

**SEGUIMIENTO AMBIENTAL EN INSTALACIONES DE ACUICULTURA MARINA:
ASPECTOS GENERALES Y EXPERIENCIAS EN ANDALUCÍA.**

J.C. Macias

Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero, S.A.
Avda. Reino Unido, Edif. Adytec. 4ª Planta. 41012 Sevilla. España,
jcmacias@dap.es

Nota preliminar.

La información expuesta en este artículo procede del análisis y la interpretación de diferentes trabajos realizados por la Unidad de Apoyo Técnico en Acuicultura de la Empresa Pública Dap, en materia de acuicultura marina y medio ambiente, y dirigidos hacia la evaluación de Programas de Vigilancia Ambiental que actualmente se desarrollan por parte de las empresas de acuicultura.

La revisión bibliográfica y documental de informes, proyectos y estudios, constituye una parte importante de otro trabajo más amplio encargado por la Empresa Pública de Gestión Medioambiental(EGMASA) de la Consejería de Medio Ambiente a la Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero(Dap), de la Consejería de Agricultura y Pesca, destinado a la evaluación de los efectos ambientales producidos por las actividades acuícolas en Andalucía.

Este reportaje tiene un carácter técnico- divulgativo y con él se ha pretendido exponer de forma genérica los diferentes aspectos que rodean un tema de gran interés para el sector de la acuicultura como es su relación con el medio ambiente.

Aunque la acuicultura marina, en comparación con otros sectores productivos y otras actividades que utilizan el litoral, puede tener un menor efecto sobre el medio ambiente, pero es obvio que puede producir algún impacto. Por ello, para asegurar el respeto a los valores medioambientales del entorno y cumplir sin fisuras los principios del desarrollo sostenible, lo importante será conocer cuáles pueden ser estos efectos para tratar de corregirlos y en su caso minimizarlos. En este estudio, se trata pues de identificar los indicadores ambientales para el seguimiento de la actividad tanto en instalaciones mar abierto como en instalaciones en tierra, contribuyendo a mejorar en el diseño de Programas de Vigilancia Ambiental para cada tipo de instalación.

Palabras Clave: impacto ambiental, indicadores medioambientales, programa de vigilancia ambiental, instalaciones en mar abierto, instalaciones en tierra.

Environmental monitoring of marine aquaculture facilities.

Aquaculture, like any other productive activity which uses natural resources, is prone to cause impacts on the environment. Nevertheless, both the magnitude and dimension of this influence being related to the type of made culture and the geographic location of the farm. The objective of this study was to study the environmental impact associated with the aquaculture activities (both inland and of shore), and to identify the best indicators in water column and in the seabed in order to improve the knowledge on the environmental impact of this activity, thus helping to improve the design of aquaculture environmental monitoring.

Key words: Environmental impact, monitoring, environmental indicators, environmental vigilance program, offshore facilities, inland facilities.

INTRODUCCIÓN

La Comisión Europea reconoce la importancia de la acuicultura en la reforma de la política pesquera común y la necesidad de desarrollar una estrategia para el desarrollo sostenible de este sector, y así, en septiembre de 2002 se publicó una Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo titulada "*La estrategia de la UE para el desarrollo sostenible de la acuicultura europea*", donde podemos encontrar, entre los retos más inmediatos, el solucionar los problemas medioambientales. Entre los objetivos prioritarios propuestos por la Comisión Europea se encuentra el "asegurar el cumplimiento de las normas medioambientales por parte del sector".

Por otro lado, la situación actual y futuro de la Acuicultura en España, se analizó en el "**Libro Blanco de la Acuicultura en España**" (MAPA, 2000), y según este, en España, las instalaciones de acuicultura no están produciendo un gran impacto sobre el medio ambiente, a excepción de las bateas de moluscos; sin embargo es cierto que el impacto de las jaulas marinas está poco estudiado. En cuanto a la investigación es preciso definir indicadores ambientales y modelizar los impactos de las instalaciones marinas. Se puede afirmar que los puntos que determinarán el desarrollo futuro de la Acuicultura en España, además del apoyo administrativo, serán la mejora en los sistemas de manejo y producción como los sistemas de depuración del agua, la automatización de las operaciones, el desarrollo de cultivos en mar abierto, y por supuesto la correcta y adecuada gestión ambiental.

La Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía apuesta por el desarrollo de la actividad, y esto se recoge en el *Programa de Acuicultura del Plan de Modernización del Sector Pesquero Andaluz*, que establece las bases que permitirán impulsar decididamente, durante los próximos años, el desarrollo sostenible de esta actividad en determinadas áreas costeras andaluzas, aprovechar sus potencialidades acuícolas para generar riqueza y empleo, y preservar y mejorar la calidad medioambiental de nuestras costas, la mejor garantía para la sostenibilidad de las actividades económicas que tienen como sustrato el litoral y, muy especialmente, de la producción regular de cultivos marinos.

Aunque la acuicultura marina, en comparación con otros sectores productivos y otras actividades que utilizan el litoral, puede tener un menor efecto sobre el medio ambiente, es obvio que puede producir algún tipo de impacto. Sobre esta materia existe poca información debido principalmente a la dificultad y coste de obtención, y a que es una actividad relativamente nueva a escala industrial en nuestro país.

