





**Edita**  
XUNTA DE GALICIA  
Consellería do Medio Rural e do Mar  
Centro de Investigacións Mariñas


Vilanova de Arousa (Pontevedra)  
2012

**Editores**  
Salvador Guerrero; Javier Cremades

**Redacción**  
Jorge García

**Traducción**  
Pablo Guerrero

**Ilustraciones de portada**  
Xaquín Chaves

**Coordinación, diseño, edición gráfica,  
infografía y maquetación**  
Margarita Paulos  
  
www.margapaulos.com  
margapaulos@gmail.com

**I.S.B.N.**  
13: 978-84-695-3260-7

**Depósito legal**  
C 693-2012

Esta edición y la versión impresa han sido financiadas a través del Plan Nacional JACUMAR titulado "Acuicultura Integrada: experiencias piloto para el desarrollo de sistemas de cultivo multitrofos, 2008-2011", del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

# ACUICULTURA MULTITRÓFICA INTEGRADA

Una alternativa sostenible y de futuro para los cultivos marinos en Galicia



XUNTA DE GALICIA  
Consellería do Medio Rural e do Mar  
Centro de Investigacións Mariñas

Vilanova de Arousa (Pontevedra)  
2012



## Acuicultura Multitrófica Integrada: La esencia de la apuesta de futuro por la sostenibilidad



Rosa Quintana Carballo.  
Conseleira do Medio  
Rural e do Mar.

Que la acuicultura europea debe retomar decididamente el rumbo del relanzamiento en su misión de aportación de alimentos y de generación de empleo y riqueza económica es una realidad que está firmemente implantada en todos los ámbitos administrativos, ya sean estos comunitarios, estatales o regionales.

Además, esta misión, en Galicia, se está abordando con el mejor bagaje, el conocimiento y saber hacer, y con la intención de llegar lejos y hacerlo de una manera positiva, consiguiendo que esta actividad mantenga una sostenibilidad plena en términos sociales, económicos y ambientales y que la conjugación de todos ellos alcance un equilibrio pleno.

Esto, sin duda, es un hecho positivo en estos tiempos donde es necesario dotarnos de fuentes de alimentos de calidad nutricional y seguridad higiénico-sanitaria probada, además de disponer de un elemento de dinamización y diversificación económica y laboral en aquellas zonas costeras donde el mar es, y quiere seguir siendo, un puntal en el medio de vida de sus habitantes.

Pero, si hay algún concepto que aúne la esencia del avance en esa apuesta común por el futuro de la acuicultura, este es la acuicultura multitrófica integrada (AMTI), puesto que ésta

demuestra que es una vía donde se integran el saber hacer, la apuesta por el futuro y la concienciación del modo de avanzar hacia él.

La AMTI está dotada de una impronta fundamental hacia la consecución de un respeto ambiental pleno, donde los residuos son convertidos en bienes aprovechables y los consumos se minimizan contribuyendo así a sostener de mejor manera la actividad.

Además, esta fórmula de trabajo asume y plasma de manera importante la necesidad de avanzar en el aprovechamiento y optimización del espacio, haciendo que se reduzca el impacto de la acuicultura en la dimensión territorial costera.

Por último, es imprescindible citar la capacidad de esta fórmula productiva en referencia a la capacidad de aunar sinergias y diversificación en un mismo tiempo en términos de actividad económica, ya que la interdependencia de los cultivos y la posibilidad de generar relaciones de beneficio mutuo son aspectos a tener en cuenta a la hora de expandir a términos productivos prácticos la AMTI.

Galicia ha apostado por la acuicultura y lo ha hecho de forma directa y práctica con la elaboración y desarrollo de la Estrategia Gallega de la Acuicultura, la cual tendrá en la AMTI, en

cuanto a que sus objetivos son concordantes, un elemento de referencia para trabajar en el camino por el que quiere dirigir la evolución de la acuicultura gallega.

La AMTI puede ser, en el caso gallego, un motor fundamental de futuro y puede catalizar la consecución de ese relanzamiento de la acuicultura y dirigirla hacia una racionalización de los usos del espacio, de la consecución de una actividad económica plena de sinergias y ambientalmente inocua, cuando no positiva, por lo cual queremos y debemos, desde la Consejería do Medio Rural e do Mar, hacer nuestro el interés por su desarrollo y plasmación práctica.

Pero para ello son fundamentales iniciativas, como la presente publicación impulsada por Salvador Guerrero y Javier Cremades, las cuales nos aclaran el sentido de nuestro rumbo y nos ayudan a definirlo mejor.

A ellos y a sus colaboradores debemos hacer llegar un agradecimiento en nombre de la administración y del sector acuícola porque la obtención, como consigna el propio título, de una alternativa sostenible y de futuro para nuestros cultivos marinos, tiene una llave fundamental en la AMTI y con esta iniciativa Galicia se acerca más a abrir la puerta del relanzamiento de su acuicultura por el camino correcto.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la Junta Asesora de Cultivos Marinos, JACUMAR, por impulsar y respaldar la realización del programa de experiencias de acuicultura multitrófica en Galicia. Una iniciativa que ha hecho posible realizar esta publicación. Asimismo, es necesario mencionar que la Consellería do Medio Rural e do Mar de la Xunta de Galicia apoyó y asumió la gestión de áreas del proyecto, además de resolver muchos de los problemas de toda índole que surgieron en el desarrollo de las distintas experiencias.

También ha resultado indispensable la colaboración, de forma desinteresada y gratuita, de las empresas que nos han facilitado el acceso a sus instalaciones, cedido espacios, energía y agua de mar, elementos imprescindibles para la realización de nuestras experiencias.

Otro reconocimiento es para el personal que ha trabajado y trabaja en el proyecto, tanto becarios como contratados, alumnos en prácticas o estudiantes del Máster Interuniversitario Gallego en Acuicultura, que han realizado su trabajo fin de máster en alguna de las experiencias del proyecto:

### **CIMA (Centro de Investigaciones Mariñas)**

Cristina Ancosmede Garduño; Josefa Domínguez Bastos; Alejandro Cores Rodríguez; Laura Pérez Piñeiro

### **Universidad de A Coruña**

Ahmed Fawzi Ali Alamrousi; Marta Andrade García; Daniel Carcajona Alcol; Sonia Ocaña Falcón; Sergio Pérez Cordero; José Ribamar Da Cruz Freitas Junior

### **Planta de Cultivo de Algas de El Bocal (IEO Santander)**

Juan Manuel Salinas; Carmen Fuertes

### **Aquacría S.L.**

Sergio Devesa

### **Porto Muiños S.L.**

Antonio Muiños

### **Punta Moreiras S.L.**

José Juan Sanmartín Ruano

### **Marcultura S.A.**

Antonio Pallarés Méndez

### **Seasalter Shellfish Ltd.**

Pablo Guerrero Gómez

### **Parques intermareales**

María Otero Otero en O Grove

José Antonio Rodríguez Méndez en Carril

Técnicos del "minicriadero" de moluscos de Camariñas  
Consellería do Medio Rural e do Mar/CETMAR

Intecmar (Instituto Tecnológico para o Control do Medio Mariño en Galicia)

### **Embajada de Canadá en Madrid**

Lorraine Choquette

## PRÓLOGO

Los procesos de la acuicultura marina y continental tienen la ventaja de que se pueden desarrollar en extensas zonas costeras o fluviales, a condición de que sus actividades se demuestren sostenibles para el medio ambiente. Ese es, ahora mismo, el reto principal para el sector de los cultivos marinos que, según datos de la FAO, está muy cerca de alcanzar el 50% del total de pescado que se destina anualmente a la alimentación humana en el mundo.

Por otra parte, las crecientes dificultades que experimenta la pesca extractiva y la influencia y eficacia cada vez mayores de las organizaciones regionales de pesca que también regulan esa actividad, hacen pronosticar que, con las debidas garantías sanitarias y con una estrategia productiva sostenible, la acuicultura está llamada a ser la proveedora de una cuota cada vez más importante de proteínas, tanto de origen animal como vegetal, utilizables en nuestra alimentación.

Al "boom" que experimentó el crecimiento de la acuicultura desde los años noventa se le ha denominado Revolución Azul, porque la producción y distribución de productos marinos de granja se incrementó, en un período de 20 años, hasta consolidarse como una oferta similar y en competencia con la del pescado de captura.

Las administraciones pesqueras autonómicas, estatales, comunitarias e internacionales trabajan con la industria acuícola en elaborar regulaciones de sostenibilidad de esta actividad cada vez más eficientes. Ese proceso demanda prácticas y sistemas responsables, que es necesario investi-

gar, para que la acuicultura resulte ecológicamente eficiente, ambientalmente benigna, diversificada y rentable; en suma, una actividad socialmente beneficiosa. La Acuicultura Multitrófica Integrada (AMTI), es una estrategia productiva que, mediante el cultivo combinado de distintas especies comerciales, cuenta con el potencial suficiente para lograr estos objetivos. Está llamada a liderar la denominada Revolución Turquesa.

En algunos países que cuentan con una acuicultura muy desarrollada, la AMTI genera un valor añadido a los cultivos marinos, ya que sus productos tienen acceso a un etiquetado que certifica a los consumidores que ese pez, crustáceo, molusco o alga han sido criados con sistemas y manejos de bajo, nulo o incluso de un impacto positivo para el medio.

Las experiencias que se reseñan en esta publicación han tenido, como una de sus principales referencias, las ideas y criterios de Thierry Chopin, científico que lidera el grupo internacional de investigación más prestigioso en este campo, y cuyos trabajos están considerados fundacionales en la AMTI. A consecuencia de nuestra relación con Chopin, establecida en la propia elaboración de esta obra, los investigadores que trabajamos en este campo en Galicia hemos sido invitados a colaborar en la elaboración de una publicación que dará a conocer el grado de implantación que tienen actualmente estos métodos en la acuicultura mundial y cuáles son sus perspectivas de futuro.

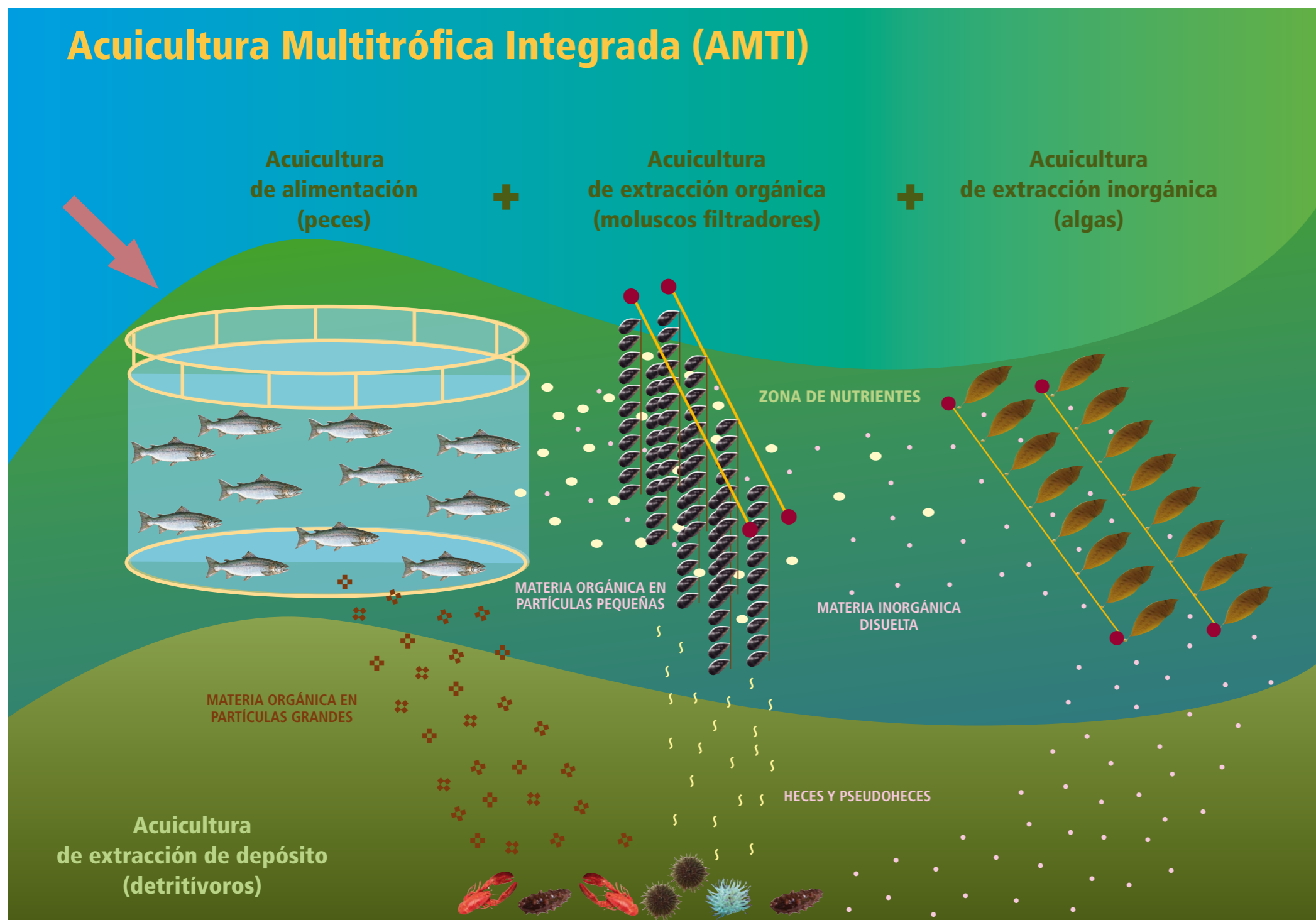
*Salvador Guerrero y Javier Cremades, abril de 2012*



## CONTENIDO

<b>1</b>	UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA DIVERSIFICAR CULTIVOS Y PROTEGER LA CALIDAD DEL MEDIO MARINO.....	9	Cultivo en mar abierto del alga alimentaria <i>Saccharina latissima</i> asociado a bateas de mejillón en la ría de Ares y Betanzos (A Coruña).....	45
	ENFOQUE ECOSISTÉMICO.....	11	DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	46
	CIENTÍFICOS Y TRABAJOS.....	13	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
	PROGRAMAS INTERNACIONALES.....	16	REFERENCIAS.....	49
	EL PROYECTO JACUMAR.....	18		
<b>2</b>	MACROALGAS, BIOFILTRADORES EFICIENTES CUYO CULTIVO TIENE VALOR COMERCIAL.....	21	Biofiltración de los sólidos del efluente de una planta de cultivo de rodaballo en circuito abierto con moluscos filtradores (almejas y ostra), invertebrados suspensívoros (anémona) y macroalgas alimentarias ( <i>Saccharina latissima</i> y <i>Ulva</i> spp.) en O Grove (Pontevedra).....	51
	CREAR ECOSISTEMAS.....	22	DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	52
	BIOFILTRAR CON MACROALGAS.....	23	RESULTADOS.....	54
	CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	25	CONCLUSIONES.....	57
	LAS MEJORES CANDIDATAS.....	26		
	NUEVOS PRODUCTOS, NUEVOS MERCADOS.....	28	Engorde de semilla de almejas fina y japonesa procedente de semillero multitrófico en parque de cultivo en Carril (Pontevedra).....	58
<b>3</b>	EL DOCTOR THIERRY CHOPIN PROPONE UNA EVOLUCIÓN HACIA SISTEMAS DE CULTIVOS MARINOS MÁS RESPONSABLES CON EL ECOSISTEMA.....	31	OBJETIVO.....	58
			MATERIAL Y MÉTODOS.....	58
			RESULTADOS.....	60
			CONCLUSIONES.....	61
	“AMTI es el concepto general, pero, como en la música de Bach, hay muchos temas y variaciones” El científico francés, que emigró a Canadá en 1989, es considerado como uno de los líderes clave en el desarrollo de la Acuicultura Multitrófica Integrada.....	31	Incorporación de cultivos de <i>Saccharina latissima</i> y de invertebrados suspensívoros y filtradores a una planta de producción de rodaballo y lenguado en recirculación de agua en Cambados (Pontevedra).....	63
<b>4</b>	ORGANISMOS DE INVESTIGACIÓN Y SECTOR PRIVADO PARTICIPAN EN LAS EXPERIENCIAS DE ACUICULTURA INTEGRADA DE GALICIA.....	37	EXPERIENCIAS PREVIAS.....	64
			CULTIVOS DE MACROALGAS ALIMENTARIAS.....	65
			CULTIVOS DE INVERTEBRADOS. ANÉMONAS.....	67
			POLIQUETOS.....	68
			CONCLUSIONES.....	69
	Cultivo integrado de macroalgas en jaulas de peces en la ría de Muros y Noia (A Coruña).....	39		
	DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	40	<b>5</b>	TESTIMONIOS.....
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41		Científicos y expertos aportan criterios, datos y resultados de experiencias en el campo de la acuicultura integrada sostenible.....
	REFERENCIAS.....	43		71

1



## UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA DIVERSIFICAR CULTIVOS Y PROTEGER LA CALIDAD DEL MEDIO MARINO

Por Jorge García ([garcia.herosa@gmail.com](mailto:garcia.herosa@gmail.com))

El creciente interés demostrado en los últimos años por parte de muchos países con tradición pesquera en investigar en Acuicultura Multitrófica Integrada (AMTI) o Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA), constituye una buena y alentadora noticia para el futuro de los cultivos marinos. Los trabajos experimentales que se realizan en este campo desde hace unas tres décadas en Canadá, Chile, Sudáfrica, Israel y China (Chopin *et al.*, 2008; Barrington *et al.*, 2009), y más recientemente en el Reino Unido (sobre todo Escocia), Irlanda, España, Portugal, Francia, Turquía, Noruega, Japón, Corea, Tailandia, EE.UU. y México, están dirigidos a experimentar la integración de cultivos de peces con los de algas, moluscos, crustáceos y otros invertebrados marinos.

En este último sentido, es una idea extendida en la comunidad científica que una de las etapas más complejas de estos procesos en su etapa industrial, es la de realizar una selección de especies que resulte eficiente y también encontrar la proporción adecuada en que debe producirse cada una.

Otro de los principales criterios de esta línea de trabajo es que el aprovechamiento de los diferentes niveles tróficos de las distintas especies cultivadas posibilita la creación de un sistema equilibrado de producción acuícola, además de originar una mejora en la producción y en la

Recreación del esquema básico con que Thierry Chopin representa una combinación de cultivos marinos, de diferente nivel trófico, integrados.





calidad de las aguas, tanto en el propio medio marino como en sistemas abiertos o de circuito cerrado de producción piscícola.

Otra de las opiniones generalizadas entre los investigadores es que la diversificación de la acuicultura como alternativa al monocultivo, es uno de los mejores caminos hacia la sostenibilidad ambiental y la viabilidad económica y, como consecuencia, consigue mejor aceptación social. En el caso de Galicia, la AMTI representa una sólida opción de diversificación acuícola, que ha sido asumida y practicada en otros países de forma planificada o espontánea y que combina tres tipos de acuicultura:

- La acuicultura de alimentación (peces, crustáceos, moluscos ramoneadores).
- La acuicultura de extracción orgánica (invertebrados filtradores y suspensivos).
- La acuicultura de extracción inorgánica (macroalgas marinas).

Gran parte de los científicos que investigan en este campo, también comparten la certeza de que la AMTI posibilita desarrollar un conjunto de procesos y prácticas que hacen industrialmente viable transformar los subproductos generados por la cría de algunas especies en hábitat y alimento para otras. Se trata de una estrategia productiva altamente sostenible,

Una jaula en mar de engorde de rodaballos, una de las especies que en Galicia se cultivan con más intensidad.



cuya adopción genera ecosistemas eficientes que benefician la calidad del medio ambiente marino y facilitan la diversificación de la acuicultura.

#### ENFOQUE ECOSISTÉMICO

El enfoque AMTI es ecosistémico, y favorece la aplicación del Código de Conducta para Pesca Responsable aprobado por la FAO en 1995 destinado, entre otros muchos aspectos, a “asegurar la conservación, la gestión y el desarrollo eficaces de los recursos acuáticos vivos, con el debido respeto del ecosistema y de la biodiversidad”, tal como lo ha recordado el Comité de Pesca de la FAO en un documento aprobado

en Roma, durante el 29º período de sesiones, que se desarrolló del 31 de enero al 4 de febrero de 2011. Cómo se sabe, tanto el enfoque ecosistémico de la Pesca (EEP), como el de la acuicultura (EEA) son estrategias holísticas de gestión de la pesca comercial y de la acuicultura que integran las dimensiones ecológica, socioeconómica e institucional de la actividad y que también están relacionadas con la responsabilidad social de las empresas.

Por otra parte y en este mismo sentido, hay que señalar que la presencia de algas en todas las combinaciones de cultivos multitrofos garantiza efectos de biomitigación y reduce de ma-

*Saccharina latissima* (kombu de azúcar), macroalga que se cultiva experimentalmente en el CIMA para el programa JACUMAR de cultivos multitrofos.



nera significativa la eutrofización de las aguas. Los positivos resultados que científicos de varios países han obtenido hasta ahora, comienzan a impulsar procesos de consolidación de la AMTI en Canadá, Israel, Chile, Sudáfrica y Australia, estados donde las administraciones pesqueras y industria acuícola la valoran como una sólida alternativa productiva. Es conside-

rable el número de empresas de piscicultura de esos países que han integrado industrialmente sus cultivos con los de algas y moluscos con valor comercial.

En China y en otros países asiáticos existen eficientes ejemplos de cultivos integrados de peces, moluscos y crustáceos con los de

algas, aunque no se dispone de datos comprobados de la extensión y magnitud de esas producciones. El Centro de Investigación de la Universidad de Los Lagos, en Puerto Montt, Chile, trabaja para reducir el impacto ambiental de la salmonicultura intensiva. También se han integrado cultivos de trucha, ostras y algas marinas. Actualmente se combina en aguas abiertas salmón, algas marinas y abalón. El director de estos proyectos es el investigador Alejandro Buschmann. En Israel existen al menos tres granjas marinas en las que se practica AMTI.

Por su parte, la FAO destacó en su informe anual "Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura, 2010", que el "desarrollo de los sistemas productivos multitróficos integrados", entre otros avances de la investigación en acuicultura, sirve para "mitigar los efectos ambientales (de los cultivos marinos)". Se trata de un reconocimiento del organismo de las Naciones Unidas a la eficacia de la AMTI en esa materia, que resulta interesante relacionar con el pronóstico de esa misma organización de que en el año 2030 el 50% de la producción de alimentos marinos procederá de la acuicultura.

#### CIENTÍFICOS Y TRABAJOS

La mayoría de los investigadores que trabajan en este campo coinciden en que los doctores Thierry Chopin, de la Universidad de New Brunswick en Saint John, y Shawn Robinson, de la Estación Biológica Saint Andrews del Ministerio de Pesquerías y Océanos de Canadá, han aportado a la comunidad científica y a la industria –desde la década de 1990–, los principales criterios, referencias y orientaciones con que internacionalmente se trabaja en AMTI.

"Con estos procesos (AMTI), todos los componentes del cultivo tienen un valor económico, además de jugar un papel clave en los servicios y beneficios para el medio ambiente marino y la sociedad", dijo Chopin cuando recogió el Premio a la Investigación de Excelencia 2009, concedido por la Asociación de Acuicultura de Canadá y compartido con Robinson, por la creación y desarrollo de los conceptos de Acuicultura Multitrófica Integrada, desde la etapa experimental hasta su aplicación industrial.

En la página anterior, de izquierda a derecha y de arriba a abajo: granja de cultivo integrado de abalón / macroalgas en East London, South Africa (D. Robertsson, J. Bolton, M. Troell); SeaOr Marine Enterprises, granja de cultivo integrado de abalón / dorada / macroalgas en Mikhmoret, Israel (B. Scharfstein, A. Neori); Granja en circuito cerrado de cultivo de peces y macroalgas en Bribie Island, Queensland, Australia (W. Knibb); Granja de cultivo integrado de salmón / ostra / macroalgas en Metri, Chile (A. Buschmann). En esta página: cultivo integrado experimental de salmón / mitilidos / *Saccharina* en la Bahía de Fundy, Canadá. Fuente: Pesca y Océanos de Canadá [www.dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca)

Foto: R.J. Anderson



Foto: JM. Shpigel y B. Scharfstein







Uno de los últimos trabajos de Chopin y Robinson en esta materia ha sido el presentado junto con otros investigadores de Canadá, Suecia, China y Chile, en el encuentro "Aquaculture Europe 10", celebrado en la ciudad de Oporto, Portugal, en 2010 y cuya organización la realiza la European Aquaculture Society.

Chopin vuelve a definir en ese trabajo a la AMTI como "una práctica responsable para obtener simultáneamente productos marinos diversificados y con efectos de biomitigación en el impacto ambiental de la actividad acuícola". El investigador destaca que esa alternativa productiva, con especies y espacios que interactúan, es además flexible: admite muchas combinaciones y se puede desarrollar en plantas de piscicultura de circuito cerrado y abierto y también con los cultivos que se realizan en el propio medio marino.

Uno de los modelos productivos de referencia citados por el investigador, es el realizado por la red estatal canadiense de investigación e innovación en acuicultura AquaNet, ([www.dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca)), en la bahía de New Brunswick en el que se integró el cultivo de salmón con los de mejillón y algas. La empresa que distribuye comercialmente ese salmón incluye en su publicidad y en los envases de

Operaciones de recogida de datos en una instalación AMTI que combina macroalgas, mejillón y salmón en aguas canadienses. Abajo, jaula de cultivo de macroalgas. Fuente: Pesca y Océanos de Canadá [www.dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca)

sus productos la advertencia de que dicha especie ha sido cultivada en un 100% con técnicas de acuicultura sostenible.

Acerca de la evolución que ha experimentado su propuesta, el investigador ha elaborado un gráfico en el que figuran un conjunto de etapas que comienzan en 1995 y se prolongan hasta 2012, fecha en la que considera que la AMTI habrá consolidado su presencia en la industria de los cultivos marinos. Para profun-



dizar en la información sobre los trabajos de Chopin y de su equipo de colaboradores se puede consultar el sitio [www.unbsj.ca/sase/biology/chopinlab/](http://www.unbsj.ca/sase/biology/chopinlab/).

El trabajo mencionado también incluye tablas comparativas de costes productivos y posibles beneficios de la comercialización de especies marinas de monocultivos, contrastadas con las criadas con sistemas y procesos de AMTI. En esas tablas, se atribuyen ventajas objetivas y competitivas a estas últimas.

En lo que respecta a la eliminación de nitrógeno generado en el medio marino por el cultivo intensivo de moluscos filtradores, Chopin asegura que la cría de algas con valor comercial representa una de las soluciones más eficientes de "ingeniería ecológica".

Por último, el científico denomina a la AMTI de "revolución turquesa", ya que supone una integración de las ideas de la "revolución verde" y la "revolución azul". Como se sabe, el primero es el nombre adoptado internacionalmente para describir y explicar el incremento que se produjo en la productividad agrícola mundial, y en particular de alimentos, entre 1940 y 1970. Con "revolución azul" se denomina a lo que supone la acuicultura, desde aproximadamente 1960, para garantizar el suministro regular a los mercados de productos marinos con normas pactadas de frescura, tallas y precios. La AMTI, pronostica con firmeza Chopin, está llamada a ser la "revolución turquesa", por su aporte de racionalidad productiva para optimizar los cultivos y también sus efectos de biomitigación del medio marino.



Una instalación AMTI, con jaulas de salmón y bateas de mejillón, con el guardacostas Pandalus III al fondo. El Pandalus ofrece apoyo regular a la investigación científica AMTI en la Bahía de Fundy. Fuente: Pesca y Océanos de Canadá [www.dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca)



### PROGRAMAS INTERNACIONALES

Entre los organismos de investigación marina de otros países que trabajan en este campo, y que han creado programas relacionados con la acuicultura multitrófica integrada, hay que mencionar a AquaNet ([www.dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca)) y Génesis Faraday, Red de Biociencias de Transferencia de Conocimiento de Edimburgo, Reino Unido. El programa multitrófico de Escocia es “Desarrollo de un enfoque genérico sostenible de sistemas integrados de la acuicultura marina para entornos y mercados europeos” (“Development of a Generic approach to Sustainable Integrated marine Aquaculture Systems for European environments and markets”), y participan científicos de varios países, entre ellos de Francia e Israel. En el sitio [www.scotsman.com](http://www.scotsman.com) se puede obtener más información sobre Génesis Faraday.

Por su parte la Asociación Escocesa para la Ciencia Marina ([www.sams.ac.uk](http://www.sams.ac.uk)) realiza un conjunto de programas en el que participan varios países. El SPIINES 2 investiga, con el apoyo económico de la Unión Europea, la “Producción de erizo de mar en sistemas integrados, su nutrición y mejora de las huevas” (“Sea urchin Production In Integrated systems, their Nutrition & roe Enhancement”). Este mismo organismo también gestiona MERMAIDS, un trabajo para generar una “Cultura Multitrófica de Remediación Ambiental - Gestión Activa de la acuicultura, Iniciativas para la Diversificación y Sostenibilidad” (en inglés, “Multi-trophic culture for Environmental Remediation - Active Management of Aquaculture Initiatives for Diversification and Sustainability”).

Foto: Steve Cross



Por último REDWEED, es un programa dirigido a “Reducir el impacto ambiental de las granjas marinas de jaula a través del cultivo de algas marinas” (“Reducing the environmental impact of sea-cage farming through cultivation of seaweeds”).

Otros grupos de investigación que han desarrollado líneas de actuaciones para impulsar la acuicultura integrada son el Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos y Ambientes Costeros de la Universidad chilena de Los Lagos, dirigido por Alejandro Buschmann y el Centro de Gestión Ambiental y Biodiversidad de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

En las imágenes de la derecha, mejillones producidos en la Bahía de Fundy, como cultivo asociado a los de salmón y macroalgas. En el mercado, estos mejillones están certificados como cultivados en forma sostenible.

Fuente: Pesca y Océanos de Canadá [www.dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca)



En la Columbia Británica de Canadá, el Pacific SEA-lab ha desarrollado una instalación industrial a pequeña escala que, en la actualidad, está investigando las posibilidades de combinar bacalao negro, en antiguas jaulas de salmón, vieira, berberecho, pepino de mar y macroalgas, con un diseño de sistema AMTI intensivo. Esta iniciativa piloto, también denominada Sistema de Acuicultura Ecológica Sostenible (SEA-System), recibe el apoyo de una asociación entre la industria (Kyuquot Ltd.), y una comunidad científica, que se dedica a explorar los beneficios medioambientales y socioeconómicos relacionados con esta forma de acuicultura integrada. El promotor de este proyecto, Steve Cross, conoce los trabajos del científico Thierry Chopin, y ha aprovechado su experiencia en esta materia.

