

Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad

Á. Borja

Fundación AZTI. Herrera Kaia. Portualdea, s/n. E-20110 Pasaia (Guipúzcoa), España.
Correo electrónico: aborja@pas.azti.es

Recibido en julio de 2001. Aceptado en febrero de 2002.

RESUMEN

España es una potencia acuicultora en Europa que ha ido incrementando progresivamente la producción realizada en jaulas en el mar. Para que esta actividad sea sostenible en el tiempo, este trabajo propone un decálogo de acciones a seguir en la acuicultura española que impida que esta actividad colisione con otras que se realizan en el medio marino. Para ello se hace un repaso de los impactos que la acuicultura produce en el medio, proponiéndose un protocolo para la identificación de áreas adecuadas para la acuicultura y otro para la gestión medioambiental de las instalaciones. La acuicultura será sostenible si se planifica bien y se gestiona adecuadamente la producción.

Palabras clave: Acuicultura, sostenibilidad, impactos, protocolo, gestión ambiental, vigilancia ambiental.

ABSTRACT

The environmental impact of aquaculture, and its sustainability

Spain is a major aquacultural producer in Europe, and its sea cage production has been progressively increasing. The present study proposes a decalogue for action in the Spanish aquaculture industry, in order to avoid interfering with other marine activities. After reviewing the main impacts of aquaculture, we propose a protocol to identify the areas appropriate for aquaculture, as well as a protocol for the environmental management of these firms. Aquaculture will be sustainable if it is well planned, and production is properly managed.

Keywords: Aquaculture, sustainability, impacts, protocol, environmental management, monitoring.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA ACUICULTURA EN ESPAÑA

La producción acuícola española está claramente diferenciada en dos grupos: acuicultura continental y acuicultura marina. Según las estadísticas de Jacumar (Acta de la 50.^a reunión de Jacumar. Santander, España, mayo de 2001; no publicado) esta última ascendió a 272 231 t en el año 2000. El producto marino dominante es el mejillón

(243 104 t en 2000, 89 % del total), pero el grupo que presenta un crecimiento sostenido y relevante es el de los peces marinos: su producción se ha multiplicado por 62 en el periodo 1985-2000, según datos de Jacumar, 2001 (no publicado), y su crecimiento medio en los últimos años ha sido del 24% anual (de 4 490 t en 1992 se ha pasado a casi 25 000 t en 2000). En este grupo es previsible que continúe el crecimiento de la producción de las especies actualmente cultivadas, especialmente

dorada *Sparus auratus* Linnaeus, 1758 (62 % de la producción actual); túnidos (15 %); rodaballo *Scophthalmus maximus* (Linnaeus, 1758) (15 %), y lubina *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) (6 %) (figura 1).

El sector empresarial acuícola está dominado por las empresas pequeñas y medianas. España es actualmente una potencia acuicultora en Europa, pero para mantener su posición e incrementar los recursos que genera se puede hacer lo siguiente: a) optimizar las actuales unidades de producción, mediante la mejora de la genética, la nutrición, el control de enfermedades (patología) o la mecanización y automatización; b) cultivar nuevas especies, especialmente de peces marinos; c) desarrollar nuevos sistemas de cultivo que permitan aprovechar zonas o recursos hasta ahora no explotados (por ejemplo, jaulas en mar abierto, jaulas sumergidas, circuito cerrado...); y d) proteger el medio ambiente, desde el punto de vista tanto del impacto sobre el medio marino, como del impacto producido por la introducción de nuevas especies o nuevas enfermedades.

ACUICULTURA Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Los dos últimos aspectos mencionados en el apartado anterior se encuentran en gran expansión. Así, gran parte del éxito habido en España en el incremento de producción se debe al desarrollo de cultivo en jaulas de peces. Este cultivo requiere que los lugares donde se realice tengan unas características determinadas, que incluyen una buena calidad de aguas, ya que ésta incide en la producción y en la calidad del producto, lo que permitirá el desarrollo sostenible de la actividad acuicultora.