Los objetivos planteados a la hora de abordar el trabajo aquí comentado fueron:

- Evaluar la incidencia ambiental de la actividad acuícola estudiada sobre el medio ocupado.
- Caracterizar los impactos derivados de la actividad acuícola estudiada.
- Identificar los parámetros indicadores de la influencia ambiental.
- Apoyar el diseño de los programas de vigilancia y control en instalaciones de acuicultura.
- Aportar criterios para la valoración de los proyectos e informes ambientales de nuevas instalaciones de acuicultura.

Metodología

La metodología aplicada para la realización de este estudio se estructuró en cuatro áreas:

1º Trabajo de gabinete, en el que se estudiaron los procesos productivos más importantes, describiendo los sistemas de producción y las especies cultivadas. Se realizó una descripción del entorno natural de cultivo, es decir, el entorno donde se concentra la mayor parte de la producción. Por otro lado, bibliográficamente se analizaron los potenciales efectos o impactos sobre el medio (agua y sedimentos), y también los riesgos ambientales que la actividad puede sufrir, como es el caso de los vertidos en las proximidades del medio de cultivo. A partir de aquí se identificaron los parámetros de estudio en cada uno de los subsistemas a evaluar:

SUBSISTEMA		PARÁMETROS	OBJETIVOS Y CRITERIOS
AGUA		Tª Agua(°C), O ₂ Disuelto(mg/l), pH, Salinidad (g/l), Conductividad(ms/cm), Amonio(mgNH ₄ /l), Clorofila A (mg/m ³), Carbono Organico Total(mg/l), Fosfatos (mg p/l), Fósforo Total(mg P/l), Nitratos (mg NO ₃ /l), Nitritos (mg NO ₂ /l), Nitrógeno total, Sólidos en suspensión(mg/l).	Estudio de la calidad de agua y sedimentos mediante el seguimiento de los parámetros más representativos y su evolución espacio-temporal.
SEDIMENTO	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO	Carbono Orgánico Total (g/Kg), Fósforo Soluble (mg/Kg), Nitrógeno Total Soluble (Mg/Kg), Potencial Redox (mV)	
	BENTOS	Índice de Biodiversidad de Shanon, Equitatividad, Índice de Margalef(Riqueza Específica).	Estudio de las comunidades bentónicas, mediante el análisis de las modificaciones en la composición de la fauna bentónica.

GRANULOMETRÍA	Composición granulométrica y caracterización sedimentológica	Estudio de la estructura sedimentaria de los fondos marinos, mediante el seguimiento de granulometría y la distribución de los diferentes tipos de granos.
VISUAL	Identificación de biocenosis y ecosistemas	Evaluación de fondos mediante el control periódico e in situ de la situación del fondo marino situado bajo la planta.

Tabla I: Parámetros indicadores seleccionados y criterios de valoración.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación se seleccionaron las instalaciones de acuicultura sobre las que se realizaría el estudio: tres instalaciones con cultivos en tierra y otras tres en mar abierto; se planificaron las campañas de muestreo y seguimiento ambiental, las cuales incluían muestreos con una periodicidad mensual, trimestral o semestral, dependiendo del subsistema y del parámetro.

2º. Trabajo de campo. La campaña de muestreo se realizó entre julio de 2003 y enero de 2004 en las instalaciones seleccionadas, todas de engorde de peces marinos. Los trabajos se realizaron en colaboración con técnicos y medios de las empresas productoras, además del apoyo de las embarcaciones de Vigilancia y Control de la Calidad de Aguas Litorales (Barcos AMA). Las muestras tomadas eran envasadas, etiquetadas y enviadas al laboratorio encargado de su análisis.

Figura 1: Imágenes de las muestras y del laboratorio de procesado. Tabla de puntos de muestreo.
Fuente: Empresa Publica Dap, Empresa Pública Egmasa.

3º. Trabajo de laboratorio: realizado en el Laboratorio de Vigilancia y Control de la Contaminación de Motril, en el cual se analizaron las muestras obtenidas durante todos los meses de muestreo.

4º. Posteriormente, los resultados analíticos se procesaron y trataron mediante hojas de cálculo y Sistemas de Información Geográfica(SIG), para finalmente realizar una serie de interpretaciones y propuestas.

SECTOR ACUÍCOLA Y AMBITO GEOGRÁFICO

El sector de la acuicultura en Andalucía está compuesto por más de 70 empresas, principalmente dedicadas al engorde de dorada y lubina, tanto en tierra como en jaulas flotantes, y cuya producción ascendió en el año 2004 a 7.415,5 toneladas. Cerca del 80% de este volumen fueron dorada y lubina. El 56,7% fueron producidas en instalaciones situadas en tierra, mientras que el 43,3% se produjeron en instalaciones ubicadas en mar abierto. Teniendo en cuenta las peculiaridades del sector respecto a la heterogeneidad de los sistemas y las especies de cultivo se seleccionaron las instalaciones.