Fuentes: Fish Farming International. Abril 2010 y [www.aquaculture.ca](http://www.aquaculture.ca)



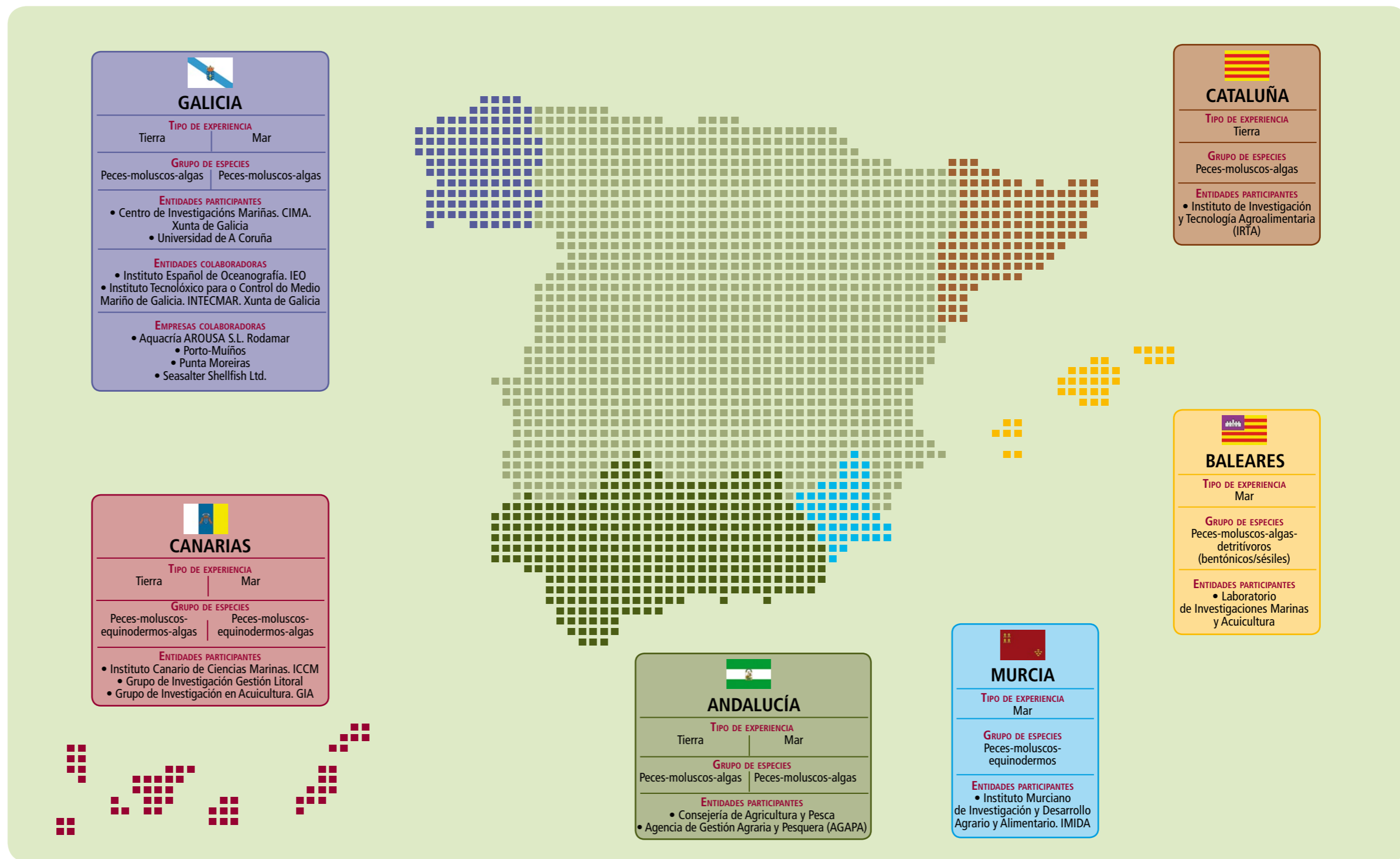
### EL PROYECTO JACUMAR

En la convocatoria científica de Oporto mencionada se conoció uno de los trabajos que en Galicia realizan para el Plan Nacional de Cultivos Marinos JACUMAR “Acuicultura Integrada: experiencia piloto para el desarrollo de sistemas de cultivo multi-tróficos, 2008-2011” Salvador Guerrero, investigador del Centro de Investigaciones Mariñas de la Consellería do Medio Rural e do Mar de la Xunta de Galicia ([www.cimacoron.org](http://www.cimacoron.org)), y Javier Cremades, profesor de la Universidade da Coruña ([www.udc.es](http://www.udc.es)), con la colaboración de Juan Manuel Salinas, responsable de la planta de cultivo de algas del Instituto Español de Oceanografía de Santander ([www.ieo-santander.net](http://www.ieo-santander.net)). Se puede saber más de este proyecto en [www.acuiculturaintegrada.com](http://www.acuiculturaintegrada.com).

El estudio presentado en Oporto por estos autores versó sobre la utilización de esporas y gametos de algas verdes como alimento para bivalvos en la acuicultura multitrófica integrada, pero son otras muchas las experiencias realizadas en el tema por Guerrero, Cremades y Salinas que en otros espacios de esta misma publicación se explican de manera pormenorizada.

Este programa se realiza por iniciativa y con el respaldo institucional y económico de la Junta Asesora de Cultivos Marinos (JACUMAR), de la Secretaría General del Mar del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ([www.magrama.gob.es/es/pesca/participacion-publica/copy\\_of\\_default.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/pesca/participacion-publica/copy_of_default.aspx)).

Además de Galicia, líder en cultivos marinos, han desarrollado líneas de trabajo en sistemas y prácticas de AMTI, organismos y científicos de Andalucía, Baleares, Canarias, Cataluña y Murcia.





2

Foto: Archivo de los autores



## MACROALGAS, BIOFILTRADORES EFICIENTES CUYO CULTIVO TIENE VALOR COMERCIAL

Por Jorge García ([garcia.herosa@gmail.com](mailto:garcia.herosa@gmail.com))

El grupo de investigadores que en Galicia trabaja para el programa JACUMAR de cultivos multitróficos considera que la presencia de macroalgas en todas las combinaciones de AMTI es uno de los principales factores para hacer una acuicultura sostenible, diversificada, viable económicamente y aceptada por la sociedad. En las experiencias de AMTI realizadas en esta comunidad se han cultivado especies de *Saccharina*, *Codium* y *Ulva* en efluentes de piscifactorías de circuito abierto y cerrado y también en polígonos de las propias rías. Los datos que están elaborando, después de más de dos años de trabajos, los investigadores Salvador Guerrero (CIMA), Javier Cremades (UDC), y Juan Manuel Salinas (IEO, Santander), son positivos: el crecimiento y la interacción de esas especies con otros cultivos de peces y moluscos, y con el propio medio, se desarrolló, en líneas generales, como estaba previsto en el planteamiento científico inicial que hizo el grupo.

Ejemplares de *Laminaria ochroleuca* en el medio natural, entre otras. El cultivo de laminarias asociado al de peces y moluscos se ha demostrado eficiente.

Las prácticas, antecedentes y datos disponibles sobre el cultivo de algas asociado al de otras especies marinas, en los países de mayor producción acuícola, han servido para adoptar algunos de los principales criterios utilizados para evaluar primero y transmitir luego los primeros resultados de los trabajos de AMTI realizados en Galicia. Un número creciente de investigadores que trabajan en cultivos mari-



Foto: Archivo de los autores



Foto: Archivo de los autores



Foto: Archivo de los autores



Arriba y a la izquierda, Cremades (UDC), con *Saccharina latissima* cultivada en un sistema de AMTI en Galicia. A su lado, Salinas (IEO) con la misma especie cultivada en un tanque. Abajo, Guerrero (CIMA) observando un cultivo de *Gracilariopsis longissima* en tanque.

nos y tienen interés por estos sistemas, han podido conocer a los largo de los últimos años (2008-2011), las conclusiones provisionales en jornadas, seminarios y congresos celebrados en España y en otros países.

Una de las buenas noticias que se han comunicado en esos encuentros es que la cría de macroalgas con valor comercial se demuestra eficiente para remediar la eutrofización producida por la piscicultura o el monocultivo. Otra es que la AMTI es viable y necesaria en la acuicultura de las costas y rías gallegas. La última de las buenas nuevas es que la planta de cultivo del IEO de Santander, que Salinas creó y dirige, está en condiciones de proporcionar semilla de macroalgas para trabajos experimentales y también para abordar cultivos a escala industrial.

### CREAR ECOSISTEMAS

Una de las explicaciones que Cremades difunde habitualmente en los documentos que produce sobre macroalgas, es que existen dos líneas principales de biorremediación para mejorar la calidad de las aguas con que se trabaja en la acuicultura moderna. Una de las maneras de mitigar la eutrofización y, por lo tanto, gran parte del impacto ambiental de este tipo de cultivos, es mediante la actividad descomponedora de las bacterias en la formación de gases ( $N_2$  y  $CO_2$ ). Otro camino es fomentar la actividad asimiladora de organismos biofiltradores y generar la formación de biomasa.

La primera de las líneas es un catabolismo bacteriano, muy utilizado en las piscifactorías con recirculación de agua, pero su operatividad resulta tecnológicamente compleja: necesita de oxigenación, eliminación de materiales par-

ticulados, oxidación (ozonación) de la materia orgánica disuelta, nitrificación del amonio, control de pH, disipación del exceso de  $CO_2$  y desinfección. Sus costes son altos, ya que son necesarias bombas para hacer funcionar todo el sistema que, por otra parte, acumula nitrato.

El método propuesto por Cremades, y que ha sido utilizado en las experiencias AMTI en Galicia, es la biofiltración mediante vegetales fotosintéticos y con capacidad asimiladora, como las algas. “Con la energía solar y el exceso de nutrientes –explica el experto–, particularmente C, N y P, las algas fotosintetizan nueva biomasa. Mediante esta técnica, que mejora la gestión de las aguas, se obtienen mini-ecosistemas en la piscicultura de circuitos abierto y cerrado y también en la acuicultura de monocultivo que se hace en el medio marino”.

### BIOFILTRAR CON MACROALGAS

Los trabajos realizados en Galicia, sostiene Cremades, “confirman que introducir en sistemas de AMTI algas como biofiltradores, procesa y reduce una parte importante del impacto general que sobre el ecosistema generan los cultivos marinos. Por otra parte, también aporta estabilidad al medio. Las algas, y en especial las macroalgas, son organismos de una alta eficiencia para la biofiltración, porque poseen la mayor productividad de todas las plantas y pueden ser cultivadas mediante métodos, cuyos costes resultan accesibles y rentables para las industrias”.

De este modo, se comparte el criterio generalizado entre los científicos que trabajan en AMTI, acerca de que en acuicultura integrada los nutrientes que se originan con la cría de

Foto: Archivo de los autores



Un ejemplo de cultivo de algas laminariales en mar, de la empresa gallega Porto-Muiños, con aplicación industrial, mediante un sistema de cuerdas y flotadores denominado *long-line*.



En la foto superior un cultivo en *free-living* de gametofitos de *Saccharina latissima* en la planta de Algas del IEO en Santander. Abajo, precultivo de jóvenes esporófitos de esta misma especie en las instalaciones del CIMA para su empleo en distintas experiencias de cultivo multitrofico.

Foto: Archivo de los autores



peces no deben ser considerados como residuos, sino como un recurso para el cultivo de algas con valor comercial y también como alimento de moluscos del genero *Haliotis* –conocidos como oreja de mar o abulón, que deriva de la denominación inglesa “abalone”–, camarones y erizos de mar, entre otros.

La industria acuícola de varios países utiliza el conocimiento generado por las experiencias y aplicaciones de AMTI, que se realizan desde hace más de dos décadas, para elaborar diseños eficientes y específicos de cultivos integrados, tanto en tierra como en mar. En ellos es frecuente la integración de peces, moluscos filtradores, fitoplancton y producción de biomasa de macroalgas.

Una de las principales ventajas de utilizar macroalgas como biofiltradores, respecto a otros sistemas, es que se produce un “secuestro” de los nutrientes existentes en el agua, en tal forma y medida que posibilita y con rapidez, poder recircular el efluente de una piscifactoría o descargarlo en el medio marino.

Otro de los datos obtenidos de los trabajos realizados en Galicia es que en un sistema de recirculación, cada kilogramo de *Ulva* en stock, produce suficiente oxígeno al día para satisfacer la demanda de dos kilogramos de peces en stock.

Conviene recordar, en este mismo sentido, que “el consumo de oxígeno nocturno de las macroalgas es mucho más bajo que su producción diaria. En algunas especies se ha estimado que producen 12 veces más oxígeno que lo que consumen con su respiración”.

### CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los investigadores de AMTI de Galicia han elaborado un conjunto de criterios para seleccionar especies de algas con un comportamiento eficiente en un sistema integrado. Algunos de los factores que se deben valorar son:

- Alta tasa de crecimiento y de concentración de nitrógeno en sus tejidos
- Facilidad de cultivo y del control de su ciclo de vida
- Resistencia a epifitos y enfermedades
- Coincidencia de sus requerimientos ecofisiológicos con los del sistema
- Ser una especie local o ya introducida
- Valor comercial de la producción

Estos criterios han sido definidos en función de que una de las primeras demandas que se le plantea a un diseño de AMTI es la biorremediación. En este caso, la captación y la acumulación de nutrientes, sumados a la tasa de crecimiento, son determinantes. Naturalmente, se considera que lo óptimo es lograr una especie que combine valor comercial con capacidad de biorremediación.

En este último aspecto también se relaciona la tasa de crecimiento con la morfología. En otras palabras, existe una relación directa entre la mayor superficie/volumen (S/V), del talo del alga con las tasas más altas de crecimiento. Las macroalgas con una morfología filamentosas o laminar fina tendrán una mayor tasa de crecimiento que una de morfología gruesa y carnosa. Respecto a las especies de estructura morfológica compleja, como pueden ser las laminariales, también es muy importante valorar la edad de la planta.

Otras etapas de crecimiento de *Saccharina latissima* ya en tanques de cultivo multitrofico. Abajo ejemplar de *Ulva australis*, una de las especies que también han sido empleadas en estas experiencias.

Foto: Archivo de los autores



Foto: Archivo de los autores



Foto: Archivo de los autores





### LAS MEJORES CANDIDATAS

Cuando se piensa en una especie de alga para usar como biofiltro, hay que considerar que tendrá que crecer bien en altas concentraciones de nutrientes, en especial amonio. Otras algas que no tienen esta capacidad, como por ejemplo *Chondrus crispus* que prefiere nitrato al amonio, son de uso más limitado. En la breve lista de especies de macroalgas que se han investigado como biofiltros figuran *Ulva*, como la más estudiada, y también *Gracilaria*. En la primera se encuentran muchas de las condiciones básicas necesarias para formar parte de un sistema AMTI: forma laminar, alta tasa de crecimiento y de concentración de nitrógeno y también capacidad de crecimiento en concentraciones altas de amonio. Por otra parte, su ciclo de vida es conocido y controlable. La desventaja que se le atribuye al empleo industrial de *Ulva* en biofiltración es, por ahora, el limitado valor que alcanza la producción obtenida en los mercados.

Las especies más adecuadas por su capacidad biofiltradora combinada con su valor comercial para sistemas AMTI son: arriba y en esta página, *Porphyra*. Abajo, desde la izquierda, *Saccharina latissima*, *Ulva* spp., *Gracilaria* spp. y *Palmaria palmata*, entre otras.

Foto: Archivo de los autores



Las especies de *Porphyra* (el *nori* del sushi), resultan apropiadas porque poseen los caracteres de *Ulva* y tienen un alto valor comercial en el mercado de la alimentación. El handicap de las especies de *Porphyra* es que, en un sistema de acuicultura integrada, no es posible de momento controlar su ciclo de vida, para mantener durante todo el año un cultivo puramente vegetativo.

Foto: Archivo de los autores



Las técnicas de cultivo de las especies de *Gracilaria* y *Chondrus* están estudiadas y son bien conocidas y por eso es posible controlar su desarrollo. Algunas de sus ventajas son la

Arriba, *Saccharina latissima* en el medio natural, junto a *Ulva rigida* y otras especies.

toma de nutrientes y la posibilidad de extraer ficocoloides, para formar geles, sustancias viscosas y estabilizantes de suspensiones. La industria de la alimentación las utiliza para elaborar agar, alginatos y carragenatos. Sin embargo hay que decir que sus tasas de crecimiento, debido a sus morfologías, son significativamente más bajas que en las especies anteriormente mencionadas. También se debe mencionar que el mercado de los productos elaborados con los ficocoloides, tiende a reducirse.

Unas de las más prometedoras candidatas para emplear en AMTI como biofiltradoras en aguas frías, como son las de las costas y rías de Galicia, son las laminariales, en particular las especies de *Saccharina* (el kombu de azúcar), *Laminaria* y *Macrocystis* (Kelp) que han sido investigadas en Canadá, España, Alemania, Escocia y Chile y son producidas por la industria piscícola.

Fotos: Archivo de los autores







### NUEVOS PRODUCTOS, NUEVOS MERCADOS

Los gestores de la acuicultura industrial conocen bien las prolongadas y complejas acciones que hay que realizar para que un nuevo producto llegue a tener una posición destacada en el competitivo mundo de la alimentación, que es uno de los mercados tradicionales de algunas de las presentaciones comerciales de algas. En cambio, para las industrias farmacológica y de la cosmética las algas son materias primas cuyas propiedades se investigan de manera permanente, lo que impulsa la creación de nuevos usos finales y genera demanda de algunas especies.

Por estas y otras razones el criterio de valor comercial en este mundo se debe abordar con sentido estratégico y como un concepto muy diverso que evoluciona con rapidez. No obstante, una de las ventajas competitivas que los cultivadores de algas comparten con otros productos de la acuicultura, es que pueden garantizar a las industrias transformadoras un suministro constante de materias primas, en cantidad, calidad y, en consecuencia, también en precio. A esto hay que sumar el aporte de proteínas y otros beneficios para la salud que supone para la alimentación humana el consumo de alimentos elaborados con algas.

Además de sus usos en la restauración y en las industrias de la alimentación, farmacológica y de la cosmética, las algas se han comenzado a investigar, con resultados alentadores, como componente de piensos para la alimentación animal y, en particular de peces. En Portugal se han realizado experiencias con tilapia y trucha y en Galicia se llevan a cabo experiencias con lenguado. De manera objetiva se ha estable-

cido que la presencia de algas en los piensos aumenta la composición de ácidos grasos y proporciona un sabor agradable a los peces de crianza, además de poseer mayor contenido en aminoácidos que las tradicionales harinas de soja, habitualmente utilizadas en los piensos.

También se realizan trabajos experimentales con determinadas especies de algas en el campo de los combustibles alternativos a los que se elaboran con materias primas no renovables. Cremades asegura que en Galicia se encuentran al menos 20 especies autóctonas de algas con valor comercial, muchas de las cuales ya se recolectan o producen.

El cultivo de algas para la AMTI es una garantía de biorremediación eficiente y, por lo tanto, colabora en gran medida a reducir el impacto en el medio acuático de otros cultivos. Su viabilidad industrial está respaldada por grupos de investigación consolidados y entre los que existe un activo intercambio de información.



En la página anterior, una recolectora en las costas gallegas del alga *Gelidium corneum* utilizada por la industria de los ficoloides. En esta página y arriba, Guerrero, Sergio Devesa, director técnico de Aquacría, y Salinas en la planta de cultivo de algas de El Bocal, Santander. Abajo, lechuga de mar frita con crema pastelera y cerezas. La receta es del cocinero Gonzalo Rey del restaurante Agar-Agar, y fue realizada en el curso "cocinar con algas" en el Aula de Cocina Porto-Muiños ([www.portomuiños.com](http://www.portomuiños.com)).



En este sentido hay que recordar que en junio de 2011 y en Vigo, el Centro Tecnológico del Mar, Fundación CETMAR, un organismo de la Xunta de Galicia, organizó una jornada sobre macroalgas con la colaboración de Iberomare, un proyecto transfronterizo que pertenece al programa de ámbito comunitario Interreg, España-Portugal, cuyos trabajos están orientados a la valoración de los subproductos de acuicultura. En dicho encuentro, investigadores lusos y de Galicia, Málaga, Santander y Las Palmas tuvieron la ocasión de intercambiar experiencias y actualizar conocimientos sobre la "Aplicación de macroalgas en la depuración de efluentes provenientes de la acuicultura. Sistemas AMTI".

Finalmente hay que decir que esa y otras convocatorias de ese tipo han puesto en evidencia el interés existente por la acuicultura integrada, pero también la necesidad de que el importante esfuerzo investigador que se realiza en esta línea lo realicen equipos interdisciplinarios, capaces de elaborar modelos económicos de inversión, gestión y para el acceso a los mercados de los nuevos productos procedentes de la AMTI, en particular los de la cría de macroalgas. Todo ello, para hacer más realistas y viables los proyectos en esta materia.





El doctor Thierry Chopin, conocido experto en macroalgas y Director Científico de la Red Canadiense Integrada de Acuicultura Multitrófica (CIMTAN). [www.unbsj.ca/sase/biology/chopinlab/index.html](http://www.unbsj.ca/sase/biology/chopinlab/index.html)

## EL DOCTOR THIERRY CHOPIN PROPONE UNA EVOLUCIÓN HACIA SISTEMAS DE CULTIVOS MARINOS MÁS RESPONSABLES CON EL ECOSISTEMA

*“AMTI es el concepto general, pero, como en la música de Bach, hay muchos temas y variaciones”*

**El científico francés, que emigró a Canadá en 1989, es considerado como uno de los líderes clave en el desarrollo de la Acuicultura Multitrófica Integrada**

Por Jorge García ([garcia.herosa@gmail.com](mailto:garcia.herosa@gmail.com))

El doctor Thierry Chopin, profesor de Biología Marina en la Universidad de New Brunswick en Saint John, Canadá, nació y se educó en Francia, donde obtuvo su doctorado en la Universidad de la Bretaña Occidental, en Brest. Chopin ahora lidera un equipo de científicos de diversas disciplinas especializado en cultivos multitróficos: “Estamos a la vanguardia en la elaboración de nuevas prácticas sostenibles para la acuicultura industrial y hemos adquirido una reputación mundial gracias al trabajo nuestro de todo el equipo”, comentó recientemente el investigador.

Los criterios, prácticas y sistemas de la AMTI, adop-

tados por la industria de los cultivos marinos de varios países y estudiados en otros, tienen su origen en los trabajos del equipo que lidera Chopin. En esta entrevista el científico reflexiona, recomienda y también aporta datos y experiencias para explicar los beneficios medioambientales, económicos y sociales de integrar cultivos de distintos niveles tróficos.

Acerca del lugar de Canadá donde reside, Chopin comentó: “Estar en una comunidad multicultural como la nuestra es interesante, en particular cuando uno trata de comprender las culturas, en lugar de juzgarlas. Saint John está cambiando y este carácter multiétnico origina una nueva dinámica en la ciudad”.

• **La industria acuícola tiene en España un alto nivel de desarrollo, en particular en las rías y costas de Galicia. ¿Cómo valora las posibilidades de la AMTI para los cultivos de mejillón, berberecho, almejas y ostra, además de rodaballo y lenguado?**

Thierry Chopin: *Mi impresión es que en Galicia la acuicultura tiene una industria muy desarrollada en moluscos. Por ejemplo, se pueden encontrar en Google Earth todas estas balsas (bateas)... La idea de introducir cierta diversificación sería correcta desde el punto de vista ambiental, económico y social. En términos generales*

*Las piscifactorías están bajo presión para mejorar su eficacia, pero la sostenibilidad de la industria también debe mejorar*

*también se puede decir que para acuicultores independientes, en un mercado que se ha vuelto global y concentrado –y en sitios donde hay participación pública en la creación de políticas–, la supervivencia de la actividad demanda la adquisición de algunas ventajas competitivas. Las granjas se encuentran bajo presión para mejorar su rendimiento, pero también debe mejorar la sustentabilidad de la industria. Nosotros hemos hecho algo de este tipo en la costa este de Canadá, donde había un predominio de la acuicultura de salmón. AMTI permite esta diversificación.*



• **¿Qué podemos aprender de su experiencia?** La expansión mundial del cultivo del salmón del Atlántico (*Salmo salar*) ha sido considerable en las últimas tres décadas. La opción que planteamos a los productores consiste en asociar el engorde de salmón con otras especies y en proximidad. En la Bahía de Fundy, Canadá, y en el marco de un proyecto industrial piloto, se cultivan las algas *Saccharina latissima* y *Alaria esculenta*, el mejillón azul (*Mytilus edulis*) y el salmón (*Salmo salar*). Cuando se compara con sitios de referencia, la tasa de crecimiento aumenta en 46% en las macroalgas y hasta 50% en los mejillones cultivados en proximidad con las granjas de peces, lo que a nuestro juicio es reflejo del incremento en la disponibilidad de alimento y energía. Ninguno de los productos terapéuticos, utilizados en la cría de salmón, se ha detectado en las algas ni en los mejillones recogidos en los sitios AMTI durante ocho

**Es necesario que los investigadores hablen con la industria, las entidades reguladoras, las ONG y con el público en general**

Un lugar de AMTI en Cooke Aquaculture Inc, en la Bahía de Fundy, Canadá: jaulas de salmón a la izquierda, una batea de mejillón al frente a la derecha y una batea de algas al fondo a la derecha.

años. Los niveles de metales pesados, arsénico, bifenoles policlorados y pesticidas han estado siempre por debajo de los límites regulados. Los resultados biológicos, por lo tanto, apoyan adoptar sistemas AMTI.

• **¿Quiénes son sus socios industriales?** La cooperación con socios industriales es muy importante para el progreso de estos grandes proyectos. Cooke Aquaculture Inc. ([www.cookeaquaculture.com](http://www.cookeaquaculture.com)) ha sido nuestro socio clave durante varios años. Pesca y Océanos Canadá, la Agencia de Inspección de Alimentos, Medioambiente de Canadá y el Departamento de Agricultura, Acuicultura y Pesca de New Brunswick también han sido colaboradores muy importantes. No debemos olvidar a las agencias financiadoras que han permitido que la investigación haya tenido continuidad durante 10 años. De ellas las que han sido clave

son el Consejo de Investigación de Ingenierías y Ciencias Naturales de Canadá, la Agencia Atlántica Canadiense de Oportunidades, Pesca y Océanos de Canadá y la Fundación para la Innovación de New Brunswick.

• **¿Cuáles de las experiencias de transferencia de conocimientos de I+D en AMTI a la acuicultura industrial pueden resultar de utilidad?** Es necesario que los investigadores hablemos con la industria, con las administraciones que regulan, con las ONG ecologistas y también con el público en general para conocer cuáles son los problemas y cómo podrían resolverse con soluciones como AMTI. Sin embargo, está claro que no hay un resultado mágico después de unos pocos años solamente. Me gusta recordar que AMTI es el concepto general, pero al igual que en la música de Johann Sebastian Bach, hay temas y muchas variaciones. AMTI es el tema, luego hay que adaptarlo a las condiciones y situaciones locales, que es de donde surgen las variaciones. Por lo tanto, depende de ustedes definir el tipo de AMTI que mejor se adapte a su región. No obstante, una recomendación importante es que el enfoque ha de ser, definitivamente, interdisciplinario e integrador. Las soluciones, con frecuencia se encuentran en los puntos de contacto de esas disciplinas.

• **¿Existen modelos más exitosos que otros en selección de especies y acerca de la proporción en que deben ser producidas?** Una vez más debo responder que depende de su región, de sus condiciones ambientales y de su situación económica. Esto no es para evitar la pregunta, pero es importante desarrollar soluciones adaptadas al lugar donde te encuentras,

aplicando un profundo conocimiento y entendimiento a niveles muy diferentes. No sé de su región lo suficiente como para hacer una recomendación sólida. ¿Qué especies se seleccionan y por qué? Hay abundante documentación sobre los criterios para hacer una selección de especies apropiadas. Como orientación, de una reseña que escribimos para la FAO hace unos años, los géneros con mayor potencial para el desarrollo de sistemas AMTI, generalmente son los siguientes:

#### MACROALGAS:

*Laminaria, Saccharina, Sacchoriza, Undaria, Alaria, Ecklonia, Lessonia, Durvillaea, Macrocyctis, Gigartina, Sarcothalia, Chondracanthus, Callophyllis, Gracilaria, Gracilariopsis, Porphyra, Chondrus, Palmaria, Asparagopsis y Ulva*

#### MOLUSCOS:

*Haliotis, Crassostrea, Pecten, Argopecten, Placopecten, Mytilus, Choromytilus y Tapes*

#### EQUINODERMOS:

*Strongylocentrotus, Paracentrotus, Psammechinus, Loxechinus, Cucumaria, Holothuria, Stichopus, Parastichopus, Apostichopus y Athyonidium*

#### POLIQUETOS:

*Nereis, Arenicola, Glycera y Sabella*

#### CRUSTÁCEOS:

*Penaeus y Homarus*

#### PECES:

*Salmo, Oncorhynchus, Scophthalmus, Dicentrarchus, Gadus, Anoplopoma, Hippoglossus, Melanogrammus, Paralichthys, Pseudopleuronectes y Mugil*

• **¿Qué criterios se han utilizado para hacer esta selección?** Estos géneros han sido seleccionados analizando sus prácticas de cultivo, su hábitat apropiado, sus habilidades de biomitigación y, finalmente, su valor económico. Para cada región en que la AMTI puede ser desarrollada, es importante seleccionar las especies apropiadas para el hábitat, el ambiente y para las funciones complementarias del ecosistema y los escenarios socio-económicos.





Foto: Thierry Chopin



Foto: Esther Tremblay-Deveau



• **¿Existen criterios de AMTI para la futura acuicultura oceánica?** A raíz de la creciente demanda de alimentos marinos, algunos prevén una expansión hacia lugares en mar abierto. La disponibilidad de sitios nuevos, protegidos y próximos a la costa se está volviendo limitada. El cambio hacia mar abierto es también considerado como una manera de reducir algunos problemas medioambientales. Sin embargo, el desarrollo en áreas más expuestas también tiene sus limitaciones. Es muy probable que las piscifactorías en el futuro sean más

Los investigadores tienen que exponer sus conocimientos a varias audiencias. Ampliando la conciencia sobre AMTI será sin duda una tarea importante. Arriba: 2ª reunión anual de CITMAN; abajo: excursión durante el Festival anual de naturaleza organizado por la Federación de Naturalistas de New Brunswick.

grandes que las costeras del presente. Por lo tanto, también generarán mayores niveles de residuos. No deberíamos creer que en los ambientes oceánicos las condiciones hidrodinámicas permitirán la dispersión, y por tanto, el impacto medioambiental será menor. Deberíamos pensar, además, en recoger ese alimento y energía, que de otro modo se perdería, con especies de extracción. Desde el principio, deberíamos pensar en tener sistemas eficientes AMTI de mar abierto, que también cumplan sus funciones de bio-eliminación ¡No deberíamos dejarlo para el 2050! No obstante, somos conscientes de que habrá numerosos retos que superar en los campos biológico, ambiental, económico, tecnológico, de ingeniería legal y también social.

• **¿Son sensibles los organismos comunitarios a la alternativa productiva que supone la AMTI, como estrategia sostenible para la acuicultura y para diversificar producciones?** He vivido en Canadá estos últimos 22 años y no conozco los organismos ni los mecanismos administrativos de la Unión Europea en el momento actual. Sé que hay algunos proyectos AMTI en la UE, pero ¿Son los reguladores, los tomadores de decisiones y los políticos lo suficientemente conscientes de las posibilidades de AMTI? Dudo que este sea el caso, pero esto no solo pasa en la UE. Ampliar la conciencia de AMTI es sin duda una tarea importante.

• **¿Qué consideraciones económicas resultan de utilidad a la industria de la acuicultura interesada en emprender cultivos AMTI?** Los modelos bioeconómicos AMTI existentes han demostrado que la estabilidad

económica generada por la diversificación de productos y la reducción de riesgos, es la clave para continuar en el negocio y aumentar los beneficios. Además, si los servicios de bioeliminación de la AMTI fuesen correctamente estimados y fuesen parte de los planes de negocio, éstos representarían incentivos para animar a mono-acuicultores a contemplar la AMTI como una opción de agronomía marina viable para sus prácticas actuales.