El desarrollo sostenible es un objetivo social ampliamente aceptado para el desarrollo económico de los recursos naturales, de acuerdo con el informe de la comisión Brundtland. Según la FAO (FAO, 1988): "Desarrollo sostenible es la gestión y conservación de los recursos naturales y el cambio en la orientación tecnológica e institucional que asegure el alcance y la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones actuales y futuras. Tal desarrollo sostenible conserva la tierra, el

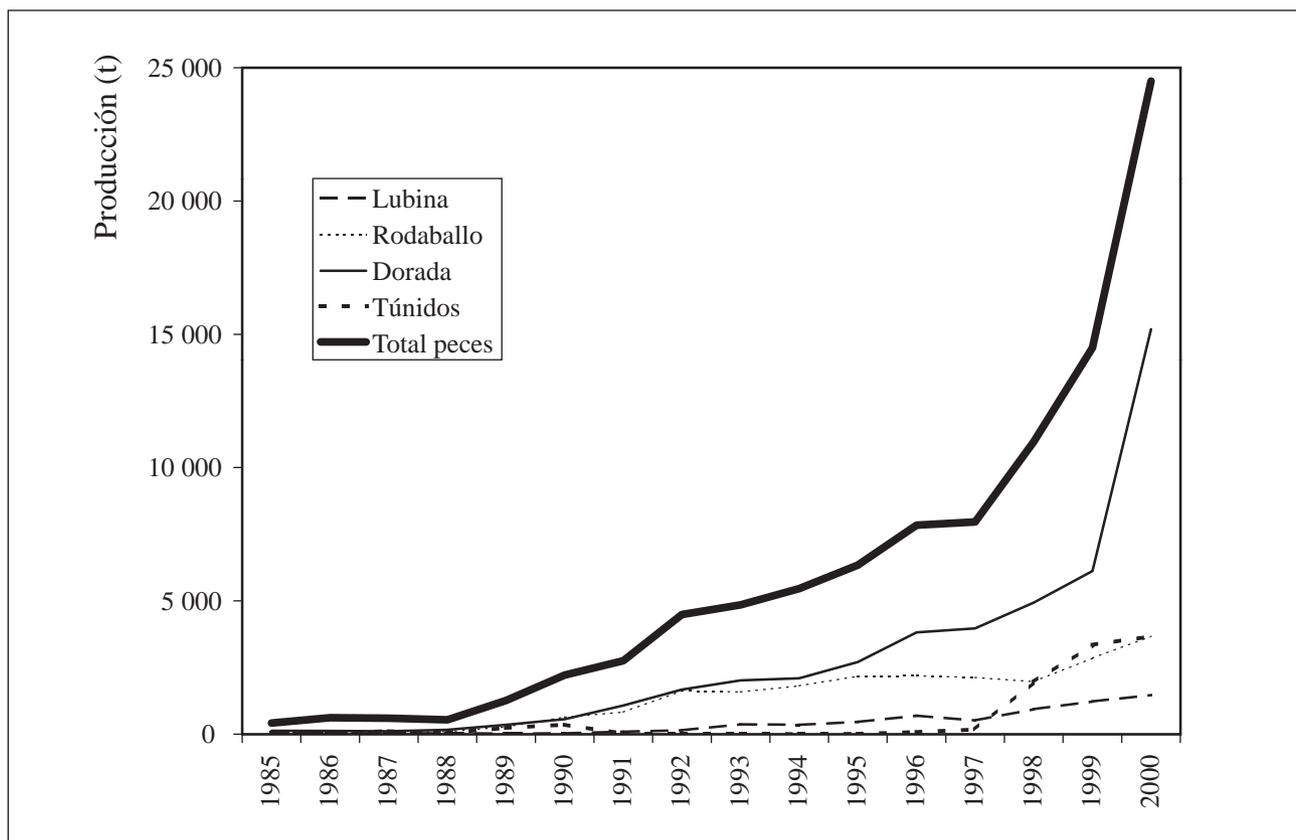


Figura 1. Evolución de la producción acuícola marina de las principales especies piscícolas en España. (Fuente: Jacumar. Acta de la 50.ª reunión de Jacumar. Santander, España, mayo de 2001; no publicado).

agua, los recursos genéticos de plantas y animales, no degrada el medio ambiente, es técnicamente adecuado, económicamente viable y socialmente aceptable”.

En este sentido, el Gesamp (GESAMP, 1991) propuso una serie de cinco estrategias para la sostenibilidad de la actividad acuicultora:

- 1) Hacer un uso correcto de la capacidad ecológica de las zonas costeras para generar productos acuícolas e ingresos.
- 2) Desarrollar mecanismos de gestión que reduzcan conflictos con otras actividades.
- 3) Prevenir y reducir los impactos ambientales de la acuicultura.
- 4) Gestionar y controlar las actividades de acuicultura para asegurar que sus impactos se sitúen en límites aceptables.
- 5) Reducir los riesgos sanitarios por consumo de productos acuícolas.

