristea, V., Zugravu, A., Magdalena, M., Bandi, A., Turek, M. y Nicolea, D. (2016) "Environmental Impact of Aquaculture. A Literature Review Researches on the potential conversion of conventional fish farms into organic by establishing a model and good practice guide. A Literature Review". 27th IBIMA Conference. Italia, 4-5 mayo 2016. Milan, pp. 3379 - 3387.
- Dempster, T., Arechavala-López, P., Barrett, L. T., Fleming, I. A., Sánchez-Jerez, P. y Uglem, I. (2016) "Recapturing escaped fish from marine aquaculture is largely unsuccessful: alternatives to reduce the number of escapees in the wild," *Reviews in Aquaculture*. *Wiley-Blackwell*, (10)1, pp. 153 - 167. DOI: 10.1111/raq.12153.
- Dimitriou, E., Katselis, G., Moutopoulos, D. K., Akovitiotis, C. y Koutsikopoulos, C. (2007) "Possible influence of reared gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on wild stocks in the area of the Messolonghi lagoon (Ionian Sea, Greece)," *Aquaculture Research*, 38(4), pp. 398 - 408. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2007.01681.x.
- Dorr, B. S., Burger, L. W., Barras, S. C. y Godwin, K. C. (2012) "Economic Impact of Double-Crested Cormorant, *Phalacrocorax auritus*, Depredation on Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*, Aquaculture in Mississippi, USA". *Journal of the world aquaculture society*. (43)4, pp. 502 - 513.
- Duarte, C.M., Holmer, M., Olsen, Y., Soto, D., Marbà, N., Guiu, J., Black, K. y Karakassis, I. (2009) "Will the oceans help feed humanity?," *BioScience*, 59(11), pp. 967 - 976. DOI: 10.1525/bio.2009.59.11.8.



- Edwards, P. (2015) "Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends," *Aquaculture*. (447), pp. 2 - 14. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.02.001.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2012) *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura: la gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Mundi-Prensa: FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020) *FAO Fisheries and Aquaculture Circular World aquaculture 2020: A brief overview*. Mundi-Prensa: FAO.
- Farias, T.H.V., Levy-Pereira, N., Alves, L. de O., Días, D. de C., Tachibana, L., Pilarski, F., Belo, M. A. de A. y Ranzani-Paiva, M. J. T. (2016) "Probiotic feeding improves the immunity of pacus, *Piaractus mesopotamicus*, during *Aeromonas hydrophila* infection". *Animal Feed Science and Technology*, (211), pp. 137 - 144. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2015.11.004.
- Ferguson, A., Fleming I., Hindar K., Skaala O., MCGinnity P., Cross T. y Prodohl P. (2007) "Farm Escapes: Genetic impact on natural populations of escaped farm Atlantic salmon". *Blackwell Publishing*, (12), pp. 358 - 398.
- Fjelldal, P.G., Solberg, M. F., Glover, K. A., Folkedal, O., Nilsson, J., Finn, R. N., Hansen, T. J. y Tsigenopoulos, C. (2018) "Documentation of multiple species of marine fish trapped in Atlantic salmon sea-cages in Norway". *Aquatic Living Resources*, (31). DOI: 10.1051/alr/2018020.
- Froehlich, H.E., Jacobsen, N. S., Essington, T. E., Clavelle, T. y Halpern, B. S. (2018) "Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture". *Nature Sustainability*, 1(6), pp. 298 - 303. DOI: 10.1038/s41893-018-0077-1.
- Galappaththi, E.K., Ichien, S. T., Hyman, A. A., Aubrac, C. J. y Ford, J. D. (2020) "Climate change adaptation in aquaculture," *Reviews in Aquaculture*. (12)4 pp. 2160 - 2176. DOI: 10.1111/raq.12427.
- Gasco, L., Henry, M., Piccolo, G., Marono, S., Gai, F., Renna, M., Lussiana, C., Antonopoulou, E., Mola, P. y Chatzifotis, S. (2016) "*Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility," *Animal Feed Science and Technology*, (220), pp. 34 - 45. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.07.003.
- Gentry, R.R., Alleway, H. K., Bishop, M. J., Gillies, C. L., Waters, T. y Jones, R. (2019) "Exploring the potential for marine aquaculture to contribute to ecosystem services," *Reviews in Aquaculture*. (12)2, pp. 499 - 512. DOI: 10.1111/raq.12328.