• **¿Cómo relaciona la AMTI la sostenibilidad con la rentabilidad de la industrias acuícolas?** Establecer principios biológicos sólidos es importante para que un negocio sea sostenible. Sin embargo, la sostenibilidad también necesita ser medida a nivel económico y social. Una operación acuícola debe ser económicamente viable, sin ser demasiado arriesgada. Además, la opinión pública es importante, ya que la percepción de los consumidores tiene influencia sobre la demanda y los precios de los productos y, por lo tanto, en el desarrollo de la industria. Hemos demostrado que, a lo largo de 10 años, una cosecha de pescado mala causa grandes pérdidas en una operación de monocultivo de

**Sabemos que habrá muchos desafíos por superar en los campos biológico, medioambiental, de ingeniería, tecnológico, económico, legal y social**

De la cuerda al plato: las prácticas de AMTI deberían ayudar a diferenciar productos AMTI de alta calidad y gran valor. Izquierda: una línea de cultivo de kelp (*Alaria esculenta*), en Back Bay, New Brunswick; derecha: un delicioso rollo de kelp de AMTI (*Saccharina latissima*) preparado por Chris Aerni, Chef y propietario del Rossmount Inn in St. Andrews, New Brunswick.

peces, mientras que esa incidencia en una operación AMTI, conservaría su rentabilidad.

• **¿Se ha valorado la receptividad social a la AMTI, como alternativa al monocultivo?** Hemos realizado varias encuestas de actitud en públicos clasificados de Canadá y Estados Unidos. Éstas han mostrado que la percepción de los criterios y prácticas de la AMTI es más favorable que la del monocultivo. Los públicos encuestados relacionaron el éxito de la acuicultura con la sostenibilidad. También se enfatizó en que la obtención de ganancias y el cultivo de productos de alta calidad, sin dañar el medio ambiente, eran claves para hacer de la industria acuícola un éxito y mejorar su percepción ante el público. Todos los participantes revelaron “sentir” que los alimentos producidos por los sistemas AMTI son seguros para el consumo. Un 50% de los participantes se mostraron dispuestos a pagar un 10% más por estos productos, si los encontrasen etiquetados como tales en los puntos de venta. Esto abre la puerta para eco-etiquetar o certificar, para diferenciar los productos de sistemas AMTI y obtener un mejor precio para ellos.

Foto: Thierry Chopin



Foto: Thierry Chopin





## EXPERIENCIAS AMTI EN GALICIA

### Lorbé (Ría de Ares y Betanzos. A Coruña).

#### Experiencia en mar

Bateas de mejillón / Macroalgas alimentarias (*Saccharina latissima*)

CIMA, UDC, IEO Santander

PORTO-MUIÑOS S.L.

### Esteiro (Ría de Muros y Noia. A Coruña).

#### Experiencia en mar

Jaulas de peces (rodaballo) / Macroalgas alimentarias (*Saccharina latissima*)

CIMA, UDC, IEO Santander

MARCULTURA S.L.

### Cambados (Ría de Arousa. Pontevedra).

#### Experiencia en tierra. Circuito cerrado

Peces (rodaballo y lenguado) / Invertebrados suspensivos (anémonas y poliquetos) / Moluscos filtradores (almejas y ostra) / Macroalgas alimentarias (*Saccharina latissima*)

CIMA, UDC, IEO Santander

AQUACRIA S.L.

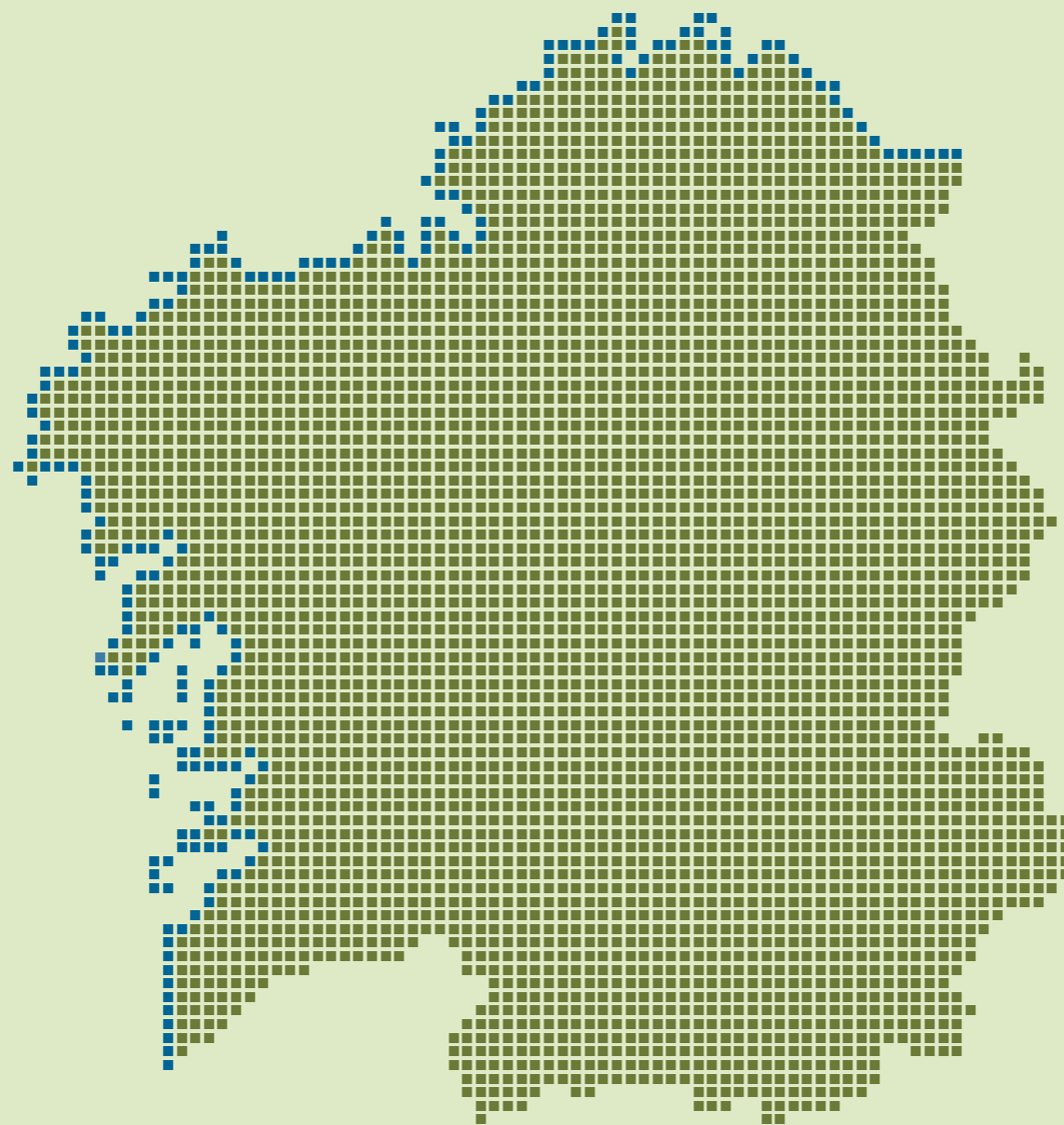
### O Grove (Ría de Arousa. Pontevedra).

#### Experiencia en tierra. Circuito abierto

Peces (rodaballo) / Invertebrados suspensivos (anémonas) / Moluscos filtradores (almejas y ostra) / Macroalgas alimentarias (*Ulva* y *Saccharina latissima*)

CIMA, UDC, IEO Santander

PUNTA MOREIRAS S.L., INTECMAR



## ORGANISMOS DE INVESTIGACIÓN Y SECTOR PRIVADO PARTICIPAN EN LAS EXPERIENCIAS DE ACUICULTURA INTEGRADA DE GALICIA

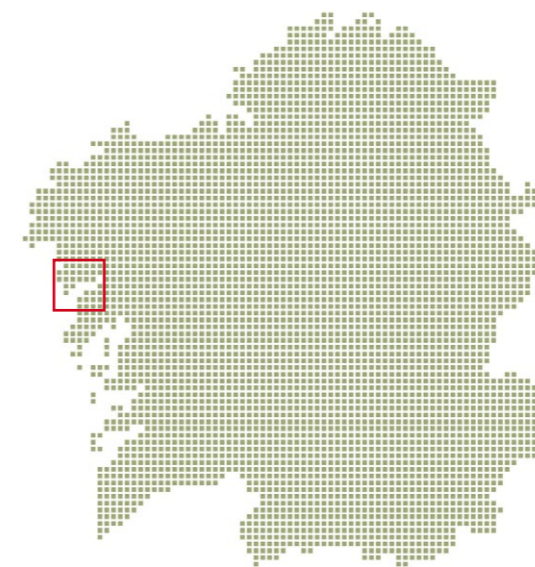
En el diseño y la realización de las experiencias de AMTI en Galicia para el programa JACUMAR participaron el CIMA, la Universidad de A Coruña, el IEO de Santander y el Instituto Tecnológico para el Control Medio Mariño, INTECMAR, un organismo de la Xunta de Galicia, que proporcionó datos biogeoquímicos y oceanográficos de las rías de Arousa, Muros-Noia y Ares-Betanzos. Los trabajos se realizaron en instalaciones en el mar y en piscifactorías de circuito abierto y cerrado, para lo que se contó con la colaboración de empresas del sector privado de la acuicultura.

Las “semillas de algas” para las experiencias en el mar fueron aportadas por el banco de germoplasma de la planta de cultivo de algas del IEO Santander, con cepas que tienen origen en poblaciones autóctonas de las costas gallegas. En el caso de los moluscos e invertebrados, su origen son distintos criaderos de las costas gallegas. La selección de las especies a cultivar en las experiencias se realizó en función de su valor comercial para la alimentación humana, para las industrias farmacológica y de la cosmética, o por sus posibles usos agropecuarios o en el sector de la energía. Las primeras etapas de los cultivos se hicieron en las instalaciones del CIMA de Vilanova de Arousa, para luego trasladarlos, en su caso, a las instalaciones de tierra y del medio marino.

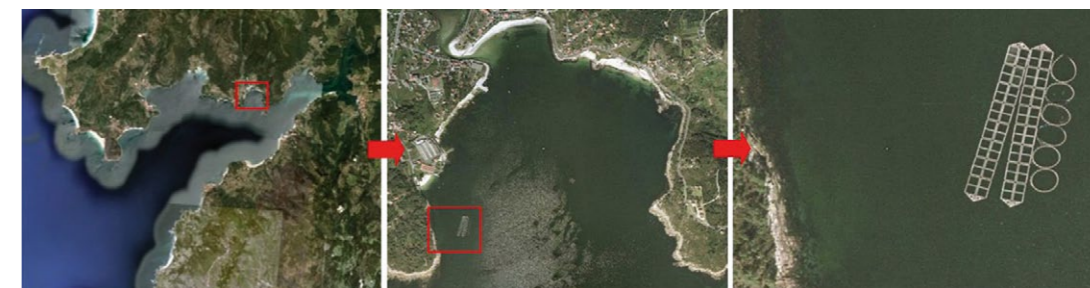




### Cultivo integrado de macroalgas en jaulas de peces en la ría de Muros y Noia (A Coruña)



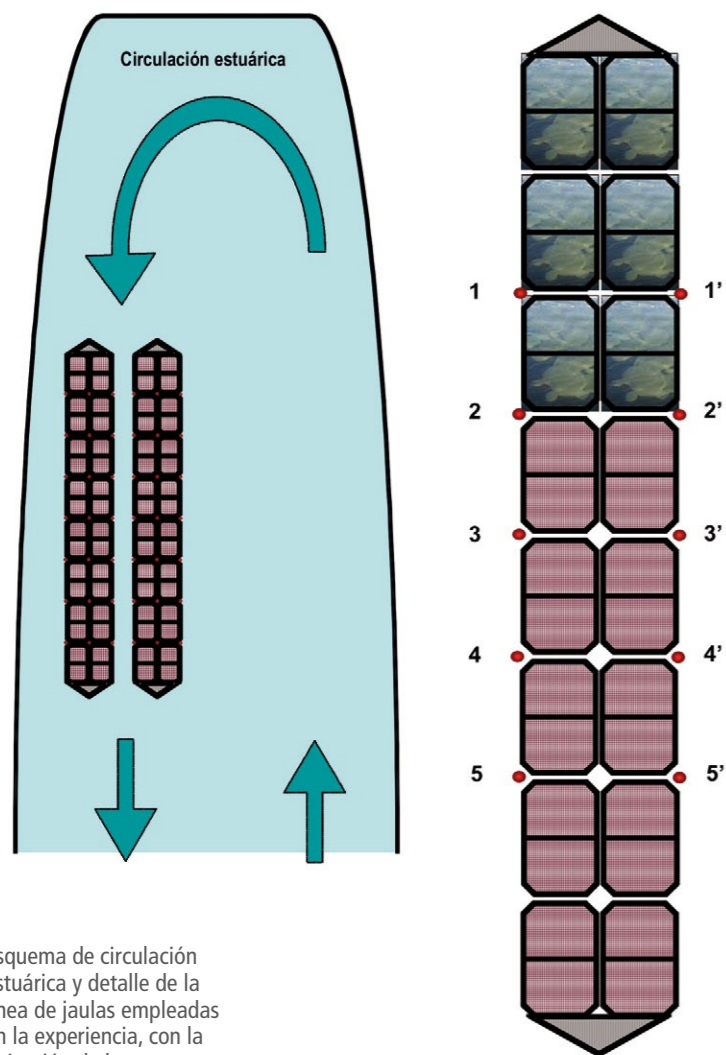
Localización de las jaulas de peces donde se realizaron las experiencias en la ensenada de Esteiro (ría de Muros y Noia, A Coruña). Imágenes de Google Maps y ortofotos procedentes del visor del SigPac del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



**E**n la experiencia que aquí se describe se trata de valorar las posibles ventajas e inconvenientes de la integración de cultivos de macroalgas marinas y peces. La hipótesis previa es que dicha integración, por una parte,

puede incrementar la producción de ambos cultivos a la vez que mejora la calidad del agua, tanto por la reducción de la eutrofización como de las cifras de CO<sub>2</sub> disuelto, y, por otra, propicia la diversificación de la acuicultura gallega.





Esquema de circulación estuárica y detalle de la línea de jaulas empleadas en la experiencia, con la ubicación de los peces y de los puntos donde se colocaron las cuerdas para el cultivo de macroalgas.

### DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

La experiencia se llevó a cabo en las jaulas de cultivo para peces propiedad de la empresa colaboradora MARCULTURA S.A. y que se encuentra localizada en el lugar de Somorto, Esteiro, perteneciente a la ría de Muros y Noia (A Coruña).

La instalación consta de 8 jaulas flotantes cuadradas unidas unas con otras y dispuestas en línea. Las tres primeras jaulas tuvieron rodaballo en engorde durante todo el experimento, mientras que las 5 restantes estuvieron desocupadas. Las cuerdas de cultivo de algas se pusieron en vertical en las zonas de unión entre jaulas y a ambos lados de las mismas (puntos 1 a 5).

La especie de macroalga cultivada fue *Saccharina latissima* (Linnaeus) Lane, Mayes, Druehl & Saunders (Laminariales, Phaeophyta), conocida como "kombu de azúcar". Esta especie autóctona en el noroeste ibérico, puede ser materia prima para la obtención de alginatos y biogás; sin embargo, tiene mayor valor añadido en su uso para la alimentación animal y humana.

La semilla de *Saccharina latissima* fue producida en la Planta de Cultivos de Algas del IEO en Santander utilizando su banco de germoplasma y mediante la técnica de *free-living* (Pérez *et al.*, 1992). La siembra se realizó el 20 de noviembre de 2008. El método de siembra utilizado fue también el conocido como japonés. En él, los hilos de semilla son cortados en fragmentos de unos 5 cm de longitud que se colocan cada 10 cm a lo largo de la cuerda de cultivo.

Para seguir las variaciones de las condiciones ambientales en el transcurso de la experiencia se colocó un sensor de intensidad lumínica y temperatura.

El muestreo final del cultivo de algas se realizó el 6 de abril de 2009, transcurridos 137 días desde el inicio de la inmersión en el mar. En todos los puntos donde se dispusieron cuerdas con *Saccharina* se estimó la biomasa de la especie por

Fotos: Archivo de los autores

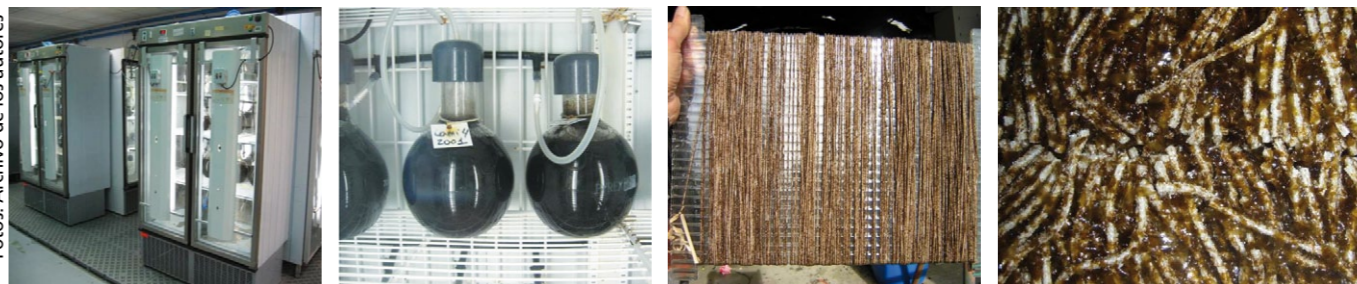
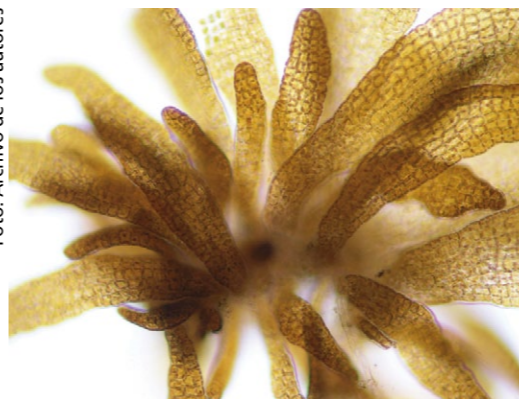


Foto: Archivo de los autores



Arriba, fases de producción de la semilla de *Saccharina latissima*. Cámaras de germoplasma con los botellones de cultivo de gametófitos en *free-living*, colector con hilo de semilla y fragmentos del mismo listos para ser sembrados siguiendo el método japonés. A la izquierda, jóvenes esporófitos de *S. latissima*, tal como se ven al microscopio.

metro de cuerda y se tomaron muestras para el análisis del porcentaje de C, N y de la relación  $\delta^{15}\text{N}$ . Estos análisis nos permitirán valorar en qué medida las algas han tenido acceso a las fuentes de nitrógeno derivadas del metabolismo de los peces. (Holmer *et al.* 2008), o, lo que es lo mismo, la cantidad de formas del nitrógeno de origen animal o antrópico que las algas están biofiltrando de las aguas.

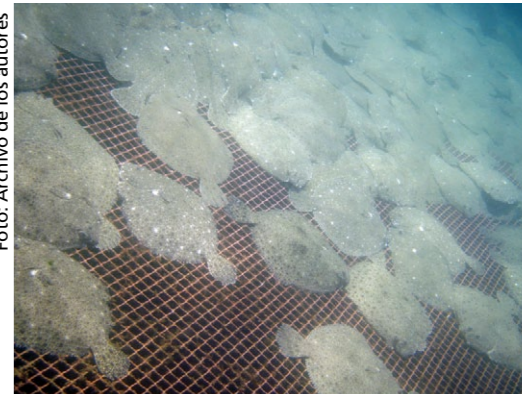
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las cifras de producción media de *Saccharina latissima* oscilaron entre los 7,1 y 10,7 kg/m, por lo que se encuentran dentro del intervalo de valores obtenidos en otras experiencias realizadas en Galicia. Son inferiores a las de 13,1 kg/m obtenidas por Cremades *et al.* (2007) utilizando también cuerdas verticales

Foto: Archivo de los autores



Foto: Archivo de los autores



A la derecha, aspecto general de las líneas de jaulas y detalle de las que estuvieron ocupadas con rodaballo durante las experiencias.



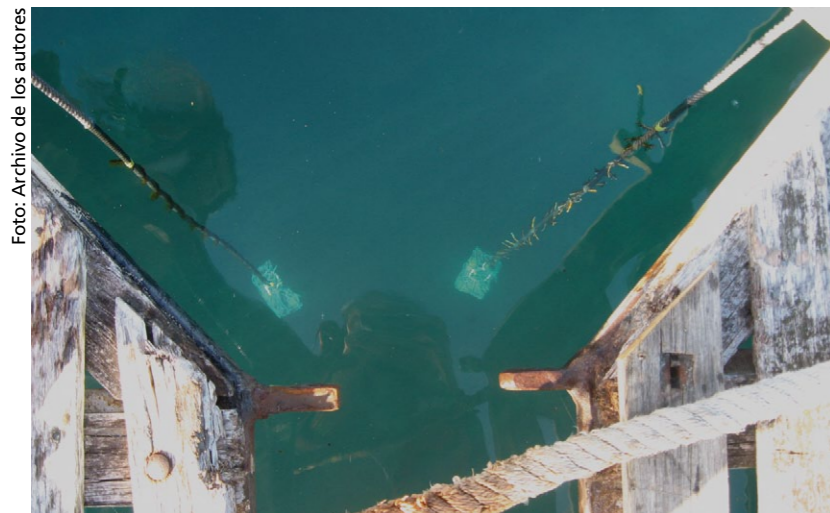


Foto: Archivo de los autores

lejos de otras estructuras acuícolas, pero superiores a las de 6,2 kg/m obtenidas por Peiteiro *et. al.* (2006) sobre cuerdas en *long-line*.

Aunque no existen diferencias significativas entre las cuerdas, al menos en el período y densidad de cultivo de macroalgas ensayado, la proximidad a los peces no resulta beneficiosa, ya que las algas más próximas a ellos y que, además, presentaron la mayor relación  $\delta^{15}N$  (6,25); es decir, que fueron las únicas que accedieron al amonio excretado por los peces como fuente adicional de nitrógeno, alcanzaron las menores tallas y cifras de producción por metro de cultivo de todo el experimento.

La explicación de este pequeño detrimento en la producción, aunque no estadísticamente significativo por la gran variabilidad de la biomasa de los distintos implantes, podría explicarse por la menor incidencia lumínica sobre estas cuerdas debido al sombreado y mayor grado de turbidez de las aguas próximas a las jaulas ocupadas por los peces frente a las de las

Cuerdas recién sembradas (20/11/2008) y detalle de los implantes después del primer mes de crecimiento (15/12/2008).

Evolución de la biomasa media de *Saccharina latissima* y de la relación isotópica del nitrógeno en función de la distancia a los peces.

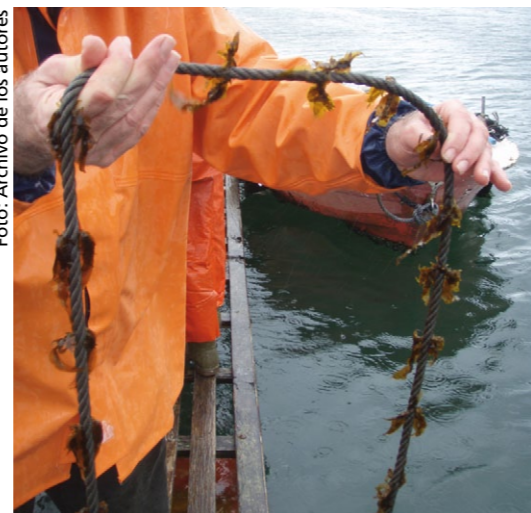
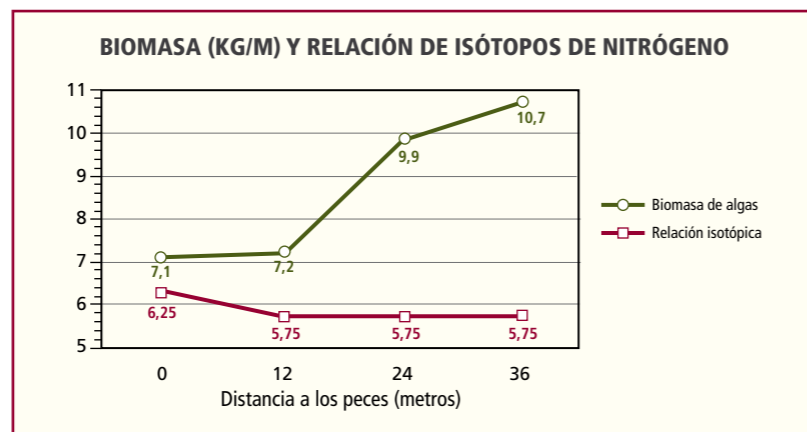


Foto: Archivo de los autores

que se encontraban vacías, ya que según Cremades *et al.*, (2007) variaciones de este factor puede producir importantes disminuciones de la producción.

A la vista de los resultados obtenidos parece evidente que la causa primordial de la aparente ausencia de una ventaja neta de la integración macroalgas-peces que se ha obtenido en este experimento deriva de que, con la densidad de cultivo ensayada, durante toda su duración y



Foto: Archivo de los autores

en todas las zonas del mismo, los nutrientes no debieron ser en ningún caso un factor limitante para el desarrollo de *Saccharina latissima*.

Podemos concluir, por tanto, que en las técnicas de acuicultura multitrófica peces-algas en las rías gallegas es preferible una distribución en mosaico frente a una mezcla de ambos cultivos, lo que tiene importantes implicaciones a la hora de la futura ordenación litoral de la producción acuícola.

Por el alto nivel de nutrientes de las rías gallegas el beneficio de la integración de cultivos peces-macroalgas no está en relación directa a la cercanía entre ellos, e incluso puede llegar a ser un handicap ya que la presencia cercana de los peces y de estructuras sumergidas disminuye la radiación lumínica y exagera los procesos de sedimentación y recluta que pueden provocar un considerable aumento del *fouling*, uno de los principales problemas de los cultivos de macroalgas. Podemos concluir, también, que el beneficio de estos policultivos debe ser evalua-

Aspecto de una cuerda a los tres meses de cultivo (16/02/2009). A la derecha, uno de los implantes de mayor desarrollo obtenidos en el muestreo final (6/04/2009).



Foto: Archivo de los autores

do tanto por la mejora de la calidad del medio marino como por el aumento y diversificación de la producción acuícola total.

**REFERENCIAS**

Cremades J., Freire O., Baamonde S., Salinas J.M. & Fuertes C. (2007) Nuevo método para el cultivo industrial de *Laminaria saccharina* (Laminariales, Phaeophyta) en las costas gallegas. Actas XI Congreso Nacional de Acuicultura, 1: 559-562.

Holmer M., Hansen P.K., Karakassis I., Borg J.A. & Schembri P.J. (2008) Monitoring of environmental impacts of marine aquaculture. En: (Eds.), *Aquaculture in the Ecosystem*. Holmer M., Black K., Duarte C.M., Marbà N. & Karakassis I. Springer, pp. 47-85.

Pérez R., Kaas R., Campello F., Arbault S. & Babaroux O. (1992) *La culture des algues marines dans le monde*. Service de la Documentation et des Publications (SDP). IFREMER. Plouzane.

Peteiro C., Salinas J.M., Freire O & Fuertes C. (2006) Cultivation of the autoctonomous seaweed *Laminaria saccharina* on the Galician Coast NW Spain): Production and features of the sporophytes for an annual and biennial harvest. *Thalassas*, 22: 45-53.

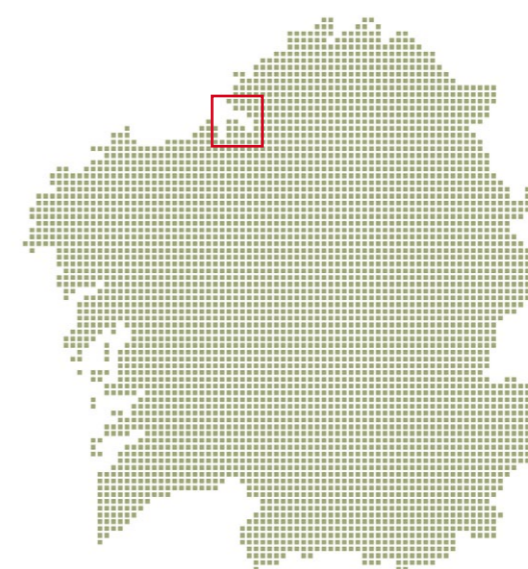




### Cultivo en mar abierto del alga alimentaria *Saccharina latissima* asociado a bateas de mejillón en la ría de Ares y Betanzos (A Coruña)

Esta experiencia se realizó, entre diciembre de 2009 y abril de 2010, en la concesión administrativa de carácter experimental para el desarrollo de cultivos de macroalgas marinas de la que es beneficiaria la empresa colaboradora Porto-Muiños ([www.portomuinos.com](http://www.portomuinos.com)), ubicada en el Polígono

de cultivos marinos Sada II de la ría de Ares y Betanzos (A Coruña). La hipótesis de partida es que esta integración de estos cultivos traerá como beneficios la mejora de la calidad del agua por la reducción de la eutrofización y cifras de CO<sub>2</sub> disuelto y el aumento y diversificación de la producción acuícola del polígono.



Polígono de cultivos marinos Sada II de la ría de Ares y Betanzos (A Coruña), donde se realizó la experiencia. Imágenes de Google Maps y ortofotos procedentes del visor del SigPac del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.





**DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA**

Como en la anterior experiencia, la semilla de *Saccharina latissima* (kombu de azúcar) cultivada fue producida en la Planta de Cultivos de Algas del IEO en Santander utilizando su banco de germoplasma y mediante la técnica de *free-living* (Pérez et al., 1992).

La siembra se realizó el 18/12/2009 mediante el método conocido como japonés. En él, los hilos de semilla son cortados en fragmentos de unos 5 cm de longitud que se introducen cada 10-15 cm, tras abrirlo, en el interior del cabo de cultivo. Para el cultivo de esta especie se usó un sistema de líneas flotantes dobles unidas y reflotadas con boyas transversales de 100 litros dispuestas cada 5 metros. Cada línea tiene entre las boyas transversales otras 5 boyas de 3 litros, de las que se cuelgan las cuerdas de cultivo (Cremades et al., 2007).

Para el seguimiento de la experiencia se hicieron muestreos regulares y se estimaron las tasas de crecimiento tras los distintos muestreos y ubicaciones. De igual forma, el análisis de la relación  $\delta^{15}N$  que se determine en las mues-



Foto: Archivo de los autores

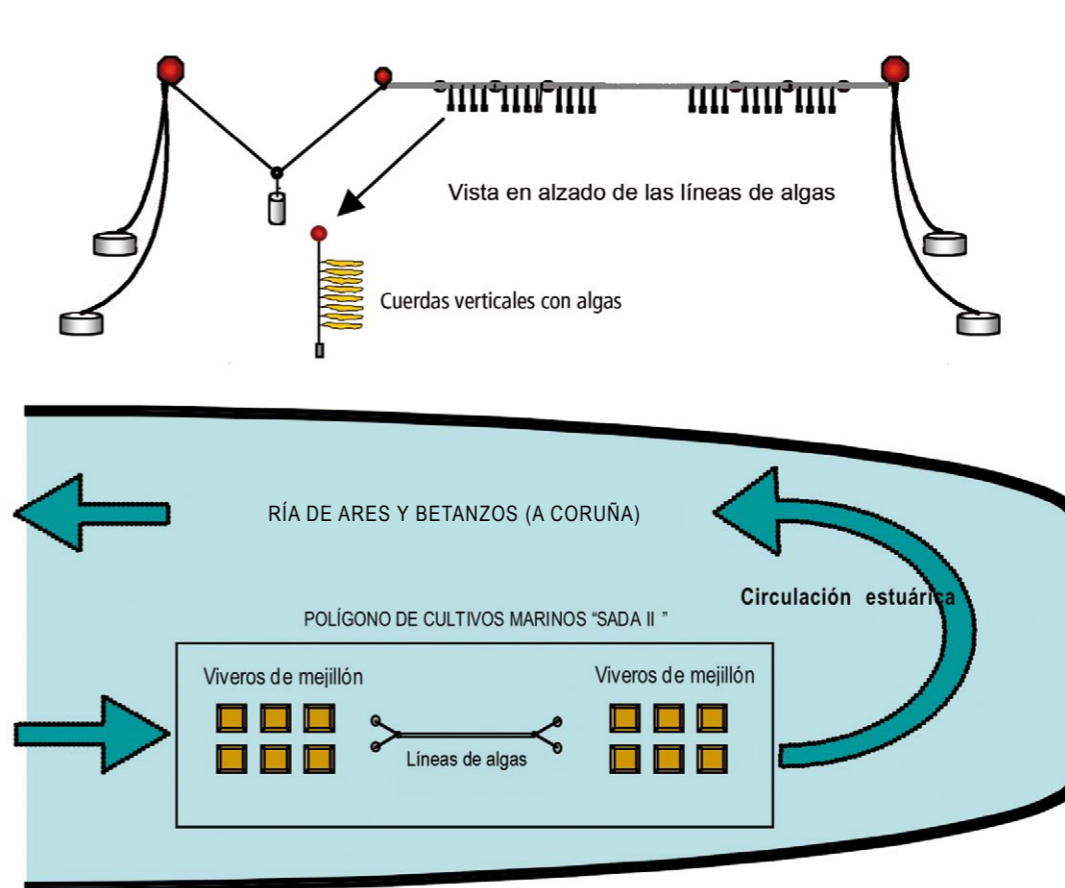


Foto: Archivo de los autores



Foto: Archivo de los autores

Esquema: Javier Cremades



A la izquierda, esquemas de las disposiciones del cultivo integrado en mar abierto. En la página anterior y arriba, línea de cultivo (*long-line*). Abajo, vista general de la instalación y detalles de las cuerdas con los implantes de algas en distintos estados de desarrollo.