A partir de estas propuestas es preciso definir unas acciones que posibiliten dicha sostenibilidad, y se puede hacer un decálogo seleccionado según las características de la acuicultura española (adaptado de Barg, 1994):

- Realizar planes de gestión y desarrollo de acuicultura costera o, lo que es lo mismo, realizar una gestión integrada de las zonas costeras.
- Aplicar los procesos de estudio o evaluación de impacto ambiental (EsIA o EIA) a la acuicultura, independientemente de que la legislación lo exija o no.
- Mejorar las operaciones de gestión de la acuicultura, asegurando la salud del *stock*, reduciendo los vertidos, etcétera.
- Establecer la capacidad del ecosistema para conseguir una acuicultura sostenible.
- Establecer guías de buenas prácticas para el uso de compuestos bioactivos (GESAMP, 1997).
- Evaluar las consecuencias de la introducción de especies alóctonas, utilizando los códigos del CIEM.
- Regular los vertidos desde tierra mediante estándares de calidad (límites de vertido, objetivos de calidad).
- Establecer medidas de control de los productos acuícolas, incluyendo Directivas Europeas, *Codex Alimentarius*, etc., e informando al público.
- Aplicar incentivos para reducir la degradación ambiental por la acuicultura.
- Vigilar el cambio ecológico.

ACUICULTURA Y OTROS USOS

La planificación es necesaria, ya que los conflictos que surgen de la utilización de los recursos costeros por parte de la acuicultura en desarrollo, así como los efectos adversos que puede tener este tipo de industria sobre el medio ambiente, han dado lugar a ciertas dudas sobre la idoneidad y continuidad del sostenimiento de la acuicultura en el medio marino.

Al igual que la mayor parte de las industrias costeras tradicionales, la acuicultura está en conflicto creciente con otras actividades costeras (navegación, pesca, esparcimiento, desarrollo industrial, vida salvaje, etc.). En la tabla I se pueden observar algunas de las interacciones más importantes existentes entre la acuicultura y las actividades más importantes que compiten con ella por los recursos espaciales, se enfrentan por la calidad del medio, se complementan en aspectos socioeconómicos o es preciso regular.

Así, la industria, los puertos (comerciales o deportivos) y las urbanizaciones compiten negativamente con la acuicultura por el uso de terrenos, el tráfico marítimo, los dragados, el aporte de contaminantes por parte de aquellos, etc. En cambio, el aporte de aguas calientes de la industria energética puede ser positivo para el desarrollo de cultivos, al igual que las infraestructuras compartidas. Por su parte, el turismo compite de manera negativa en aspectos similares a estos mencionados, pero hay que añadir aspectos como el mantenimiento de la naturalidad del paisaje, la vida salvaje o la protección de la naturaleza; mientras que el desarrollo de mercados locales, empleo o infraestructuras provoca sinergias positivas. Quizá las actividades más complementarias sean la acuicultura y la pesca ya que, aun cuando haya aspectos negativos (competencia en áreas de pesca o puesta, fugas genéticas o enfermedades), la formación especializada del sector pesquero lo hace susceptible de engrosar el empleo acuícola, los mercados son comunes, la pesca puede proveer alimento para los animales estabulados, etcétera.

IMPACTOS DE LA ACUICULTURA

El desarrollo sostenible de la acuicultura costera pasa por un buen entendimiento con el medio ambiente, respetándolo y realizando acciones que

Tabla I. Interacciones entre la acuicultura y diversas actividades que se realizan en el medio marino. (-): la interacción es negativa; (+): la interacción es positiva; (-/+): puede ser de los dos tipos. (Adaptado de Dosdat *et al.*, 1996).