- Goedknegt, M.A., M. A., Feis, M. E., Wegner, K. M., Luttikhuisen, P. C., Buschbaum, C., Camphuysen, K. C. J., van der Meer, J. y Thieltges, D. W. (2016) "Parasites and marine invasions: Ecological and evolutionary perspectives," *Journal of Sea Research*. (113), pp. 11 - 27. DOI: 10.1016/j.seares.2015.12.003.
- Hale, R. y Swearer, S.E. (2016) "Ecological traps: Current evidence and future directions," *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. DOI: 10.1098/rspb.2015.2647.



- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G. y Fountoulaki, E. (2015) "Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future," *Animal Feed Science and Technology*. (203), pp. 1 - 22. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001.
- Holling, C. S. (1973) "Resilience and Stability of Ecological Systems" *Annual Reviews Canada*. (4) pp. 1 - 23.
- Holmer, M., Pérez, M. y Duarte, C.M. (2003) "Benthic primary producers - A neglected environmental problem in Mediterranean maricultures?," *Marine Pollution Bulletin*, 46(11), pp. 1372 - 1376. DOI: 10.1016/S0025-326X(03)00396-5.
- Hossain, A., Habibullah-Al-Mamun, M., Nagano, I., Masunaga, S., Kitazawa, D. y Matsuda, H. (2022) "Antibiotics, antibiotic-resistant bacteria, and resistance genes in aquaculture: risks, current concern, and future thinking," *Environmental Science and Pollution Research. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*, (29)8, pp. 11054 - 11075. DOI: 10.1007/s11356-021-17825-4.
- Ido, A., Hashizume, A., Ohta, T., Takahashi, T., Miura, C. y Miura, T. (2019) "Replacement of fish meal by defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae in diet improves growth performance and disease resistance in red seabream (*Pargus major*)," *Animals*, 9(3). DOI: 10.3390/ani9030100.
- Infante J. (2014) "Resources Consumption in the 20th Century. A Review." *ALAC. Belo Horizonte*, 4(1), pp. 5 - 32.
- Isyakaeva, R.R., Lagutkina, L. Y., Akhmedzhanova, A. B., Golubkina, E. v., Kaplanov, M. T. y Khazova, N. A. (2020) "Alternative sources of aquaculture feed in the context of organic production priorities," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing Ltd*. DOI: 10.1088/1755-1315/640/6/062024.
- Jackson, D., Drumm, A., McEvoy, S., Jensen, Ø., Mendiola, D., Gabiña, G., Borg, J. A., Papageorgiou, N., Karakassis, Y. y Black, K. D. (2014) "A pan-European valuation of the extent, causes and cost of escape events from sea cage fish farming," *Aquaculture*, 436, pp. 21 - 26. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.10.040.
- Jackson, J.B.C., Kirby, M. X., Berger, W. H., Bjorndal, K. A., Botsford, L. W., Bourque, B. J., Bradbury, R. H., Cooke, R., Erlandson, J., Estes, J. A., Hughes, T. P., Kidwell, S., Lange, C. B., Lenihan, H. S., Pandolfi, J. M., Peterson, C. H., Steneck, R. S., Tegner, M. J. y Warner, R. (2001) "Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems". *Science*. (293), pp. 629 - 637. DOI: 10.1126/science.1059199.
- Jensen, D., T., Thorstad, E. B., Uglem, I. y Fredheim, A. (2010) "Escapes of fishes from Norwegian sea-cage aquaculture: Causes, consequences and prevention," *Aquaculture Environment Interactions. Inter-Research*, pp. 71 - 83. DOI: 10.3354/aei00008.
- Jiang, Q., Bhattarai, N., Pahlow, M. y Xu, Z. (2022) "Environmental sustainability and footprints of global aquaculture," *Resources, Conservation and Recycling*, (180). DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106183.
- Johansen, L. H., Jensen, I., Mikkelsen, H., Bjørn, P. A., Jansen, P. A. y Bergh, O. (2011) "Disease interaction and pathogens exchange between wild and farmed fish populations with



- special reference to Norway,” *Aquaculture*, pp. 167 - 186. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.02.014.
- Jørstad, K.E., van der Meeren, T., Paulsen, O. I., Thomsen, T. y Svåsand, T. (2006) “Escapement of eggs from farmed cod spawning in net pens and offspring intermingling with natural spawned larvae”.