Foto: Archivo de los autores

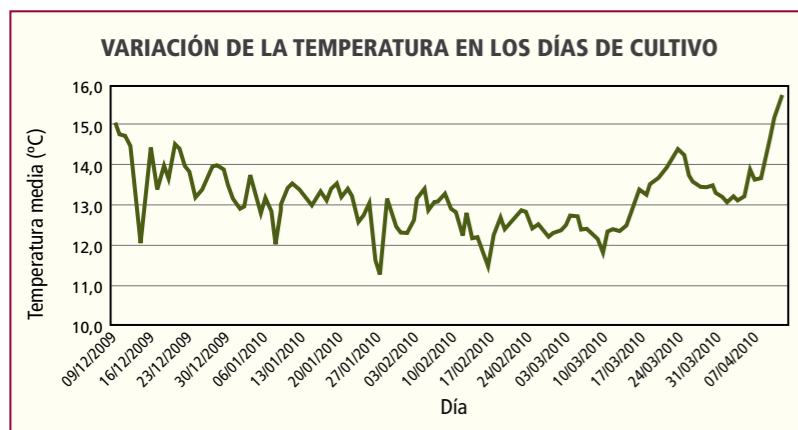


Foto: Archivo de los autores





Fig. 1.- Variación de la temperatura en los días de cultivo. A la derecha y abajo, cuerdas de cultivo en el segundo muestreo (10/03/2010).



tras de las algas nos permitirá valorar en qué proporción las algas se han estado nutriendo de los residuos derivados de los peces.

A la hora de valorar los beneficios de la integración de los distintos cultivos carecemos de un "blanco de comparación" porque la legislación autonómica prohíbe los cultivos marinos fuera de los polígonos delimitados para ellos.

Debemos indicar de todas formas que, para esta valoración, disponemos de datos de crecimiento y analíticas de macroalgas de experiencias de años anteriores realizadas en otras zonas de Galicia y en otras regiones peninsulares, tanto en mar abierto como *indoor*.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a las características ambientales en esta instalación en mar, se cuenta con los datos oceanográficos oficiales debido a que los cultivos se encuentran en polígonos marinos que son controlados de forma rutinaria. Los datos de temperatura obtenidos durante el experimento fueron los de la fig.1.

El desarrollo de *Saccharina latissima* durante el transcurso del experimento fue óptimo y con una tasa máxima de incremento de peso del 5% día que fue registrada a principios de febrero. La producción media por metro de cuerda al final de la experiencia fue de casi 6 kg, cifra que se encuentra dentro de los valores de producción en aguas gallegas obtenidos en otras experiencias (Peteiro *et al.*, 2006; Cremades *et al.*, 2007).

En los datos de peso la profundidad juega un papel determinante ya que, a medida que au-

menta, se produce escasez de luz debido al ensombrecimiento ocasionado tanto por los ejemplares que crecen a menor profundidad como por la progresiva disminución de la penetración de la luz y la turbidez de las aguas. Los valores medios de la relación isotópica  $\delta^{15}\text{N}$  en *Saccharina latissima* fueron de 6,8, valor indicativo de que las macroalgas cultivadas en este polígono están asimilando muy significativamente formas de nitrógeno excretadas por organismos de mayor nivel trófico que les rodean, probablemente el abundante amonio que los moluscos filtradores como lo mejillones excretan al medio (Pérez Camacho, 1992).

### REFERENCIAS

- Cremades J., Freire O., Baamonde S., Salinas J.M. & Fuertes C. (2007) Nuevo método para el cultivo industrial de *Laminaria saccharina* (Laminariales, Phaeophyta) en las costas gallegas. *Actas XI Congreso Nacional de Acuicultura*, 1: 559-562.
- Pérez R., Kaas R., Campello F., Arbault S. & Babaroux O. (1992) *La culture des algues marines dans le monde*. Service de la Documentation et des Publications (SDP). IFREMER. Plouzane.
- Pérez Camacho A. (1992) Cultivo de mejillón en la batea. Cuadernos de Acuicultura. Ed. Consellería de Pesca, Marisqueo e Acuicultura. Xunta de Galicia, 48 pp.
- Peteiro C., Salinas J.M., Freire O & Fuertes C. (2006) Cultivation of the autoctonous seaweed *Laminaria saccharina* on the Galician Coast NW Spain): Production and features of the sporophytes for an annual and biennial harvest. *Thalassas*, 22: 45-53.

Foto: Archivo de los autores



Foto: Archivo de los autores



Foto: Archivo de los autores



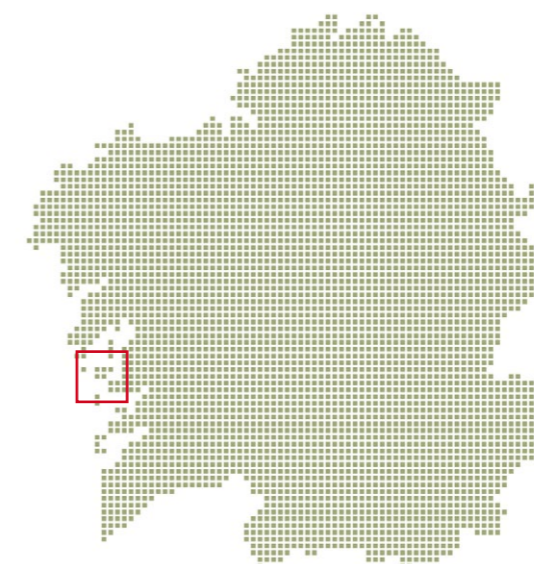
Aspecto de las cuerdas de cultivo en el muestreo final (17/04/2010). Nótese en la figura derecha la diferencia de talla por la estratificación vertical del cultivo.



Foto: Archivo de los autores



**Biofiltración de los sólidos del efluente de una planta de cultivo de rodaballo en circuito abierto con moluscos filtradores (almejas y ostra), invertebrados suspensivos (anémona) y macroalgas alimentarias (*Saccharina latissima* y *Ulva* spp.) en O Grove (Pontevedra)**



Lugar donde se realizó la experiencia en Punta Moreiras - O Grove (Pontevedra). Imágenes de Google Maps y ortofotos procedentes del visor del SigPac del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



Esta experiencia de AMTI se realizó en las instalaciones de una piscifactoría en tierra, con la colaboración de PUNTA MOREIRAS S.L. (O Grove. Pontevedra). Esta

empresa inicialmente trabajaba con rodaballo (*Scophthalmus maximus*), y ahora lo hace también con lenguado (*Solea senegalensis*). El funcionamiento de la granja es de circuito



abierto y el agua es oxigenada por medio de un venturi. La planta tiene una capacidad de producción de 300 Tm al año y posee 2.500 m<sup>2</sup> de superficie de cultivo, localizada en el interior y en oscuridad. Una de las hipótesis de partida fue que la integración de cultivos generaría, entre otros, los siguientes beneficios: mejora de la calidad del agua del efluente, por la retirada de CO<sub>2</sub> y de nutrientes, tanto disueltos como en suspensión. Otra de las ventajas fue comprobar la viabilidad de diversificar la producción acuícola de la planta.

**DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA**

Las aguas del efluente de la planta se derivaron a un biofiltro de invertebrados sedimentívoros y filtradores, cuya función era retirar las partículas en suspensión. Otro de los biofiltros era de macroalgas que actuaban como asimiladoras de los nutrientes en disolución. El efluente salía al exterior por un canal donde se ubicó una zona de sedimentívoros con

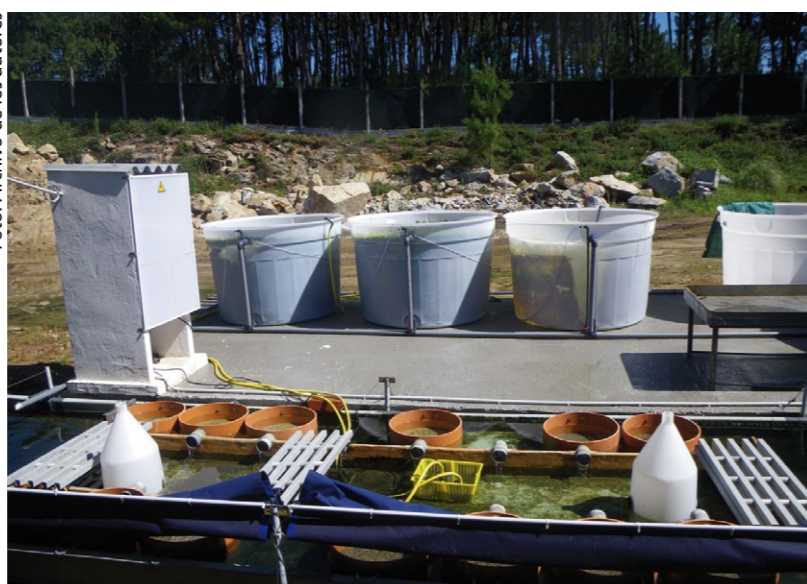


Foto: Archivo de los autores

En esta página, tres momentos de la puesta en marcha del circuito.



Foto: Archivo de los autores



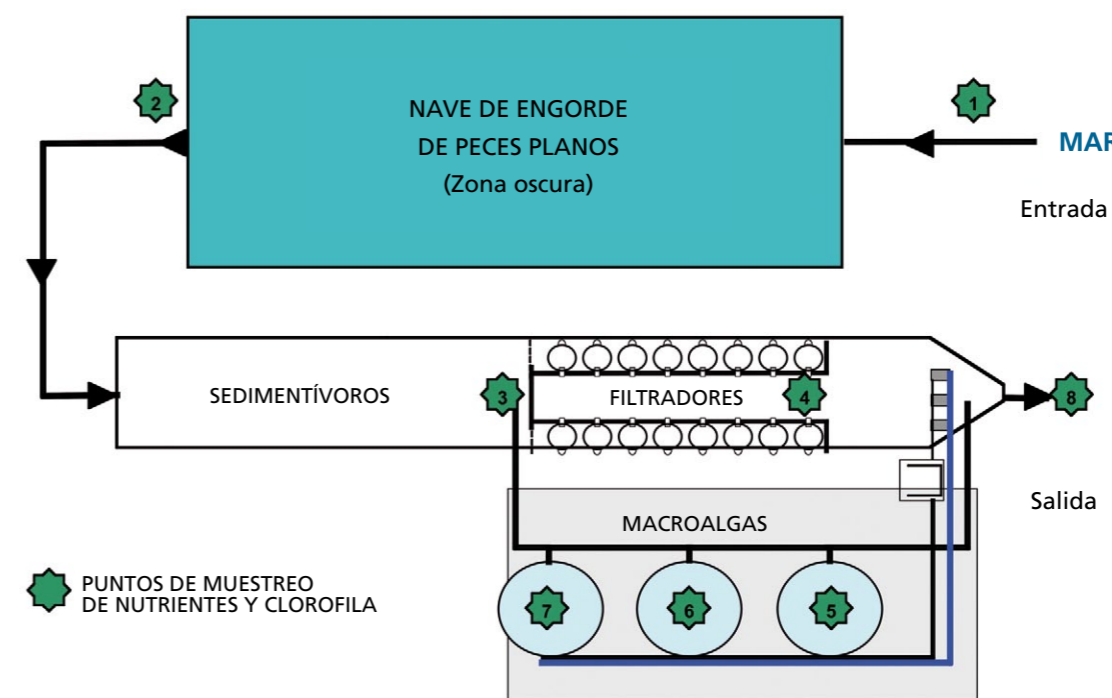
anémonas, otra zona de filtradores con almejas y ostras –de una talla inicial entre uno y dos milímetros– y, finalmente, remataba el circuito en unos tanques con algas de 2.000 litros, que operaban como asimiladores. Uno de los objetivos principales era valorar el incremento de la productividad de estos cultivos asociados, por el uso de aguas enriquecidas, y también comprobar la capacidad absoluta de depuración del efluente.

El recurso empleado para cultivar invertebrados fue un canal al aire libre, de 1,5 m de ancho por 30 cm de alto y 25 m de largo, que recibía el efluente de la nave de engorde de peces y estaba dividido en dos zonas. La primera zona incluía una sección para el cultivo de los invertebrados sedimentívoros (*Anemonia viridis*), en la que también de forma natural creciesen ma-

croalgas (*Ulva* spp.) y una segunda sección con un sistema para cultivar invertebrados filtradores que consistía básicamente en una serie de tambores de preengorde de almeja fina (*Tapes decussatus*), almeja japónica (*Ruditapes philippinarum*), almeja babosa (*Venerupis pullastra*) y ostra rizada (*Crassostrea gigas*).

La segunda zona era un cultivo de algas asimiladoras, en circuito semiabierto similar al ya existente en el CIMA (Centro de Investigaciones Mariñas – Xunta de Galicia), pero de mayor escalado. Este sistema consiste en una unidad de cuatro tanques en paralelo de 2.000 litros para la cría de algas en suspensión. Se cultivaron principalmente las especies *Saccharina latissima* (kombu de azúcar), durante el invierno y la primavera y *Ulva* spp., durante el verano y el otoño.

Esquema: Javier Cremades



En el esquema se pueden ver los puntos de muestreo de nutrientes y de clorofila en la entrada del agua (1), después de pasar por los peces (zona oscura) (2), antes y después de pasar por los bivalvos (3 y 4), en el cultivo de algas (5, 6 y 7) y en la salida de la instalación (8).





A la izquierda, tambor con semilla de ostra rizada.

Este método permite aislar el sistema de las algas sin afectar a los otros organismos durante los posibles tratamientos o limpiezas y modificar la tasa y régimen de renovación del agua, en función de las demandas de las distintas especies, densidades y épocas del año.

Las algas e invertebrados utilizados en esta experiencia fueron recolectados de poblaciones naturales y también se obtuvieron en criaderos de moluscos. Algunos clones de macroalgas provinieron de las instalaciones de la Planta de Cultivos de Algas del IEO en Santander y del CIMA, en Vilanova de Arousa (Pontevedra).

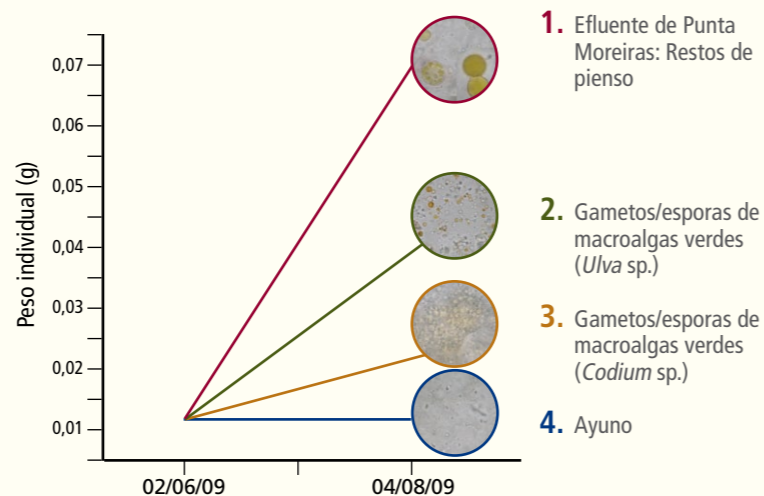
## RESULTADOS

Ahora se dispone de datos acerca de la tasa de crecimiento de las algas y de los invertebrados suspensívoros y/o filtradores, como también sobre la concentración de macronutrientes antes y después de su paso por la zona de cultivo. Para estimar la mejora en la productividad de los cultivos de algas e invertebrados, con respecto a la que se

obtendría en aguas no eutrofizadas, las tasas de crecimiento obtenidas fueron comparadas regularmente con las resultantes del cultivo *indoor* en tanque, en régimen de circuito abierto con aporte de agua oceánica.

Con una experiencia complementaria se registró el crecimiento de semilla de bivalvos, en este caso de la ostra rizada (*Crassostrea gigas*), en el efluente de la instalación y se lo comparó con el de otras semillas, asociadas con algas verdes *Codium* spp. y *Ulva* spp., además de

### PRUEBA CON TRES TIPOS DE ALIMENTACIÓN EN *Crassostrea gigas*



#### Contenido final del hepatopáncreas en los cuatro casos:

1. Efluente: se ven gotas de grasa (del pienso) y una gran cantidad de partículas muy pequeñas (restos de heces); además se observan algunas algas verdes unicelulares y diatomeas.
2. Tanque con *Ulva* sp.: se observan células de contenido granuloso grandes y muchas células de menor tamaño y color dorado (gametos/esporas) o ya casi incoloras (digeridas). También se aprecian algunas diatomeas.
3. Tanque con *Codium* spp.: se observan en menor densidad células similares en tamaño a las esporas/gametos de *Ulva* pero totalmente incoloras.
4. Tanque sin macroalgas: apenas se observa material particulado.

otro cultivo de control en ayuno, las tres desarrolladas en instalaciones del CIMA.

El resultado fue que el crecimiento máximo se produjo en las ostras mantenidas en el efluente. En el contenido del hepatopáncreas se encontraron algunas gotas de grasa, procedentes del pienso, partículas pequeñas (restos de heces), y algunas algas verdes unicelulares y diatomeas. En el crecimiento en la semilla de los tanques del CIMA, con *Codium* y *Ulva*, únicamente se observaron gametos y esporas de algas, lo que indica que en el circuito hay tres formas de alimentación, una por fitoplancton (flagelados y diatomeas), otra procedente de los gametos y/o esporas de algas verdes, y una última que procede del pienso.

También se hicieron mediciones del crecimiento de las almejas durante 10 meses. La biomasa total pasó de 2 a 29 kg. Del número inicial de 300.000 individuos, se registró una mortalidad del 18,5% en la almeja japonesa y un 12% en la almeja fina. Sin embargo, el incremento en valor económico estimado y la velocidad de crecimiento en 30 días, resultaron muy parecidos en los dos casos. Se concluye entonces que este sistema permite engordar en circuito abierto, varias especies comerciales de bivalvos, mantenidas con el efluente de una granja de rodaballo.

En otra experiencia complementaria, la semilla de bivalvos preengordada en Punta Moreiras se sembró en un parque intermareal de Carril Los resultados de este trabajo se explican en otro espacio de esta misma publicación.

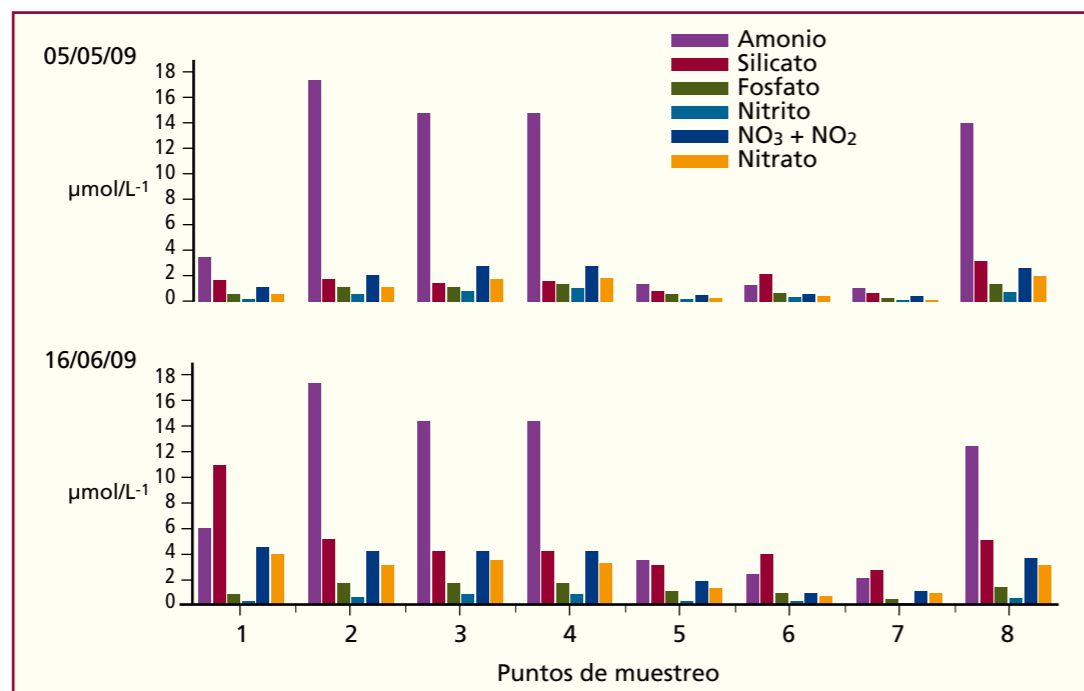
Con respecto a los cultivos de algas, hay datos

Arriba, labores de mantenimiento y control en el área de bivalvos. A la derecha, control del crecimiento de *Saccharina latissima* en un tanque de 2.000 litros.

sobre las distintas especies y épocas del año y el régimen y caudal mínimos necesarios, para que el sistema mantenga la biomasa máxima sostenible. Esta biomasa tuvo un ciclo de cosechas parciales, que permitió calcular



En esta gráfica se pueden observar los datos de dos semanas de la variación en  $\mu\text{mol/L}$  de los nutrientes amonio, nitrito, nitrato, fosfato y silicato, presentes en el agua de mar a lo largo del circuito. Se nota un aumento notable del amonio después de pasar por los peces (punto de muestreo 2) debido a la eutrofización, mientras que dentro del cultivo de algas disminuye (puntos de muestreo 5, 6 y 7). El valor alto de amonio que se registra a la salida (punto de muestreo 8) es debido a que la mayor parte del caudal de agua no pasa a través del circuito de algas.



la productividad del sistema por volumen de efluente.

Se comparó el crecimiento de dos especies: "kombu de azúcar" (*Saccharina latissima*), cultivada en invierno a una temperatura inferior de  $17^\circ\text{C}$  y *Ulva* spp. como especie de verano, ya que coincide con su época natural de aparición en las playas. Quedó comprobado que el rendimiento, en cuanto a producción de biomasa, es muy superior en *Ulva* spp. El incremento de biomasa/mes en tanques de 2.000 litros, durante el periodo primavera-verano, fue del 37% para *Saccharina*, pasando de 8 a 12 kg, y de un 568% en *Ulva*, que pasó de 4 a 27 kg. Con los datos de la variación de nutrientes y clorofila A recogidos en el circuito, se evaluó la integración multitrófica del sistema.

También se estimó la mejora en la productividad de estos cultivos y la capacidad de biofiltración del sistema analizando las características del agua, antes y después de su paso por los distintos cultivos asociados.

Con respecto a la evolución del plancton y nutrientes en agua, se han detectado variaciones importantes de las concentraciones de clorofila A, debidas sin duda a la producción de blooms fitoplanctónicos en las distintas zonas del sistema a partir de los nutrientes disueltos. Estos blooms pueden servir de alimento para los organismos filtradores incluidos en el sistema. En cuanto a la calidad del agua, el hecho más relevante fue la drástica disminución de los niveles de amonio, tras su paso por los tanques de cultivo de macroalgas.



Foto: Archivo de los autores

*Anemonia viridis* bajo el agua en la zona para cultivo de invertebrados suspensivos. Obsérvese la gran abundancia de material particulado en suspensión.

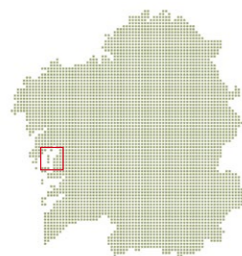
## CONCLUSIONES

- Los sistemas y prácticas empleadas en la experiencia posibilitaron mantener en circuito abierto varias especies comerciales de bivalvos, mantenidas con el efluente de una granja de rodaballo.
- La concentración de amonio se incrementa en el agua al transcurrir por los tanques de peces y moluscos y disminuye a su paso por las algas.
- Los valores de clorofila A debidos al picoplancton ( $0,7 \mu\text{m} < 2,7 \mu\text{m}$ ), disminuyen en el agua a su paso por los peces, en la zona oscura y aumentan en la zona iluminada y de macroalgas, para finalmente disminuir al pasar por los bivalvos.
- Existe interacción comprobada algas verdes-

crecimiento de bivalvos, debido a la suelta de gametos y/o esporas.

- Presumiblemente hay tres tipos de alimento para bivalvos: microalgas, esporas y gametos de macroalgas y pienso microparticulado.
- La biomasa de moluscos creció de 2 a 29 kg en un período de 10 meses.
- Para las algas, el incremento de biomasa / mes en tanques de 2.000 litros y en primavera-verano fue del 37% para *Saccharina latissima*, que evolucionó de 8 a 12 kg. En el caso de la *Ulva* sp., fue del 568%, ya que el incremento fue de 4 a 27 kg.
- Se comprobó la reproducción por bipartición de la anémona (*Anemonia viridis*).





## Engorde de semilla de almejas fina y japonesa procedente de semillero multitrófico en parque de cultivo en Carril (Pontevedra)

La experiencia que aquí se planteó tuvo como uno de sus principales objetivos estudiar cómo evoluciona el crecimiento, en un parque intermareal, de semilla de las dos especies de bivalvos comerciales, almeja fina y almeja japonesa, procedente de criadero y preengordada mediante un sistema de acuicultura multitrófica. Como ya se explicó, ese sistema se realizó con el efluente de una granja de engorde de rodaballo con circuito abierto de agua.

Los resultados de este estudio complementario de la experiencia en Punta Moreiras, demostraron la viabilidad del preengorde de semilla de estas dos especies, mediante un cultivo multitrófico, así como su aptitud para su posterior engorde en parque de cultivo. Para los autores es una comprobación de que el preengorde multitrófico, que difiere del llevado a cabo en un semillero convencional, es aplicable a los procesos y etapas de los cultivos de bivalvos.

### OBJETIVO

El objetivo de la experiencia que aquí se describe fue valorar las ventajas o posibles inconvenientes del engorde en parque de cultivo intermareal de semilla de moluscos bivalvos preengordada en sistemas de cultivo multitrófico integrado frente a la procedente de los semilleros tradicionales.

### MATERIAL Y MÉTODOS

#### 1. Preengorde en un sistema multitrófico. (15/10/08-05/08/09)

El sistema multitrófico se desarrolló con la biofiltración del efluente de una planta de cultivo de rodaballo en circuito abierto mediante el empleo de moluscos filtradores (almeja), invertebrados suspensívoros (anémonas), y macroalgas alimentarias. Con la integración se consiguieron los siguientes beneficios:

- Mejora de la calidad del agua del efluente por la retirada de CO<sub>2</sub> y nutrientes, tanto disueltos como en suspensión.
- Comprobar la viabilidad de aumentar y diversificar la producción acuícola de la planta, en este caso con el engorde de semilla de moluscos bivalvos, y la producción de otros invertebrados y macroalgas alimentarias.

Se inició el preengorde en semillero con:

	A. fina	A. japonesa
Talla	2,58 mm	2,87 mm
Peso individual	0,012 g	0,010 g
Peso total	500 g	1.700 g
Total individuos	108.500	196.600

#### 2. Siembra. (05/08/09)

Una vez que la semilla alcanzó la talla adecuada, se trasladó para realizar su siembra en una parcela de 600 m<sup>2</sup> del parque de Carril. Cuando se produjo su traslado, los datos de talla y peso para ambas especies eran:

	A. fina	A. japonesa
Talla	7,96 mm	7,03 mm
Peso individual	0,11 g	0,088 g
Peso total	265 g	340 g
Total individuos	2.359	3.864

#### 3. Primer año en parque. (05/08/09-10/08/10)

Se procedió a la revisión de lo sembrado después de un año, con un muestreo aleatorio de 30 individuos. Se midió el peso total de la muestra con un dinamómetro y la longitud individual de cada una de las especies:



Al lado, semilla de almeja japonesa (izquierda) y fina, procedente de criadero y preengordada en un sistema de acuicultura multitrófica, lista para la siembra en el parque de cultivo.

Arriba, situación de los parques de cultivo de Carril. Imágenes de Google Maps y ortofotos procedentes del visor del SigPac del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Foto: Archivo de los autores



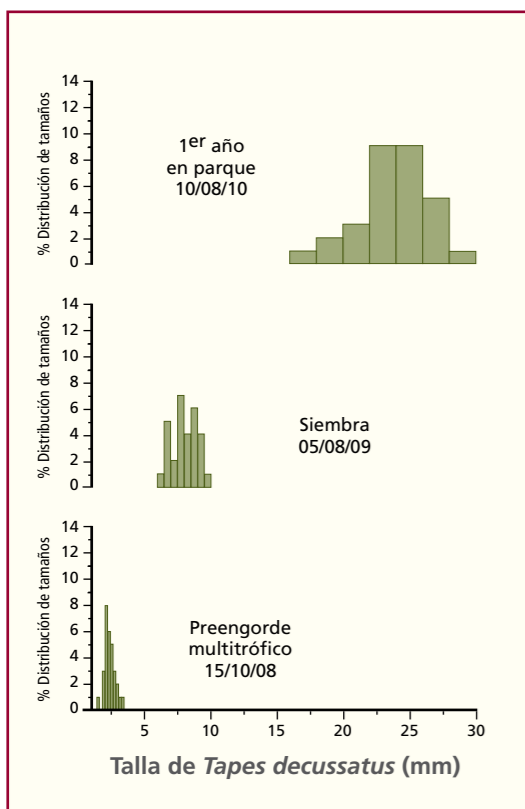
El biólogo Salvador Guerrero, a la izquierda, en el parque de Carril donde se engordó semilla de almeja fina y japonesa procedente de una experiencia de cultivo multitrofico en una piscifactoría de rodaballo de circuito abierto.

Foto: Archivo de los autores





Foto: Archivo de los autores



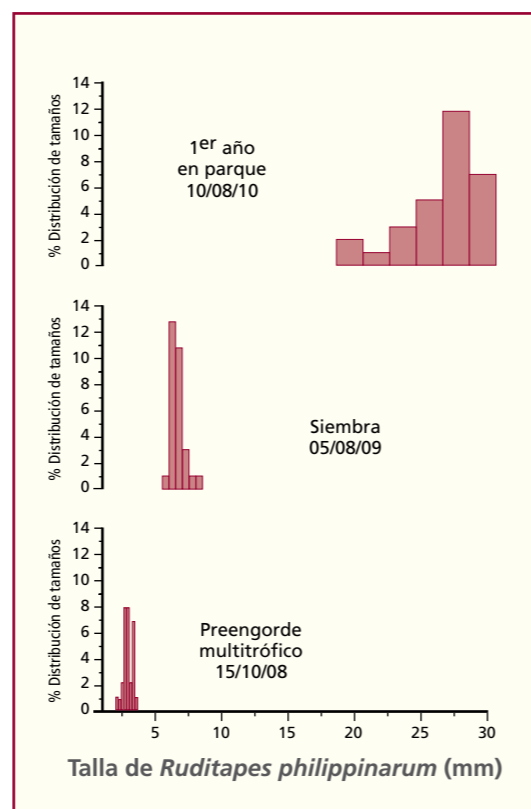
Figs 1 y 2.- Distribución de tallas (mm) de almeja fina (*Tapes decussatus*) y japonesa (*Ruditapes philippinarum*) desde el preengorde en semillero multitrófico hasta el primer año en parque de cultivo.