Actividad	Industria y puertos	Urbanización	Turismo	Agricultura	Pesca
Recursos espaciales	Necesidad de terrenos (-) Tráfico barcos (-) Zonas militares (-) Dragados (-)	Uso tierras (-) Necesidad de terrenos (-)	Necesidad de terrenos (-) Puertos deportivos (-) Navegación, baño, pesca (-) Lugares históricos (-)	Tierras costeras (-)	Áreas de puesta y cría (-) Arrecifes artificiales (-/+) Zonas de pesca (-)
Calidad del medio	Contaminantes (-) Aguas de lastre (-) Aguas calientes (+)	Vertidos (-) Materia orgánica (-) Bacterias y virus (-) Nutrientes (-)	Pinturas <i>anti-fouling</i> (-)	Fertilizantes (-) Pesticidas (-) Materia orgánica (-) Sólidos en suspensión (-) Gestión aguas dulces (-/+)	Transmisión de enfermedades (-) Fugas genéticas (-)
Economía	Infraestructuras (+) Atracción inversiones (-/+)	Mercados (+) Infraestructuras (+)	Atracción inversiones (-/+) Empleo estacional (-/+) Mercados locales (+) Infraestructuras (+)	Infraestructuras (+)	Atracción inversiones (-/+) Mercados (+) Infraestructuras (+) Alimento para acuicultura (+)
Recursos sociales		Zonas de habitación (-)	Ecoturismo (+) Vida salvaje (-)		Educación (+) Competencia interna (-)
Regulación	Áreas alrededor (-) Reserva puertos (-) Zonas militares (-)	Regionales/ locales (-) Políticas (-/+)	Áreas protegidas (-) Fauna y flora salvajes (-) Estándares ambientales (+)		Reservas pesca (-/+)

tiendan a disminuir los posibles impactos que se deriven de dicha actividad. Para ello, han de adoptarse medidas en la producción para no degradar el medio ambiente y que a su vez sean técnicamente apropiadas, económicamente viables y socialmente aceptadas.

Antes del desarrollo de la tecnología para el cultivo en jaulas en los años sesenta, la mayor parte de la producción piscícola se realizaba en viveros y estanques. A partir de los años setenta, el cultivo de especies piscícolas tomó un gran impulso gracias al cultivo de ciertas especies, como salmón atlántico, *Salmo salar* Linnaeus, 1758, dorada, lubina, etc., en jaulas flotantes.

El impacto medioambiental de una piscifactoría marina depende en gran medida de la especie, el método de cultivo, la densidad del *stock*, el tipo de alimentación y las condiciones hidrográficas. En la tabla II se pueden observar algunos de los impactos más importantes que puede producir.

Los desechos, tanto orgánicos como inorgánicos, de las piscifactorías pueden causar un enriquecimiento en nutrientes e incluso eutrofización en el caso de que las zonas destinadas al cultivo sean zonas semiconfinadas. Cerca de un 85 % del fósforo, un 80-88 % del carbono y un 52-95 % del nitrógeno introducido en las jaulas puede pasar al medio marino a través de los desechos de la comida, las excreciones de los peces, la producción de heces y la respiración.

Estudios llevados a cabo en diversas piscifactorías han demostrado que en ciertas ocasiones se puede detectar un impacto significativo en un radio de un kilómetro alrededor de las jaulas de cultivo, siendo éste generalmente mayor en el fondo, donde se puede observar, entre otros efectos, incremento en la demanda de oxígeno, producción de sedimentos anóxicos y de gases tóxicos, cambios en las comunidades, disminución de la diversidad del bentos, alteraciones en la biodiversidad, desa-

rollo de especies resistentes a la contaminación que pueden resultar dañinas para las especies cultivadas y *blooms* de fitoplancton (tabla II).

Otro problema que se plantea en ciertas regiones es la introducción de especies alóctonas para su cultivo, lo que se traduce en un empobrecimiento de la biodiversidad del ecosistema marino debido a la competencia e hibridación y alteraciones en las cadenas tróficas (tabla II).

El uso indiscriminado de fármacos (antibióticos para controlar o prevenir enfermedades de los peces en granjas costeras y hormonas para el crecimiento) ha dado como resultado cambios cualitativos y cuantitativos en la flora microbiana, efectos tóxicos en los organismos salvajes, alteraciones en la biodiversidad, incidencia en las cadenas tróficas, desarrollo de defensas antibacterianas en patógenos de los peces y transferencia de resistencia antibacteriana a patógenos humanos (tabla II).

Otro tipo de agentes químicos, como los pesticidas o los antiincrustantes, son también contaminantes para el medio marino y pueden alterar gravemente el ecosistema al resultar tóxicos para la vida marina y la especie cultivada, lo cual, a través de su consumo, puede convertirse en un peligro para la salud humana (tabla II). Además, hay que añadir a todo ello la carga orgánica debida a la limpieza periódica de las incrustaciones orgánicas de las jaulas.

El propio lugar donde se realice la actividad puede provocar alteraciones. Por ejemplo, en la ubica-

ción en tierra se puede dar salinización de suelos o acuíferos, acidificación de suelos, cambios en la vida salvaje, etcétera (tabla II).

¿QUÉ SE PUEDE HACER PARA MINIMIZAR LOS IMPACTOS?