- Katagi, T. (2010) “Bioconcentration, bioaccumulation, and metabolism of pesticides in aquatic organisms,” *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, (204), pp. 1 - 132. DOI: 10.1007/978-1-4419-1440-8\_1.
- Kobayashi, M., Msangi, S., Batka, M., Vannuccini, S., Dey, M. M. y Anderson, J. L. (2015) “Fish to 2030: The Role and Opportunity for Aquaculture,” *Aquaculture Economics and Management*, 19(3), pp. 282 - 300. DOI: 10.1080/13657305.2015.994240.
- Krkošek, M., Gottesfeld, A., Proctor, B., Rolston, D., Carr-Harris, C. y Lewis, M. A. (2007) “Effects of host migration, diversity and aquaculture on sea lice threats to Pacific salmon populations,” *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, (274), pp. 3141 - 3149. DOI: 10.1098/rspb.2007.1122.
- La Macchia Pedra, A. G., Ramlov, F., Maraschin, M. y Hayashi, L. (2017). “Cultivation of the red seaweed *Kappaphycus alvarezii* with effluents from shrimp cultivation and Brown seaweed extract: Effects on growth and secondary metabolism”. *Aquaculture*, (479), pp. 297 - 303. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.06.005.
- Langford, K.H., Øxnevad, S., Schøyen, M. y Thomas, K. V. (2014) “Do antiparasitic medicines used in aquaculture pose a risk to the Norwegian aquatic environment?,” *Environmental Science and Technology*, 48(14), pp. 7774 - 7780. DOI: 10.1021/es5005329.
- Lebel, L., Lebel, P. y Chuah, C.J. (2018) “Governance of aquaculture water use,” *International Journal of Water Resources Development*, 35(4), pp. 659 - 681. DOI: 10.1080/07900627.2018.1457513.
- Liu, Y., Olausson, J.O. y Skonhøft, A. (2014) “FISHY FISH? THE ECONOMIC IMPACTS OF ESCAPED FARMED FISH,” *Aquaculture Economics and Management*, 18(3), pp. 273 - 302. DOI: 10.1080/13657305.2014.926466.
- Maldonado, M., Carmona, M. C., Echeverría, Y. y Riesgo, A. (2005) “The environmental impact of Mediterranean cage fish farms at semi-exposed locations: Does it need a re-assessment?,” *Helgoland Marine Research*, 59(2), pp. 121 - 135. DOI: 10.1007/s10152-004-0211-5.
- McGinnity, P., Prodöhl, P., Ferguson, A., Hynes, R., Maoiléidigh, N. Ó., Baker, N., Cotter, D., O’Hea, B., Cooke, D., Rogan, G., Taggart, J. y Cross, T. (2003) “Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as a result of interactions with escaped farm salmon,” *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 270(1532), pp. 2443 - 2450. DOI: 10.1098/rspb.2003.2520.
- Millanao Ana R., Barrientos Carolina, Siegel-Tike Claudio, Tomova Alexandra, Ivanova Larisa, Godfrey Henry, Dolz Humberto, Buschmann Alejandro y Cabello Felipe (2018). “Resistencia a los antimicrobianos en Chile y el paradigma de Una salud: manejando los riesgos para la salud pública humana y animal resultante del uso de antimicrobianos en la



- acuicultura del salmón y en medicina*". Rev. Chil. Infectol. Santiago. (35)3, pp. 299 -308. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/s0716-10182018000300299>.
- Moe, H., Dempester, T., Magne, L., Winhter, U. y Fredheim, A. (2007) "Technological solutions and operational measures to prevent escapes of Atlantic cod (*Gadus morhua*) from sea cages," *Aquaculture Research*, 38(1), pp. 91 - 99. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2006.01638.x.
- Muñiz, O., Revilla, M., Germán Rodríguez, J., Laza-Martínez, A. y Fontán, A. (2019) "Annual cycle of phytoplankton community through the water column: Study applied to the implementation of bivalve offshore aquaculture in the southeastern Bay of Biscay." (61)1, pp. 114 - 130. DOI: 10.1016/j.
- Navarro, A. (2019). "*Study of plastic fragments of beaches of Las Palmas de Gran Canaria as resistant bacteria reservoirs*". Trabajo Fin de Grado. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B. y Józefiak, A. (2019) "Insect meals in fish nutrition," *Reviews in Aquaculture*. (11)4, pp. 1080 - 1103. DOI: 10.1111/raq.12281.