	A. fina	A. japonesa
Talla	23,72 mm	27,91 mm
Peso individual	3 g	5,83 g

Periódicamente se realizó la limpieza del parque, eliminando algas, depredadores, restos de conchas y bivalvos muertos.

**RESULTADOS**

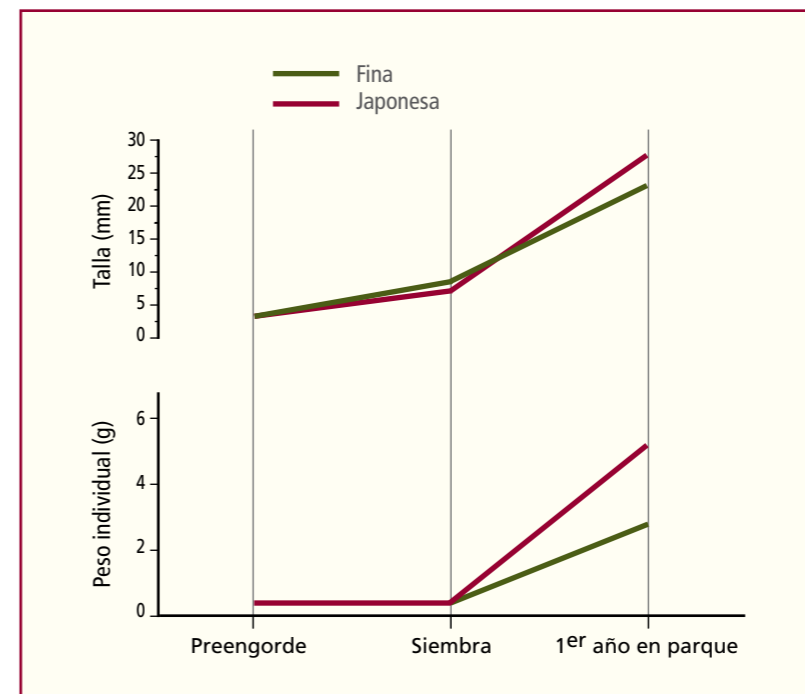
En las figuras 1, 2 y 3 se pueden observar la distribución de tallas en los muestreo: al inicio del preengorde, en el momento de la siembra y después de un año en el parque de cultivo. También hay datos sobre la evolución de la talla y el peso individual, durante el periodo estudiado.



**CONCLUSIONES**

- Mientras que durante el proceso de preengorde multitrófico no hay diferencias significativas en el crecimiento entre las almejas fina y japonesa (experiencia en Punta Moreiras), al final del primer año en parque se aprecia una diferencia entre ambas especies, creciendo en mayor medida la almeja japonesa.

- Podemos pensar, en un futuro, en optimizar un sistema de cultivo de semilla de bivalvos, tanto de almeja fina como de japonesa, con un preengorde de tipo multitrófico en instalaciones en tierra. El comportamiento de los individuos obtenidos de esta manera, desde el momento de su siembra en el parque intermareal y durante el engorde, no difieren de un cultivo de semilla de almejas provenientes de un semillero tradicional.



Fotos: Archivo de los autores

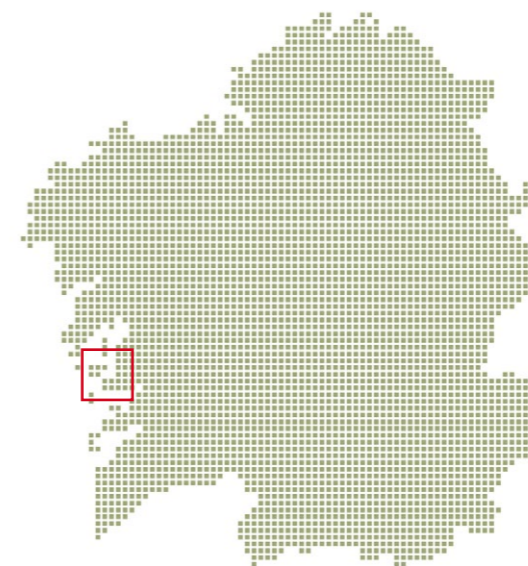


Fig 3.- Evolución de talla y peso individual durante el período de estudio de las dos especies.





### Incorporación de cultivos de *Saccharina latissima* y de invertebrados suspensivos y filtradores a una planta de producción de rodaballo y lenguado en recirculación de agua en Cambados (Pontevedra)



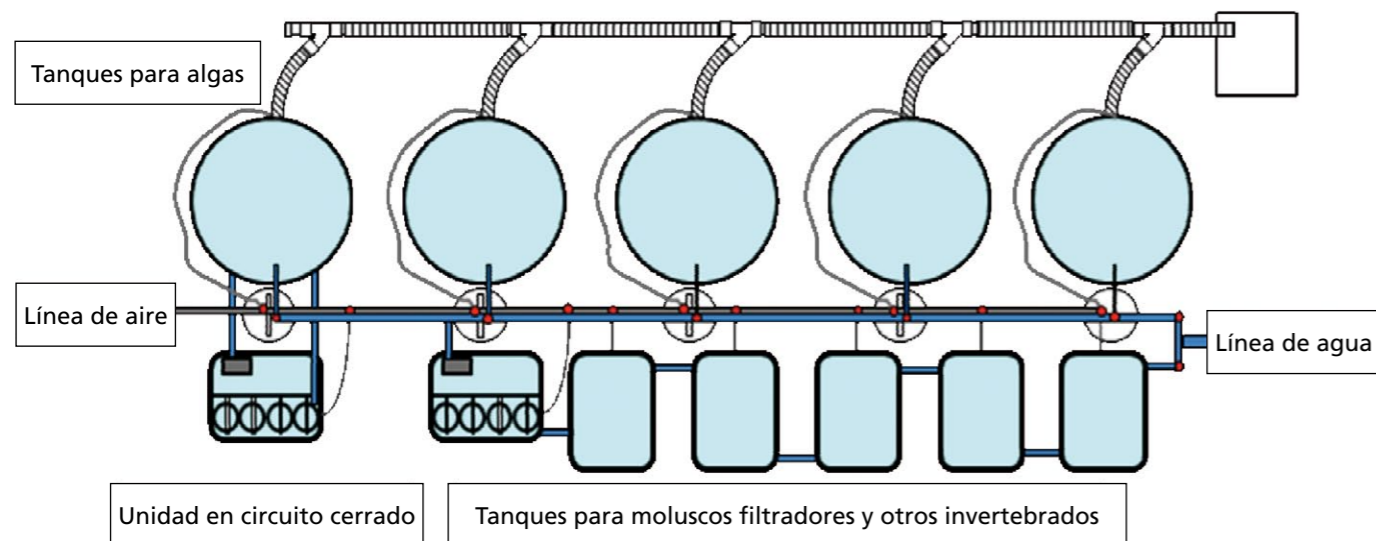
Aquacria Arousa tiene sus instalaciones en Bico da Ran, Cambados (Pontevedra). Imágenes de Google Maps y ortofotos procedentes del visor del SigPac del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



El principal cometido industrial de la piscifactoría Aquacria Arousa S.L. es el engorde de peces planos. Produce rodaballo (*Scophthalmus maximus*), y actualmente también cría lenguado (*Solea senegalensis*). Se trata de una de las primeras granjas marinas

en adoptar el sistema de circuito cerrado de agua. Su capacidad de producción es de 500 toneladas al año y dispone de una superficie útil de cultivo de 10.500 m<sup>2</sup>. Está prevista una ampliación para alcanzar las 1.500 toneladas anuales de peces planos.





Diseño general de la instalación utilizada para realizar las experiencias AMTI en la planta de cultivo de peces de Acuacria Arousa (Cambados, Pontevedra).

El efluente de la piscifactoría atraviesa un complejo sistema de depuración de filtros mecánicos y biológicos y, finalmente, es sometido a un tratamiento bacteriológico que permite que la flora bacteriana asociada al cultivo esté controlada. El sistema regula automáticamente distintos parámetros, como el pH y la temperatura del agua. Diariamente se renueva un volumen determinado del agua, que oscila entre el 5 y el 10%. Asimismo, también son analizados periódicamente todos los parámetros físico-químicos que afectan a la calidad del agua.

La empresa ha aportado para la realización de la experiencia de AMTI, y sin contraprestación económica, una superficie de 120 m<sup>2</sup>, con toma de electricidad y salida de agua filtrada de la misma calidad que la existente en la instalación, para ser utilizada en un circuito de algas. Además, se dispuso de otro caudal de agua, no filtrada y procedente del efluente, para las experiencias con organismos filtradores y sedimentívoros.

Algunos de los principales objetivos de este trabajo fueron obtener datos para valorar los incrementos en la productividad de estos cultivos asociados a la producción de peces, con el uso de aguas enriquecidas en nutrientes. También permitió controlar la capacidad de mejora de la calidad del agua del efluente, por la retirada de CO<sub>2</sub> y nutrientes, tanto sólidos como disueltos. Hay que señalar que las especies de algas alimentarias, los invertebrados sedimentívoros –anémonas y anélidos poliquetos– seleccionados, además de su alto nivel de operatividad en estos sistemas, tienen un alto potencial económico.

#### EXPERIENCIAS PREVIAS

El primer paso de esta experiencia consistió en estudiar en las instalaciones del CIMA, mediante circuitos experimentales, el cultivo en suspensión de algas alimentarias, en particular *Saccharina latissima* (kombu de azúcar), y *Ulva* spp. (lechuga de mar). También se trabajó en laboratorio en el desarrollo de métodos



Tanques donde se realizaron las experiencias en el Centro de Investigaciones Marinas de la Xunta de Galicia (CIMA-Corón, Pontevedra) y detalle del sistema utilizado.

y técnicas de cultivo de moluscos filtradores e invertebrados suspensivos, en particular el cnidario *Anemonia viridis* (anémona) y los anélidos poliquetos *Arenicola marina* (arenicola), *Alitta virens* (miñoca), y *Nereis aibuhitensis* (coreano), una selección que se realizó con el criterio de que se tratara de especies integrables, tras un adecuado escalado, en las instalaciones de la piscifactoría.

#### CULTIVOS DE MACROALGAS ALIMENTARIAS

En una primera fase se utilizaron plantas juveniles de *Saccharina latissima* de unos 10-20 cm, obtenidas del banco de germoplasma de

la planta de cultivo de algas “El Bocal” del IEO de Santander. En este momento se utilizan plantas de *Ulva rotundata*, cultivadas también en dichas instalaciones. Ambas especies tienen una alta tasa de crecimiento y de asimilación de nitrógeno disuelto y son de uso creciente en las industrias de alimentación humana y animal.

En estas experiencias se utilizaron tanques de polietileno de 2.000 litros, en los que el movimiento de las algas cultivadas en suspensión se realiza mediante inyección de aire por el lateral inferior del tanque. Como se dijo, el agua



Tanques de cultivo de macroalgas en las instalaciones de Acuacria. A la izquierda, con *Saccharina latissima*. A la derecha, con *Ulva rotundata*.



Foto: Archivo de los autores



utilizada pertenece al efluente de los peces y es filtrada mecánicamente para eliminar las partículas superiores a 70  $\mu\text{m}$ . Las experiencias comenzaron en febrero de 2011 y continúan en la actualidad.

Como el cultivo en suspensión de *Saccharina latissima* en efluentes de piscifactoría carece de antecedentes, los trabajos realizados están dirigidos a conocer, de forma preliminar, la influencia de los principales factores de este tipo de cultivo.

La primera experiencia permitió obtener datos de la capacidad de las algas para consumir los nutrientes del medio, y así se pudo establecer un régimen de renovación mínimo necesario, para que su crecimiento genere un valor óptimo de producción. Para ello se analizó la disminución de la concentración de nitratos sin renovación de agua, a partir de una densidad de 2 kilos por  $\text{m}^3$ , observándose que, tras 12 días de cultivo, aún quedaban en el agua de

Tanques donde se realizaron las experiencias en las instalaciones de Aquacría.

los tanques más de un tercio de los nitratos iniciales, que eran aproximadamente de 7  $\text{mg/l}$  de N en forma de  $\text{NO}_3$ .

Esto revela que la tasa de renovación con agua tan enriquecida puede ser muy baja y que, en ese caso, sería necesario medir y controlar de forma automatizada los valores de pH en los momentos de máxima actividad fotosintética, para que no sobrepasen valores letales por la alta tasa de crecimiento de la especie.

La segunda experiencia realizada estaba orientada a conocer la densidad óptima de cultivo que es aquella que, sin límite de nutrientes, permite obtener el rendimiento neto más elevado. Para ello se partió de densidades iniciales bajas en un régimen de alta renovación (medio tanque al día), para estimar semanalmente el incremento de biomasa y detectar a qué densidad el sistema entra en fase estacionaria. Hasta ahora hemos llegado a densidades de 4  $\text{kg/m}^3$ , una cifra que seguramente será más alta si realizamos la experiencia en un periodo estacional más adecuado con el cultivo de la especie.

Hay que reconocer que, lamentablemente, esta experiencia no se pudo concluir con el éxito esperado, debido a que se comenzó muy tarde y las condiciones ambientales, en particular la temperatura en las dos últimas semanas de la experiencia (finales de abril), fueron limitantes para el desarrollo de *Saccharina latissima*.

De estas experiencias se concluye, por tanto, que el cultivo de *Saccharina latissima* en tanques al aire libre, al menos en la localización ensayada, es viable desde octubre hasta abril

y que su máxima productividad se obtiene al menos con densidades de 4  $\text{kg/m}^3$ . De mayo en adelante, este cultivo debe ser sustituido en un sistema AMTI, por el de una especie más termófila y fotófila y, de hecho, es lo que estamos haciendo ahora, cultivando *Ulva rotundata* con muy buenos resultados.

### CULTIVOS DE INVERTEBRADOS. ANÉMONAS

*Anemonia viridis* (ortiguilla de mar) es un cnidario de la clase antozoos, que ha sido recientemente estudiado en las costas de Galicia para conocer su abundancia, reproducción y la sostenibilidad de la explotación de sus poblaciones naturales con vistas a regular su extracción comercial, originada por su creciente interés económico y sus valores gastronómicos y nutricionales.

En este caso se comparó el desarrollo de la especie utilizando los dos tipos de aguas disponibles en la piscifactoría, la filtrada y la rica en partículas sólidas. A los 45 días de cultivo, la población mantenida en el agua no filtrada experimentó un incremento del 50% de la biomasa total. Además, se incrementó también el número de individuos por reproducción asexual (bipartición) de los ejemplares más grandes. Sin embargo, la población de

Foto: Archivo de los autores



Abajo, a la izquierda, ejemplar de *Anemonia viridis* en el momento de la bipartición, al lado, tanque donde se mantuvieron las anémonas y detalle de algunos ejemplares.

anémonas mantenidas en el agua filtrada no aumentó en número y sufrió un descenso en peso del 33%.

Estos resultados demuestran claramente el valor proteínico de las heces de los peces y de los restos de pienso y floculados de bacterias presentes en el efluente de la piscifactoría, como así también el gran futuro que esta especie puede tener en los sistemas AMTI, sobre todo por su capacidad de reproducción asexual y valor económico.

Fotos: Archivo de los autores





### POLIQUETOS

Existe un gran mercado para poliquetos marinos utilizados como cebo para la pesca y como complemento alimentario en el cultivo de crustáceos y peces. Actualmente en Galicia se comercializan varias especies alóctonas, procedentes de Asia, o autóctonas recolectadas en el medio natural. Las técnicas de cultivo de estas especies están en España en una fase aún muy pionera y, a todas luces, insuficiente para cubrir la demanda.

También se pudieron realizar algunas experiencias de supervivencia fuera del medio acuático de las especies estudiadas, que tienen interés de cara a una posible gestión de su comercialización. Los trabajos previos en los laboratorios del CIMA estuvieron dirigidos a comparar, utilizando *Nereis aibuhitensis* (coreano), el valor alimenticio del fango presente en el agua del efluente de una piscifactoría, con otras fuentes de alimentación como pienso de peces, con y sin sustrato, y fango de playa.

Los resultados de esta experiencia muestran que los mejores rendimientos se obtienen utilizando como alimento únicamente el lodo menor de 1 mm procedente del efluente de la piscifactoría y que está compuesto, principal-

mente, por restos de pienso, heces y floculados bacterianos. Al cabo de un mes se obtiene, con este tipo de alimentación, un crecimiento medio total de un 12%, y una supervivencia de un 100%. Sin embargo, con una mezcla de arena y el mismo tipo de fango, el crecimiento ha sido nulo y se ha registrado una mortalidad en el mismo período del 12,5%.

Otra experiencia análoga se realizó con *Arenicola marina* (arenícola), ya que a priori es una buena candidata porque, a diferencia de los nereididos que son carnívoros, es una especie sedimentívora y capaz de asimilar la materia orgánica disponible en el sustrato. Con ella se obtuvieron muy buenos resultados, utilizando una mezcla de sustratos compuesta de una cuarta parte de lodo de una piscifactoría y tres cuartas partes de arena. En estas condiciones, a los 39 días se obtuvo un crecimiento medio del 106%. Aunque esta especie muestra un crecimiento mayor que el de los poliquetos carnívoros de la familia nereididae, tiene como desventaja una alta tasa de mortalidad. De manera que, aunque tiene un enorme potencial para ser utilizada en la depuración de lodos de piscifactorías, habría que investigar y experimentar más, para mejorar su índice de supervivencia.

De izquierda a derecha, ejemplares de *Nereis aibuhitensis* (coreano), *Arenicola marina* (arenícola) y *Alitta virens*.



Fotos: Archivo de los autores

permite que actúe como un filtro y que la materia particulada se acumule progresivamente en la superficie.

Los datos preliminares de esta experiencia nos indican que la especie autóctona *Alitta virens* presenta una mayor adaptación al cultivo que la alóctona *Nereis aibuhitensis*, lo que se manifiesta por un mayor crecimiento y menor tasa de mortalidad.

### CONCLUSIONES

Dados los resultados obtenidos en los cultivos de algas en suspensión y con diversos invertebrados suspensívoros, y por nuestra experiencia previa con moluscos filtradores en este tipo de sistemas (ver la experiencia de Punta Moreiras), parece factible que en un futuro próximo se pueda optimizar un sistema AMTI en tierra, combinado con peces/anémonas/poliquetos/moluscos/macroalgas, lo que generará una diversificación de la producción y también una sustancial mejora en la gestión de lodos y de la calidad del efluente vertido al mar.

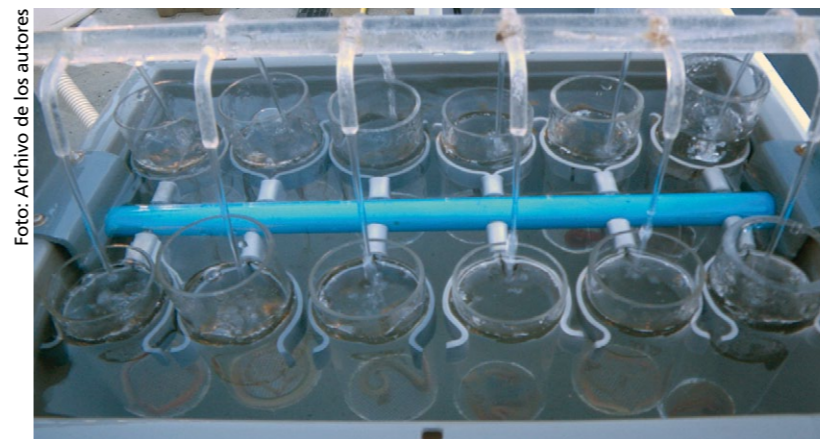


Foto: Archivo de los autores

Estos experimentos iniciales indican que las tres especies se pueden alimentar con el fango sólido proveniente de piscifactorías. Como se sabe, las especies *Alitta virens* y *Nereis aibuhitensis* son carnívoras, lo que indica que el fango de piscifactoría contiene un valor proteínico lo suficientemente elevado para alimentar cualquier tipo de poliqueto.

Vistos los buenos resultados obtenidos con el fango en la experiencia previa, se realizó una segunda experiencia, ya en las instalaciones de Aquacría, para comprobar si la materia particulada residual procedente del efluente resulta suficiente para el desarrollo de las dos especies de poliquetos nereididos que mostraron mejores tasas de supervivencia: la autóctona *Alitta virens* y la alóctona *Nereis aibuhitensis*. También se pudieron comparar las tasas de crecimiento y la mortalidad en este nuevo ambiente. En el sistema ensayado se utilizaron tambores con *air-lift*, incluidos en contenedores alimentados con el agua del efluente, que contienen un sustrato de arena lavada gruesa y una base de arena fina, para permitir que los poliquetos se enterraran. El diseño del sistema

Sistema experimental utilizado en las experiencias previas con poliquetos en el CIMA.

Sistema experimental para poliquetos, utilizado en Aquacría, provisto de tambores con depósito de arena, aireación y flujo de agua.



Foto: Archivo de los autores





## TESTIMONIOS

### Científicos y expertos aportan criterios, datos y resultados de experiencias en el campo de la acuicultura integrada sostenible

Los trabajos de investigación sobre AMTI que se desarrollan en varios países están dirigidos a analizar el alcance y la eficiencia de una alternativa para hacer más sostenible y productiva la acuicultura. Sobre estos y otros aspectos opina un conjunto de expertos, formado por científicos, empresarios y gestores.

En algunos casos, las colaboraciones aportan conocimientos comprobados sobre los procesos de integrar cultivos y, en otros, se describen recursos para valorar y aprovechar los residuos de la acuicultura. También hay análisis valorativos sobre la AMTI y autores que describen las dificultades objetivas que habrá que superar para avanzar más por este camino. En cualquier caso, se trata de un aporte de opinión y de datos, dirigido a estimular la reflexión en este sentido en la comunidad científica, en las administraciones pesqueras y en la industria acuícola.

El equipo de investigadores que realizó las experiencias en Galicia de AMTI, en el marco del Plan Jacumar, coincide en señalar, en sus colaboraciones, la necesidad de que las administraciones sigan apostando por la continuidad de los trabajos y también por facilitar la comunicación y el intercambio de información en esta materia. Otro criterio común es que la AMTI es viable desde los puntos de vista medioambiental, productivo y económico para el sistema de cultivos marinos de Galicia.



## La apuesta de Galicia por la acuicultura. La Estrategia Gallega de la Acuicultura



**Juan Carlos Maneiro Cadillo** (1958), biólogo por la Universidad de Santiago de Compostela ha sido profesor de esa casa de estudios hasta 1988. Entre 1991 y 2005, trabajó en el Instituto Tecnológico para el Control del Medio Mariño (Intecmar), donde ejerció su dirección entre 1997 y 2005. Entre 2005 y 2009 y en sector privado, trabajó para la Asociación Valenciana de Empresas Acuícolas (AVEMPI), dirigió una industria de procesado de mejillón y, finalmente, a mediados de 2008 fue Subdirector de la Asociación Española de Ciudades de la Pesca (AECIPE). Desde 2009 hasta enero de 2012 desempeña el cargo de Director Xeral de Competitividad e Innovación Tecnológica de la Consellería do Mar de la Xunta de Galicia y, en la actualidad, es Secretario Xeral do Mar de la nueva Consellería do Medio Rural e do Mar, ejerciendo las competencias que en la planificación y gestión de la acuicultura tiene asignadas la Consellería.

La Estrategia Gallega de la Acuicultura (ESGA) se constituye como el instrumento de articulación y organización que regirá la planificación y gestión de la actividad de la acuicultura en Galicia, de cara al horizonte de 2030. Su objetivo fundamental es el relanzamiento de la acuicultura de forma que ésta genere empleo y riqueza de una forma equilibrada y con el respeto y la integración ambiental. Su base de impulso es la apuesta unánime de los marcos decisorios y consultivos europeos por la acuicultura y, en el marco autonómico gallego, dará respuesta a la necesidad, marcada por la reforma de la Política Pesquera Común, de disponer de un plan estratégico plurianual para la actividad acuícola antes de 2014.

Galicia cuenta con un entorno marino privilegiado donde el océano Atlántico y el mar Cantábrico han sido generosos en su entrega de bienestar y riqueza y, por ello, los gallegos venimos desarrollando una lucha intensa a lo largo de siglos, forjada en el saber hacer, en el sacrificio y en el esfuerzo de marineros, pescadores y mariscadores.

Este trabajo se extiende, en las últimas décadas, hacia la incorporación de procesos productivos ligados a los cultivos marinos haciendo que los vínculos económicos y sociales del conjunto marítimo-pesquero gallego se refuercen, en el marco general de nuestras actividades productivas ligadas al mar.

Sin embargo, aún siendo constatable en los últimos años un parón de la acuicultura europea y española, que alcanza también a la gallega, las nuevas tendencias y apuestas del marco comunitario (nueva Política Común de Pesca, PCP), apuntan a priorizar el desarrollo de los

cultivos marinos para lo cual, desde la Xunta de Galicia, se trabaja en promover un relanzamiento que la lleve de nuevo al dinamismo productivo e innovador que la caracterizó.

En este sentido, Galicia quiere servir de ejemplo para desarrollar una amplia y abierta apuesta por la acuicultura en su territorio, trabajando en la recuperación del impulso que siempre tuvo el sector acuícola gallego y que nos llevó a situarnos en la cabeza del avance de esta actividad, en el marco nacional e internacional, en labores como la mitilicultura, la piscicultura de peces planos o el cultivo de trucha.

Galicia, al amparo de las propuestas formuladas en el espacio de la Unión Europea por diferentes ámbitos político-administrativos tales como la propia Comisión Europea, el Parlamento Europeo o el Comité Económico y Social Europeo, ha elaborado un marco estratégico destinado a planificar y relanzar la

actividad de la acuicultura con un horizonte temporal situado en el año 2030, vinculando la elaboración de las diferentes medidas a un plazo no superior a la finalización de 2014.

La palanca sobre la que orbitará este impulso es la Estrategia Gallega de Acuicultura (ESGA), que persigue, fundamentalmente, la consecución del equilibrio y la viabilidad de la acuicultura en términos ambientales, sociales y económicos, a partir de un carácter integral e integrador capaz de avanzar en todos los campos ligados a la actividad acuícola gallega.

A este respecto, esta estrategia se integrará en coherencia con la planificación territorial implantada en Galicia por las Directrices de Ordenación del Territorio (DOT) y en el espacio costero, en particular, se desarrollará en concordancia con lo establecido en el Plan de Ordenación del Litoral (POL); Asimismo, se constituye en la herramienta que concretará la apuesta y apoyo a la acuicultura establecidas por el Consello de la Xunta, mediante la aprobación de la "Declaración de la acuicultura como de interés público de primer orden" para Galicia.

Desde una perspectiva holística e integradora de la acuicultura, la estrategia establece nuevos pasos para avanzar de forma cualitativa y cuantitativa en lo relativo a los marcos normativo y administrativo establecidos en anteriores planes de ordenación de la acuicultura, tales como el Plan de Parques de Tecnología

Alimentaria de 2005 o el Plan Gallego de Acuicultura de 2008.

Las acciones a desarrollar alcanzarán un ámbito integral, que va desde la modificación y refuerzo específico del marco normativo, con medidas como la elaboración y aprobación de la Ley Gallega de Acuicultura, Decreto de ordenación de parques de cultivo o reforma de la Ley de Cofradías de Pescadores de Galicia, pasando por abordar una mejora de la estructura administrativa con competencias en la acuicultura, con acciones como la reorganización interna de la antigua Consellería do Mar o la creación de un Órgano Centralizado de Tramitación, aprovechando también las sinergias de colaboración con otros órganos de consulta ya existentes como el Consello Galego de Pesca o el Comité Científico Gallego de Pesca. A la vez, se crearán otros como el Comité Técnico de Acuicultura o el Observatorio de Comercialización de la Acuicultura.

Asimismo, la estrategia desarrolla la planificación integral del sector acuícola en todos los ámbitos físicos del territorio gallego (espacio marítimo, marítimo-terrestre y terrestre-litoral e interior), promoviendo la redacción del Plan Director de la Acuicultura Litoral, del Plan de Ordenación de los Cultivos en la Zona Marítima y del Plan de Ordenación de los cultivos en la zona Marítimo-Terrestre.

En una apuesta por la calidad, la estrategia



Sede del CIMA en Pedras de Corón, Vilanova de Arousa (Pontevedra).



contempla la elaboración de diversas guías de buenas prácticas en acuicultura y se fomenta específicamente la investigación y la innovación, con el establecimiento de líneas estratégicas de actuación y la creación de marcos de colaboración que permitan el aprovechamiento de los recursos técnicos y humanos, de los que está dotada la importantísima infraestructura que en este campo cuenta Galicia; de modo coincidente, se seguirán vías paralelas en el marco formativo.

Por otro lado, a la vista de la importancia fundamental que la comercialización tiene sobre la viabilidad de la actividad de la acuicultura, la estrategia incide directamente en la adopción de medidas y acciones que aseguren una correcta venta de los productos, de cara al incremento de su valoración y a la coordinación de la oferta y la demanda, con especial hincapié en la coordinación con los procesos de comercialización y transformación de los productos de la actividad extractiva.

La estrategia también establece los necesarios mecanismos para definir las vías de promoción de la acuicultura, bien sea esta entendida como mejora de la visión social de la propia actividad o bien de la valoración comercial de sus productos.

En el contexto de la ESGA, la Acuicultura Multitrofica Integrada, AMTI, está llamada a desempeñar un papel fundamental en el relanza-

miento de la acuicultura gallega y no solo en el ámbito físico marino o litoral sino también en el interior, combinando la acuicultura litoral con las actividades agrícolas y/o ganaderas, a partir de su capacidad para aportar un modelo altamente sostenible de gestión.

En este sentido, la AMTI debe necesariamente contribuir a dar solución a algunas de las debilidades y amenazas de la acuicultura gallega detectadas por la ESGA y, fundamentalmente, debe contribuir a la diversificación de algunos de los actuales monocultivos característicos de la acuicultura gallega (cultivo de mejillón en batea), al mantenimiento de la estructura social distributiva de algunos modelos de acuicultura (mitilicultura y, en cierto sentido, marisqueo), y su compatibilidad con los modelos de explotación industrial, al mismo tiempo que minimizar los impactos ambientales, la competencia por el espacio y contribuir a la mejora de la percepción social de esta actividad, entre otras.

En Galicia, la AMTI todavía carece del necesario marco regulatorio imprescindible para su implantación con plenas garantías. Dentro del contexto de la ESGA y, más concretamente la Ley Gallega de Acuicultura, deberán prestar especial atención al desarrollo del conjunto de regulaciones administrativas que aporten seguridad jurídica, viabilidad económica y sostenibilidad ambiental a la AMTI.



