

Contents

MÓDULO 3	3
Breve descripción	3
Objetivos del módulo	3
Resultados del aprendizaje	3
Prerrequisitos (si corresponde)	3
Duración	4
3. Servicios ecosistémicos, seguimiento medioambiental, gestión de riesgos y resiliencia climática	4
3.1 Servicios ecosistémicos: definición, tipología y política de la UE en la materia	4
3.1.1 Comprender qué son los servicios ecosistémicos	4
3.1.2 Comprender el impacto positivo que los servicios ecosistémicos tienen en el medio marino	8
3.1.3 Comprender las directrices estratégicas de la UE para la acuicultura (2021-2030)	9
3.2 Impacto de la acuicultura de moluscos bivalvos: análisis de la huella de carbono y evaluación del ciclo de vida	10
3.2.1 Comprender cuáles son los posibles impactos del cultivo de moluscos bivalvos y cómo se pueden mitigar estos posibles impactos	10
3.2.2 Conocer mejor la huella de carbono y el ACV	11
3.3 Evaluación del impacto del cambio climático en la producción de bivalvos	15
3.3.1 Comprender los efectos del cambio climático en los sistemas de acuicultura (temperatura, cambios en la salinidad, agotamiento del oxígeno, fenómenos meteorológicos extremos)	15
3.3.2 Soluciones contra los efectos del cambio climático en la acuicultura de moluscos bivalvos	17
3.4 Comprender las diversas estrategias a nivel de explotación para adaptarse al cambio climático y mitigarlo, incluida la selección de especies y las innovaciones tecnológicas.	17

3.4.1 Comprender cómo combatir los daños causados por el cambio climático a la acuicultura de bivalvos (traslado de productos, selección de genotipos o especies más resistentes a la temperatura, policultivo para evitar la pérdida de productos)	17
3.4.2 Reconoce el papel de las innovaciones tecnológicas (sensores de control de la calidad del agua) en la adaptación y la mitigación	19
3.4.3 Demostrar conocimiento de las políticas, las certificaciones y las mejores prácticas que promueven la acuicultura climáticamente inteligente (normas de la FAO, la GAA y el ASC).....	21

MÓDULO 3

Breve descripción

El módulo 3 analiza el papel estratégico de la acuicultura de moluscos bivalvos en relación con el medioambiente, con especial atención a los retos que plantea el cambio climático.

El módulo presenta el concepto de servicios ecosistémicos, ilustrando su definición, las principales tipologías y su reconocimiento dentro de las políticas de la UE, destacando el valor medioambiental y económico que estos servicios pueden generar.

También se explorará en profundidad el impacto medioambiental del cultivo de bivalvos mediante herramientas de análisis como la huella de carbono y la evaluación del ciclo de vida, destacando las razones por las que esta forma de acuicultura se considera una de las más sostenibles.

Una parte central del módulo se dedica a evaluar los efectos del cambio climático en la producción de bivalvos y a analizar las principales estrategias de adaptación y mitigación que se pueden adoptar, incluida la selección de especies y la innovación tecnológica.

Objetivos del módulo

- Servicios ecosistémicos: definición, tipología y política de la UE en la materia.
- Impacto medioambiental de la acuicultura de moluscos bivalvos: análisis de la huella de carbono y evaluación del ciclo de vida.
- Evaluación del impacto del cambio climático en la producción de bivalvos.
- Comprender las diversas estrategias a nivel de explotación para adaptarse al cambio climático y mitigarlo, incluida la selección de especies y las innovaciones tecnológicas.

Resultados del aprendizaje

Los participantes podrán comprender la importancia y el valor de los servicios ecosistémicos que proporciona el cultivo de bivalvos: qué son, sus efectos en el medioambiente y el valor económico que pueden tener para el acuicultor.

También se analizará el impacto medioambiental del cultivo de bivalvos, enumerando las razones por las que es particularmente bajo.

Por último, se abordarán cuestiones relacionadas con el cambio climático: los estudiantes podrán evaluar el impacto del cambio climático en la producción acuícola y aplicar estrategias de adaptación para contrarrestar sus efectos.

Prerrequisitos (si corresponde)

No aplicable

Duración

240 minutos (150 presenciales en línea, 90 de aprendizaje en línea)

3. Servicios ecosistémicos, seguimiento medioambiental, gestión de riesgos y resiliencia climática

3.1 Servicios ecosistémicos: definición, tipología y política de la UE en la materia

Definición de servicios ecosistémicos. Comprender el concepto de servicios ecosistémicos, los impactos ambientales positivos que proporcionan los moluscos bivalvos y las directrices estratégicas de la UE para la acuicultura (2021-2030).

3.1.1 Comprender qué son los servicios ecosistémicos

La acuicultura de moluscos bivalvos es importante por los servicios ecosistémicos significativos que proporciona. De hecho, los bivalvos desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de la salud de los ecosistemas costeros, al contribuir significativamente a la regulación de los ciclos biogeoquímicos y a la protección de los hábitats mediante la realización de una serie de servicios que podemos resumir a continuación.