Por tanto, el ámbito del estudio se centró en el litoral de la Comunidad Autónoma de Andalucía, región situada al Sur de Europa y que se caracteriza principalmente por la existencia de masas de agua con influencia Atlántica y Mediterránea, y de zonas costeras con presencia de estuarios y marismas y zonas de mar abierto respectivamente. El ámbito específico del estudio se centró en seis instalaciones distribuidas a lo largo del litoral andaluz:

- Una en la provincia de Huelva(marismas de Ayamonte)
- Dos en la provincia de Cádiz(Marismas del Río San Pedro y Saco interno de la Bahía de Cádiz)
- Una en la provincia de Málaga(costa de Benalmádena)
- Una en la provincia de Granada(costa de Salobreña)
- Una en la provincia de Almería(costa de Aguadulce- Enix)

ASPECTOS NORMATIVOS

Desde el punto de vista normativo, la acuicultura marina en Andalucía, es competencia exclusiva de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía según el Estatuto de Autonomía de Andalucía y desarrollada por la Ley 1/2002, de 4 de abril de 2002, de Ordenación, Fomento y Control de la Pesca Marítima, el Marisqueo y la Acuicultura Marina en Andalucía (en adelante Ley 1/2002). Pero dado que utiliza como soporte para su desarrollo principalmente el dominio público marítimo- terrestre y el dominio público portuario, depende de la participación e informes de otras administraciones (Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente, Puertos del Estado del Ministerio de fomento), y de la administración con competencias en materia de medio ambiente (Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía).



Figura 3: Distribución de competencias y legislación aplicable en Andalucía.
Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista práctico y atendiendo a la normativa citada, actualmente la tramitación de una solicitud de cultivos marinos implica la presentación de un "Proyecto Acuícola", compuesto a su vez de un Proyecto de Obra Civil, una Memoria Biológica, un Proyecto de Balizamiento, un Estudio Económico y una Memoria Ambiental (EIA, IA, etc). Centrándonos en este último, el **Estudio de Impacto Ambiental**, contendrá, según el Decreto que regula la Evaluación de Impacto Ambiental, la siguiente información:

- Descripción del proyecto y sus acciones.
- Inventario ambiental y descripción de las interacciones ecológicas y ambientales claves.
- Identificación y valoración de impactos en las distintas alternativas.
- Propuesta de medidas protectoras y correctoras.
- **Programa de vigilancia ambiental.**
- Documento de síntesis.

A su vez, el Programa de vigilancia ambiental, según se desprende de esta propia norma, debe ser un sistema que garantice el cumplimiento de las indicaciones y medidas protectoras y correctoras, contenidas en el Estudio de Impacto Ambiental y además deberá incorporar al menos los siguientes aspectos:

- Definición de los objetivos de control, identificando los sistemas afectados, los tipos de impactos y los indicadores seleccionados.
- Determinación de las necesidades de datos para lograr los objetivos de control.
- Definición de las estrategias de muestreo: Será necesario determinar la frecuencia y el programa de recolección de datos, las áreas a controlar y el método de recogida de datos.
- Comprobación, en la medida de lo posible, de la disponibilidad de datos e información sobre programas similares ya existentes.
- Análisis de la viabilidad del programa propuesto, determinando las exigencias de plazos, períodos, personal, presupuesto y aquellos otros aspectos que se consideren relevantes.
- Propuesta para la elaboración de informes periódicos en los que se señalen los resultados de los controles establecidos en los puntos anteriores. Se describirá la frecuencia y período de su emisión.

Los valores límites de referencia para determinar la calidad de agua en el litoral de Andalucía se regulan a partir del Decreto 54/1999, de 2 de marzo, por el que se declaran las zonas sensibles, normales y menos sensibles en las aguas del litoral y de las cuencas hidrográficas intracomunitarias de la Comunidad Autónoma de Andalucía (Tabla adjunta)

Situación Geográfica zonas estudiadas	Clasificación Aguas Litorales	Consideración
Marismas de Isla Cristina. Huelva	Aguas Especiales o Aguas limitadas	Zona Menos Sensible
SO Bahía de Cádiz. Cádiz		Zona Sensible
NO Bahía de Cádiz. Cádiz		Zona Sensible
Costa de Málaga	Aguas Menos Limitadas	Zonas Normales
Costa de Granada		
Costa de Almería		

Por otro lado, la Orden de 14 de febrero de 1997, clasifican las aguas litorales andaluzas y establecen los objetivos de calidad de las aguas afectadas directamente por los vertidos (Tabla III).

Cabe destacar que estos valores solo se consideran para la calidad de aguas, no existiendo valores para referencias legalmente establecidos para la calidad de sedimentos.

PARÁMETRO	Aguas Normales	Aguas Menos Limitadas	Aguas Especiales	Aguas Limitadas
Amonio (mgNH ₄ /l)	0.6	1.2	1	1
Nitratos (mgNO ₃ /l)	0.7	1.4	1	1
Nitritos (mgNO ₂ /l)	0.6	1	0.6	0.6
Fósforo tot.(mgP/l)	0.6	0.8	0.6	0.6
COT (mg/l)	2	5	3	3
Sólidos Susp.(mg/l)	1.15 *MN	1.3*MN	1.2*MN	1.2*MN

REFERENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES

En España, diversas Universidades y Centros de Investigación vienen trabajando en esta materia en los últimos años, unos en el ámbito de Planes Nacionales de Cultivos Marinos Jacumar y otros desarrollando proyectos de investigación propios o conjuntos, a nivel nacional e internacional.

Los Planes Nacionales JACUMAR desarrollados y/o en desarrollo y relacionados con el tema son:

- Impacto ambiental de jaulas de cultivo (2003-05).
- Mejora de las condiciones técnicas de las jaulas de cultivo en España (2004-06).
- Minimización, tratamiento y aprovechamiento de residuos de acuicultura (2004-06).
- Mitigación del impacto ambiental generado por los cultivos marinos (2005-07).