## Apostar por la AMTI

Foto: Jorge García



El doctor en Biología **Salvador Guerrero Valero** comenzó a trabajar en cultivos marinos en Galicia a principios de los años 70. Inicialmente se dedicó a la cría de ostra plana y de almejas fina y babosa. En 1975 pasó a formar parte del equipo de científicos del Plan Marisquero, un organismo pionero en investigación en Galicia. Entre sus líneas de trabajo figura la creación de criaderos de moluscos. El conjunto de trabajos sobre ostra plana son el asunto central de su tesis doctoral. Ha trabajado con triploides de almeja en Conwy, Reino Unido, con ostra americana en la Universidad Rutgers, en Nueva Jersey, y con mejillón en Taylor's Hatchery, también en Estados Unidos. Por encargo de la FAO, seleccionó el emplazamiento, diseñó y puso en marcha el primer criadero de ostra del mangle en Cuba. Actualmente sigue trabajando para el Centro de Investigaciones Mariñas (CIMA), de la Xunta de Galicia.

Algunos de los datos elaborados hasta el momento de las experiencias de acuicultura multitrófica integrada (AMTI), realizadas hasta la fecha en Galicia apuntan a que los residuos particulados procedentes del pienso y de las heces de peces, mejoran los índices de crecimiento de bivalvos filtradores. También hay resultados positivos con el crecimiento, capacidad filtradora y de asimilación de nitrógeno de la macroalga "kombu de azúcar", en cultivo en *long-line* en las Rías de Muros, Ares y Betanzos. Por otro lado, las pruebas realizadas con poliquetos y anémonas, alimentadas con fangos procedentes del efluente de una piscifactoría de peces planos, han demostrado un buen nivel de supervivencia y contribuyen a realizar cultivos paralelos, aprovechando dicho efluente, lo que también produciría una reducción de la eutrofización.

Todo parece indicar que en los próximos años el conjunto de prácticas y sistemas de la AMTI serán adoptados por la industria piscícola mundial. En el caso de Galicia, donde existen miles de puestos de trabajo asociados a los cultivos de moluscos y peces, se deben considerar determinadas particularidades, como es la existencia de grandes espacios de las rías ocupados por monocultivos, lo que constituye una circunstancia que se debe tener en cuenta.

Aunque el futuro para los cultivos marinos integrados que aquí se describe es en gran medida optimista, no se puede negar que existen grandes dificultades que superar y complejos

problemas que resolver. La AMTI, en líneas generales, optimiza el rendimiento de las instalaciones en tierra y en el propio medio marino de las granjas y propicia la diversificación de los cultivos. La presencia de eficientes biofiltradores, algas y moluscos, en las diferentes combinaciones, garantiza una importante reducción del impacto ambiental de estas actividades. La transferencia del conocimiento experimental a la industria piscícola tiene un buen nivel de desarrollo, en los países donde se ha investigado en AMTI con método y constancia.

En mi opinión, será necesario prolongar los trabajos que en AMTI hemos realizado en

*Es previsible que sea necesario  
revisar las regulaciones para el uso  
del medio marino, en el sentido de  
favorecer la diversificación  
de la producción  
y reducir el impacto ambiental*

Galicia. La mayoría de los datos elaborados señalan que es viable industrialmente hacer acuicultura multitrofica integrada en el sistema de cultivos marinos de Galicia. Con nuevas experiencias, se añadirá consistencia al conocimiento adquirido.

Por otra parte, para iniciar un proceso de AMTI en los cultivos marinos de las costas peninsulares, ha resultado muy positiva la colaboración planteada entre organismos de investigación de la administración autonómica

gallega, la Universidad de A Coruña, de algunas de las empresas del sector y del Instituto Español de Oceanografía, todo lo cual ha permitido un buen desarrollo de los trabajos.

Entre las sugerencias que se pueden hacer acerca de los próximos pasos que será necesario dar, figura proporcionar continuidad a los trabajos experimentales y trabajar en la difusión de la AMTI, para darla a conocer como una sólida alternativa para hacer una acuicultura sostenible y, por lo tanto, comprendida y aceptada por el conjunto de la sociedad.

Para llevar adelante ese proceso, los tres interlocutores principales son la administración pesquera, los investigadores y el sector, que incluye tanto a cofradías como a empresarios. También es previsible que sea necesario revisar las regulaciones para el uso del medio marino, en el sentido de favorecer la diversificación de la producción y reducir el impacto ambiental.

Por último, para que la industria acuícola asuma los aportes de racionalidad económica y de buena gestión del medio marino que supone la AMTI, una de las condiciones imprescindibles es que las administraciones autonómicas, centrales y comunitarias sigan apostando por analizar su viabilidad y valorar con prácticas, cada vez más extendidas, las ventajas objetivas de adoptar sus protocolos, prácticas y sistemas.



## Galicia, un buen lugar para hacer AMTI

Foto: Jorge García



**Javier Cremades Ugarte** (Vitoria, 1959) es doctor en Farmacia y profesor titular de la Universidad de A Coruña en el área de Botánica, así como promotor y coordinador por dicha universidad por dicha universidad del Máster y Doctorado Interuniversitario Gallego en Acuicultura. Desde 1992 dirige el equipo que investiga algas bentónicas marinas. En colaboración con la empresa Porto-Muiños ha desarrollado proyectos de investigación encaminados a sacar del anonimato las principales especies de algas comestibles del litoral de Galicia. Trabaja también en el desarrollo de los cultivos marinos de algunas de estas especies. Ha sido director de cuatro tesis doctorales y es autor de varios libros y monografías científicas, así como de más de un centenar de trabajos publicados en revistas científicas, tanto nacionales como internacionales, mayormente centrados en diversos aspectos de las algas marinas de Galicia.

Como ocurre con la mayoría de los descubrimientos científico-técnicos –también con la evolución del pensamiento humano– tenemos tendencia a atribuirselos a un único personaje, el descubridor, pero en realidad ese hallazgo no es más que la consecuencia del suficiente grado de madurez de la sociedad en su conjunto y tiene muchos padres que han contribuido de una u otra manera a su final establecimiento; si no fuera así, si fuera la obra de un único hombre, no sería comprendido y caería en el olvido, como tantas veces ha ocurrido con las ideas o descubrimientos de los adelantados a su época.

En mi opinión la Acuicultura Multitrofica Integrada (AMTI) no es una utopía, está en ese momento histórico, en el momento en que surgen por doquier y de forma autónoma iniciativas y experiencias inspiradas en ella. Es un nuevo clamor en aras de conseguir una acuicultura diversa, productiva, sostenible y respetuosa con el ambiente. Es una actividad que, como casi siempre, los pueblos orientales practican desde antiguo, aunque sea de forma empírica y no totalmente plena, y con la que los pueblos occidentales últimamente nos hemos obsesionado, enredado en tecnificar, depurar y analizar en profundidad desde el plano científico-técnico y empresarial.

Ya está casi todo inventado y a cualquiera se le puede ocurrir que en la acuicultura podemos hacer lo mismo que en la agricultura y ganadería, que podemos acercarnos al con-

cepto de dehesa, una explotación sostenible del ecosistema que crea ocupación y riqueza, diversidad biológica y cultural e, incluso, bellos paisajes. Es casi una perogrullada. Pero ¿Por qué no lo hemos hecho hasta ahora? Creo que la causa es doble: una, porque apenas somos conscientes de los “residuos” de la acuicultura, que se diluyen en el inmenso mar o quedan ocultos bajo su superficie y, otra, porque nos falta interés y experiencia en el cultivo y aprovechamiento de las macroalgas marinas, los productores primarios de necesaria existencia en un verdadero sistema multi-

***La Acuicultura Multitrofica Integrada no es una utopía, está en ese momento histórico en que surgen por doquier y de forma autónoma iniciativas y experiencias inspiradas en ella***

trófico, los principales organismos capaces de consumir, en su desarrollo, esos mal llamados “residuos” y regenerar el ambiente. Pero todo esto ya está cambiando: estamos día a día más preocupados por la gestión de los residuos y podemos encontrar en cualquier supermercado algas gallegas para nuestro consumo, si es que sabemos prepararlas, claro.

La acuicultura multitrofica debe por tanto ir ligada al desarrollo de los cultivos de algas marinas y su posterior revalorización econó-

mica, al menos en sectores como los de la alimentación humana y animal; al igual que las vacas se comen la hierba de los prados, los cerdos las bellotas de la dehesa y nosotros las verduras y hortalizas de nuestras huertas. El cultivo de macroalgas no gasta tierra, ni agua dulce, sólo necesita de la luz solar y de esos “residuos” disueltos en el agua que los animales y el hombre vierten al medio.

Como cualquier nueva iniciativa empresarial al principio genera gastos, tiene complicaciones, falsas expectativas, errores de plantea-

***La acuicultura multitrofica debe ir ligada al desarrollo de los cultivos de algas marinas y su posterior revalorización económica, al menos en sectores como los de la alimentación humana y animal***

miento, fallos de diseño, retrasos...; siempre habrá agoreros, desconfiados y envidiosos a su alrededor prontos a poner la zancadilla; pero si la idea es buena, como es el caso, por simple evolución, como consecuencia de saber aprender de los errores y no desfallecer, llegará el momento en que el camino sea ya cuesta abajo y todos lo quieran tomar. Así que tendremos que seguir adelante, sea como sea.

Las condiciones oceanográficas, geomorfológicas, climatológicas, biológicas y socioeco-

nómicas de Galicia son, sin lugar a dudas, las mejores del país para la expresión plena de la Acuicultura Multitrofica Integrada.

Por otra parte, tenemos una gran experiencia en múltiples técnicas acuícolas y, además, somos pioneros en el desarrollo de las técnicas de cultivo y explotación comercial de macroalgas alimentarias marinas. Galicia es el mejor escenario para una “tormenta de ideas” en acuicultura multitrofica, aunque no sin dificultades, se dan las condiciones y hay los necesarios recursos biológicos, hu-

***Las condiciones oceanográficas, geomorfológicas, climatológicas, biológicas y socioeconómicas de Galicia son las mejores del país para la expresión plena de la Acuicultura Multitrofica Integrada***

manos y técnicos para montar casi cualquier tipo de ensayo. Para comprobarlo, no hay más que ojear con atención este libro.

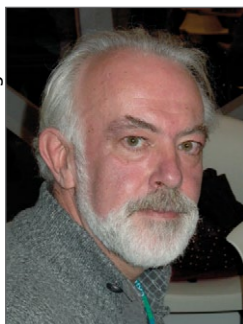
Por todo ello, podemos ser los líderes en el desarrollo y establecimiento de sistemas de acuicultura multitrofica que, ya es un secreto a voces, son el futuro de la acuicultura como una actividad rentable, diversa y respetuosa con el medioambiente.

[javier.cremades@udc.es](mailto:javier.cremades@udc.es)



## Agricultura y acuicultura

Foto: Jorge García



**Juan Manuel Salinas Morrondo** obtuvo su licenciatura en Ciencias Biológicas en la Universidad de Navarra y trabaja desde 1975 en el Instituto Español de Oceanografía (IEO). Además, es experto en I+D y especialista en cultivo de algas. Inicialmente trabajó en la evaluación y control de la explotación industrial de campos naturales de algas y en el desarrollo de técnicas de cultivo de agarófitos. Desde 1994 es el responsable de la Planta de Algas del IEO en El Bocal, Santander. Ha participado en proyectos de I+D tanto nacionales como internacionales y cuenta con patentes de invención y publicaciones sobre cultivo y aplicaciones de las algas. Su trabajo ha estado centrado en las macroalgas marinas de interés económico, mediante el desarrollo de proyectos de índole industrial e institucional. Actualmente trabaja en técnicas de cultivo, tanto *outdoor* como *indoor*, de algas utilizadas en la alimentación.

A pesar de que las definiciones que los diccionarios técnicos hacen de la agricultura y la acuicultura son sorprendentemente similares, su desarrollo no ha podido ser más dispar. El de la agricultura permitió al hombre superar el Paleolítico e iniciar una transformación paisajística, ecológica, económica, tecnológica y sociopolítica que no ha cesado hasta nuestros días. Por el contrario, la acuicultura no tendrá, por múltiples razones, la trascendencia social de la agricultura.

No obstante, de forma paralela a la agricultura y de un modo marginal, se fueron desarrollando técnicas de una proto-acuicultura, fundamentada en la captura y engorde, principalmente de peces y en ambientes confinados, que permitieron una diversificación de las dietas alimenticias y el desarrollo de un incipiente nicho económico, pero sin abordar los fundamentos de un cultivo, tales como el conocimiento del ciclo vital, la selección de especies y otros.

Los estanques de cultivo de peces se desarrollaron tanto en Extremo Oriente como en Europa Central, alcanzando un gran auge a partir de la Edad Media, pero no fue hasta mediados del siglo XIX cuando se iniciaron los primeros traba-

*El asincronismo entre agricultura y acuicultura ha supuesto para esta última un retraso tecnológico de más de 10.000 años*

jos científicos encaminados a controlar el ciclo vital y reproductivo de algunos peces (principalmente salmónidos). También de forma empírica se fueron desarrollando técnicas sencillas de lo que hoy conocemos como policultivos con especies compatibles, complementarias y aprovechables económicamente. Esta última circunstancia nos aproximó de forma inconsciente a los cultivos AMTI (acuicultura multitrófica integrada), a los que haremos referencia más tarde.

Este asincronismo entre agricultura y acuicultura ha supuesto para esta última un retraso tecnológico de más de 10.000 años, tiempo durante el cual el hombre ha aprendido a seleccionar y cultivar una gran cantidad de especies, y a desarrollar las técnicas de producción y transformación más diversas. Sin embargo, en este período, el desarrollo de los fundamentos técnicos de la acuicultura se produjo muy lentamente al estar al margen de cualquier presión socioeconómica que lo hubiera potenciado.

Pero el aumento en el consumo de pescado y el paulatino agotamiento de los recursos pesqueros provocaron una demanda urgente de soluciones, y en este contexto nacería la acuicultura con el deber de solucionar, en el menor tiempo posible (apenas 50 años), lo que el hombre había tardado varios milenios en resolver para la agricultura.

Tal vez esta presión nos ha forzado a los técnicos, ocasionalmente, a emprender unas acciones que no contaron con la suficiente reflexión previa. La simple transposición de conceptos

de la agricultura a la acuicultura ha podido provocar disfunciones en su desarrollo, ya que es difícil asumir en toda su complejidad conceptos tales como el cultivo en volumen frente al de superficie, la presencia de gradientes continuos, el medio como simple soporte o como elemento vital, o algo que es impensable en la agricultura tradicional: que el medio de cultivo circule.

Mentalmente somos agricultores y ganaderos en un intento por reconvertirnos a acuicultores. Prueba de ello, y en contraste con la agricultura, es que gran parte del desarrollo de la acuicultura dependerá de la solución de los problemas que ella misma genera. Así, durante los próximos años tendremos que ensayar técnicas y protocolos que resuelvan problemas tales como los vertidos de las plantas de acuicultura, la calidad del agua en recirculación, el ahorro energético, la optimización de los sistemas de producción, etcétera.

En este contexto, los cultivos AMTI serán probablemente la aportación más original de la acuicultura a las tecnologías de producción de alimento. La utilización, en un ambiente confinado, de varios niveles tróficos para aprovechar

*No es difícil imaginar en un futuro no lejano complejos de acuicultura diseñados y operando bajo el concepto multitrófico, en los que incluso parte del alimento se producirá dentro del propio sistema*

una energía en forma de subproductos de la acuicultura intensiva de peces, con un beneficio industrial y medioambiental, es un planteamiento original, exclusivo y revolucionario en la producción terrestre; y, aunque su concepto ha estado siempre presente, no hemos sido capaces de abordar su aplicación científicamente hasta finales del siglo XX.

Para los futuros técnicos en acuicultura será un deber asumir que los desechos son una fuente de energía que estamos obligados a aprovechar, y que nos permitirá obtener beneficios adicionales y preservar el medio de cultivo y el natural. Una vez asumido el concepto de cultivos AMTI habrá que investigar en los distintos modelos posibles, seleccionar las especies más idóneas, estudiar los balances de biomasa y producción entre los diferentes niveles tróficos, conocer las sinergias entre los distintos sistemas productivos, etcétera.

No es difícil imaginar en un futuro no lejano complejos de acuicultura diseñados y operando bajo el concepto multitrófico, en los que incluso parte del alimento se producirá dentro del propio sistema, y en los que no habrá impacto medioambiental porque no se verterá nada extraño al medio natural.

No cabe duda de que la sociedad que más avance en este original concepto se situará en una posición tecnológica dominante para el desarrollo de la acuicultura del siglo XXI.



## AMTI, un modelo sostenible de gestión



**Sergio Devesa** (1953) es doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad de Santiago de Compostela y actualmente ocupa el cargo de director general de la empresa Aquacría, una piscifactoría ubicada en Cambados (Pontevedra), dedicada a la cría de rodaballo y lenguado. Desde comienzos de la década de 1980 también ha desarrollado actividad docente universitaria y de nivel medio, relacionada con la investigación y la producción industrial de peces planos, lo que constituye su principal línea de trabajo. Participa regularmente como ponente en seminarios y otras convocatorias relacionadas con los cultivos marinos y, en particular, con la piscicultura. Su actividad profesional en la industria acuícola se ha desarrollado, desde 1980 hasta en la actualidad, como asesor externo, director técnico y, también, como director general de algunas de las más importantes empresas del sector presentes en Galicia.

En los últimos 30 años, que son aproximadamente los que tiene en Galicia la cría industrial de peces planos, mi actividad profesional ha estado orientada principalmente hacia la innovación. A ese criterio y también a la circunstancia de que las instalaciones de Aquacría han sido las primeras en esta comunidad en trabajar con un circuito cerrado de circulación de agua marina para la producción de rodaballo y lenguado, atribuyo el interés del Centro de Investigaciones Mariñas (CIMA), y de la Universidad de A Coruña (UDC), en el sentido de que colabore con el Plan Nacional de Cultivos Marinos JACUMAR "Acuicultura Integrada: experiencia piloto para el desarrollo de sistemas de cultivo multitróficos, 2008-2011".

En otras ocasiones he realizado trabajos experimentales en el CIMA y el primero de ellos estuvo relacionado con el cultivo industrial de rodaballo, una actividad que constituye desde la década de 1980, mi principal línea de trabajo.

La experiencia de AMTI que se realiza en Aquacría está dirigida a comprobar la viabilidad de diversificar la producción en una planta piscícola de circuito cerrado y mejorar de este modo la calidad del agua.

Los primeros contactos para plantear este trabajo fueron con Salvador Guerrero, biólogo del CIMA a quien conozco desde hace más de 20 años, y también con el profesor Javier Cremades, de la UDC. En la etapa inicial de este trabajo también participó Eladio Santaella, del Instituto Español de Oceanografía de Madrid.

Uno de los principales atractivos que para Aquacría tiene esta experiencia es la idea de utilizar macroalgas como biofiltro en las instalaciones de circuito cerrado de esta granja. Y como de lo que se trata es de mejorar la calidad del agua, a la vez que obtener un rendimiento económico, la decisión conjunta fue que la especie más idónea para ese fin era la *Saccharina latissima*, un alga con valor alimenticio que se comercializa en Galicia.

El suministro de esta especie se realizó desde la planta de macroalgas que dirige el biólogo Juan Manuel Salinas en el Instituto Español de Oceanografía de Santander.

También se integraron a esta experiencia varias especies de moluscos filtradores. El espacio y el suministro de agua procedente del efluente de la piscifactoría los aportó Aquacría. El cultivo de laminaria en el efluente de la piscifactoría, según los datos obtenidos hasta la fecha, demostró ser viable.

### REGULACIONES Y FUTURO

Los sistemas de cultivos integrados, a pesar de haberse extendido en la industria de la acuicultura de varios países, aún carecen en Galicia del necesario conjunto de regulaciones administrativas que demanda su aplicación. En ese aspecto hay un complejo trabajo que hacer, en el que es conveniente que participen científicos, empresas y administraciones, para que sus contenidos resulten asumibles por todos.

Con respecto a cuál será la receptividad indus-

trial de la AMTI, mi comentario es que en las instalaciones de Aquacría, con recirculación de agua, el potencial es grande, porque disponemos de espacio suficiente para crear otros circuitos ya que, como se dijo, los que existen actualmente son experimentales.

También quiero señalar que la combinación de los distintos niveles tróficos de las especies tiene, para los científicos que trabajamos en la industria, un gran poder de sugerencia.

Finalmente, los datos disponibles indican que se han producido resultados positivos con algas, moluscos, anémonas y poliquetos, todas ellas especies comerciales, en una granja de rodaballo en tierra. El trabajo que presentaron Guerrero, Cremades y Salinas, entre otros, en la convocatoria MARCUBA, en la edición 2009 y que tuvo por sede La Habana, aporta una amplia información sobre esa experiencia.

El respaldo que supone la participación del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, a través de la Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos (JACUMAR), de la Xunta de Galicia, por medio del CIMA, de la Universidad de A Coruña y del Instituto Español de Oceanografía, además del de las administraciones y empresas que en todo el Estado español colaboran con este Plan, garantiza resultados sólidos y seguramente aprovechables a medio y largo plazo por la piscicultura y los cultivos intensivos de moluscos bivalvos.

[sergio.devesa@gmail.com](mailto:sergio.devesa@gmail.com)



## El Mar, fuente de inspiración y riqueza



**Antonio Muiños** (1962, Santa María de Vigo, Cambre, A Coruña), estudió en la Facultad de Derecho de Santiago de Compostela y en 1982 fundó Fungicultura Muiños, dedicada al cultivo, procesado y comercialización de setas. Esa industria desarrolló investigación con universidades y centros tecnológicos.

En 1998 crea con Rosa María Mirás Antel, su esposa, Porto-Muiños, pionera en el cultivo de algas marinas para la alimentación humana. Esa industria realiza un constante esfuerzo en I+D+i y su presencia es habitual en foros y ferias. En 2009 crea el Aula de Cocina Porto-Muiños.

Muiños ha recibido el premio Fundación Biodiversidad 2011, categoría de Emprendedores. La empresa participa activamente en la realización de estudios dirigidos a hacer una explotación sostenible de los recursos y a la conservación de la biodiversidad marina.

Para la empresa Porto-Muiños el mar de Galicia es fuente de riqueza e inspiración y, por esos motivos, todos los que trabajamos en esta industria le tenemos respeto y afecto. Una de las principales premisas que orienta nuestro desarrollo es ser respetuosos con el medio que nos proporciona los productos que elaboramos y distribuimos.

Como es conocido, nuestra empresa ha hecho una apuesta decidida por desarrollar cultivos de macroalgas marinas de interés alimentario. Nosotros no somos biólogos y poco entendemos de niveles tróficos y otros conceptos a los que le dan mucha relevancia los científicos; pero sí entendemos, si se utilizan palabras llanas y ejemplos cotidianos, que los cultivos de algas son como los de hierba: viven del sol y del estiércol con que abonamos y, de esa manera, se hace un círculo de vida y no sobra nada. Todo se utiliza para generar diversidad y riqueza.

La actividad empresarial de Porto-Muiños siempre ha estado orientada a seguir la estrategia, ya clásica, de las tres erres: reducir, reutilizar y reciclar. En nuestros días no nos podemos permitir el lujo de tirar nada y menos contaminar nuestro entorno. Por ello hemos

**La actividad empresarial de Porto-Muiños siempre ha estado orientada a seguir la estrategia, ya clásica, de las tres erres: reducir, reutilizar y reciclar**

desarrollado ingeniosos métodos de reutilización de caparzones de erizo y también hemos investigado para poner en valor y aprovechar recursos, hasta el momento infrautilizados. Entre ellos figuran algunos descartes de la pesca, el control de plagas marinas mediante su explotación comercial con el desarrollo de nuevos productos, la eficiencia energética de los sistemas productivos y otros.

Por todos estos motivos, cuando nuestro amigo y asesor científico Javier Cremades, del laboratorio de algas marinas de la Universidad de A Coruña, nos propuso participar en el desarrollo de sistemas de acuicultura multitrófica, una parte de un proyecto JACUMAR, no dudamos ni un segundo en prestar nuestras concesiones administrativas para la realización de algunas de las experiencias. Hemos ofrecido todo nuestro apoyo, sobre todo cuando Cremades nos transmitió con claridad que en estos sistemas las macroalgas tienen una función decisiva, para cerrar el círculo del reciclado de los nutrientes.

La Acuicultura Multitrófica Integrada nos pareció un concepto muy interesante y creativo que, sin duda, ayudará a la diversificación y sostenibilidad de la acuicultura en Galicia y, por lo tanto, a disminuir el impacto sobre el medio y los recursos, beneficios que redundarán en todos los que vivimos del mar y para el mar, una fuente de riqueza que no debemos agredir, de la misma manera que nunca hay que matar a la gallina de los huevos de oro.

[info@portomuiños.com](mailto:info@portomuiños.com)



**Dorotea Martínez Patiño** es investigadora y responsable de la Planta de Cultivos Marinos del Centro de Investigaciones Mariñas en Ribadeo (Lugo), de la Consellería do Medio Rural e do Mar del gobierno gallego. Desde el año 1979 está dedicada a la acuicultura de moluscos. Las líneas de trabajo que se desarrollan en el CIMA de Ribadeo están orientadas a la producción de semilla de un conjunto de especies marinas de interés marisquero. También se investiga en reproducción en el medio natural, acondicionamiento en criadero, inducción a la puesta, cultivos larvarios y postlarvarios, cultivo de semilla y alimentación en las diferentes fases del cultivo. Las principales especies objeto de estos estudios son las almejas fina, babosa, rubia y japónica, además de navajas y longueirones (longueirón, longueirón vello y navaja), coquina, y, desde hace unos años, el cultivo del erizo (*Paracentrotus lividus*).

## Experiencias con algas, almejas y erizos

Min experiencia en el cultivo en criadero de moluscos bivalvos y de erizo de mar, me hizo conocer directamente los aprovechamientos de los cultivos multitróficos y opinar acerca de ellos como un sistema interesante para el desarrollo de la acuicultura.

Una de las mayores dificultades que se presentan en un criadero es la alimentación de la semilla a partir de que adquiere un determinado tamaño, ya que el consumo en cantidad de microalgas se multiplica, lo que implica un considerable aumento en las necesidades de espacio. La disponibilidad de tiempo y de la mano de obra necesarias para realizar el mantenimiento de la semilla, son otros de los factores que inciden en estos procesos. Esto limita la capacidad de producción de los criaderos, por lo que es de gran interés trasladar la semilla, con un tamaño lo más pequeño posible, al medio natural o a otras instalaciones de preengorde. Todo ello reduciría los costes de producción de semilla para cultivo.

Con esta finalidad y en el marco de las experiencias en Galicia del Plan Jacumar sobre cultivos multitrofos, se realizaron experiencias de preengorde de semilla criada en nuestras instalaciones, en el efluente de una granja de rodaballo de circuito abierto, ubicada en Punta Moreiras. Algunas de las primeras ventajas que pude observar de este sistema son disponer de grandes volúmenes de agua sin coste adicional por bombeo y, además, que es un caudal rico en materia orgánica que procede de la propia actividad de los peces y de los restos de pien-

so. Se comprobaron los buenos resultados obtenidos con algunas de las especies de almejas, concretamente con almeja babosa y japónica.

También desde hace unos años estamos cultivando erizo de mar (*Paracentrotus lividus*). La alimentación de los juveniles de erizo es a base de macroalgas y durante los primeros meses de vida se emplean macroalgas de textura tierna, lo que presenta problemas de abastecimiento, ya que las obtenemos de arribazón y solo estacionalmente.

En los últimos años, y gracias a los sistemas multitrofos, hemos recurrido a algas alimentadas con nutrientes que proceden del pienso de peces y criadas en sistema *long-line*, con especies suministradas por Javier Cremades (UDC). Concretamente, empleamos la especie *Saccharina latissima*, conservada en salazón y luego trasladada a las instalaciones donde se mantenían los juveniles de erizo y que la consumían a medida que lo necesitaban. El aprovechamiento por parte de los erizos fue alto, no desecharon ninguna parte del alga y el crecimiento fue notoriamente más elevado que con otro tipo de alimentación.

Una primera impresión sería en el sentido de que las prácticas y sistemas de la acuicultura multitrofica integrada suponen un ahorro energético, económico y, consecuentemente, constituyen una mejora en la gestión medioambiental de los cultivos marinos.

[mptea@cimacoron.org](mailto:mptea@cimacoron.org)



Foto: Javier Cremades



Sede del INTECMAR en Vilaxoán de Arousa (Pontevedra).



Desde el año 2004 el INTECMAR es el organismo oficial de la administración autonómica de Galicia, que controla la calidad del medio marino y la aplicación de las regulaciones técnicas y sanitarias de los productos del mar. Para cumplir con tales cometidos, el INTECMAR está acreditado según la norma UNE-EN ISO/IEC 17025, "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y acreditación". Este organismo depende de la Consellería do Medio Rural e do Mar y asumió en el momento de su creación, las competencias y funciones del Centro de Control de Calidad del Medio Marino (CCCMM), inaugurado en 1992.

## El aporte de INTECMAR

Una de las principales competencias de este instituto tecnológico de ámbito autonómico es satisfacer las regulaciones administrativas en materia de calidad de producción de moluscos y otros organismos marinos. También tiene atribuido contribuir a proteger y mejorar la calidad del medio marino, para lo que existe un protocolo en el que figuran el seguimiento, control e investigación de la calidad ambiental de las aguas costeras de Galicia, especialmente en lo que se refiere a las condiciones oceanográficas, fitoplancton, biotoxinas marinas, contaminación química, microbiología y patología.

La red para el control de las condiciones oceanográficas, cuenta con 42 estaciones oceánicas distribuidas en las principales Rías Gallegas y 16 estaciones costeras repartidas a lo largo del litoral gallego, en las que la frecuencia del muestreo es semanal.

Esta red permite conocer las variables físico-químicas del agua (salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto, fluorescencia, trasmittancia, irradiancia, hidrocarburos aromáticos disueltos, nutrientes inorgánicos, nutrientes orgáni-

cos), además del fitoplancton y los pigmentos fotosintéticos.

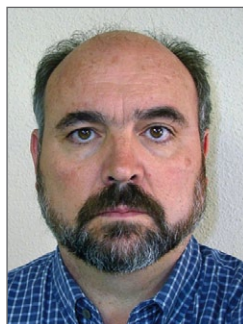
De acuerdo con los resultados obtenidos en las estaciones oceánicas de la red de control de nutrientes inorgánicos del INTECMAR, "las Rías Gallegas se pueden considerar como áreas no problemáticas respecto a su estado de eutrofización" (M.D. Doval). Esta clasificación coincide con la realizada para la Ría de Pontevedra en el último 'Informe Nacional sobre el estado de la eutrofización en el área marítima Ospar' en Junio 2007.

El aporte de INTECMAR al proyecto de Jacumar sobre cultivos multitróficos ha sido proporcionar datos oceanográficos de las rías de Arousa, Muros-Noia y Ares-Betanzos. También realizó los análisis de nutrientes inorgánicos, clorofila y fitoplancton de muestras de agua, procedentes de las experiencias en mar y tierra, diseñadas por el grupo de investigadores que en Galicia han realizado experiencias de cultivos marinos multitróficos. Las investigadoras del INTECMAR responsables de esta colaboración son María Dolores Doval González y Yolanda Pazos González.

[mdoval@intecmar.org](mailto:mdoval@intecmar.org)



## Satisfacer la demanda de alimentos con estrategias sostenibles de producción



**Ignacio Arnal Atarés** está vinculado con el Instituto Español de Oceanografía (IEO), donde desempeña el puesto de Jefe del Área de Acuicultura, desde los años setenta. Su actividad se ha desarrollado en la investigación, en el asesoramiento a organismos privados y públicos, la gestión de programas internacionales y la docencia especializada. Es licenciado en Ciencias Biológicas por la Universidad de Navarra (1970). Investigó en dorada, lubina y mújil, además de langostino y camarón. En 1974 obtuvo por oposición el título de oceanógrafo del IEO y en 1976 se trasladó a la sede de Santander, donde investigó producción y explotación de bancos de almeja fina en la bahía de Santander. Por último, ha sido miembro del Comité Organizador o del Comité Científico de los Congresos Nacionales de Acuicultura celebrados en España.