Filtración del agua de mar

Uno de los servicios ecosistémicos más conocidos y ecológicamente significativos que prestan los moluscos bivalvos es su notable capacidad para filtrar grandes volúmenes de agua. A través de su comportamiento alimentario, estos organismos consumen fitoplancton, materia orgánica en suspensión y detritus, lo que mejora eficazmente la calidad del agua circundante. Este proceso, denominado depuración biológica, no solo ayuda a reducir la turbidez del agua, sino que también desempeña un papel crucial en la reducción de los niveles excesivos de nutrientes, en particular del nitrógeno y del fósforo, que son los principales contribuyentes a la eutrofización costera. Al filtrar la materia particulada de la columna de agua, los bivalvos ayudan a restablecer el equilibrio en los ecosistemas marinos, lo que reduce el riesgo de floraciones de algas nocivas (HAB), que pueden tener efectos devastadores sobre la biodiversidad local, la calidad del agua y la pesca. La filtración de los bivalvos también mejora significativamente la claridad del agua, lo cual es vital para la salud de la vegetación sumergida, como las praderas marinas y las macroalgas. Estas plantas dependen

del agua transparente para realizar la fotosíntesis de manera eficaz y, al mejorar la penetración de la luz, los moluscos bivalvos contribuyen indirectamente a la productividad de estos hábitats cruciales. Además, el proceso de filtración ayuda a promover el ciclo de los nutrientes, lo que contribuye a unos ecosistemas más estables y productivos. Como destacan Smaal y Poutiers (2003), un solo ejemplar de *Mytilus edulis* (mejillón azul) puede filtrar hasta 25 litros de agua al día, lo que pone de relieve el potencial que tienen incluso las pequeñas poblaciones de bivalvos para mejorar sustancialmente la calidad del agua.

Esta capacidad de filtración no solo es importante para mantener el equilibrio ecológico, sino que también tiene implicaciones significativas para la sostenibilidad de la acuicultura. Por ejemplo, en los sistemas de cultivo costeros, los moluscos bivalvos pueden reducir la necesidad de intervenciones externas de tratamiento del agua, lo que hace que las operaciones de acuicultura sean más respetuosas con el medioambiente y dependan menos de las tecnologías de filtración artificial.

Un ejemplo práctico de este servicio es la ostra plana europea (*Ostrea edulis*), utilizada para la bioextracción de nutrientes en la laguna costera del Mar Menor, en España. Esta especie ha demostrado una capacidad sustancial para mitigar la eutrofización al filtrar grandes cantidades de materia orgánica del agua, lo que mejora la calidad del agua y contribuye a la recuperación del ecosistema (Albentosa et al., 2023).

Papel de los bivalvos en el ciclo del carbono y de los nutrientes

Los moluscos bivalvos desempeñan un papel crucial en el ciclo del carbono al secuestrar dióxido de carbono (CO_2) del agua de mar e incorporarlo a sus conchas, que están compuestas principalmente de carbonato de calcio (CaCO_3). Este proceso biológico, conocido como biomineralización, contribuye a mitigar el cambio climático al reducir las concentraciones de CO_2 en la atmósfera.

Además del secuestro de carbono inorgánico, la biomasa de los moluscos bivalvos sirve como una importante reserva de carbono orgánico. A través de sus procesos metabólicos y su posterior deposición en los sedimentos, estos organismos facilitan el enterramiento de la materia orgánica, lo que contribuye aún más al ciclo del carbono. Aunque los procesos de calcificación liberan algo de CO_2 como subproducto, el efecto neto del cultivo de bivalvos en el secuestro de carbono sigue siendo positivo, especialmente en condiciones medioambientales bien gestionadas (Heilweck et al., 2023).

Además, la acuicultura de bivalvos aporta importantes beneficios medioambientales mediante la captación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. Estos organismos filtran grandes cantidades

de partículas orgánicas del agua, eliminando el exceso de nutrientes que puede causar eutrofización en las zonas costeras.

Un estudio ha puesto de relieve que el cultivo de bivalvos puede ayudar a eliminar nutrientes, mejorar la calidad del agua y promover la salud de los ecosistemas marinos (Gren, 2019). Además, la integración de la acuicultura de bivalvos en los sistemas de acuicultura multitrófica integrada (AMTI) puede mejorar la eficiencia de la recuperación de nutrientes, lo que reduce el impacto medioambiental general de otros sistemas de acuicultura.

En conclusión, si bien la contribución de los bivalvos al secuestro de carbono requiere una gestión cuidadosa para maximizar los beneficios, su papel en el ciclo del nitrógeno y el fósforo representa un servicio ecosistémico crucial para la salud del medio ambiente marino.

Por lo tanto, la adopción de prácticas de gestión sostenible en la acuicultura de bivalvos puede ofrecer beneficios tanto para la producción de alimentos como para la protección del medioambiente.

Creación de hábitats y zonas de cría

Las granjas de moluscos bivalvos desempeñan un papel crucial en la creación de hábitats complejos que proporcionan refugio y alimento a diversos organismos marinos.

Las estructuras físicas utilizadas en la acuicultura, como cuerdas, redes y postes, ofrecen superficies para que la epifauna sésil las colonice, lo que crea una intrincada matriz de hábitat. Los sedimentos enriquecidos y diversificados bajo estas estructuras proporcionan un entorno favorable para la infauna, lo que aumenta la biodiversidad local.

La investigación de Rumohr et al. (2016) destaca que las granjas de mejillones pueden impulsar la biodiversidad al sustentar a una variedad de especies bentónicas y nectónicas. Estas granjas sirven como zonas de cría para peces juveniles e invertebrados, lo que mejora las tasas de supervivencia al ofrecer protección frente a los depredadores y condiciones favorables para el crecimiento.

La mayor complejidad del hábitat en torno a las granjas de bivalvos promueve interacciones ecológicas que favorecen la productividad y la resiliencia de los ecosistemas marinos.

Las estructuras de los bivalvos también contribuyen al ciclo de los nutrientes y a la estabilización de los sedimentos, servicios esenciales para mantener la salud de los ecosistemas marinos, especialmente en zonas dañadas por las actividades humanas.

Al integrar estas prácticas, la acuicultura de bivalvos tiene el potencial de mejorar los servicios de los ecosistemas, promover la biodiversidad y respaldar la pesca sostenible, contribuyendo a la estabilidad ecológica y económica de las regiones costeras.