Entre las Universidades españolas o Centros de Investigación que actualmente trabajan en esta materia están:

- Grupo de Investigación en Acuicultura. Instituto Canario de Ciencias Marinas.
- Instituto IMIDA-Acuicultura. Murcia
- Departamento de Química Analítica. Universidad de Almería.
- Departamento de Ecología. Universidad de Alicante.
- Instituto Torre de la Sal. Castellón
- Departamento de Biología Animal. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela.
- Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, y Escuela Politécnica Superior de Gandia. Universidad de Valencia.
- Instituto AZTI- Tecnalia.

Existen muchos trabajos de interés relacionados con la materia como el Protocolo para la gestión medioambiental de las instalaciones de acuicultura en Jaulas elaborado por AZTI y aprobado por JACUMAR, además de trabajos más específicos que desarrollan las diferentes CCAA en este campo.

Internacionalmente, el aspecto medioambiental de la acuicultura ha sido tratado por el GESAMP (Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution), patrocinado por la FAO, en un estudio titulado "*Reducción del impacto ambiental de la acuicultura marina*", donde se define la contaminación marina como la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o energías en el medioambiente marino (incluyendo estuarios), produciendo tanto efectos nocivos como daños sobre los recursos vivos, peligro para la salud humana, obstáculos para las actividades marinas, incluidas la pesca, deficiencia en la calidad para el uso del agua de mar y reducción en el desarrollo de actividades. En líneas generales, y según el GESAMP, los efectos ecológicos negativos que pueden producirse como consecuencia del desarrollo de la acuicultura marina, son los siguientes:

- Enriquecimiento de nutrientes y Eutrofización.
- Interacción por el alimento natural (moluscos-fitoplancton)
- Consumo de oxígeno.
- Efectos sobre la vida salvaje y destrucción de hábitats.
- Interacción entre poblaciones de cultivo escapadas con las especies salvajes.
- Introducción de especies aloctonas.
- Introducción de compuestos bioactivos (pesticidas y antibióticos).
- Introducción de agentes químicos a partir de las instalaciones.
- Introducción de hormonas y hormonas de crecimiento.

Así pues, en el ámbito internacional surge la preocupación de desarrollar el gran potencial acuícola que ofrecen sus costas en concordancia con la protección del medio ambiente, y así diversos organismos como la SEPA (Scottish Environment Protection Agency) en Escocia, o como la EPA (Environmental Protection Agency) en Estados Unidos, están implicados en el desarrollo de modelos de predicción de impactos, medidas de control o mecanismos de ordenación y fomento, etc. Analizando diversos artículos e informes de estos organismos, se extrae que, aunque existen pequeñas diferencias en la generación de los impactos porque proceden de distintas zonas geográficas y métodos de cultivos, etc, todos coinciden en la necesidad de una mayor recolección de datos en relación espacio- tiempo, la determinación de los distintos procesos biológicos, químicos y físicos a escala local y regional, y la determinación de modelos de predicción.

Como resultado de esta preocupación, se han puesto en marcha diversos proyectos conjuntos entre centros de investigación a escala internacional para abordar estos asuntos. Algunos de los más importantes son:

- MERAMED: Development of monitoring guidelines and modelling tools for environmental effects from Mediterranean aquaculture (SCOTLAND, NORWAY, GRECE, GERMANY).

- MEDVEG: Effects of nutrient release from Mediterranean fish farms on benthic vegetation in coastal ecosystems.
- BIOFAQs Biofiltration and Aquaculture: an Evaluation of Substrate Deployment Performance with Mariculture Developments(United Kingdom, Israel, Slovenia and Greece)
- AQCESS: Aquaculture and Coastal, Economic and Social Sustainability.
- ECASA: Ecosystem approach for sustainable Aquaculture. ESCOCIA, ESLOVENIA, ESPAÑA, ISRAEL, NORUEGA, GRECIA, UK, CROACIA, FRANCIA, SUECIA, PORTUGAL.
- ICES: Working Group on Environmental Interactions of Mariculture.

Existen además Guías, Códigos de Buenas Prácticas y otros documentos para el desarrollo ambiental del sector en países como CHILE, NORUEGA, ESCOCIA, IRLANDA, EEUU, CANADA.

CARACTERIZACIÓN DE IMPACTOS SOBRE EL MEDIOAMBIENTE Y RIESGOS SOBRE LA ACTIVIDAD

Respecto a la caracterización de impactos, existe amplia bibliografía al respecto pero en general se extrae que la acuicultura puede causar impactos sobre el medio ambiente a través de procesos como el consumo de recursos, el proceso de transformación o producción y la generación del producto final, sin embargo, este impacto estará íntimamente relacionado con el tipo de acuicultura realizado (especies, fase de cultivo, zona de implantación y volumen de producción). En la tabla 4, se muestran de forma esquemática los potenciales impactos ambientales que se pueden producir en cada una de las fases de desarrollo de un proyecto de acuicultura.