El creciente desarrollo de nuestra especie en la Tierra lleva consigo el incremento proporcional de las necesidades de alimentos y, paralelamente, el desarrollo de mayores (y mejores) medios económicos y tecnológicos para asegurar su permanencia en el planeta. En este contexto no es de extrañar que la humanidad dirija su mirada, cada vez con más intensidad, hacia los mares y océanos, que suponen casi las tres cuartas partes de la superficie del planeta. Y al dirigir la mirada a los recursos marinos, lo primero que se observa es que la explotación pesquera está alcanzando ya sus máximos sostenibles. Mientras, la acuicultura crece vigorosamente en todo el planeta, si bien con diferencias geográficas notables.

En lo que se refiere a la acuicultura, los dominios oceánicos y marinos han sido hasta ahora hostiles para la especie humana, pero nuevos desarrollos tecnológicos van posibilitando su aprovechamiento impulsados por las dos fuerzas expansivas del desarrollo humano: la domesticación de especies para su producción y la colonización de nuevos medios (o territorios) para llevar a cabo estas producciones.

Estos dos impulsos (domesticación y colonización), son tan antiguos como la humanidad, pero la gran diferencia respecto a la antigüedad es que hoy ambos pueden ejercerse con una potencia desconocida hasta ahora, y a escala global, gracias al desarrollo tecnológico.

Esta potencia es lo que debe exigir un aumento en la responsabilidad de su ejercicio para garantizar su sostenibilidad.

Aunque las técnicas de la acuicultura multitrófica integrada no son nuevas, y existen explotaciones tradicionales y muy extendidas especialmente en Asia (como podría ser la piscicultura en arrozales), el desarrollo de los conceptos de sostenibilidad y la implantación del enfoque “ecosistémico” para las actividades acuícolas potencia la aplicación de estos métodos integrados para nuevas explotaciones acuícolas, con el objetivo de mejorar el uso de alimentos y nutrientes, reducir el impacto ambiental y posibilitar la obtención de mayores y socialmente mejor distribuidos beneficios.

Es, pues, innegable que el aumento de las áreas utilizadas para la producción acuícola, junto con el desarrollo de nuevas técnicas de producción, posibilitarían la ampliación de la gama de los productos acuícolas; sin embargo, la globalización, o mejor dicho, la aparición de los mercados globales, orienta la producción hacia cultivos mono-específicos de un reducido número de especies, y con sistemas de producción cada vez más intensivos; ello conlleva un aumento del coste ambiental (intrínseco a estos sistemas de producción), aún cuando hay que reconocer que se realizan inversiones para reducir y mitigar el impacto ambiental.

Es en este contexto ecológico donde más se

ponen en valor los méritos de la acuicultura multitrófica integrada, pues aumenta la capacidad de carga de las zonas de cultivo, tanto por una disminución de la emisión de efluentes por unidad de biomasa producida, como por el hecho de que una buena parte de estos efluentes son metabolizados por alguna de las especies cultivadas (como por ejemplo moluscos filtradores o algas).

Además de estas ventajas ambientales, la acuicultura multitrófica integrada presenta también beneficios desde el punto de vista social, pues diversifica los riesgos al estar produciendo varias especies en distintos niveles tróficos, a la vez que amplía los grupos sociales que pueden beneficiarse de la actividad. Sin embargo, los mayores interrogantes que todavía presenta son de dos tipos: el acoplamiento entre las distintas producciones y la mejora de sus beneficios económicos para atraer a los inversores.

Sobre el acoplamiento de las distintas producciones resulta imprescindible aumentar el conocimiento sobre los mecanismos de las

***La acuicultura multitrófica integrada presenta también beneficios desde el punto de vista social, pues diversifica los riesgos al estar produciendo varias especies en distintos niveles tróficos***

distintas poblaciones cultivadas (internos y de interrelación), de forma que se disponga de una base sólida para la gestión del sistema, basada en las interacciones entre poblaciones y en la influencia de las condiciones ambientales sobre las dinámicas poblacionales (sin olvidar aspectos más prácticos como la definición de métodos de seguimiento e indicadores de situación).

Respecto a los beneficios económicos, éstos deben ser calculados no exclusivamente en términos ‘contables’, sino desde una óptica más amplia en la que la valoración económica de los aspectos sociales y económicos puedan ser valorados. Esta valoración podría ser especialmente considerada por los consumidores (preferencias de compra), y por los organismos reguladores, estableciendo ayudas económicas a los sistemas de acuicultura multitrófica integrada, para compensar sus menores ‘costes’ ambientales y sociales que, no por no apuntarse en las contabilidades de las empresas, dejan de existir.

Hoy en día ya nadie discute que la buena salud del ecosistema en el que se está integrado es la mejor base para el bienestar y la calidad de vida. Y esto, que lo consideramos evidente para nuestra especie, lo es también para cualquier otra especie que forme parte del sistema.



## Experiencia de cría de peces/moluscos



**Alejandro Guerra Díaz** es doctor en Biología por la Universidad de Santiago de Compostela. Su actividad a lo largo de los años, tanto en la empresa privada como en la Administración pesquera de Galicia, siempre estuvo ligada a la investigación y el desarrollo de los cultivos de moluscos, en criadero y medio natural, de diversas especies, entre ellas ostra plana, zamburiña, oreja de mar, almeja y otras. Es autor de numerosas publicaciones y participa en la edición de literatura científica, relacionada con la investigación en cultivos marinos. Desde el año 2001 es director del Centro de Investigaciones Mariñas (CIMA), de la Consellería do Medio Rural e do Mar de la Xunta de Galicia.

La Comunidad Autónoma de Galicia es la primera productora mundial de rodaballo con unas 7.000 toneladas al año, lo que supone un stock estable de 5.000 toneladas de biomasa de peces en cultivo. Las plantas de engorde de circuito abierto ubicadas en tierra demandan para su funcionamiento de enormes volúmenes de agua de mar que, posteriormente, se devuelven al exterior. Estos efluentes contienen, en suspensión o disueltas, grandes cantidades de materia orgánica procedentes de restos de piensos. Una parte de esta materia orgánica particulada puede utilizarse como alimento de moluscos bivalvos.

En estos últimos años las administraciones pesqueras de Galicia y del Estado español, este último a través de JACUMAR, impulsaron proyectos y líneas de investigación dirigidas a obtener un aprovechamiento de la materia orgánica procedente de los efluentes de estas granjas, utilizando semilla de moluscos bivalvos, principalmente almejas y ostras procedentes de criaderos. Estas especies actúan como filtradores de "extracción orgánica" de las partículas finas que arrastra el efluente. También se han buscado otros usos para los

*Para el desarrollo de estos proyectos se contó con la colaboración imprescindible de algunas de las empresas del sector piscícola*

residuos gruesos que, en forma de limos, se depositan en los tanques de decantación de las granjas, entre ellos algunos de carácter forestal y agrícola.

El litoral gallego sustenta una fuerte actividad marisquera basada en la colecta de moluscos bivalvos en las áreas intermareales y submareales. Los colectivos implicados en estas tareas lo integran principalmente mujeres, que suman actualmente más de 3.500, mientras que en el marisqueo a flote trabajan principalmente hombres y lo hacen desde unas 3.000 pequeñas embarcaciones. A todo esto se debe añadir los más de 1.100 parques de cultivo de Carril, localizados en el interior de la Ría de Arousa, en la provincia de Pontevedra.

Esta importante y tradicional actividad social y económica depende del cultivo de semillas de moluscos comerciales, principalmente de almeja. La semilla procede de reclutamientos de las poblaciones naturales o bien se aporta, en forma de siembras, con juveniles procedentes de criaderos y semilleros. Una de las respuestas posibles a la elevada y creciente demanda de semilla para engorde y cultivo que plantea la actividad marisquera, Son los

*El éxito de estos cultivos integrados está en gran medida vinculado a que las prácticas operativas de las piscifactorías se desarrollen en sintonía con el manejo y cultivo de los moluscos*

trabajos y ensayos realizados orientados a utilizar los efluentes de las granjas marinas para establecer sistemas de preengorde de semilla, sencillos, eficientes y rentables.

Para el desarrollo de estos proyectos se contó con la colaboración imprescindible de algunas de las empresas del sector piscícola, en particular de Insuiña, una granja pionera en el engorde de rodaballo, en cuyo efluente, adaptado al efecto, se desarrollaron pruebas de preengorde de semilla de diferentes especies de bivalvos comerciales, aportados por la empresa Remagro, que dispone de un criadero industrial de moluscos. La empresa de compostaje Ecocelta desarrolló las pruebas de uso del residuo orgánico grueso, una vez compactado y tratado adecuadamente.

El éxito de estos cultivos integrados de peces-moluscos, en cuanto al engorde de moluscos, está en gran medida vinculado a que las prácticas operativas de las piscifactorías se desarrollen en sintonía con el manejo y cultivo de los moluscos. En definitiva, a través de estos procesos de generación de conocimiento a escala semiindustrial, se pueden crear sistemas para integrar dos plantas de producción acuícola: peces y moluscos. Con esta sinergia se promueve la producción de biomasa de moluscos, al tiempo que se impulsan sistemas naturales de biorremediación al reducir el contenido en materia orgánica del efluente de la granja, lo que mejora la calidad del agua.



## Nuevas perspectivas de desarrollo en acuicultura



**Fátima Linares Cuerpo**, investigadora adscrita al Centro de Investigaciones Mariñas (CIMA), desarrolla su labor en el campo de la acuicultura desde el año 1980, fundamentalmente en el ámbito del cultivo de nuevas especies de peces marinos. Desde hace varios años su trabajo se ha centrado básicamente en el campo de la nutrición en las diferentes fases del desarrollo de peces en cultivo intensivo y también de pulpo. En la actualidad es la responsable en el CIMA de programas relacionados con la obtención de piensos específicos y sostenibles para lenguado y besugo y del desarrollo de dietas de paralarvas de pulpo. Ha sido Directora Xeral de Innovación e Desenvolvemento Pesqueiro de la Consellería de Pesca e Asuntos Marítimos (ahora Consellería do Medio Rural e do Mar), durante el período 2005-2009 y, como tal, ha participado en el desarrollo inicial del proyecto de cultivos multitrofos.

El Plan Nacional de Cultivos Multitróficos, promovido y financiado por la Junta Asesora de Cultivos Marinos (Jacumar), surgió por iniciativa de Andalucía que también es la encargada de su coordinación. En él participan centros de investigación y empresas de esa comunidad autónoma y de Baleares, Murcia, Canarias, Cataluña y Galicia. Tiene por finalidad principal evaluar la aplicación de sistemas de cultivos integrados multitrofos en la acuicultura que se hace en España, con el objetivo de demostrar su viabilidad y eficiencia ambiental y económica.

La consideración de que este proyecto abre nuevas posibilidades para la acuicultura de Galicia, originó que en el año 2007 se considerase de gran interés apoyarlo por medio de la Consellería de Pesca e Asuntos Marítimos. En la actualidad, ese apoyo tiene continuidad a través de la Consellería Medio Rural e do Mar.

La posibilidad de hacer compatibles especies filtradoras, asimiladores y productores que actuarían como biofiltros no es una idea nueva. Recientemente en el Congreso Europeo de Acuicultura celebrado en Oporto en 2010, se conocieron ponencias relacionadas con el

***En las rías gallegas coexisten más de 600 especies de macroalgas y en la actualidad unas veinte se comercializan, principalmente como productos de alimentación humana***

desarrollo de modelos reales con diferentes especies y aplicables a distintos ecosistemas. Después de un periodo extenso de investigación se presentaron resultados a escala piloto y se espera que en el año 2012 se adopten en algunos países modelos de cultivos multitrofos a escala industrial.

Galicia presenta unas excelentes condiciones para el desarrollo de la acuicultura por sus características geográficas, la de sus aguas y también por poseer una adecuada infraestructura tecnológica para la investigación acuícola y para la formación de mano de obra cualificada.

Aunque en estos momentos la comunidad gallega es una de las líderes mundiales en producción de mejillón y rodaballo, tiene a su vez gran importancia desde el punto de vista social y económico el cultivo de bivalvos en la zona intermareal. Pueden y deben desarrollarse cultivos de nuevas especies, así como potenciar las ya existentes. Dentro de este contexto, podemos considerar el cultivo de macroalgas como un cultivo emergente que comienza a tener importancia en Galicia. En las rías gallegas coexisten más de 600 especies de macroalgas y en la actualidad unas veinte se comercializan, principalmente como productos de alimentación humana. Se trata, por lo tanto, de un desarrollo progresivo que puede generar un incremento en el número de especies con valor comercial. Además, existe la posibilidad de añadir otros cultivos, entre ellos anémonas o poliquetos. Uno de los objetivos principales de este proyecto es estu-

diar las posibilidades de cultivar nuevas especies de distintos niveles de la cadena trófica.

### UNA ESTRATEGIA EUROPEA

La Comisión Europea define como objetivos en la "Comunicación sobre la estrategia para el desarrollo sostenible de la acuicultura" los siguientes:

- Crear empleos seguros a largo plazo, especialmente en las zonas dependientes de la pesca.
- Aumentar la tasa de crecimiento de la producción acuícola de la UE
- Resolver los conflictos derivados del espacio que actualmente entorpecen el desarrollo de la acuicultura.
- Asegurar el cumplimiento de las normas medioambientales

Los criterios de sostenibilidad en la acuicultura pasan inevitablemente por apoyar las líneas de investigación que generen la diversificación de los cultivos y el uso de sistemas y prácticas respetuosos con el medio ambiente, tales como la recirculación de agua que suponen un ahorro de energía. En suma, la adopción de sistemas más eficaces desde el punto de vista energético, medioambiental y económico. La acuicultura integrada tiene como objetivo el aprovechamiento integral de los recursos naturales y aporta un nuevo enfoque desde el punto de vista medioambiental, al tratar de

mitigar los posibles efectos de los procesos productivos acuícolas y también en lo que se refiere a la capacidad de producción de los sistemas.

En el ámbito de la Comunidad Europea se han creado distintas directivas referentes a los cultivos marinos y también a los residuos procedentes de la acuicultura. Como ejemplo de esta legislación, que se ha ido sucesivamente traspasando a la del Estado español y también a la de la comunidad autónoma gallega, hay una en la que se definen los conceptos de sostenibilidad y tratamiento de residuos. Es la Orden del 11 de mayo de 2001 de la Consellería de Medio Ambiente, por la que se regula el contenido básico de los estudios de minimización de la producción de residuos peligrosos que deben presentar los productores autorizados de residuos (DOG nº 97, del 22 de mayo de 2001).

Del planteamiento del proyecto, con una clara colaboración entre investigadores, empresas y administraciones y en la que la labor de difusión de resultados tiene un importante papel, resulta un modelo adecuado para conseguir una correcta transferencia de los resultados al sector productivo y contribuir al desarrollo de la acuicultura en Galicia. Además, la colaboración de centros y empresas de diferentes comunidades autónomas contribuye a aunar esfuerzos en el desarrollo de estos sistemas de acuicultura en el Estado español.



## Una opción de futuro para la acuicultura



José Carlos Macías es asesor técnico en asuntos de pesca y acuicultura con más de 15 años de experiencia en el sector. Comenzó en la empresa privada y posteriormente ha estado más de una década trabajando para la Administración Pesquera en Andalucía, como técnico y jefe de departamento. Durante ese período ha desarrollado importantes líneas de trabajo en aspectos estratégicos para la consolidación del sector acuícola, como la localización de zonas idóneas para acuicultura integrada. Actualmente trabaja como asesor-consultor para organismos nacionales e internacionales.

Los antecedentes de este proyecto se remontan al año 2003, cuando en España y en Europa se dan una serie de circunstancias importantes para el desarrollo de la acuicultura. Entre ellas, el impresionante crecimiento del sector en países como Grecia y Turquía y, además, se comienza a hablar y con más insistencia, de efectos ambientales asociados. Por otro lado, el acceso al mercado de grandes cantidades de producto, comienza a representar un riesgo para el equilibrio económico de las industrias de países con menos niveles de producción, como España, Francia e Italia.

En este contexto tiene lugar en la ciudad noruega de Trondheim la conferencia Aquaculture Europa 2003, “Más allá del monocultivo” (“Beyond Monoculture”), en la que expertos de todo el mundo presentan experiencias de cultivos multitróficos que se desarrollan en varios países.

Adecuando el concepto a nuestra posición y situación, la acuicultura integrada podría definirse, en términos generales, como la combinación de diferentes cultivos marinos, empleando especies de varios grupos taxonómicos en un mismo sistema físico o instalación productiva, con el fin de mejorar el aprovechamiento de los recursos del sistema y de mejorar la calidad ambiental del medio.

Hay que tener en cuenta que los cultivos multitróficos ya existían, en cierto modo, en el medio natural en instalaciones de los esteros en

el Sur de España, y que hay un cierto nivel de conocimiento sobre este tipo de acuicultura. En el ámbito institucional, se comienza a generar el proyecto que aprueba JACUMAR en el año 2007.

Algunas de las consideraciones previas al diseño del proyecto fueron:

- Tipo de acuicultura, sistemas y especies que se desarrollan en las comunidades autónomas del Estado español que participarían en el proyecto.
- Doble finalidad y objetivos: mejora de la gestión ambiental de las granjas donde se implantaran y, por otro lado, propiciar el reforzamiento económico de las empresas con la diversificación de su producción.
- Horizonte espacio-temporal diverso: seis regiones con condiciones de cultivo, especies y sistemas muy distintos, lo que originaba que el proyecto tuviera una diversidad de experiencias muy importante. El periodo de programa se fijó en 3/4 años, para desarrollar más de una experiencia completa por grupo de trabajo.

**Los cultivos de moluscos asociados a peces, en instalaciones en tierra y en el mar, son una combinación viable industrialmente y con interés económico**

- De manera preferente y donde fuera posible, se realizarían experiencias con los tres niveles tróficos que suponen los tres grupos taxonómicos de peces, moluscos-crustáceos y macroalgas.

El objetivo general era “evaluar la aplicación de sistemas de cultivos integrados multitróficos en acuicultura en España”.

Desde el punto de vista metodológico, el proyecto tuvo una primera etapa donde se definieron las distintas experiencias a desarrollar en cada región. En el caso de Andalucía, que además actuaba como Grupo Coordinador del plan, se planteó la realización de dos cultivos integrados en instalaciones en tierra y otros dos en mar abierto.

Entre 2009 y 2010 se desarrollaron las experiencias previstas, con ostión y langostino asociados a cultivos de peces en instalaciones en tierra. También se trabajó con ostión y mejillón, asociados a peces en jaulas y se realizó alguna pequeña prueba con macroalgas.

Aunque los resultados finales se presentarán cuando finalice el plan, en diciembre de 2011,

**La presencia de cultivos complementarios en una instalación conlleva una línea de trabajo adicional y específica, que debe ser analizada para hacerla viable empresarialmente**

los resultados preliminares obtenidos han sido muy positivos y han puesto de manifiesto la existencia de opciones reales a la hora de diversificar y/o complementar los cultivos principales en las instalaciones de acuicultura.

### OTRAS REFLEXIONES

Los cultivos de moluscos asociados a peces, tanto en instalaciones en tierra como en instalaciones en mar, son una combinación viable industrialmente y con interés económico.

Las macroalgas asociadas a cultivos de peces presentan un importante reto desde el punto de vista del aprovechamiento de determinadas especies.

Indudablemente, la presencia de cultivos complementarios en una instalación conlleva una línea de trabajo adicional y específica, que debe ser analizada con detalle para hacer viable empresarialmente dicha opción. El desarrollo de este tipo de cultivos debe estar acompañado por un proceso participativo para elaborar regulaciones relativas a la modificación y ampliación de autorizaciones de cultivos, controles sanitarios, uso de las aguas y otras.

Finalmente, los sistemas de cultivos marinos multitróficos constituyen una gran oportunidad para alcanzar la sostenibilidad de la acuicultura, porque disminuyen su incidencia ambiental y posibilitan a las empresas disponer de otros productos, mediante la diversificación.



## Un modelo de producción alimentaria



**Marina Fernández Lora** es Licenciada en Ciencias del Mar por la Universidad de Cádiz, donde posteriormente perfeccionó sus estudios con un Master en Pesca y Acuicultura. En los últimos ocho años trabaja en materia acuícola en los sectores privado y público. Actualmente desarrolla su actividad en la Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA), de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, entidad participante y coordinadora del Plan Nacional Jacumar de Acuicultura Multitrófica Integrada. De manera complementaria, participa en proyectos de cooperación en cultivos marinos, con el respaldo de su formación en la que figura haber cursado un Master en Cooperación al Desarrollo y Gestión de Proyectos de Cooperación.

La acuicultura integrada tiene múltiples definiciones y entre ellas tiene particular interés el concepto que propone la FAO: un sistema acuícola que comparte recursos, agua, alimento, gestión y usos de infraestructuras comunes dentro de la misma actividad o asociada a otras actividades como la agricultura, la agro-industria, la ganadería y otras. Esta definición enmarcaría a la acuicultura integrada como una modalidad de producción alimentaria que, analizando sus características, ha sido y es utilizada en numerosas regiones del mundo por pequeños productores y a pequeña escala. La idoneidad de esta práctica se basa en la diversificación resultante de integrar cereales, vegetales, peces, árboles, animales de granja y otros, proveyéndoles de una estabilidad en la producción, eficiencia en los recursos usados y de conservación del medioambiente.

Es interesante reflexionar sobre estos modelos de producción alimentaria y cómo, paradójicamente, se emplean en regiones con mayores limitaciones de recursos (agua, suelo, electricidad y otros), y medios (tecnológicos y económicos), y, sin embargo, con un concepto comunitario responsable para la utilización de los recursos disponibles.

Aunque las escalas son distintas en este sentido, y extrapolándolo a nuestra realidad, el desarrollo y la sostenibilidad de la acuicultura marina pasan, entre otras cuestiones, por revisar las prácticas anteriormente comentadas de eficiencia en la utilización de recursos. Es innegable que estamos viviendo un proceso de

importantes cambios políticos, sociales, económicos, y que, de manera consecuente, se producirán numerosas reformas y entre ellas, seguramente, la modificación de los sistemas de producción de alimentos. Ahora mismo la acuicultura a mediana y gran escala, como sistema de producción de alimentos, tiene una oportunidad para adoptar las pautas que configurarán la tendencia dominante, en cuanto a calidad del alimentos, eficiencia en la utilización de los recursos, respeto al medioambiente y responsabilidad social.

A rasgos generales esta tendencia coincide con las características principales de los cultivos multitróficos o integrados, que proponen un crecimiento sostenible de la acuicultura mediante la utilización eficiente de los recursos naturales y la mejora de la calidad de las aguas, con la incorporación de especies de diferentes niveles tróficos (peces-moluscos-algas), que retiran compuestos orgánicos e inorgánicos procedentes del cultivo principal. También hay que recordar que la AMTI fomenta la competitividad de la producción acuícola mediante la diversificación de especies, y

*El desarrollo y la sostenibilidad de la acuicultura marina pasan, entre otras cuestiones, por revisar las prácticas de eficiencia en la utilización de recursos*

mejora la imagen del sector y de la actividad acuícola, por las connotaciones de sostenibilidad ambiental que engloban el concepto de acuicultura integrada.

Por ello, es el momento de trabajar en cuatro aspectos para la dinamización y consolidación de los cultivos multitróficos:

1. El apoyo normativo y legal de la administración para que el desarrollo de estas prácticas de producción acuícola sean prácticas comunes.

2. La iniciativa por parte del sector empresarial motivado por experiencias de éxito ya existentes.
3. Un compromiso de los investigadores para orientar sus estudios a investigaciones aplicadas y transferibles a la empresa acuícola.
4. El interés de la sociedad en que se promuevan sistemas de producción alimentarios responsables, desde el punto de vista social, económico y ambiental.

[marina.fernandez.lora@juntadeandalucia.es](mailto:marina.fernandez.lora@juntadeandalucia.es)



## La innovación aplicada en la producción: acuicultura integrada



**María del Mar Agraso Martínez** (Cádiz, 1980), es Licenciada en Ciencias del Mar por la Universidad de Cádiz, donde completó sus estudios con el Master Internacional de Pesca y Acuicultura. Ha trabajado durante más de 8 años, en los sectores privado y público, en planificación y ordenación de la acuicultura, en impulsar nuevas iniciativas privadas y en optimizar la gestión de la producción en aspectos técnicos, económicos y ambientales. Actualmente trabaja en la Fundación Centro Tecnológico de Acuicultura de Andalucía, CTAQUA, ([www.ctaqua.es](http://www.ctaqua.es)), una entidad entre cuyos cometidos figuran fomentar la innovación competitiva de las empresas acuícolas y proporcionar respuestas a sus necesidades empresariales, mediante el desarrollo de la investigación aplicada a los distintos procesos productivos.

Con la finalidad de sentar las bases para el futuro en la acuicultura en el ámbito de la UE, la Comisión Europea publicó en 2009 el documento “Construir un futuro sostenible para la acuicultura: Nuevo impulso a la estrategia para el desarrollo sostenible de la acuicultura europea” [COM(2009)]. Esta propuesta comunitaria se basa en los ejes principales que deben orientar el desarrollo de la acuicultura en los próximos años: fomentar la competitividad, sentar las bases para un crecimiento sostenible y mejorar la imagen y gobernanza.

*El desarrollo de estos sistemas acuícolas dependerá de un proceso de planificación estratégica, tanto productiva como económica, que posibilite la consecución de los objetivos empresariales*

En lo referente a fomentar la competitividad y la diversificación, la Comisión propone el desarrollo del sector mediante la innovación. Para el crecimiento sostenible y respetuoso con el medio, hay diferentes propuestas entre las que destaca elaborar nuevas estrategias para mejorar la compatibilidad entre la acuicultura y el medio ambiente y ofrecer a los cultivos marinos un entorno limpio y con agua de la mejor calidad, destinado a garantizar la sanidad de los animales acuáticos y también la

seguridad y calidad de los productos, especialmente en el caso de los moluscos.

En este sentido hay que recordar que los intereses productivos y los resultados económicos de las empresas acuícolas dependen, en mayor o menor medida, de la calidad de los ecosistemas en que se desarrolla su actividad. Por otra parte, las regulaciones y normativas medioambientales son cada vez más exigentes, de la misma manera que lo es la concienciación social por estos asuntos. La industria de los cultivos marinos ha incrementado y de manera notable en los últimos años, la aplicación de medidas correctoras y protectoras dirigidas a minimizar, entre otros aspectos, el impacto que genera la actividad.

Estas circunstancias han originado la necesidad de trabajar aún más para optimizar los procesos productivos y en innovación aplicada. En este sentido se ha avanzado en tecnificar el suministro de alimento y mejorar la gestión del cultivo, como también en la competitividad de las empresas, centrada en aspectos productivos y en el desarrollo de nuevas actividades que resulten sostenibles, que es precisamente donde encuentra su marco la acuicultura multitrófica integrada. La AMTI se define como una tipología acuícola en la que se complementa el cultivo principal piscícola, con otras especies que usan las aguas de la instalación enriquecidas en nutrientes, para su proliferación y crecimiento.

El uso de sistemas de cultivos integrados muestra una serie de ventajas que son intrínsecas del propio proceso y del lugar en el que se desarrolla, ya que permite, entre otros aspectos, rentabilizar y aprovechar al máximo los espacios naturales para los cultivos que, como se sabe, están cada vez más limitados y restringidos. En este sentido hay que señalar que las costas de España cuentan con una destacada riqueza de biotopos acuáticos: marismas y salinas marítimas en el Sur de España, rías en Galicia, zonas confinadas y zonas marinas. Todos esos entornos resultan idóneos para su aprovechamiento biotecnológico y para la producción de especies de interés comercial, entre ellos moluscos, crustáceos, equinodermos y algas. Además, la AMTI presenta otras ventajas: el desarrollo sostenible de actividades productivas complementarias, integradas en el sistema de cultivo principal y la reducción de la posible afección ambiental del medio, además de incrementar la rentabilidad de la producción.

A modo de conclusión, hay que mencionar que el desarrollo de esta actividad innovadora permitirá a las empresas posicionar sus productos de manera competitiva en las preferencias de segmentos de consumidores, entre los que se valoran aspectos como la calidad y diversidad y también se considera positivo que hayan sido cultivados de manera sostenible.

Finalmente, estas iniciativas en el campo de la AMTI, permitirán potenciar una mejora de la imagen y aceptabilidad social de la acuicultura atendiendo a aspectos ambientales, culturales y económicos.

En cualquier caso, el desarrollo de estos sistemas acuícolas dependerá de un proceso de planificación estratégica, tanto productiva como económica, que posibilite la consecución de los objetivos empresariales y, por tanto, potenciar las expectativas de futuro de estas empresas.

[mm.agraso@ctaqua.es](mailto:mm.agraso@ctaqua.es)



## Algunos ejemplos de la acuicultura insostenible



**John Bayes** es director de Seasalter Shellfish desde 1970 y miembro de la Shellfish Association of United Kingdom. Está considerado como una autoridad mundial en cultivos de bivalvos.

Su empresa ha desarrollado sistemas para criaderos y semilleros de bivalvos en Europa, América y Asia. Su estrategia productiva incluye el sistema de tres dimensiones (up flow system), que permite densidades muy elevadas de semilla en espacios reducidos.

En el criadero de ostra y almeja que la empresa tiene en Reculver, (Reino Unido), todas las unidades de madres, algas y semilla funcionan en circuito abierto, utilizando intercambiadores de calor entre el agua de salida y de entrada, lo que supone un aprovechamiento de energía, reduce el espacio y simplifica las instalaciones.

Gran parte de la acuicultura de peces que se hace en el mundo occidental utiliza harinas de pescado, procedentes de peces pequeños, para elaborar piensos para otros peces. Hay algún caso distinto: la cría de patos en Egipto, en la que se utilizan las heces para favorecer el crecimiento de fitoplancton. Desde el punto de vista energético, alimentar dentro del mismo eslabón de la cadena trófica peces con peces, supone una pérdida de la eficiencia biológica del 80%, derivada de los procesos metabólicos.

Es evidente que la demanda de proteínas para la alimentación humana tiene un ritmo creciente y que una de las principales fuentes de suministro es la piscicultura. En mi opinión, las únicas dietas aceptables para peces de piscifactorías son las que proceden de los descartes de pesca, también denominadas “pescado basura”, que en gran parte se desaprovechan, a pesar de ser una parte importante de las capturas.

Los efectos de la sobrepesca en los ecosistemas marinos son cada vez más evidentes e inquietantes. En el mar del Norte, tras autorizar a los pescadores daneses capturar anguillas y pequeños peces de la familia de los arenques, se produjo la práctica desaparición de los alimentos que consumían habitualmente las aves marinas, con la consiguiente disminución de sus poblaciones. Otro ejemplo: la sobrepesca es el origen de la proliferación de medusas y su concentración en diferentes localizaciones de los mares del mundo. Dicha proliferación tiene como consecuencia la colmatación de las redes

de pesca y ha provocado, en Japón, el naufragio de pequeños barcos de pesca o bien la pérdida de las redes, para evitar el hundimiento del barco (1). Otra negativa consecuencia es que las toxinas de los tentáculos de las medusas envenenan el pescado, haciéndolo inviable para su consumo humano. También se han comprobado efectos negativos en granjas de cultivos de peces: recientemente la única piscifactoría de salmón de Irlanda del Norte ha perdido toda su producción, debido a la proliferación de medusas, lo que ha supuesto una mortalidad de más de 100.000 salmones y con ello pérdidas de millones de euros (2).

Aparte de estos ejemplos, que pueden no ser importantes para quien no sea consciente de la importancia de los ecosistemas y la biodiversidad, existen también otros que suponen enormes pérdidas económicas, en euros, para pescadores y acuicultores. Es evidente que cuando se elimina una especie de un ecosistema, su lugar es ocupado por otras que pueden originar nuevos problemas. En realidad, no es cuestión de estar de acuerdo o no, hay evidencias demostradas en diversas publicaciones científicas.