Protección contra la erosión costera

Las granjas de moluscos bivalvos pueden ayudar a proteger las costas al atenuar la energía de las olas y estabilizar los sedimentos. Las estructuras de las explotaciones pueden actuar como rompeolas, reduciendo el impacto de las mareas de tempestad en la costa.

Un análisis de Turner et al. (2009) mostró que las granjas de ostras pueden reducir significativamente la erosión costera, lo que contribuye a la protección de las costas y de las comunidades locales.

Además, como se destaca en la revisión exhaustiva de van der Schatte Olivier et al. (2018), la acuicultura de bivalvos proporciona una amplia gama de servicios ecosistémicos, incluida, como se ha mencionado anteriormente, la protección costera. El estudio hace hincapié en que los hábitats densos y estructurados creados por las granjas de bivalvos mejoran la deposición de sedimentos y reducen la erosión, lo que contribuye a la estabilidad general de los ecosistemas costeros.

Al actuar como barreras naturales, estas granjas no solo preservan las costas, sino que también mejoran la calidad del agua y promueven la biodiversidad.



Fig. 20 - Servicios ecosistémicos de los bivalvos y estrategia de la UE, una combinación perfecta

3.1.2 Comprender el impacto positivo que los servicios ecosistémicos tienen en el medio marino

En junio de 2021, el Consejo Asesor de la Acuicultura (CCA) publicó una Recomendación titulada «La prestación de servicios ecosistémicos por parte de la acuicultura europea», que subraya la importancia de la acuicultura en la prestación de servicios ecosistémicos esenciales.

En consonancia con el Pacto Verde Europeo, la Estrategia de Biodiversidad de la Comisión para 2030 esboza medidas para hacer frente a la pérdida de biodiversidad, integrando la Estrategia «De la Granja a la Mesa» para la transición hacia un sistema alimentario sostenible y equitativo. Estas estrategias hacen hincapié en que la preservación de la biodiversidad es parte integral de los sistemas alimentarios sostenibles, lo que sitúa a la acuicultura europea como un contribuyente fundamental a la protección de la biodiversidad, la mejora de los servicios ecosistémicos y la preservación del paisaje.

Las recomendaciones del CCA abogan por el reconocimiento y el apoyo a la acuicultura europea, en particular al cultivo de moluscos bivalvos, como proveedora de servicios ecosistémicos críticos.

Las propuestas clave incluyen:

- Reconocer los ecosistemas de la acuicultura, especialmente los que implican el cultivo extensivo de bivalvos, como parte del patrimonio natural vinculado a las actividades productivas humanas.
- Garantizar la coherencia entre el registro de aguas para el cultivo de bivalvos y su protección, de conformidad con la Directiva Marco del Agua de la UE, para promover una regulación adecuada y el apoyo a los servicios ecosistémicos prestados, en consonancia con la estrategia de biodiversidad de la UE.
- Estudiar, evaluar y destacar los servicios ecosistémicos que proporciona el cultivo de bivalvos mediante la financiación de investigaciones destinadas a comprender estos ecosistemas acuáticos.
- Apoyar iniciativas de concienciación pública para promover la acuicultura sostenible de bivalvos como un sistema de producción de alimentos con bajas emisiones de carbono y que mejora la biodiversidad, además de ofrecer importantes beneficios para los ecosistemas.

Al integrar estas ideas, resulta evidente que las explotaciones de moluscos bivalvos son algo más que sistemas de producción de alimentos; son componentes vitales de la resiliencia costera y contribuyen a la estabilidad ecológica y económica de las regiones costeras.

3.1.3 Comprender las directrices estratégicas de la UE para la acuicultura (2021-2030)

Las Directrices Estratégicas de la UE para la Acuicultura (2021-2030), elaboradas por la Comisión Europea, proporcionan un marco coordinado para apoyar el desarrollo de un sector acuícola sostenible, competitivo y resiliente en todos los Estados miembros de la UE. Están diseñadas para orientar las políticas nacionales y, al mismo tiempo, contribuir a prioridades más amplias de la UE, como el Pacto Verde Europeo, con un fuerte enfoque en la producción de alimentos respetuosa con el medioambiente, el crecimiento económico y la creación de empleo en las regiones costeras y rurales.

La visión general de las directrices es establecer un sector de la acuicultura que equilibre los objetivos medioambientales, económicos y sociales. Esto implica desarrollar sistemas de producción que minimicen el impacto medioambiental y, al mismo tiempo, sigan siendo económicamente viables y competitivos a escala mundial. Al mismo tiempo, el sector debe ser transparente y gozar de la aceptación social de los consumidores y las comunidades, con un fuerte énfasis en la innovación, la investigación y el conocimiento para respaldar la sostenibilidad a largo plazo.

Las directrices se basan en cuatro prioridades fundamentales que determinan la futura orientación de la acuicultura de la UE.

La primera prioridad se centra en mejorar la competitividad y la resiliencia mediante el aumento de la eficiencia, la simplificación de los procedimientos administrativos y la garantía de un mejor acceso a emplazamientos adecuados y a los recursos hídricos.

La segunda prioridad apoya la transición ecológica, con el objetivo de reducir los impactos medioambientales, promover prácticas con bajas emisiones de carbono y eficientes en el uso de los recursos, y reforzar la capacidad del sector para adaptarse al cambio climático.

La tercera aborda la aceptación social y la confianza de los consumidores fomentando la transparencia, mejorando la información y el etiquetado de los productos y manteniendo altos estándares en ámbitos como la seguridad alimentaria y el bienestar animal.

Y la cuarta destaca la importancia del conocimiento, la innovación y la digitalización, promoviendo la inversión en investigación, nuevas tecnologías, sistemas de datos y capacitación de la mano de obra para impulsar el crecimiento futuro.