JAULAS FLOTANTES EN MAR ABIERTO.	ESTANQUES EXCAVADOS EN TIERRA
FASE DE CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES PRINCIPALES Y AUXILIARES.	
<ul style="list-style-type: none"> - Transformación del terreno. - Generación de residuos sólidos y líquidos(vertidos) - Generación de ruidos. 	
FONDEO E INSTALACIÓN DE LAS JAULAS: <ul style="list-style-type: none"> - Posicionamiento, transporte, fondeo y anclaje de las boyas de señalización marítima del polígono de cultivo. - Ensamblaje de las estructuras y piezas de las jaulas en tierra. - Fondeo de anclajes(muertos, anclas, etc) - Transporte de las jaulas flotantes y montaje del entramado de la instalación. 	CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DE LA GRANJA MARINA E INSTALACIONES AUXILIARES <ul style="list-style-type: none"> - Construcción estanques, canales y compuertas. - Construcción de instalaciones auxiliares, almacenes, etc. - Equipamiento de estanques de cultivo, canales e instalaciones auxiliares.
<ul style="list-style-type: none"> - Alteración de la calidad de aguas, fondos marinos y condiciones hidrodinámicas. - Incidencia paisajística. - Generación de residuos y/o ruidos durante el transporte y la instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Transformación y/o alteración del terreno. - Generación de vertidos, residuos y ruidos. - Cambios del paisaje o impacto visual.
FASE DE MANEJO OPERACIONAL DE LA INSTALACIÓN,	
<ul style="list-style-type: none"> - Generación de residuos orgánicos e inorgánicos - Alteración de calidad de agua. - Enriquecimiento o eutrofización. - Blooms de microalgas y/o fitoplancton tóxico. - Alteración del sedimento (fondo marino): sustrato y hábitats. - Alteraciones de las condiciones hidrodinámicas u oceanográficas. - Introducción de patologías en las poblaciones autóctonas - Escapes de peces cultivados - Proliferación de poblaciones de avifauna 	<ul style="list-style-type: none"> - Alteración de la calidad del agua. - Alteración de la calidad del sedimento. - Alteraciones de las condiciones hidrodinámicas. - Enriquecimiento o eutrofización. - Generación de residuos orgánicos e inorgánicos - Generación de vertidos líquidos - Introducción de patologías en las poblaciones autóctonas - Escapes de peces cultivados - Proliferación de poblaciones de avifauna - Incidencia paisajística.
PESCA, MANIPULACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> - Generación de residuos orgánicos e inorgánicos - Escapes de las especies producidas 	

Tabla 4: Potenciales impactos ambientales producidos por la actividad acuícola en cada una de sus fases.
Fuente: Modificada y adaptada del Libro Blanco de la Acuicultura en España. Mapa. 2001.

Pero en el sentido contrario, también el desarrollo de la actividad acuícola precisa un entorno medioambiental en equilibrio, que ofrezca buena calidad de aguas, sin presencia de actividades cercanas que generen sustancias contaminantes y en general unas condiciones que permitan desarrollar el ciclo vital de los peces en cultivo sin ningún tipo de problema.

La protección ambiental es un aspecto importante para el éxito de las explotaciones acuícolas, y así, en la Ley 23/1984, de 25 de junio, de Cultivos Marinos, en su TÍTULO V, sobre CONTAMINACIÓN Y DEFENSA ECOLÓGICA, en el Artículo 23, ya establecía que "en las zonas declaradas de interés para cultivos marinos los núcleos de población, los cultivos agrarios y las industrias que evacuaran al mar, directa o indirectamente, agua o residuos que puedan producir contaminación o enturbiamiento de las aguas, perjudiciales a las especies marinas, deberán estar dotados de los sistemas adecuados para que dicho perjuicio no pueda darse". Este asunto ya fue tratado en el informe Mc Alister titulado "Estudio Avanzado sobre la Acuicultura en la Comunidad Europea" (1999), y que es una referencia de discusión sobre la tendencia del desarrollo de los cultivos marinos en Europa, señalando que una de las principales limitaciones para la expansión esperada de la acuicultura en el litoral está relacionada con los problemas de calidad de aguas y el medio ambiente. De este informe se extrae la siguiente tabla:

CALIDAD DE AGUA Y LIMITACIONES DE LA ACUICULTURA EN EL LITORAL		
TIPO DE CONTAMINACIÓN	POSIBLES EFECTOS AMBIENTALES	
	Efectos Ambientales Generales	Limitaciones para la producción acuícola
Orgánica (Aguas residuales, agricultura, industria)	Incremento de la DBO, blooms algas, formación de sedimentos anóxicos, cambios en estructuras de ecosistemas.	Enfermedades, stress, mortalidad, reducción de la capacidad de carga, incremento del fouling en estructuras.
Inorgánica (Metales, Pesticidas, PCBs, Dioxinas)	Efectos crónicos sobre flora y fauna, distorsión genética e impacto sobre la biodiversidad.	Posible bio-acumulación en la cadena trófica, impactos subletales en el engorde, disminución de la resistencia a enfermedades
Sólidos en Suspensión (descarga de ríos, obras costeras, actuaciones sobre el fondo marino)	Reducción de la productividad, Anoxia en bentos, cambios en estructuras de ecosistemas, pérdida de hábitats bentónicos.	Irritación de branquias, aumento de la turbidez, reducción del crecimiento en bivalvos, contaminación del stock.
Patógenos	Incremento de hepatitis A y B, Episodios víricos, gastroenteritis, y colera.	Exposición y acumulación de humanos a través de moluscos
Térmica	Cambios puntuales en estructuras de ecosistemas.	Impacto en el crecimiento de los peces (puede ser positivo)
Derrames de fuel	Polución de sedimentos	Contaminación natural del pescado
Desalinización	Incrementos de salinidad	Estrés osmótico y efectos en el crecimiento

FUENTE: *Forward Study of Community Aquaculture*, by Mac Alister Elliot and Partners LTD. (September 1999).