No todo lo anteriormente mencionado tiene por qué darse en un mismo lugar y momento, pero la posibilidad de que alguno de esos efectos no deseados pueda llegar a desarrollarse hace que sea preciso establecer una metodología que trate de minimizar dichos impactos para proteger el medio y garantizar la sostenibilidad de la actividad. Por ello, AZTI (Instituto Tecnológico y Pesquero del País Vasco) propuso a Jacumar una metodología aplicable a las jaulas de cultivo en mar, que fue adoptada en su 49.^a reunión, de 6 de noviembre de 2000 (no publicado) y que incluye: un protocolo para la identificación de zonas adecuadas para la instalación de jaulas de cultivo en el mar, y un protocolo para la gestión medioambiental de las instalaciones de acuicultura en jaulas.

Protocolo para la identificación de zonas adecuadas para la instalación de jaulas de cultivo en el mar

Las áreas marinas donde se puede realizar la acuicultura en jaulas con ciertas garantías de éxito

Tabla II. Actividades de la acuicultura que producen impactos y principales factores que pueden verse impactados. (○): impacto notable; (●): impacto moderado; (—): no hay relación.

Impactos	Actividades de la acuicultura									
	Especies	Alimento	Productos químicos	Pesticidas	Hormonas	Heces	Lugares	Especies alóctonas	Pozos	Productos <i>anti-fouling</i>
Enriquecimiento	—	●	—	—	—	●	—	—	—	—
Cadenas tróficas	●	●	○	○	—	●	—	○	—	○
Consumo de oxígeno	●	●	—	—	—	●	—	○	—	—
Biodiversidad	—	●	●	●	○	○	—	●	—	○
<i>Fouling</i>	—	—	—	—	—	—	●	—	—	●
Cambios bentos	—	○	●	○	—	○	—	○	—	○
Resistencia antibióticos	—	—	●	—	—	—	—	—	—	—
Salinización acuíferos	—	—	—	—	—	—	●	—	●	—
Acidificación suelos	—	○	—	—	—	●	●	—	—	—
Subsistencia de tierras	—	—	—	—	—	—	●	—	●	—
Afección vida salvaje	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—
Salinización suelos	—	—	—	—	—	—	●	—	○	—
Cambios de sustrato	—	●	—	—	—	●	—	—	—	—
Especies no deseables	—	●	—	—	—	●	—	—	—	○
Eutrofia	—	●	—	—	—	●	—	—	—	—
Toxicidad de especies marinas	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●

deben reunir una serie de condiciones que es preciso que cumplan en mayor o menor grado. Algunos de los principales factores involucrados, así como los rangos en que su presencia puede considerarse buena, media o mala para realizar esta actividad se pueden observar en la tabla III. Estos factores se pueden reunir en varios grupos.

Factores que inciden en la calidad del producto elaborado y en la sostenibilidad de la actividad

1) Buena calidad de las aguas: entendida como suficiente para realizar la actividad, evitando lugares contaminados. La concentración de oxígeno disuelto debe ser normalmente alta (orientativamente > 70% de saturación). Se deben controlar las siguientes variables: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos en suspensión y contaminantes (en este caso no de manera sistemática, sólo en caso de que existan sospechas de una posible presencia). Hay que hacer notar la importancia que determinados eventos pueden tener localmente, por ejemplo, escorrentías o avenidas de ríos cercanos, por lo que es necesario disponer de datos históricos.

2) Buena renovación de las aguas: la corriente en la zona debe ser suficiente para evitar que las acumulaciones de productos de desecho (heces y restos de comida) generen desoxigenación del agua. La corriente debe favorecer la dispersión, difusión y mezcla de los residuos, evitando para la actividad lugares muy cerrados o con poca renova-

ción del agua. Se recomienda controlar la velocidad y dirección de la corriente durante al menos 30 días, tomando datos cada 10 minutos (al menos debe colocarse un correntímetro a la profundidad media de la jaula y, si es posible, a varias profundidades en la zona), las mareas (en el caso de que sea aplicable), la meteorología (velocidad y dirección del viento a lo largo del año, principalmente) y los aportes cercanos (caudales de ríos o ramblas, si los hubiera, y materiales en suspensión). Siempre que sea posible, es mejor disponer de datos históricos.