Para respaldar estas prioridades, las directrices identifican una serie de ámbitos de acción clave que se anima a los Estados miembros a abordar. Estas incluyen mejorar el acceso al espacio a través de la planificación espacial marina, simplificar los procedimientos reglamentarios y de concesión de licencias, y mejorar el rendimiento medioambiental en todas las operaciones de acuicultura. Otras acciones se centran en reforzar la salud y el bienestar de los animales, apoyar el desarrollo del

mercado y las cadenas de valor, aumentar la concienciación pública y la comunicación, y promover la innovación mediante una mejor recopilación de datos, la investigación y el desarrollo tecnológico. Las directrices no son jurídicamente vinculantes, pero actúan como un marco estratégico para coordinar la acción en toda la UE.

Se espera que los Estados miembros plasmen estos objetivos en políticas nacionales mediante el desarrollo o la actualización de sus Planes Nacionales de Acuicultura.

La aplicación se apoya a través de los mecanismos de financiación de la UE, en particular el Fondo Europeo Marítimo, de Pesca y de Acuicultura, que proporciona ayuda financiera para el desarrollo sostenible, la innovación y el crecimiento del sector.

En general, las Directrices Estratégicas de la UE para la Acuicultura (2021-2030) proporcionan una hoja de ruta integral para desarrollar un sector acuícola moderno que equilibre el crecimiento con la sostenibilidad. Al centrarse en la competitividad, la responsabilidad medioambiental, la aceptación social y la innovación, las directrices pretenden garantizar la viabilidad a largo plazo y la contribución positiva de la acuicultura dentro de la Unión Europea.

3.2 Impacto de la acuicultura de moluscos bivalvos: análisis de la huella de carbono y evaluación del ciclo de vida

Impacto de la acuicultura de moluscos bivalvos en el medioambiente y en la biodiversidad: aunque sea moderado, ¿cuáles son los principales focos de impacto del sector y cómo gestionarlos?

3.2.1 Comprender cuáles son los posibles impactos del cultivo de moluscos bivalvos y cómo se pueden mitigar estos posibles impactos

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta fundamental para evaluar la huella ecológica de cualquier actividad. Este análisis también puede aplicarse a la acuicultura de moluscos bivalvos para identificar estrategias que sea más sostenible.

El ACV permite evaluar el impacto medioambiental de un producto o proceso a lo largo de su ciclo de vida, desde la producción de materias primas hasta la eliminación de residuos. Existen diferentes enfoques para realizar el ACV, y dos métodos ampliamente utilizados son los modelos **«de la cuna a la tumba»** y **«de la cuna a la puerta»**.

● **«De la cuna a la tumba»** es un enfoque integral de ACV que tiene en cuenta todo el ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta la fase final de su vida útil, incluido el transporte y la eliminación de residuos. Este método es particularmente valioso cuando se evalúan los impactos

medioambientales asociados con el ciclo completo de la acuicultura de moluscos bivalvos, desde la producción de juveniles, el cultivo y la recolección hasta la distribución y el consumo.

● Por otro lado, el enfoque **«de la cuna a la puerta»** se centra solo en las etapas previas a que el producto salga de la granja, como la producción de juveniles, el cultivo y la recolección. Este método ayuda a centrarse en las actividades operativas directas y es útil para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del propio proceso de cría.

En ambos casos, el ACV ayuda a:

- Cuantificar la huella de carbono midiendo las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Evaluar el uso de los recursos, analizando el consumo de agua, energía y materias primas.
- Identificar los impactos medioambientales, como la eutrofización, la acidificación de los océanos y la contaminación.
- Comparar las prácticas de cría para identificar los métodos más sostenibles.

El ciclo de vida de la acuicultura de moluscos bivalvos incluye varias fases, cada una de las cuales contribuye de forma específica a la huella de carbono:

- **Producción de juveniles:** en algunos tipos de cría, hay una fase en la que se producen juveniles en criaderos. Esta fase requiere energía para hacer funcionar las instalaciones del criadero. En muchos casos, se evita el uso de criaderos utilizando juveniles extraídos directamente de las zonas de cría en el mar (zonas de vivero).
- **Fase de cría:** las emisiones relacionadas con el cultivo se deben principalmente al consumo de energía para la recolección y el procesamiento de los moluscos bivalvos: la recolección de los moluscos requiere el consumo de combustible para las embarcaciones, mientras que el procesamiento requiere energía para la limpieza, el envasado y la refrigeración.
- **Distribución y consumo:** el transporte de los productos acabados a los mercados de consumo y la eliminación de los envases contribuyen a la huella de carbono global.

3.2.2 Conocer mejor la huella de carbono y el ACV

La evaluación de la huella de carbono de la acuicultura de bivalvos marinos requiere, sin duda, una estimación precisa de la liberación de CO₂ asociada a los bienes de capital y a las operaciones de acuicultura, pero en este caso es importante tener en cuenta también el balance metabólico de CO₂ de las especies cultivadas (Álvarez-Salgado et al., 2022). Las condiciones medioambientales específicas del lugar y los métodos de cultivo también influyen significativamente en las estimaciones.

Numerosos estudios han demostrado que la acuicultura de moluscos bivalvos tiene una huella de carbono significativamente menor que otras producciones animales, como la ganadería bovina o porcina. Esto se debe principalmente al hecho de que los moluscos bivalvos son animales de rápido crecimiento y tienen unas necesidades energéticas bajas, ya que se alimentan principalmente filtrando el agua de mar (Crawford et al., 2003; Dumbauld et al., 2009).

La capacidad de los moluscos bivalvos para secuestrar carbono es también un tema de creciente interés en la investigación científica. A través del proceso de filtración, estos organismos asimilan el carbonato de calcio del agua de mar para formar sus conchas. Este carbonato de calcio, una vez depositado en el fondo marino cuando el organismo muere, puede permanecer secuestrado durante miles de años, lo que contribuye a reducir las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera.