Un ejemplo claro de esta situación es un trabajo presentado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, titulado "Estudio sobre la identificación de riesgos ambientales para el cultivo de mejillón en Galicia", donde se identifican usos y actividades desarrolladas en el litoral que provocan efectos medioambientales negativos, afectando a una actividad tradicional que genera una gran cantidad de empleos en esta Comunidad Autónoma.

RESULTADOS

I. Reflexiones sobre los datos ambientales y biológicos obtenidos.

En las instalaciones de acuicultura en tierra, las estaciones de muestreo se situaron en el caño externo a la granja, próxima a la estación de bombeo, en los estanques de cultivo, y en el caño externo en la zona próxima al vertido, todo ello, prestando especial atención a la calidad de agua y de los sedimentos en la zona de vertido.

La calidad del agua obtenida en los vertidos producidos estuvo directamente relacionada con las condiciones físico-químicas del agua captada, la cual no fue de buena, algo común en este tipo de ambientes de influencia mareal donde se concentran numerosas actuaciones antrópicas. En la mayoría de los casos estudiados, para casi todos los parámetros en agua se observa un gradiente negativo desde la entrada hasta la salida, siendo esto especialmente claro respecto a los sólidos en suspensión. En el caso del oxígeno disuelto la tendencia es al contrario, puesto que el agua suele salir con una mayor concentración de oxígeno disuelto que la que entra. Esto se produce principalmente por el tiempo de residencia de las masas de agua en la instalación, que suele ser de varios días, tiempo en el cual el agua

Respecto a los sedimentos, las características físico-químicas de éstos en la zona próxima a la captación (caño) respecto a la zona de vertido, en general no sufren desviaciones significativas, excepto en una de las instalaciones donde el nitrógeno total aumenta y el potencial redox disminuyó en el punto de vertido. Estos resultados indican que hay algunos compuestos que son retenidos por la propia instalación mientras que hay otros que se vierten y sobre los que hay que aumentar la vigilancia.

La composición granulométrica del sedimento obtenida en los caños próximos a la captación y al vertido de las instalaciones analizadas está muy influenciada por la dinámica mareal de la zona en cuestión, teniendo en cuenta que las granjas marinas están normalmente situadas dentro de complejos sistemas de caños con

influencia mareal. Los resultados en nuestro caso indican que los materiales de tamaño grueso y medio se mantienen en proporciones constantes, mientras que en material fino y muy fino, tiende a disminuir en la zona de vertido debido a la retención que se produce en el interior de la instalación.

Respecto a las condiciones del bentos encontrada en las diferentes instalaciones estudiadas, el número de familias oscila entre 9 (interior del río San Pedro) y 57 (estación próxima a la entrada de agua de la instalación situada en el saco interno de la Bahía de Cádiz). Las zonas centrales de los caños son las que, en general, presentan un mayor número de familias. Los movimientos mareales con una alta oxigenación, y la existencia de sustratos con altos aportes de material para los organismos filtradores determinan estos valores.

Con relación al número de individuos se observa una alta variabilidad (desde 9516 hasta los 196 indiv/m²).

La riqueza específica según el índice de Margalef refleja la situación dinámica de este tipo de ecosistemas, con bajos valores en el río San Pedro (NE Bahía de Cádiz), excepto en las dos estaciones más exteriores, y bajo valor de la estación más interna del Caño de Sancti-Petri (SO Bahía de Cádiz). Los valores de diversidad presentan, sin embargo, una mayor estabilidad a lo largo de todas las instalaciones, con valores fluctuantes entre 1.604 y 2.795. Estos valores no son demasiado elevados en el contexto de sistemas marinos, pero las condiciones que se desarrollan en el interior de los caños de marea priman las producciones (alto número de individuos) frente a la diversidad. Las estrategias reproductoras son más útiles cuando las condiciones ambientales son muy fluctuantes; y un bajo número de familias se especializan en adaptarse a estos continuos cambios.

Los porcentajes de contribución de los grandes grupos taxonómicos al macrozoobentos de las zonas, se determina la mayor abundancia de anélidos poliquetos en todas las instalaciones estudiadas.

En definitiva, a partir de los resultados obtenidos, la carga contaminante asociada al agua de vertido está directamente relacionada con la densidad de carga en producción y la existencia o no de zonas de decantación, es decir, la estructura y características de las instalaciones. En este sentido, la estructura típica de este tipo de instalaciones está formada por una estación de bombeo, una zona de reserva y distribución de agua, canales de abastecimiento, estanques de cultivo, canales de desagüe, zona de decantación y punto de desagüe.

Para el futuro seguimiento ambiental de instalaciones de acuicultura en tierra deben concentrarse los esfuerzos sobre la calidad del agua en la zona de vertido, acompañado de una análisis de la granulometría y del bentos en diferentes puntos situados en las proximidades de la zona de vertido a diferentes distancias.

Será muy importante también, a la hora de cuantificar los impactos de esta actividad sobre el medio natural, conocer muy bien el entorno (estado cero), su caracterización física y ecológica y en general todo aquello que nos permita determinar el grado de alteración y/o amortiguación de los efectos que se produzcan.