- Nugroho, R.A. y Nur, F.M. (2018) "Insect-based protein: Future promising protein source for fish cultured," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. (114)1. DOI: 10.1088/1755-1315/144/1/012002.
- Ottinger, M., Clauss, K. y Kuenzer, C. (2016) "Aquaculture: Relevance, distribution, impacts and spatial assessments - A review," *Ocean and Coastal Management*. (119), pp. 244 - 266. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.10.015.
- Papageorgiou, N., Kalantzi, I. y Karakassis, I. (2010) "Effects of fish farming on the biological and geochemical properties of muddy and sandy sediments in the Mediterranean Sea," *Marine Environmental Research*, 69(5), pp. 326 - 336. DOI: 10.1016/j.marenvres.2009.12.007.
- Pattanaik, C. y Narendra Prasad, S. (2011) "Assessment of aquaculture impact on mangroves of Mahanadi delta (Orissa), East coast of India using remote sensing and GIS," *Ocean and Coastal Management*, 54(11), pp. 789 - 795. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2011.07.013.
- Pauly, D., Alder, J., Bennett, E., Christensen, V., Tyedmers, P. y Watson, R. (2003) "The Future for Fisheries," *Science*, (302)5649, pp. 1359 - 1361. DOI: 10.1126/science.1088667.
- Qi Ye, M., Chen, G.J. y Du, Z.J. (2020) "Effects of antibiotics on the bacterial community, metabolic functions and antibiotic resistance genes in mariculture sediments during enrichment culturing," *Journal of Marine Science and Engineering*, (8)8, pp. 604. DOI: 10.3390/JMSE8080604.
- Ramírez, B., Ortega-Borges, L., Cárdenes, Y., Haroun, R. (2011) "Evaluación de las interacciones de lubinas escapadas desde jaulas de acuicultura en la Isla de la Palma en el año 2010". *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)*. pp. 22 - 44.
- Rasul, G. y Sharma, B. (2016) "The nexus approach to water–energy–food security: an option for adaptation to climate change," *Climate Policy*, 16(6), pp. 682 - 702. DOI: 10.1080/14693062.2015.1029865.



- Ray, N.E., Terlizzi, D.E. y Kangas, P.C. (2015) "Nitrogen and phosphorus removal by the Algal Turf Scrubber at an oyster aquaculture facility," *Ecological Engineering*. (78), pp. 27 - 32. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.04.028.
- Reid, G.K., Gurney-Smith, H. J., Marcogliese, D. J., Knowler, D., Benfey, T., Garber, A. F., Forster, I., Chopin, T., Brewer-Dalton, K., Moccia, R. D., Flaherty, M., Smith, C. T. y De Silva, S. (2019) "Climate change and aquaculture: Considering biological response and resources," *Aquaculture Environment Interactions*. (11), pp. 569 - 602. DOI: 10.3354/AEI00332.
- Ricciardi, A. y Simberloff, D. (2009) "Assisted colonization is not a viable conservation strategy," *Trends in Ecology and Evolution*, 24(5), pp. 248 - 253. DOI: 10.1016/j.tree.2008.12.006.
- Riera, R., Pérez, Ó., Cromey, C., Rodríguez, M., Ramos, E., Álvarez, O., Domínguez, J., Monterroso, Ó. y Tuya, F. (2017) "MACAROMOD: A tool to model particulate waste dispersion and benthic impact from offshore sea-cage aquaculture in the Macaronesian region," *Ecological Modelling*, (361), pp. 122 - 134. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2017.08.006.
- Rigo, I., Paoli, C., Dapuzeto, G., Pergent-Martini, C., Pergent, G., Oprandi, A., Montefalcone, M., Bianchi, C., Morri, C. y Vasallo, P. (2021) "The natural capital value of the seagrass *Posidonia oceanica* in the North-Western mediterranean," *Diversity*, 13(10). DOI:10.3390/d13100499.
- Robertson, B.A. y Hutto, R.L. (2006) "A framework for understanding ecological traps and an evaluation of existing evidence. In concepts and synthesis emphasizing new ideas to stimulate research in ecology" *Ecology*. (87)5, pp. 1075 - 1085. DOI: 10.1890/0012-9658(2006)87[1075:affuet]2.0.CO;2.
- Rodríguez-Martínez, R.E., R. E., Medina-Valmaseda, A. E., Blanchon, P., Monroy-Velázquez, L. v., Almazán-Becerril, A., Delgado-Pech, B., Vásquez-Yeomans, L., Francisco, V. y García-Rivas, M. C. (2019) "Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic Sargassum," *Marine Pollution Bulletin*, (146), pp. 201 - 205. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.06.015.