Mecanismos de secuestro de carbono:

- **Biomineralización:** la formación de conchas es el proceso principal por el que los moluscos bivalvos secuestran carbono.

- **Sedimentación:** al morir, las conchas se depositan en el fondo marino, lo que contribuye a la formación de bancos calcáreos y sedimentos.

Factores que influyen en el secuestro de carbono:

- **Especies:** las diferentes especies de moluscos bivalvos tienen diferentes tasas de crecimiento y calcificación, lo que influye en la cantidad de carbono secuestrado.

- **Condiciones ambientales:** la temperatura, la salinidad, la disponibilidad de alimentos y otros factores ambientales pueden influir en el crecimiento y la calcificación de los moluscos.

- **Gestión de la explotación:** las prácticas de gestión de la explotación, como la densidad de población y la frecuencia de recolección, pueden influir en la cantidad de carbono secuestrado.

- **Sistema de cría:** existen diferentes técnicas de cría, cada una con sus propias ventajas y desventajas en términos de sostenibilidad.

- **Ubicación:** las condiciones ambientales del lugar de la granja (por ejemplo, la calidad del agua, la profundidad o las corrientes) influyen significativamente en el impacto.

- **Gestión de residuos:** la gestión adecuada de los residuos producidos por el cultivo de animales es esencial para minimizar la contaminación.

La acuicultura de bivalvos tiene una huella de carbono excepcionalmente baja: las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para la producción de mejillones, ostras y mejillones de fondo

cultivados en cuerdas son de 107 kg de CO₂ eq./tonelada, 235 kg de CO₂ eq./tonelada y 824 kg de CO₂ eq./tonelada, respectivamente.

El uso de gasóleo para las embarcaciones de trabajo es el mayor emisor de GEI en el caso de los mejillones, ya que representa casi el 90% de las emisiones. Los consumibles en el sector del mejillón representan solo una pequeña fracción de las emisiones totales (menos del 10%).

Del mismo modo, el gasóleo para tractores fue el mayor emisor de GEI en el sector de la ostra, al representar casi el 60% de las emisiones.

Un ejemplo, en general, las emisiones del sector irlandés de la acuicultura de moluscos bivalvos son bajas y contribuyen con menos del 1% de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector pesquero irlandés.

Para reducir aún más la huella de carbono de la acuicultura de moluscos bivalvos, se necesita una gestión sostenible y prácticas de economía circular.

En el ámbito de la acuicultura de moluscos bivalvos, la aplicación de los principios de la economía circular puede generar importantes beneficios medioambientales y económicos.

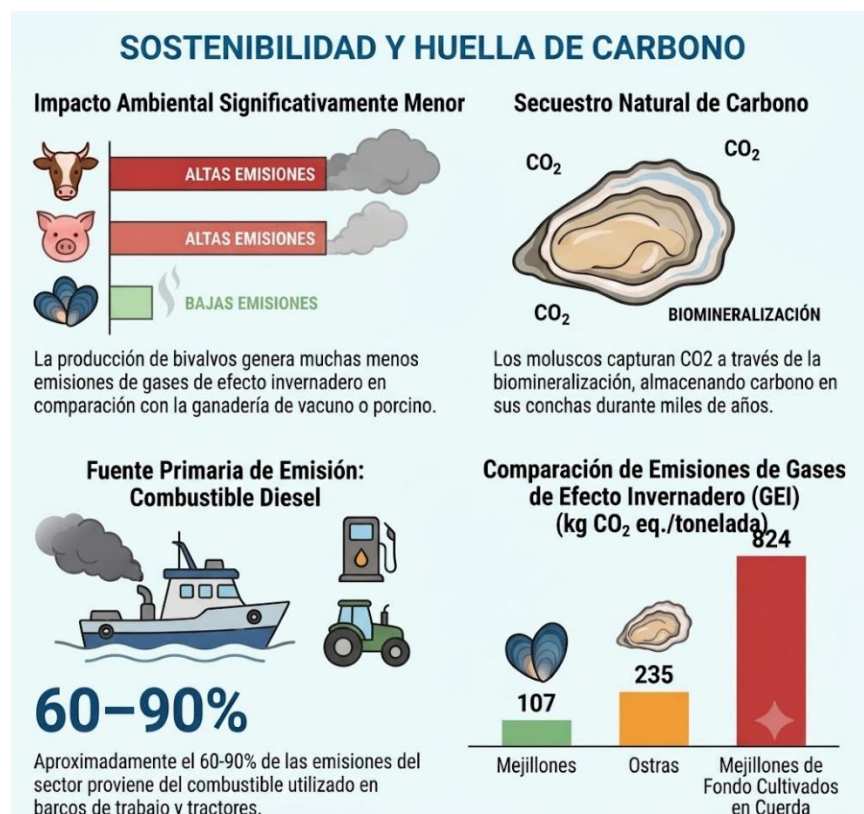


Fig. 21 - Diferencia en la huella de carbono entre la ganadería y el cultivo de bivalvos. Principales impactos de los bivalvos

- **Optimización del consumo de energía:** uso de energías renovables, mejora de la eficiencia energética y adopción de sistemas de seguimiento y control.
- **Reducción, reutilización y reciclaje:** minimizar la producción de residuos, reutilizar los materiales y productos el mayor tiempo posible y reciclar aquellos que ya no se puedan utilizar.
- **Optimización de la logística:** reducción de las distancias de transporte y uso de envases ecosostenibles.
- **Valorización de subproductos:** recuperación y valorización de subproductos del procesamiento de bivalvos, como las conchas, para reducir los residuos y generar nuevos productos.
- **Acuicultura integrada:** la integración de la acuicultura con otras actividades, como el cultivo de otras especies, puede optimizar el uso de los recursos y reducir los impactos medioambientales.