En las instalaciones de cultivo en mar abierto, las estaciones de muestreo se situaron sobre un eje longitudinal en la dirección de la corriente predominante, y distribuidos hacia Norte, Sur, Este y Oeste desde un punto central imaginario en el centro del polígono, aumentando el número hacia la zona de posible dispersión de posibles contaminantes.

La calidad de aguas en el entorno de los polígonos de cultivo de las tres instalaciones muestreadas no presentó variaciones significativas que pudieran estar relacionadas con la presencia de los cultivos, ya que las concentraciones de los parámetros medidas en la mayoría de las estaciones presentaron valores dentro de los rangos normales según las condiciones del entorno. Respecto a los valores límites establecidos por la normativa andaluza de calidad de aguas, y aunque estos límites no sean específicos para la actividad analizada, cabe destacar que los valores obtenidos estuvieron normalmente por debajo de los límites.

En el sedimento, a veces se detecta una tendencia al incremento de las concentraciones en determinadas zonas, normalmente fuera del polígono de cultivo y en la dirección de la corriente predominante, sin embargo, la magnitud de estos incrementos no implican una pérdida de calidad constante en el sedimento, sino que parecen estar relacionados con cambios estacionales que se producen en el ambiente marino. Para confirmar estas hipótesis debe disponerse de un registro de datos en las mismas estaciones de al menos dos o tres campañas de cultivo completas.

En el caso de la granulometría, la evolución mostrada por la composición del sedimento analizado, se puede observar que en las tres instalaciones predominan las fracciones finas, muy finas y limo- arcillas, pero destacando que es más o menos la misma distribución granulométrica del sedimento obtenida en los puntos de control más alejados al polígono de cultivo, y por lo tanto son comportamiento relacionados con la propia dinámica del ecosistema.

En cuanto al análisis de las comunidades bentónicas, efectuando un estudio comparativo entre las instalaciones situadas en mar abierto, se observó una mayor homogeneidad respecto de los resultados en tierra. El número de familias osciló entre 30 y 70, ambas en la misma instalación, situándose el valor medio en torno a 50 familias, valor que se considera normal en zonas de arenas del litoral Mediterráneo andaluz

(exceptuando zonas de praderas de fanerógamas). Sin embargo respecto al número de individuos se observa una mayor variabilidad (entre 1960 y 6000 indiv/m²). La riqueza específica, según el índice de Margalef refleja la relativa homogeneidad de estos ecosistemas y los valores de diversidad presentan las mismas variaciones que las detectadas mediante los índices anteriores, con valores fluctuantes entre 1.635 y 3.248. Los valores normales encontrados en zonas similares y trabajos con similares características, oscilan entre 1.5 y 3.5, dependiendo de la profundidad y el tipo de sustrato.

Sobre los porcentajes de contribución de los grandes grupos taxonómicos al macrozoobentos, se observó una abundancia progresiva de anélidos poliquetos conforme nos adentramos en aguas mediterráneas, manteniéndose constante el número de crustáceos, y disminuyendo los moluscos.

La Inspección visual de fondos, realizada en las tres instalaciones situadas en mar abierto, determinan que en las tres domina una situación de Comunidades Arenas Fangosas en Modo Calmo (AFMC), y el resto de los fondos marinos que se han determinado corresponden con Comunidades de Arenas Bien Calibradas (ABC) y Comunidades de Fondos Detríticos Enfangados (FDE). Estas tres comunidades se enmarcan dentro de una situación general de Comunidades de Fondos Blandos. Así mismo cabe destacar, que en las proximidades de una de las instalaciones estudiadas se detectó la presencia de algas filamentosas, aspecto que se consideró relevante para su posterior seguimiento.

Si bien de los datos obtenidos en este trabajo no se puede concluir que existan impactos directamente relacionados con la actividad acuícola, es cierto que la acuicultura puede provocar graves impactos sobre el fondo marino si las condiciones o ubicaciones no son las idóneas y si el manejo del cultivo es inadecuado, por lo tanto, en este tipo de instalaciones es muy importante el trabajo previo de selección del emplazamiento y la valoración ambiental del mismo. Por tanto, el seguimiento ambiental de estas instalaciones debe concentrarse sobre la calidad del sedimento, granulometría y bentos, en un número suficiente de estaciones y centrándonos en los parámetros que más información aporten para las condiciones del medio receptor.

Un resumen de los datos medios obtenidos se presenta en la siguiente tabla.

II. Programas de Vigilancia Ambiental (PVA)

El PVA, es una herramienta de gestión ambiental de una actividad a través de la cual debe garantizarse el cumplimiento de las condiciones y medidas protectoras y correctoras contenidas en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), además de incorporar todos los aspectos técnicos de control necesarios para el buen funcionamiento de la actividad. El PVA, forma parte del EIA, y por ello, la correcta y completa elaboración de este estudio constituye un factor fundamental para el buen funcionamiento del PVA, especialmente en lo referido a la caracterización del medio o estado cero del proyecto y la identificación de impactos de la actividad proyectada sobre el entorno natural en cuestión. Es preciso pues el análisis de la compatibilidad de usos y la caracterización del medio natural o "Estado cero" donde hay que estudiar al menos:

- La caracterización físico- química del medio (agua y sedimentos)
- La composición granulométrica de los sedimentos
- Descripción de las comunidades bentónicas presentes en el medio