- Ruyter, B., Sissener, N. H., Ostbye, T. K., Simon, C. J., Krasnov, A., Bou, M., Sanden, M., Nichols, P. D., Lutfi, E., y Berge, G. M. (2019) "N-3 Canola oil effectively replaces fish oil as a new safe dietary source of DHA in feed for juvenile Atlantic salmon," *British Journal of Nutrition*, 122(12), pp. 1329 - 1345. DOI: 10.1017/S0007114519002356.
- Sanz-Lázaro, C., Belando, M. D., Navarrete-Mier, F. y Marín, A. (2010) "Effects of wild fish and motile epibenthic invertebrates on the benthos below an open water fish farm," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 91(2), pp. 216 - 223. DOI: 10.1016/j.ecss.2010.10.023.
- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (2009) *Assessment of the Antibiotic Resistance Effects of Biocides*. European Union: SCNIHR.
- Sepúlveda, M., Newsome, S., Pavez, G., Oliva, D., Costa, D., Huckstadt, L. y Ropert-Coudert, Y. (2015) "Using satellite tracking and isotopic information to characterize the impact of



- South American sea lions on Salmonid aquaculture in Southern Chile,” *Plos One*, 10(8). DOI: 10.1371/journal.pone.0134926.
- Silva, C., Yáñez, E., Martín-Díaz, M. L., Riba, I. y Delvalls, T. A. (2013) “Integrated ecotoxicological assessment of marine sediments affected by land-based marine fish farm effluents: Physicochemical, acute toxicity and benthic community analyses,” *Ecotoxicology*, 22(6), pp. 996 - 1011. DOI: 10.1007/s10646-013-1085-6.
- Skaala, Ø., Wennevik, V. y Glover, K.A. (2006) “Evidence of temporal genetic change in wild Atlantic salmon, *Salmo salar* L., populations affected by farm escapees,” *ICES Journal of Marine Science*, 63(7), pp. 1224 - 1233. DOI: 10.1016/j.icesjms.2006.04.005.
- Somarakis, S., Pavlidis, M., Saapoglou, C., Tsigenopoulos, C. S. y Dempster, T. (2013) “Evidence for ‘escape through spawning’ in large gilthead sea bream *Sparus aurata* reared in commercial sea-cages,” *Aquaculture Environment Interactions*, 3(2), pp. 135 - 152. DOI: 10.3354/aei00057.
- Stagličić, N., Šegvić-Bubić, T., Ugarković, P., Talijančić, I., Žužul, I., Tičina, V. y Grubišić, L. (2017) “Ecological role of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) fish farms for associated wild fish assemblages in the Mediterranean Sea,” *Marine Environmental Research*, (132), pp. 79 - 93. DOI: 10.1016/j.marenvres.2017.10.015.
- Stickney R. (1994) *Principles of aquaculture*. Texas: Wiley and Sons.
- Surendra Markad, S., Wamanrao Patil, D. y Gaikwad, J.M. (2015) “Probiotics as an alternative source for antibiotics and chemotherapeutics in aquaculture Development of hatchery unit for production of carp fish seed in Rural areas of Hingoli District View project Geospatial Study Of Fisheries Resources in Hingoli District, Maharashtra Using Remote Sensing (RS) & Geographic Information System (GIS) View project”.
- Thorstad, E.B., Fleming, I. A., McGinnity, P., Soto, D., Wennevik, V. y Whoriskey, F. (2008) “Incidence and impacts of escaped farmed Atlantic salmon *Salmo salar* in nature”. *Technical Working Group on Escapes of the Salmon Aquaculture Dialogue*.
- Tičina, V., Katavić, I. y Grubišić, L. (2020) “Marine Aquaculture Impacts on Marine Biota in Oligotrophic Environments of the Mediterranean Sea – A Review,” *Frontiers in Marine Science*. DOI: 10.3389/fmars.2020.00217.
- Toledo Guedes, K., Sánchez-Jerez, P., González-Lorenzo, G. y Brito Hernández, A.(2008) “Detecting the degree of establishment of a non-indigenous species in coastal ecosystems: Sea bass *Dicentrarchus labrax* escapes from sea cages in Canary Islands (Northeastern Central Atlantic),” *Hydrobiologia*, 623(1), pp. 203 - 212. DOI: 10.1007/s10750-008-9658-8.