Los productos de la acuicultura tienen una pequeña huella de carbono que contribuirá a los objetivos legales de reducción de carbono. Las empresas de producción de alimentos con bajas emisiones de carbono tienen el potencial de aumentar la disponibilidad y la seguridad alimentaria de productos del mar nutritivos para los consumidores.

La evaluación de la huella de carbono de la acuicultura de bivalvos marinos exige una estimación precisa de la liberación de CO₂ asociada a los bienes de capital y a las operaciones de acuicultura, pero también al presupuesto metabólico de CO₂ de las especies cultivadas (Álvarez-Salgado, 2022).

Existen discrepancias en los procesos considerados: cómo incluir y estimar el presupuesto de carbono y cómo debe aplicarse la escala, desde el individuo hasta el ecosistema. Las condiciones ambientales específicas del lugar y los métodos de cultivo también afectan significativamente a las estimaciones.

Álvarez-Salgado et al., 2022, descubrieron en su estudio del presupuesto metabólico de CO₂ para la acuicultura de mejillones en las ensenadas costeras del afloramiento del noroeste ibérico que había una gran variabilidad en función del momento de siembra de los mejillones y del tamaño en la cosecha, debido a los diferentes patrones de crecimiento estacional de la carne y la concha. La inclusión del CO₂ potencialmente inmovilizado en las heces de los mejillones enterradas en los sedimentos daría lugar a una reducción de las estimaciones de la huella de carbono metabólica de hasta un 6% en comparación con las estimaciones individuales.

3.3 Evaluación del impacto del cambio climático en la producción de bivalvos

El impacto del cambio climático en la producción de bivalvos en la UE: cuestiones cruciales y soluciones.

3.3.1 Comprender los efectos del cambio climático en los sistemas de acuicultura (temperatura, cambios en la salinidad, agotamiento del oxígeno, fenómenos meteorológicos extremos)

El cambio climático está teniendo efectos significativos y de gran alcance en los sistemas de acuicultura, al influir en las condiciones medioambientales que son fundamentales para la supervivencia y el crecimiento de peces, mariscos y algas cultivadas.

Uno de los efectos más importantes es el aumento de la temperatura del agua. A medida que aumentan las temperaturas, también se acelera el metabolismo de las especies acuáticas, lo que inicialmente puede mejorar las tasas de crecimiento.

Sin embargo, una vez que las temperaturas superan los niveles óptimos, los organismos experimentan estrés térmico, lo que provoca una reducción del crecimiento, un debilitamiento del sistema inmunitario y, en casos graves, la mortalidad. Las aguas más cálidas también favorecen la propagación de enfermedades y parásitos, lo que hace que las poblaciones de la acuicultura sean más vulnerables a los brotes.

Los cambios en la salinidad son otra gran preocupación, especialmente en los sistemas costeros y estuarinos.

El cambio climático altera los patrones de precipitación y aumenta la frecuencia de las sequías y las inundaciones, lo que puede modificar significativamente los niveles de salinidad.

Estas fluctuaciones generan estrés en los organismos acuáticos, ya que deben emplear más energía para mantener el equilibrio interno, un proceso conocido como osmorregulación.

Los cambios repentinos o extremos en la salinidad pueden reducir las tasas de crecimiento o incluso causar muertes masivas, especialmente en especies que no son muy tolerantes a tales variaciones.

El agotamiento del oxígeno, o hipoxia, también es cada vez más frecuente en los entornos de acuicultura debido al aumento de las temperaturas y a la contaminación por nutrientes.

El agua más cálida contiene menos oxígeno disuelto, mientras que el aumento de la escorrentía de nutrientes puede provocar floraciones de algas que reducen aún más los niveles de oxígeno cuando se descomponen, un proceso relacionado con la eutrofización.

Las condiciones de bajo nivel de oxígeno suponen un estrés considerable para los organismos acuáticos, ya que limitan su alimentación y su crecimiento y aumentan su susceptibilidad a las enfermedades.

En casos extremos, la hipoxia puede provocar la muerte de peces a gran escala, lo que causa graves pérdidas económicas.



Fig. 22 - Algunas soluciones para combatir el cambio climático

Además, el aumento de la frecuencia y la intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, impulsado por el cambio climático, supone una amenaza directa para las infraestructuras y las operaciones de la acuicultura. Las tormentas y las inundaciones pueden dañar las jaulas, los estanques y otras instalaciones, lo que provoca la pérdida de existencias y reparaciones costosas. Las aguas de las inundaciones también pueden introducir contaminantes, sedimentos y patógenos en los sistemas de acuicultura, lo que degrada aún más la calidad del agua. Estos eventos pueden alterar la alimentación de los bivalvos, su recolección y la gestión general de la explotación, lo que hace que la acuicultura sea más impredecible y arriesgada.

En general, los efectos combinados del aumento de las temperaturas, los cambios en la salinidad, el agotamiento del oxígeno y las tormentas reducen la productividad, aumentan los costes

operativos y generan una mayor incertidumbre para las industrias de la acuicultura. Como resultado, la adaptación a estas condiciones cambiantes se ha vuelto esencial para mantener unas prácticas acuícolas sostenibles.

3.3.2 Soluciones contra los efectos del cambio climático en la acuicultura de moluscos bivalvos

Los moluscos bivalvos contribuyen significativamente al ciclo del carbono al absorber dióxido de carbono (CO_2) del agua de mar y almacenarlo en sus conchas de carbonato de calcio (CaCO_3) mediante la biomineralización, lo que ayuda a reducir los niveles de CO_2 en la atmósfera. Su biomasa también actúa como depósito de carbono orgánico, ya que la actividad biológica y la deposición de sedimentos favorecen el enterramiento a largo plazo de la materia orgánica. Aunque la formación de conchas libera algo de CO_2 , el impacto general del cultivo de bivalvos en el almacenamiento de carbono es positivo, especialmente en condiciones medioambientales bien gestionadas (Heilweck et al., 2023).