Factores que inciden en la seguridad de las jaulas y su contenido

1) Oleaje. Se encuentra en relación con la resistencia de las jaulas y con el estrés al que se ven sometidos los peces, por tanto, con la supervivencia del negocio. Se debe asegurar que la frecuencia y las alturas de la ola (máxima y significativa) no sobrepasen los estándares de resistencia fijados para el modelo de jaula. Los datos se pueden obtener de la red de boyas de medida de oleaje del Departamento de Clima Marítimo, perteneciente al ente público de Puertos del Estado, o bien haciendo cálculos teóricos a partir del viento. Se recomienda controlar: la dirección predominante del oleaje (frecuencia de cada cuadrante); el periodo de la ola; las alturas significativa y máxima (según los regímenes extremales escalares); el oleaje umbral para la consideración de temporal en la zona; los días por año que se supera dicho valor; el *fetch* o ba-

Tabla III. Factores que se deben tener en cuenta al seleccionar un lugar para acuicultura en jaulas. (Adaptado de Dosdat *et al.*, 1996).

Factor	Bueno	Medio	Malo
Exposición	Parcial	Abrigado	Expuesto
Oleaje	de 1 a 3 m	< 1 m	> 3 m
Profundidad	> 30 m	de 15 a 30 m	< 15 m
Velocidad de la corriente (a -10 m)	> 15 cm/s	de 5 a 15 cm/s	< 5 cm/s
Contaminación aguas	Bajo	Medio	Alto
Temperatura máxima	de 22 a 24 °C	de 24 a 27 °C	> 27 °C
Temperatura mínima	12 °C	10 °C	< 8 °C
Salinidad media	de 25 a 35 USP	de 15 a 25 USP	< 15 USP
Salinidad (fluctuación)	< 5 USP	de 5 a 10 USP	> 10 USP
Oxígeno disuelto (% saturación)	> 100 %	de 70 a 100 %	< 70 %
Turbidez, sólidos en suspensión	Bajo	Moderado	Alto
Pendiente (topografía)	> 30 %	de 10 a 30 %	< 10 %
Sustrato	Arena o grava	Mezcla	Fango
Estado trófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
<i>Fouling</i>	Bajo	Moderado	Alto
Depredadores	No	Algunos	Abundantes

rrido (longitud del área de exposición al oleaje, es decir, recorrido sin obstáculos del viento en el mar); y el tipo de oleaje (*sea* o mar de viento: olas de origen próximo, o *swell* o mar de fondo: olas generadas a gran distancia).

2) Profundidad. En lugares con mareas se deberá tener en cuenta su presencia en relación con la seguridad, y en lugares tanto con mareas como sin ellas en relación con la dispersión de los residuos. Deben evitarse los lugares donde la profundidad por debajo de las jaulas sea menor que dos veces la profundidad que alcancen los paños de la jaula. Orientativamente, nunca deberían situarse en zonas con menos de 15 m de profundidad.

3) Viento. Aunque se ha mencionado en el apartado anterior, debe ser tenido en cuenta como generador de oleaje. Para ello es preciso disponer de datos del lugar más cercano posible, de al menos 10 años.

Factores que inciden en la competencia de usos

1) Se deben evitar los usos poco o nada compatibles con la acuicultura, como los vertidos, áreas protegidas, el turismo (parcialmente), las playas, el baño o la navegación, entre otros. Se debe tener idea de los usos actuales y futuros, mediante intercambio de información entre Administraciones, tratando de disponer de un catálogo de usos.

2) En este sentido, sería preciso tener una idea primaria sobre la biodiversidad de la zona (a través de datos de cartografía y evaluación de poblaciones, entre otros) para evitar llevar adelante proyectos que pudieran alterar comunidades de interés o especies protegidas. En todo caso, si fuera preceptivo, se debería acometer un análisis más profundo de estos aspectos al realizar el estudio de impacto ambiental.

Como resumen de los datos que se deben tener en cuenta para que una instalación pueda considerarse que está en un lugar idóneo, puede observarse la tabla III que es válida para instalaciones acuícolas en el Mediterráneo, aunque también puede adaptarse con facilidad al Atlántico. La combinación de los valores de los diferentes factores debe ser evaluada por un experto en medio marino y acuicultura, con el fin de establecer la importancia de cada uno y su posible incidencia en la actividad en el lugar escogido.

Mediante los datos arriba obtenidos y a partir de un modelo hidrodinámico contrastado (validado, probado y utilizado por personal experto), se deben realizar diversas simulaciones con los vientos más comunes en el área, validando los resultados con los datos de corrientes obtenidos y procediendo a estudiar la dispersión, la difusión y la mezcla de los residuos. Para ello, se utilizarán, además, los datos de batimetría del área, los datos de densidad, las mareas (si es el caso), los caudales (si es el caso) y el oleaje. Se deben utilizar tasas de sedimentación (como función de decaimiento) adecuadas al tamaño de las partículas alimenticias y a las heces.