- Toledo-Guedes, K., Sánchez-Jerez, P., Benjumea, M. E. y Brito, A. (2014) “Farming-up coastal fish assemblages through a massive aquaculture escape event,” *Marine Environmental Research*, (98), pp. 86–95. DOI: 10.1016/j.marenvres.2014.03.009.
- Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A. H. y Fang, J. G. (2009) “Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems,” *Aquaculture*, (297)1-4, pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.09.010.



- Troell, M., Naylor, R. L., Metian, M., Beveridge, M., Tyedmers, P. H., Folke, C., Arrow, K. J., Barrett, S., Crépin, A. S., Ehrlich, P. R., Gren, Å., Kautsky, N., Levin, S. A., Nyborg, K., Österblom, H., Polasky, S., Scheffer, M., Walker, B. H., Xepapadeas, T. y De Zeeuw, A. (2014) "Does aquaculture add resilience to the global food system". *National Academy of Sciences*, (37)111, pp. 13257 - 13263. DOI: 10.1073/pnas.1404067111.
- Uglem, I., Karlsen, Ø., Sanchez-Jerez, P. y Sæther, B. S. (2014) "Impacts of wild fishes attracted to open-cage salmonid farms in Norway," *Aquaculture Environment Interactions. Inter-Research*, (6)1, pp. 91 - 103. DOI:10.3354/aei00112.
- United Nations (2019) World Population Prospects 2019 Highlights. European Union: ONU.
- Waite, R., Beveridge, M., Brummett, R., Castine, S., Chaiyawannakarn, N., Kaushik, S., Mungkung, R., Nawapakpilai, S. y Phillips, M. (2014) "Installment of Creating a Sustainable Food Future. Improving productivity and environmental performance of aquaculture".
- Wang, A., Ran, C., Wang, Y., Zhang, Z., Ding, Q., Yang, Y., Olsen, R. E., Ringø, E., Bindelle, J. y Zhou, Z. (2019) "Use of probiotics in aquaculture of China—a review of the past decade," *Fish and Shellfish Immunology. Academic Press*, (86), pp. 734 - 755. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.12.026.
- Wang, G., Cuthbertson, A., Gualtieri, C. y Shao, D. (2010) "Influences of Aquiculture on Ecological Environment," *International Journal of Biology*, 2(2). DOI: 10.5539/ijb.v2n2p158.
- Wang, X., Lu, M., Chen, G., Cao, J., Gao, F., Wang, M., Liu, Z., Zhang, D., Zhu, H. y Yi, M. (2020) "A review on mariculture effluent: Characterization and management tools," *Water (Switzerland). MDPI AG*, (12)11, pp. 1 - 4. DOI: 10.3390/w12112991.
- Xia, Y., Lu, M., Chen, G., Cao, J., Gao, F., Wang, M., Liu, Z., Zhang, D., Zhu, H. y Yi, M. (2018) "Effects of dietary *Lactobacillus rhamnosus* JCM1136 and *Lactococcus lactis subsp. lactis* JCM5805 on the growth, intestinal microbiota, morphology, immune response and disease resistance of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*," *Fish and Shellfish Immunology*, (76), pp. 368 - 379. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.03.020.
- Yucel-Gier, G., Eronat, C. y Sayin, E. (2019) "The Impact of Marine Aquaculture on the Environment; the Importance of Site Selection and Carrying Capacity," *Agricultural Sciences*, 10(3), pp. 256 - 266. DOI: 10.4236/as.2019.103022.
- Zhao, C., Schar, D., Wang, Y., Larsson, D. G. J., Gilbert, M. y van Boeckel, T. P. (2020) "Twenty-year trends in antimicrobial resistance from aquaculture and fisheries in Asia," *Nature Communications*, 12(1). DOI: 10.1038/s41467-021-25655-8.
- Zhao, Y., Zhang, J., Wu, W., Teng, F., Kelly, R. M., Sun, K., Liu, Y., Qu, D., Liu, Y. y Zhu, Y. (2020) "Assessing environmental carrying capacity of sea cage culture in the Yellow Sea, China, using a coupled diffusion model," *Aquaculture*, (520). DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735009.
- Zheng, L., Liu, Q., Liu, J., Xiao, J. y Xu, G. (2022) "Pollution Control of Industrial Mariculture Wastewater: A Mini-Review," *Water (Switzerland). MDPI*. (14)9. DOI: 10.3390/w14091390.