Según Lalli et al. (2010), los sistemas de cría de mejillones pueden secuestrar cantidades significativas de «carbono azul», lo que proporciona el doble beneficio de la producción de alimentos y la protección del medioambiente.

Estudios recientes sugieren que la expansión de la acuicultura de bivalvos podría emplearse estratégicamente como una solución basada en la naturaleza para mitigar los efectos del cambio climático, complementando los esfuerzos de secuestro de carbono terrestre.

3.4 Comprender las diversas estrategias a nivel de explotación para adaptarse al cambio climático y mitigarlo, incluida la selección de especies y las innovaciones tecnológicas

Estrategias de adaptación y mitigación a nivel de explotación (por ejemplo, selección de especies/variedades, reubicación de zonas, innovaciones tecnológicas).

3.4.1 Comprender cómo combatir los daños causados por el cambio climático a la acuicultura de bivalvos (traslado de productos, selección de genotipos o especies más resistentes a la temperatura, policultivo para evitar la pérdida de productos)

Los acuicultores están adoptando cada vez más una serie de estrategias a nivel de explotación para adaptarse al cambio climático y mitigar sus efectos. Uno de los enfoques más importantes es la selección de especies y genotipos.

Los acuicultores pueden elegir especies o cepas que sean más tolerantes a temperaturas más altas, a la fluctuación de la salinidad y a las condiciones de bajo nivel de oxígeno. En la acuicultura de

bivalvos esto incluye seleccionar o criar genotipos que muestren una mayor resistencia al estrés térmico, a las enfermedades y a la acidificación.

Por ejemplo, las cepas de ostras criadas selectivamente pueden soportar mejor las aguas más cálidas y las condiciones ambientales cambiantes, lo que ayuda a mantener la productividad incluso cuando el clima cambia.

Otra estrategia clave es la reubicación de la zona y la selección del emplazamiento. A medida que cambian las condiciones ambientales, los acuicultores pueden trasladar la producción a zonas con temperaturas más adecuadas, mejor calidad del agua o niveles de salinidad más estables. Esto podría implicar trasladar las granjas a aguas más profundas, a diferentes zonas costeras o a regiones menos expuestas a fenómenos meteorológicos extremos.

En el cultivo de bivalvos, la reubicación de las líneas o los lechos de cultivo puede ayudar a evitar zonas propensas a floraciones de algas nocivas, hipoxia o calentamiento excesivo.

Para abordar específicamente los riesgos relacionados con el clima en la acuicultura de bivalvos, los acuicultores también están adoptando estrategias de traslado de productos. Esto implica trasladar las poblaciones entre distintos lugares o profundidades para evitar condiciones desfavorables, como trasladar los moluscos a aguas más frías durante las olas de calor o lejos de zonas con mala calidad del agua. Esta flexibilidad ayuda a reducir la mortalidad durante los eventos extremos.

Otra estrategia que puede ser eficaz es el policultivo, en el que se crían varias especies juntas. En los sistemas de bivalvos, la combinación de especies (por ejemplo, mejillones con ostras o algas marinas) puede reducir el riesgo general.

Si una especie se ve afectada negativamente por un factor de estrés relacionado con el clima, otras pueden seguir prosperando, lo que garantiza que los acuicultores no pierdan toda su producción.

El policultivo también puede mejorar la calidad del agua, ya que algunas especies (como las algas marinas) absorben el exceso de nutrientes, lo que ayuda a contrarrestar procesos como la eutrofización.



Fig. 23 - Adaptación y mitigación del cambio climático en la acuicultura de bivalvos

En general, estas estrategias a nivel de explotación —que van desde el cultivo selectivo y la reubicación hasta la innovación tecnológica y los sistemas de cría diversificados— son esenciales para desarrollar la resiliencia en la acuicultura. Al adoptar una combinación de estos enfoques, especialmente en sectores vulnerables como el cultivo de bivalvos, los productores pueden hacer frente mejor a los cambios medioambientales manteniendo al mismo tiempo unas operaciones sostenibles y productivas.

3.4.2 Reconoce el papel de las innovaciones tecnológicas (sensores de control de la calidad del agua) en la adaptación y la mitigación

Las innovaciones tecnológicas, como los sensores de control de la calidad del agua, se están convirtiendo en un elemento fundamental para que las explotaciones acuícolas se adapten al cambio climático y mitiguen sus efectos.

En la acuicultura de moluscos (como ostras, mejillones y almejas), estas herramientas son particularmente valiosas porque los bivalvos son extremadamente sensibles a los cambios sutiles en su entorno y no se pueden mover ni controlar fácilmente una vez desplegados en sistemas de aguas abiertas.

En el centro de estas innovaciones se encuentran las redes de sensores en tiempo real que miden continuamente parámetros ambientales clave como la temperatura, el oxígeno disuelto, la salinidad, el pH y los niveles de clorofila.

Estos sensores pueden colocarse directamente en palangres, balsas o sistemas de cultivo en el fondo marino utilizados en el cultivo de marisco. Al proporcionar datos continuos, permiten a los acuicultores detectar signos tempranos de estrés ambiental, como episodios de calentamiento, caídas de oxígeno o cambios perjudiciales en la salinidad, antes de que alcancen niveles críticos.

Esto favorece la adaptación al permitir respuestas rápidas, cómo ajustar la densidad de población, retrasar o adelantar la recolección o aplicar estrategias de desplazamiento del producto (por ejemplo, trasladar los moluscos a lugares o profundidades más adecuados).