Parece claro que, a la hora del diseño y planificación de un PVA para una instalación de acuicultura no existen criterios fijos sino que el número y la distribución de las estaciones de muestreo, los parámetros a medir, la periodicidad y alcance de los trabajos, van a depender de la actividad desarrollada y el lugar donde se realice. De forma simplificada, a la hora de diseñar un PVA por parte de un promotor y de analizar por parte de un gestor, deberían tenerse en cuenta, al menos, los siguientes factores:

- 1º Localización de la instalación: profundidad, distancia a costa, etc.
- 2º Características ambientales del emplazamiento elegido, con especial atención para la presencia de hábitats de elevado interés medioambiental.
- 3º Superficie ocupada / cultivada
- 4º Sistemas de producción
- 5º Biomasa Producida
- 6º Residuos generados

Una buena situación geográfica de las estaciones de muestreo, un número de estaciones adecuado y sobre todo unos puntos de control bien seleccionados son fundamentales para el éxito de este tipo de trabajos. Con carácter general y en la medida de lo posible, las estaciones de muestreo de sedimentos deben ser fijas mientras que las de agua pueden variar en función de la corriente dominante en el momento de muestreo.

Durante la fase de ejecución del proyecto, debe realizarse un seguimiento del desarrollo de las obras, comprobando que se corresponden con las previstas en el proyecto, que no se produzcan impactos significativos que no estuviesen previstos inicialmente y que se aplican las medidas correctoras previstas.

Durante la fase producción y seguimiento de la actividad es la fase de funcionamiento normal de la empresa en la que se desarrolla la producción, y donde deben tenerse en cuenta, al menos, los siguientes aspectos:

- ❑ Gestión de la alimentación
- ❑ Gestión de patologías y/o problemas sanitarios
- ❑ Generación y gestión de residuos y/o vertidos
- ❑ Seguimiento de la actividad productiva (por parte de las empresas y por parte de la administración)
- ❑ Seguimiento de Indicadores ambientales:
 - Indicadores comunes (documentación exigible por la normativa y controles regulares)
 - Indicadores específicos (ambientales)

Y una vez aprobado y puestos a desarrollar el PVA, la mejor opción para abordar el programa es adoptar una estrategia adaptativa, de manera que en el inicio de la actividad se establezca un seguimiento extenso pero dirigido correctamente hacia los posibles subsistemas impactados, y vaya cambiando con un proceso de retroalimentación para adaptarse según los resultados que se vayan obteniendo hacia los parámetros que mejor indican la situación de ese ecosistema.

Una vez realizados los muestreos en las estaciones previstas y con la periodicidad determinada, y después del análisis de laboratorio, es necesario un correcto tratamiento de los datos y para ello existen multitud de métodos estadísticos que nos permiten evaluar la fiabilidad científico-técnica de los trabajos realizados. Así mismo existen otros análisis recomendados que nos permiten evaluar las relaciones entre variables y en nuestro caso, es interesante detectar las relaciones entre las variables ambientales y las biológicas. Un software informático específico empleado normalmente para el estudio de los cambios en las comunidades bentónicas es el paquete estadístico PRIMER (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research), el cual a partir de los datos obtenidos y procesados, realiza una gran cantidad de análisis estadísticos entre los cuales destacan el análisis CLUSTER, el análisis MDS, PCA, ANOSIM, BIOENV, etc. Este último, el análisis BIOENV, realiza una comparación de la ordenación de las estaciones de muestreo a partir de las variables bióticas y abióticas por separado, de tal modo que se puede establecer que variables ambientales de las estudiadas favorece la máxima correlación entre las dos configuraciones (Sanchez-Moyano, 1996).

En resumen, y con todo lo anterior, a partir de los datos obtenidos y la documentación analizada, se estima que un Programa de Vigilancia Ambiental debe incorporar en su contenido, al menos los siguientes apartados:

1. Características de la actividad proyectada.
2. Caracterización del medio receptor o Estado Cero del proyecto.
3. Identificación de potenciales impactos.
4. Selección de parámetros indicadores.
5. Situación de las estaciones de muestreo.
6. Metodología de muestreo y análisis.
7. Interpretación de resultados.

III. Representación cartográfica mediante Sistema de Información Geográfica (SIG)

El Sistema de Información Geográfica (SIG), es una herramienta muy útil, en una primera fase predictiva para generar modelos de dispersión de contaminantes sobre los cuales plantear el posterior seguimiento ambiental y en una segunda fase de resultados, para apoyar gráficamente la interpretación de los datos obtenidos. Existen diversos programas informáticos como el IDRISI, ArcInfo, GRASS, etc, con los cuales también se puede representar la información obtenida. Por otro lado existen también modelos de dispersión de contaminantes aplicados para la modelización de los vertidos procedentes de instalaciones de cultivos marinos en mar abierto, cuya fiabilidad va a depender de la cantidad de datos que se suministre al sistema.

El software empleado en nuestro caso fue el ARC GIS 8.2 y con la extensión Spatial Analyst, muy útil para la elaboración de cartografía temática y especialmente para la representación de gradientes. La aplicación de este instrumento tiene sentido cuando se trata de una malla de muestreo lo suficientemente ordenada y adecuada en número, en relación a la actividad objeto de seguimiento, además de disponer de un registro de datos o serie histórica adecuada.

Autores del trabajo:

J. Carlos Macías, Javier Collado, Carolina Alamo, Manuel Escalona, Emilio García, Personal Laboratorio Motril, Personal Empresas Colaboradoras.