Con esto se delimitará el alcance de la pluma de los desechos generados por la instalación, lo que proporcionará datos útiles para realizar el EsIA (si fuera preceptivo), tales como posibles áreas afectadas, carga contaminante, etc. En el posterior EsIA se establecerá la posible incidencia sobre otros usos, así como la distancia entre jaulas o entre instalaciones (es decir, pasillos de seguridad entre instalaciones) para evitar efectos sinérgicos entre ellas, y la capacidad de carga de la zona (para ello se puede consultar Beveridge, 1986).

Protocolo para la gestión medioambiental de las instalaciones de acuicultura en jaulas

En este protocolo se trata de recoger el contenido mínimo que deberían tener los EsIA y la posterior vigilancia ambiental a realizar en caso de que la instalación vaya adelante.

Estudios de impacto ambiental

Los estudios deberán tener en cuenta las legislaciones europeas, españolas y autonómicas y lo que en cada una se exija. Además, se puede consultar Barg (1994) para algunas actuaciones del EsIA.

Se estima que los EsIA no deben tener una receta única. Los estudios deben ser hechos por expertos en el medio marino y la acuicultura. En general, y como ya se ha dicho antes, estos estudios deben estar ligados a los resultados obtenidos en la modelización realizada en el primer protocolo y a los datos obtenidos en la primera fase. Los estudios se deberán adaptar a cada lugar, no haciendo listas exhaustivas de todo, sino centrándose en los aspectos que tengan mayor incidencia sobre los factores ambien-

tales y únicamente en aquéllos que puedan verse afectados. Como guía, se deberán aportar datos de:

1) Descripción del proyecto y alternativas, que incluyan localización, ocupación, señalización, características de la obra de instalación, características de la producción (especies, cantidades a producir, etc.) y características del manejo (alimentación, medicación, tratamiento de residuos, ciclos de producción, etcétera).

2) Columna de agua: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, propiedades ópticas (turbidez, sólidos en suspensión, transparencia medida mediante el disco de Secchi), nutrientes (fósforo, amonio y nitrógeno), clorofila. Podrían estudiarse contaminantes como metales o pesticidas (en este caso sería más conveniente su análisis en animales filtradores como mejillón u ostra). Estos datos deben servir para establecer el estado cero que permita comparar durante la vigilancia ambiental (una vez en funcionamiento la empresa) que los impactos reales se ciñen a los predichos, para poder actuar en consecuencia si esto no fuera así.

3) Sedimentos: distribución de sustrato blando en el área (unido a batimetría) con datos de granulometría, materia orgánica y potencial redox. En su caso podrán estudiarse contaminantes.

4) Comunidades de fondo: incidiendo especialmente en la presencia de comunidades de alto valor ecológico (fanerógamas marinas, coralígenas) o con interés especial (praderas de algas). Además de la identificación, se deberá disponer de datos de riqueza, abundancia, biomasa y diversidad. Se deberá evitar la cercanía de estas zonas, estableciendo un área de seguridad que deberá ser proporcionada por la modelización obtenida en el protocolo anterior.

5) Áreas protegidas: establecimiento de su existencia y tipos de protección.

6) Presencia de otras empresas de acuicultura: estudiar las posibles sinergias o efectos acumulativos (capacidad máxima de carga), a partir de los datos de simulación del protocolo anterior.

7) Interferencia con otros usos: centrarse en la pesca, la navegación y el turismo, principalmente.

8) La determinación de los impactos deberá hacerse de la manera más objetiva posible, para ello se utilizarán datos de base de contaminación, datos de legislaciones, datos de estudios anteriores de impacto ambiental, etc. El estudio se centrará en los impactos notables.

9) Un programa de vigilancia: debe incluir una propuesta de vigilancia.

En cuanto al diseño de muestreo, se debe decidir en cada caso en función del conocimiento previo que exista de la zona. En caso de no haber ninguna información previa el mínimo exigible podría ser:

– Dos muestreos en épocas extremas: invierno y verano.

– Cinco puntos de muestreo, diseñados en función de la dispersión preferente de los residuos de las jaulas. De ellos al menos uno deberá encontrarse bajo el punto donde se vayan a instalar las jaulas y otro deberá servir de control para el futuro en un área que previsiblemente no vaya a verse afectada.