En la acuicultura de bivalvos, los sensores son especialmente importantes para controlar los riesgos relacionados con la eutrofización y las floraciones de algas nocivas (HAB). Por ejemplo, los sensores de clorofila y turbidez pueden indicar aumentos de fitoplancton, mientras que los sensores de oxígeno pueden detectar condiciones hipóxicas causadas por la descomposición de las algas. Los sistemas de alerta temprana basados en estas mediciones ayudan a los acuicultores a evitar la recolección durante los eventos de floración tóxica, lo que protege tanto a las poblaciones como la salud de los consumidores y reduce las pérdidas económicas.

Otra función importante de la tecnología de sensores es mejorar la toma de decisiones y la eficiencia de la gestión de las explotaciones. Los datos recopilados por los sensores pueden integrarse en plataformas digitales o modelos que pronostican los cambios medioambientales, lo que permite a los acuicultores planificar con antelación las olas de calor, las tormentas o los cambios estacionales.

En los criaderos de marisco, la monitorización precisa de la temperatura, el pH y la salinidad es esencial para el desarrollo de las larvas; los sensores garantizan unas condiciones estables, lo que mejora las tasas de supervivencia y permite la producción de juveniles (crías) más resistentes.

Desde el punto de vista de la mitigación, estas tecnologías también ayudan a reducir la huella medioambiental de la acuicultura. Al optimizar las densidades de población y el momento de la cosecha en función de las condiciones en tiempo real, los acuicultores pueden evitar la sobreexplotación de los recursos locales y reducir la acumulación de residuos. La monitorización de los niveles de oxígeno y nutrientes ayuda a evitar la acumulación excesiva de materia orgánica, que puede empeorar la calidad del agua local y contribuir a una mayor degradación del medio ambiente.

En los sistemas integrados (por ejemplo, mariscos combinados con algas marinas), los sensores pueden rastrear la eficacia con la que se eliminan los nutrientes, lo que favorece prácticas más sostenibles.

Algunos ejemplos en la acuicultura de moluscos mariscos son:

- **Sistemas de boyas inteligentes** equipados con sensores multiparamétricos que transmiten datos en tiempo real a los teléfonos u ordenadores de los acuicultores, comúnmente utilizados en las granjas de ostras.
- **Conjuntos de sensores fijos en long-line de mejillones** que monitorizan la temperatura y el oxígeno en función de la profundidad, lo que ayuda a los acuicultores a decidir los momentos óptimos de recolección o a detectar la estratificación.
- **Sistemas de monitorización de los criaderos** que controlan estrictamente el pH y la temperatura para contrarrestar los efectos de la acidificación del océano en las larvas de ostras.
- **Redes de alerta temprana** para floraciones de algas nocivas, en las que los datos de los sensores regionales se comparten entre múltiples explotaciones.

En general, los sensores de control de la calidad del agua constituyen una poderosa herramienta tanto para adaptarse a las condiciones ambientales cambiantes como para mitigar los impactos negativos.

En la acuicultura de mariscos, donde los acuicultores dependen en gran medida de las condiciones naturales del agua, estas tecnologías mejoran la resiliencia, reducen el riesgo y respaldan prácticas de gestión más sostenibles y fundamentadas.

3.4.3 Demostrar conocimiento de las políticas, las certificaciones y las mejores prácticas que promueven la acuicultura climáticamente inteligente (normas de la FAO, la GAA y el ASC)

La acuicultura climáticamente inteligente cuenta con el respaldo de una serie de políticas internacionales, sistemas de certificación y mejores prácticas que tienen como objetivo hacer que el cultivo de peces y mariscos sea más sostenible, resiliente y responsable con el medioambiente.

Organizaciones clave como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Alianza Mundial para la Acuicultura (GAA) y el Aquaculture Stewardship Council (ASC) desempeñan un papel importante a la hora de orientar estos esfuerzos.

La FAO proporciona orientación global a través de marcos y recomendaciones que promueven el desarrollo sostenible de la acuicultura. Fomenta prácticas que reducen los impactos medioambientales, mejoran la eficiencia de los recursos y ayudan a las explotaciones a adaptarse al cambio climático; por ejemplo, una mejor selección de los emplazamientos, una gestión basada en los ecosistemas y un uso responsable del agua y los piensos. Las políticas de la FAO también hacen hincapié en la resiliencia, al ayudar a los acuicultores a prepararse para riesgos como las condiciones meteorológicas extremas y los cambios en las condiciones del agua.

Los sistemas de certificación, como los desarrollados por la Global Aquaculture Alliance (a través de sus Mejores Prácticas Acuícolas) y el Aquaculture Stewardship Council (ASC), establecen normas claras que las explotaciones deben cumplir para ser reconocidas como sostenibles. Estas certificaciones se centran en áreas como la gestión de la calidad del agua, la protección de la biodiversidad, la salud animal y la responsabilidad social. En el contexto del cambio climático, fomentan la reducción de la contaminación, el uso eficiente de la energía y la supervisión cuidadosa de las condiciones medioambientales. Para el cultivo de mariscos, las normas del ASC también promueven el mantenimiento de una buena calidad del agua y la protección de los ecosistemas circundantes.

Las mejores prácticas promovidas en estos marcos incluyen la supervisión periódica de la calidad del agua, densidades de población responsables, el uso de especies o cepas resilientes y la reducción de la producción de residuos. También apoyan innovaciones como la acuicultura multitrófica integrada (por ejemplo, la combinación de mariscos con algas marinas), que puede mejorar el rendimiento medioambiental.

En general, estas políticas y certificaciones ayudan a garantizar que los sistemas de acuicultura estén mejor preparados para el cambio climático, al tiempo que minimizan su impacto en el medio ambiente.