(1) **Un barco de 10 toneladas hundido por las medusas.** The Telegraph. 02 Nov 2009. By Julian Ryall in Tokyo. <http://www.telegraph.co.uk/earth/6483758/Japanese-fishing-trawler-sunk-by-giant-jellyfish.html>

(2) **La única granja de salmón de Irlanda del Norte ha sido destruida por una invasión de medusas.** 100.000 salmones, valorados en un millón de libras, han muerto. The Independent Nature. 22 November 2007. By Deric Henderson. <http://www.independent.co.uk/environment/nature/jellyfish-invasion-wipes-out-fish-farm-759008.html>

[seasalter@globalnet.co.uk](mailto:seasalter@globalnet.co.uk)

## El reto de una acuicultura sostenible



**Juan Luis Barja Pérez**, es Licenciado en Biología por la Universidad de Santiago de Compostela (USC), y Catedrático de Microbiología del Departamento de Microbiología y Parasitología, CIBUS, de la Facultad de Biología e Instituto de Acuicultura de la USC. También es Master en Biología y Doctor en Microbiología por esa misma Facultad. Ha investigado para el Department of Microbiology, University of Maryland, College Park, MD (USA), entre 1979 y 1980 y también en el Department of Microbiology & Immunology, Medical School, Oregon University (USA), en 1981.

La acuicultura es una actividad de creciente relevancia a nivel mundial, entre otras razones, por su impacto favorable sobre el empleo y la generación de riqueza en las comunidades litorales. Por otra parte, las pesquerías comerciales están sufriendo un importante retroceso, debido en parte a la sobreexplotación. Mientras tanto, la producción acuícola ha crecido espectacularmente hasta alcanzar casi el 50% de la pesca mundial, según calcula la FAO.

Ahora mismo, el reto es la sostenibilidad de esta acuicultura en la que se incluyen peces,

*La mezcla (integración), de organismos de diferentes niveles tróficos remeda el funcionamiento del ecosistema natural*

moluscos, otros invertebrados y algas. La mejora de distintos aspectos (crecimiento, reproducción, salud, alimentación, gestión de los residuos y otros), de la producción de las especies cultivadas es un pre-requisito para mejorar la eficiencia y asegurar esa sostenibilidad.

En estos momentos, frente al clásico monocultivo (el mejillón en las rías gallegas o el salmón en Chile), que acarrea el riesgo inherente de ser susceptible de problemas comerciales y de padecer patologías, comienza a abrirse paso el concepto de acuicultura multitrófica integrada (en inglés, IMTA), que implica organizar en una

zona determinada un policultivo en el que se usan especies de muy distintas características:

1. Unas necesitan ser alimentadas, (peces).
2. Otras crecen utilizando la materia orgánica en suspensión, principalmente el plancton (es el caso de los moluscos bivalvos filtradores) y
3. Otros utilizan materia inorgánica (es el caso de las algas). Incluso hay un cuarto nivel, los detritívoros, (es el caso de muchos crustáceos), que utilizan los restos de todos los anteriores.

La mezcla (integración), de organismos de diferentes niveles tróficos remeda el funcionamiento del ecosistema natural, asumiendo que todos cumplen su función en el reciclado de la materia orgánica y contribuye a un aspecto importante de la acuicultura futura, que sería el de incrementar la diversificación de cultivos.

Otros aspectos a tener en cuenta a favor del IMTA son los sanitarios. La experiencia pasada, nos indica que los patógenos de peces no suelen ser patógenos de moluscos u otros invertebrados y viceversa.

Con la mejora de las características de los piensos, la generalización del uso de vacunas que ha permitido la drástica reducción del uso de antibióticos y antiparasitarios, y el establecimiento de controles sanitarios rigurosos, se ha producido un salto cualitativo hacia esas necesarias fórmulas de sostenibilidad y rentabilidad de la industria de la acuicultura.

[juanluis.barja@usc.es](mailto:juanluis.barja@usc.es)



## Evaluación del potencial de biorremediadores para utilizar residuos procedentes de cultivos intensivos de acuicultura, utilizando un modelo de balance de masas



**Ingrid Lupatsch** es diplomada en Biología Pesquera por el Instituto de Ciencias Marinas Christian Albrechts University, de Kiel, Alemania, y doctora por el Instituto de Nutrición Animal, Universidad de Bonn, Alemania. Durante más de veinte años trabajó en el Centro Nacional de Cultivos Marinos de Eliat, Israel, y participa, desde 2007, en el grupo de investigación del Centro de Investigación para la Acuicultura Sostenible, Swansea University, Reino Unido. Sus líneas de investigación son sobre aspectos básicos y aplicados de la nutrición de animales acuáticos, de una variedad de especies, como peces teleosteos, crustáceos e invertebrados, con énfasis en bioenergética, digestibilidad, cuantificación de energía y necesidades proteicas, formulación alimentaria y evaluación de ingredientes; todo ello para la mejora de los sistemas alimentarios y para gestionar con éxito los residuos generados por piscifactorías en jaulas y en tierra firme.

En estos momentos hay un gran interés en aplicar los principios de la AMTI a los cultivos intensivos de peces y moluscos existentes, capturando nutrientes residuales con organismos de niveles bajos en la cadena trófica. Con ello se reduce el impacto medioambiental y, además, se producen especies de valor adicionales. Son varios los estudios que sugieren el uso de invertebrados o peces demersales, para ayudar en la rehabilitación de sedimentos.

El concepto principal de los sistemas integrados es convertir los residuos sólidos y solubles de la especie de cultivo principal (peces o crustáceos), en productos con valor adicional lo que, consecuentemente, reduce el impacto medioambiental y mejora la sostenibilidad del cultivo. En estos sistemas las especies son cultivadas de forma separada, permitiendo la intensificación y optimización de la producción, además de un mejor control del flujo y absorción de nutrientes.

Sin embargo, para incrementar la rentabilidad de la producción, es necesario predecir las cantidades de nutrientes transferidos entre los diversos organismos. Es decir, la absorción, eficiencia de retención y deposición de nueva biomasa. Esto se puede hacer con un enfoque nutricional, porque nos permite cuantificar la

energía y nutrientes necesarios para cada especie y también predecir las eficiencias de retención y la salida de nutrientes sólidos y disueltos. Utilizando alimentos conocidos, como carbón, nitrógeno y fósforo, la cantidad total de nutrientes necesaria puede ser establecida utilizando el siguiente balance de masas:

$$\begin{aligned} &\text{alimento total de entrada} \\ &= \text{retención (crecimiento)} \\ &+ \text{heces (residuo sólido)} \\ &+ \text{excreción (residuos disueltos)} \end{aligned}$$

Cada parte de esta ecuación es medida cuantitativamente, con la excepción de los residuos disueltos, que son calculados en el modelo como la diferencia.

Este método se ha puesto a prueba en un experimento con mújol, *Mugil cephalus*, como biorremediador, para reducir el impacto bentónico de las jaulas de dorada en el Mar Rojo. El estudio mostró que los mújoles, mantenidos en instalaciones bajo las jaulas de doradas, eliminaron de forma efectiva 4,2 gr. de carbón orgánico, 0,70 gr. de nitrógeno y 7.5 mg. de fósforo por cada kilo de mújol por m<sup>2</sup> y día del sedimento orgánicamente enriquecido. Por lo tanto, el desarrollo de mújoles puede ser un medio eficiente para mejorar la calidad de los sedimentos bajo las jaulas de

cultivo intensivo de otros peces y, dado que el mújol tiene un valor comercial en muchos países, puede ser un producto de cultivo adicional (Lupatsch *et al.*, 2003).

Un enfoque similar fue empleado para regenerar los residuos orgánicos producidos por una piscifactoría de doradas (*Sparus aurata*) en tierra, usando poliquetos marinos. Los gusanos poliquetos se alimentan de detritos y se cultivan comercialmente. Se usan como cebo en pesca deportiva y, recientemente, como ingrediente en alimentos para peces y crustáceos. Estos poliquetos, incluido *Alitta virens*, pueden consumir detritos y materia orgánica en descomposición y, por lo tanto, pueden servir como biorremediadores.

En un estudio realizado para evaluar la eficiencia de producción de *Alitta virens*, se compararon individuos alimentados solamente con residuos orgánicos, recogidos de un tanque de peces, con individuos alimentados con pellets de pienso.

Los resultados mostraron que, para producir un kilo de *Alitta virens* con residuos únicamente, son necesarios un total de 22,6 Mj. de energía bruta (= 502 gr. de carbón), y 387 gr. de proteína cruda (62 gr. de nitrógeno), en comparación con solo 12,4 Mj. de energía

bruta y 286 gr. de proteína cruda, cuando se cultivaron solo con pienso.

Para poner esto en la perspectiva de un sistema AMTI, el cultivo de lubina (*Dicentrarchus labrax*) podría ser utilizado como ejemplo. Asumiendo que 1,4 toneladas de pienso son necesarias para producir una tonelada de lubina, el residuo sólido producido se estima en 74 kilos de carbón y 8 kilos de nitrógeno. Basándose en las estimaciones anteriores podemos concluir que se podrían producirse hasta 129 kilos de *Alitta virens*, como un valioso coproducto, alimentándolo con partículas residuales originadas de la producción de una tonelada de lubina.

Resumiendo, un proceso de tratamiento de este tipo crea un incentivo para el piscicultor, que podría obtener ingresos adicionales de la captura de nutrientes por los coproductos cultivados y, al mismo tiempo, reducir la emisión de nutrientes al medio ambiente.

### REFERENCIAS

Lupatsch I., T. Katz and D.L. Angel (2003). Assessment of the removal efficiency of fish farm effluents by grey mullets: A nutritional approach. *Aquacult. Res.*, 34: 1367–1377.



## La acuicultura, una respuesta al desequilibrio dietético en las sociedades occidentales



**Clive Askew** cultivó los primeros lotes de *Crassostrea gigas* en Gran Bretaña, en los años 70 y también analizó la viabilidad económica del cultivo de ostra con semilla producida en criaderos. Trabajó en este campo en el Reino Unido y España y, posteriormente, creó la consultoría, Marine Culture Technology. Desde 1991 y hasta 2008, fue subdirector de la Shellfish Association of Great Britain (SAGB), y también miembro fundador de la European Mollusc Producers Association (AEPM-EMPA). Otra de sus líneas de trabajo la desarrolló en el campo de los omega-3. En la actualidad continúa asesorando en acuicultura y también trabaja, como consultor de pesca, para la Fishmongers' Company de Londres.

En los países en donde se consume una alta proporción de alimentos marinos, como es el caso de Japón, sus poblaciones son menos vulnerables, que en Occidente, a las enfermedades cardiovasculares. Este hecho se asocia, en particular, con la presencia en la dieta de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga omega-3 (LC-PUFA  $\omega$ 3 o, más habitualmente, PUFAS), principalmente EPA (ácido icosaenoico), y DHA (ácido docosahexaenoico). Para la obtención de estos elementos, la única fuente posible son alimentos marinos.

Un desequilibrio en la dieta occidental moderna es la presencia de niveles altos de ácidos grasos omega-6 de cadena corta. Dichos ácidos disminuyen la capacidad para sintetizar los omega-3, considerados, como se dijo, protectores cardiovasculares. Esta ausencia de ácidos grasos de cadena larga, fundamentalmente EPA y DHA, es un déficit de la dieta de un amplio sector de la población mundial, en la que los alimentos marinos representan solo un pequeño componente y, en muchos casos, está completamente ausente. En este sentido, hay que recordar que William Lands (1) demostró una clara asociación entre el riesgo de enfermedades cardiovasculares y el exceso de omega-6 en la dieta.

Eric Brunner *et al.* en 2008 (2), han señalado que la creciente necesidad de alimentos marinos para mantener los requerimientos

de la salud humana no es compatible con la preservación del ecosistema marino, debido a la presión de la pesca. Del mismo modo, afirman que la publicidad sobre el consumo de alimentos marinos continúa siendo deficitaria. Recientemente la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y Nutrición, EFSA, ha reconocido que la presencia de EPA/DHA es esencial para mantener las funciones cardíacas, los niveles de triglicéridos y la tensión arterial en rangos normales.

Dado el estado actual de las pesquerías a nivel global, la única solución práctica a este déficit de ácidos grasos poliinsaturados marinos es incrementar la escala de la acuicultura de forma masiva. Dichos omega-3 marinos provienen de las algas, tanto del fitoplancton como de las bentónicas. Filtradores y gasterópodos que se alimentan con ellas son, por tanto, un sistema muy directo y sostenible para hacer que dichos ácidos estén disponibles en la alimentación humana. Para que la piscicultura continúe su expansión es necesaria una mayor confianza en el cultivo de micro y macroalgas, como futura fuente de omega-3, para incorporar a los piensos de pescado. Esto ha sido puesto de manifiesto por Arnould Muller-Feuga en *Microalgal Culture* (Blackwell Publishing 2004), donde se estimó una demanda mundial de 10-15 millones de toneladas de PUFAS para 2020. Gran parte de éstos podrían ser producidos utilizando algas en fermentación heterotrófica, además de cultivo foto-sintéti-

co. La acuicultura juega un papel significativo en la provisión de una dieta saludable.

El desarrollo de políticas responsables de pesca (por ejemplo, Marine Stewardship Council- MSC), de acuicultura (Aquaculture Stewardship Council-ASC), y de la elaboración de harinas de pescado (International Fishmeal and Fish Oil Association- IFFO Improvers Programme), tienen una gran influencia en el proceso de asegurar que tanto la pesca como la acuicultura se desarrollen de un modo sostenible.

A pesar de las críticas científicas al cultivo de especies de peces carnívoros, la realidad es que la conversión es muy eficiente en comparación con la cría de, por ejemplo, animales de sangre caliente y que, en alguna proporción, también son alimentados por pescado. Por tanto, la acuicultura pone a disposición, no solo proteínas, sino también grandes cantidades de omega-3, que de otra manera serían inaccesibles para la alimentación humana.

Con la AMTI se abre una vía para poner a disposición de los consumidores más proteínas y ácidos grasos omega-3. En este sentido y recientemente Chopin *et al.*, 2010 (3), han señalado que el mejillón, cuyo cultivo multitrófico esté garantizado por una certificación, tiene una mayor aceptación y valor entre los consumidores de mercado de Estados Unidos y, además, presenta un componente mayor de

ácidos grasos de cadena larga, principalmente EPA y DHA.

### REFERENCIAS

- (1) Lands, WJ 2008 A critique of paradoxes in current advice on dietary lipids. *Progress in Lipid Research* 47, 77-106.
- (2) Brunner E., Jones P., Friel S. and Bartley M., 2008 Fish, human health and marine ecosystem health: policies in collision. *International Journal of Epidemiology* 2009, 38;93-100.
- (3) Chopin T., Troell M., Reid G.K., Knowler D., Robinson S.M.C., Neori A., Buschmann A.H., Pang S.J. and Fang J. 2010 Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) – a responsible practice providing diversified seafood products while rendering biomitigative services through its extractive components. Abstracts. Aquaculture Europe 2010. Porto. Portugal.

[clive@bellhammer.myzen.co.uk](mailto:clive@bellhammer.myzen.co.uk)



## La acuicultura multitrófica en embalses de riego



**Mario Pedini** se graduó en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad de Barcelona y ha trabajado en FAO desde el año 1973 hasta su jubilación, en 2005. Ha sido asesor principal para el Desarrollo de la Acuicultura en la FAO y oficial de Pesca y Acuicultura en el Programa Cooperativo del Banco Mundial. Durante su etapa profesional en la FAO ha trabajado en proyectos de campo y en la sede central de Roma. Se ha encargado de la formulación y seguimiento de proyectos de campo en todos los continentes y ha desempeñado cargos de secretario técnico en varias comisiones de pesca y acuicultura, en especial las del Mediterráneo (CGPM) y América Latina (COPESCAL). Ha sido cofundador del newsletter de acuicultura de FAO y autor/editor de varias publicaciones. Tras retirarse en 2005, ha colaborado como consultor en proyectos del Banco Mundial en India y Madagascar.

El concepto de acuicultura multitrófica, en la que se mezclan especies que pueden aprovechar los varios eslabones de la cadena alimenticia, no es nada nuevo y tiene sus orígenes en los policultivos de carpas en China. Hoy en día, en maricultura se investiga el combinar cultivos intensivos de peces con moluscos filtradores y algas que puedan reducir por lo menos en parte el impacto ambiental de los cultivos intensivos de peces y al mismo tiempo obtener un beneficio económico del uso de los residuos orgánicos e inorgánicos generados. En los policultivos extensivos o semi-intensivos tradicionales se tiende a buscar combinaciones de especies con hábitos alimenticios diferentes que optimicen la transformación en proteínas de la energía natural y nutrientes de los estanques de cultivo.

Aunque estas formas de policultivos de carpas en estanques eran tradicionales en China, y están bien descritas en la literatura y en manuales y filmas de la FAO de la década 1970-80, la modernización del país llevó a una transformación hacia cultivos intensivos con uso adicional de alimentación artificial, agua y energía para aireación de estanques que obtienen mayor producción por unidad de superficie pero que también tienen un impacto ambiental mayor y unos costos operativos de producción más altos.

Desde inicios de los años 80 en Bangladesh y los 90 en India ha habido proyectos de policultivos extensivos para aumentar la producción en cuerpos de agua de las llanuras de inunda-

ción de ríos o de embalses utilizados para riego en agricultura. Estos proyectos fueron principalmente financiados por el Banco Mundial, con participación del Centro de Inversiones de la FAO en la mayoría de ellos para su diseño y supervisión.

Estos proyectos se han puesto en práctica en los estados indios de Orissa, Assam, Madhya Pradesh, Karnataka, Andhra Pradesh y Tamil Nadu y los diseños se han ido perfeccionando a medida que se ganaba experiencia y se disponía de mejor material para sembrar los embalses. India tiene decenas de miles de pequeños embalses con superficies máximas inundadas comprendidas entre 10 y 1.000 ha. Algunos de estos embalses han sido construidos hace cuatro o cinco siglos para embalsar agua durante el periodo del monzón y poder utilizarla luego para regadío. Hay pocos embalses que retengan agua a lo largo del año entero, empiezan a llenarse con las lluvias del monzón a partir de junio-julio y por lo general se secan completamente entre diciembre y marzo.

La producción en estos embalses antes de estos nuevos proyectos era inexistente o muy baja, del orden de diez-treinta kilogramos/hectárea. En algunos los pescadores sembraban alevines muy pequeños (más baratos), que sufrían una alta tasa de mortalidad inicial y no tenían tiempo para alcanzar tamaños comercialmente interesantes. Las nuevas estrategias de siembra han consistido en utilizar alevines de mayor tamaño de varias especies de carpas indias y en densidades de siembra

que tengan en consideración la variación de tamaño del embalse tanto al llenarse como al secarse, las curvas de crecimiento de las especies, y la disponibilidad de alimento natural en el embalse. En Andhra Pradesh donde se dispone de alevines "stunted", peces de diez meses de edad cuyo crecimiento ha sido retardado a propósito al mantenerlos en pre-cría a muy altas densidades y con alimentación muy baja en proteínas, se han obtenido crecimientos espectaculares en cinco meses de cultivo. Estos alevines al ser reintroducidos en un ambiente extensivo tienen una velocidad de crecimiento mucho mayor que los alevines que no son sometidos a este proceso de retraso de crecimiento. Con combinaciones de tres o cuatro especies de carpas indias y alguna china se han obtenido en los ensayos iniciales producciones de más de cuatrocientos kilos por hectárea en ciclos de siete-ocho meses contra los menos de treinta kilogramos de peces de

escaso valor que se obtenían antes del inicio de estos proyectos.

El problema de estos programas es el entrenamiento de las comunidades ya que solo se tiene una experiencia por ciclo/año y los ajustes de densidad de siembra varían de un embalse a otro y según sea el monzón. Además hay pocos técnicos formados en estos nuevos conceptos. Para ello se han propuesto programas de investigación y capacitación sobre la hidrología y variaciones de capacidad de carga de los embalses que el gobierno indio y los de los estados deberían poner en práctica. Son técnicas con mucho potencial social si uno considera la pobreza de las comunidades rurales en el centro y sur de la India, y de los pescadores en particular, y el positivo impacto que tienen sobre los ingresos de la familias.

[pedini3@hotmail.com](mailto:pedini3@hotmail.com)



## Experiencia de cultivo integrado de corvina, zamburiña, mejillón y holoturias



**José María Valencia Cruz** es licenciado en Biología por la Universidad Complutense de Madrid. En 1991 se incorporó al equipo de investigación en acuicultura de la Comunidad Autónoma de las Islas Baleares, en la actualidad LIMIA. Ha participado en las investigaciones de cría larvaria de dentón, morruda, corvina y escupaña. También ha colaborado en estudios sobre la pesca del pulpo y la langosta con técnicas tradicionales y en la elaboración del mapa de zonas potencialmente aptas para la acuicultura en las islas Baleares. En la actualidad dirige los subproyectos de acuicultura integrada y de cultivo de pulpo de roca, además de los planes de higiene en pesca extractiva y acuicultura y el seguimiento de las zonas de producción de moluscos bivalvos en las Islas Baleares.

Una de las ventajas de los sistemas de cultivos integrados consiste en una mejora ambiental de las instalaciones, al consumir otros organismos los residuos producidos por el cultivo principal.

La experiencia realizada en el polígono de jaulas del Laboratorio de Investigaciones Marinas y Acuicultura (Puerto de Andratx, Islas Baleares), persigue esta meta, aparte de evaluar el potencial económico de la producción obtenida gracias al sistema de cultivo integrado.

Para la experiencia, se dispuso en las jaulas situadas a barlovento de la corriente principal del puerto de Andratx, un sistema colector de bivalvos, formado por sacos de red de malla plástica de 9 mm rellenos de malla plástica de 5 mm y una red de engorde con mejillones fijados a la misma. También, justo debajo de las jaulas de cultivo de peces, se dispuso un cercado de 3 m<sup>2</sup> con holoturias, para que se alimentasen con la materia particulada (pienso no consumido y heces), que cae de las jaulas.

Con el objetivo de comprobar que los organismos filtradores (zamburiñas y mejillones), y detritívoros (holoturias), se alimentan de los residuos de la actividad principal, se han realizado análisis del flujo isotópico del carbono y del nitrógeno. Aparte, se ha estudiado si se ha producido una mejora del sedimento sobre el que vivían las holoturias mediante el análisis

del carbono, nitrógeno y fósforo de muestras de sedimento.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Los sistemas de captación recogen semilla de zamburiña (*Chlamys varia*), ostra plana (*Ostrea edulis*), y otros moluscos bivalvos sin interés comercial. Además, estos colectores son usados como refugio de una pequeña gamba (*Lyasmata seticaudata*), que tiene un cierto interés económico al poderse usar como cebo en la pesca deportiva. No se ha realizado engorde de ostra plana porque tienen una elevada mortalidad debida a la marneiliosis, que es endémica en las Islas Baleares.
- Las zamburiñas están en fase de puesta desde octubre a junio. Se ha comprobado que en los meses de julio y agosto no se alimentan.
- Se ha detectado la presencia de *Perkinsus mediterraneus* en zamburiña y ostra.
- Debido a que el sistema de colectores es eficiente en la captura del bivalvo protegido *Perna nobilis*, se utiliza su diseño en un proyecto sobre esta especie.
- La captación de zamburiña es máxima entre octubre y abril.
- Los mismos colectores pueden usarse como dispositivos de engorde. Se consigue la talla comercial a partir de los 19 meses de inmer-

sión, siendo el momento óptimo para la recogida a los 22 meses. A partir de este momento, disminuye el número de individuos de talla comercial por la captación de nueva recluta.

Las zamburiñas de talla inferior a la comercial pueden engordarse. Sin embargo, el manejo debe ser exquisito, debido a su etología. Una vez despegadas, si se mantienen fuera del agua, intentan desplazarse mediante aperturas y cierres de valvas, lo que las seca. Por lo tanto, deben manejarse siempre dentro del agua y mantenerlas el tiempo mínimo posible en seco. Las primeras pruebas de engorde realizadas dieron como resultado una mortalidad próxima al 95%. Esto se debe a que una vez introducidas en sacos o linternas de engorde, los individuos nadan y acaban introduciendo una de las valvas en el manto de otra zamburiña. En este momento no son capaces de separarse y las heridas producidas las matan. Se ha conseguido superar este problema introduciendo cada individuo en bolsi-

tas de malla, obteniendo así una supervivencia cercana al 90%.

- La señal isotópica de C y N proviene principalmente de excedentes de piensos utilizados en alimentación de jaulas, y de materia orgánica particulada, que contiene a su vez señal isotópica de estos excedentes, lo que demuestra que filtradores *M. galloprovincialis* y *C. varia* son un sistema eficiente de reducción de la carga de materia orgánica asociada a jaulas de acuicultura. Las holoturias son menos eficientes.
- No se ha podido establecer que las holoturias reduzcan el contenido en nitrógeno, fósforo y carbono del sedimento. La causa se desconoce y puede deberse a varios factores: la influencia antrópica, que las jaulas actúen como trampas de sedimento, los movimientos del sedimento en los temporales y/o los aportes terrígenos debido a las lluvias.

[jmvalencia@dgpesca.caib.es](mailto:jmvalencia@dgpesca.caib.es)



## Otra manera de valorizar residuos



**José Manuel Cousido Suárez**, director de Abonomar desde 1989, es un empresario emprendedor y pionero en la búsqueda de soluciones para la gestión de residuos de la industria conservera. Abonomar ha centrado su actividad en el reciclaje de conchas marinas, mediante un tratamiento de revalorización. Sus productos están respaldados por investigaciones de I+D+i, cuyo cometido es idear nuevos productos.

En Galicia, el cultivo intensivo de mejillón origina una cantidad importante de residuos en forma de material procedente de bateas en desuso. Se trata de cuerdas y otros elementos que actualmente son reciclados en su totalidad. En forma paralela, la industria de la conserva también genera residuos y entre los más importantes figuran conchas procedentes de bivalvos, principalmente de mejillón, berberecho y almeja, cuya eliminación constituye un problema, pero que convenientemente procesados se transforman en subproductos con valor comercial.

En el año 1989 la empresa Abonomar, con sede en la Illa de Arousa (Pontevedra), inicia su actividad como la primera industria gallega de reciclaje de conchas marinas. Esta iniciativa empresarial surgió con el objetivo de aportar soluciones al problema que supone la generación de residuos procedentes de la industria conservera.

En términos generales, se puede decir que la alternativa industrial, viable económicamente, fue aplicar a los residuos generados un tratamiento de revalorización mediante la técnica conocida como de las tres "R": Reducción, Reutilización y Reciclaje. Mediante dicho proceso se transforman residuos de la acuicultura y de la industria conservera en productos ecológicos y respetuosos con el medio ambiente.

Abonomar es una empresa pionera en el reciclaje de conchas marinas y mantiene un com-

promiso empresarial con las industrias que operan con responsabilidad con los residuos que generan, ofreciéndoles una cobertura legal en la gestión y, como consecuencia de todo ello, se produce una reducción en los vertidos incontrolados.

Hasta la fecha hemos llevado a cabo varias investigaciones de I+D+i acerca de las posibles aplicaciones de las conchas de mejillón. En este campo hemos obtenido varias patentes, entre ellas una cama para ganado en estabulación, sustrato para jardines, campos de golf y fútbol y sustrato para playas y parques de cultivo.

Actualmente colaboramos con equipos de investigación de varias universidades para la realización de proyectos innovadores y también con empresas privadas, que desarrollan productos en los que intervienen conchas de mejillón.

Respecto de la conchas de ostra y de otros bivalvos, hemos elaborado complementos minerales para la acuicultura en general.

Finalmente hay que señalar que los residuos procedentes del laboreo en bateas, son transformados, en colaboración con varias cooperativas ganaderas gallegas, para destinarlos como materia orgánica en nutrientes para praderas, con muy buenos resultados.

[central@abonomar.com](mailto:central@abonomar.com)



**Fernando Nieto Cortijo** ha desempeñado el cargo de director técnico de las cuatro piscifactorías de salmónidos de agua dulce de Maricultura desde 1977 hasta 1996. En ellas se producían anualmente 200.000 alevines de salmón (smolt o esguines), para engordar en agua salada y en jaulas flotantes de la ría de Ortigueira (A Coruña) y también, aunque ocasionalmente, en la de Muros (A Coruña). También se criaban 2.000 toneladas al año de trucha arcoiris y 2.000.000 de ovas de trucha y salmón, para autoabastecimiento de las producciones propias y suministros a terceros. En la actualidad, y desde 1996, es inspector pesquero de la Consellería do Medio Rural e do Mar de la Xunta de Galicia.

## Peces y algas

Maricultura empezó a desarrollar el cultivo de salmón en agua salada en 1976, de manera que al incorporarme, en 1977, participé en el diseño de la jaula flotante, operativa en la actualidad en esas instalaciones. El modelo se construyó en acero galvanizado, con flotadores plásticos que se amarraron al fondo de la ría de Ortigueira. Con esos artefactos se realizó la primera experiencia española de cultivo de salmón.

La especie con la que se trabajó inicialmente fue el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), pero las características de la ría ortegana –gran velocidad de caudal, poco calado y poca lámina de agua en bajamar en los canales de fondeo–, generaban un rango de temperaturas del agua que hizo impracticable el cultivo del salmón.

Debido al estrés, las poblaciones se mostraban vulnerables y los índices de mortalidad eran altos en los ejemplares de talla comercial. La decisión fue trabajar con el salmón Coho (*Oncorhynchus kisutch*), variedad del Pacífico.

### OTRAS ESPECIES

El cultivo de este salmón se iniciaba con la incubación de huevos embrionados y, tras nueve meses de engorde en agua dulce, los esguines eran trasladados a Sismundi, Cariño. Tras una aclimatación en tanques con agua salada, e incorporando sal a la alimentación, se depositaban en jaulas sumergidas en la ría para su engorde hasta su talla comercial, que se estableció en unos 1.250 g. Se produjeron unas 500 toneladas al año de este salmón. También se

cultivó trucha arco iris, variedad "Steel head", en agua salada y con excelentes resultados. Se produjeron 300 toneladas al año de trucha asalmonada marina de 1.500 g.

Con rodaballo se realizó la primera experiencia de cultivo en jaulas de fondo, cuyo diseño era similar a las de a flote, pero sin flotadores y con red en sus seis caras. Fué otra experiencia innovadora en España y que resultó exitosa. Los rodaballos engordaban en contacto con un fondo arenoso y, al alcanzar talla comercial, se colocaban en jaulas a flote. Se obtuvieron 200 toneladas al año de rodaballo.

En cuanto a moluscos, se cultivaron en un parque intermareal de la ría de Ortigueira y en bateas de la ría de Muros. Se trabajó con ostra plana y japonesa y almeja japonesa y fina.

Tal es el perfil técnico y las especies que se cultivaron en Maricultura, en cuyas jaulas se realizó una experiencia de cultivos multitróficos con rodaballo y la macroalga *Saccharina latissima*. En realidad, en las jaulas sumergidas se produce lo que podríamos denominar un efecto arrecife, en el que paulatinamente y de una forma natural aparecen colonias de algas, invertebrados y peces que viven a expensas de los restos de pienso. Todo ello sugiere la posibilidad de que sean compatibles diferentes eslabones de la cadena trófica dentro de un mismo ecosistema, debido a las interrelaciones que se establecen entre las especies.

[fernico@telefonica.net](mailto:fernico@telefonica.net)





INSTITUTO ESPAÑOL  
DE OCEANOGRAFÍA



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

galicia



CIMA  
CENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
MARÍNAS



**JACUMAR**  
IUNTA NACIONAL  
ASESORA DE CULTIVOS MARINOS



XUNTA  
DE GALICIA