– Las profundidades de muestreo quedan al criterio del especialista que haga el trabajo, en función del proyecto que se presente.

Programa de vigilancia ambiental

Se deberá centrar únicamente en aquellos aspectos que el EsIA haya determinado como afectados de manera notable. Deberá ser claro, explicitando qué factores ambientales se deben controlar (sólo los que sean afectados de manera notable) y qué variables se deben medir (algunas de las más utilizadas se pueden observar en la tabla IV). En este sentido, no todas las variables tienen por qué ser incluidas en la vigilancia. Sólo deberán tenerse en cuenta aquellas variables y matrices que sean relevantes para el seguimiento, valorando la relación coste de su adquisición - valor que proporciona (entendido como información que aporta a la vigilancia).

Para poder corregir en el futuro impactos no deseados no se debe vigilar lo accesorio sino lo fundamental. Por ejemplo, si se ha determinado que el problema radica en una pradera de fanerógamas el programa de vigilancia se centrará en ella, evitando hacer estudios caros y poco operativos sobre contaminantes en moluscos u otros compartimientos que no se vean afectados de manera notable. En este sentido, cada programa debe ser único; no hay recetas de aplicación general. Lo ideal es que el programa lo diseñe un experto.

La frecuencia de muestreo deberá determinarla el EsIA, aunque como regla general cada compartimiento del sistema puede tener frecuencias dife-

Tabla IV. Matrices y variables que pueden ser tenidas en cuenta al diseñar un programa de vigilancia ambiental, según el nivel de uso en dichos programas, el coste económico y el valor de la información obtenida. (A): alto; (M): medio, y (B): bajo. (Adaptado de GESAMP, 1996).

Matriz	Variable	Uso	Coste	Valor
Sedimentos	Granulometría, materia orgánica	A	B	A
	Potencial redox	M	B	A
	Discontinuidad vertical potencial redox	B	B	B
	Carbono orgánico total	A	M	M
	Nitrógeno total Kjeldal o nitrógeno total	B	M	M
Bentos	Presencia de Beggiaoa (de visu)	A	B	M
	Estructura comunidades del bentos	A	A	A
	Indicadores biológicos (índices bióticos)	B	A	A
	Presencia peces o macroinvertebrados (de visu)	A	B	B
Aguas	Oxígeno disuelto (porcentaje)	A	B	A
	DBO (sólo en instalaciones en tierra)	A	B	A
	Sólidos en suspensión	A	B	M
	pH (sólo en estanques)	B	B	B
	Transparencia (disco de Secchi)	B	B	B
	Nutrientes: nitrógeno	A	M	M
	Nutrientes: fósforo	B	M	M
	Clorofila	B	M	A

rentes: más cortas, o estacionales, los de gran variabilidad natural (como la columna de agua), y más largas, o anuales, los integradores de impacto (como los sedimentos o las comunidades del bentos).

Como conclusión, puede decirse que la acuicultura será sostenible si se planifica bien previamente y se gestiona adecuadamente mientras se realiza la producción.

BIBLIOGRAFÍA

Barg, U. C. 1994. Orientaciones para la promoción de la ordenación medioambiental del desarrollo de la acuicultura costera. *FAO Doc. Téc. Pesca* 328: 138 pp.

Beveridge, M. C. M. 1986. Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. *FAO Doc. Téc. Pesca* 255: 100 pp.

Dosdat, A., M. Héral, I. Katavic, M. Kempf, J. Prou y C. Smith. 1996. *Approaches for zoning of coastal areas with reference to Mediterranean aquaculture*. Priority Actions Programme Regional Activity Centre (PAP/RAC). PAP-10/EAM/GL.1. Split, Croacia: iv + 37 pp.

FAO. 1988. Aspectos de las políticas, programas, presupuestos y actividades de la FAO encaminados a contribuir a un desarrollo viable. *Documento para el 94.º periodo de sesiones del Consejo de la FAO, Roma, 15-25 de noviembre. CL 94/6*.

GESAMP. 1991. Reducing environmental impacts of coastal aquaculture. *Rep. Stud. GESAMP* 47: 35 pp.

GESAMP. 1996. Monitoring the ecological effects of coastal aquaculture wastes. *Rep. Stud. GESAMP* 57: 38 pp.

GESAMP. 1997. Towards safe and effective use of chemicals in coastal aquaculture. *Rep. Stud. GESAMP* 65: 40 pp.