

LA ACUICULTURA COMO SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS RETOS Y OPORTUNIDADES

Francisco Javier Moyano López
Universidad de Almería

RESUMEN

Aunque la acuicultura tiene una historia de siglos, solo ha alcanzando relevancia como modo de producir alimento en las últimas décadas. Actualmente la acuicultura es una actividad dinámica, rentable y en constante desarrollo que engloba una amplia variedad de sistemas de producción realizados sobre una gran diversidad de organismos. La acuicultura se enfrenta a retos importantes relacionados con las peculiares condiciones propias del medio acuático y con el uso de los recursos, pero también presenta oportunidades únicas para consolidarse como una forma eficiente de suministrar cantidades crecientes de proteína y otros nutrientes de gran calidad a una población humana en constante crecimiento.

SUMMARY

Besides have been developed for centuries, aquaculture only reached relevance as a way to produce food during the last decades. Currently, aquaculture is a profitable and dynamic activity developed with a great number of different organisms reared under a wide variety of production systems. Aquaculture faces to important challenges related to the special features of the water environment and also to the use of the resources, but also presents unique opportunities to consolidate as an efficient form to provide great amounts of protein and other high quality nutrients to a continuously growing world population.

1. La acuicultura; definición y breve historia

La FAO define la acuicultura como *«la cría de organismos acuáticos, comprendidos peces, moluscos, crustáceos y plantas. La cría supone la intervención humana para incrementar la producción; por ejemplo: concentrar poblaciones de peces, alimentarlos o protegerlos de los depredadores y supone asimismo tener la propiedad de las poblaciones de peces que se estén cultivando»*. El concepto «acuicultura» viene también recogido en la Constitución española donde también aparecen otras expresiones para hacer mención a la actividad tales como; «cultivos marinos», «maricultura» y «acuicultura marina». Sin embargo la legislación sectorial emplea el término de «cultivos marinos». Así se recoge el mismo en la Ley estatal N° 23/1984 de Cultivos Marinos, y en la normativa autonómica. La mencionada Ley indica que *«se entiende por cultivos marinos la realización de las acciones y labores apropiadas para la reproducción o crecimiento de alguna o varias especies de la fauna y flora marinas o asociadas a ellas»*.

La acuicultura como actividad productora de alimentos tiene una larga historia. El friso de Akhitep, en una antigua tumba egipcia (2.500 años a. C.) refleja la captura de tilapias y su engorde posterior en lagunas protegidas, aunque diferentes autores están de acuerdo en que el origen del cultivo de plantas acuáticas y peces se sitúa en China 1.000 años a. C. Hay evidencias de granjas marinas extensivas en el siglo VI d. C en la cultura etrusca, y en tiempo de los romanos, se cultivaban doradas, lubinas, mejillones y ostras en estanques y lagunas salobres. Aristóteles y Plinio el Viejo escribieron sobre el cultivo de ostras; este último atribuye al general romano Lucinius Murena el invento del estanque de cultivo, y cita las grandes ganancias de su explotación comercial. En el siglo XI los pequeños pueblos isleños del sudeste asiático empezaron a capturar peces marinos en estanques costeros y alojarlos para su engorde en zonas poco profundas (*tambaks*) y en la América precolombina se utilizaban estanques de tierra inundables donde se obtenían cosechas anuales de peces.

En el siglo XII tuvo lugar un cierto desarrollo de la acuicultura continental en Centroeuropa, basada sobre todo en la cría de carpas y en el XV la acuicultura extensiva a gran escala (*vallicultura*) se llevaba a cabo en las lagunas costeras del Adriático, una práctica que ha llegado hasta nuestros días y que es precursora de la moderna acuicultura marina costera. En el año 1758 se produjo un importante descubrimiento, la fecundación artificial de huevos de salmones y truchas por Stephen Ludvig Jacobi, un investigador austríaco, aunque su investigación no salió del laboratorio y quedó en el olvido. En 1842, dos pescadores franceses, Remy y Gehin, obtuvieron puestas viables y lograron alevines de trucha, que desarrollaron con éxito en estanques. El descubrimiento llevó a la Academia de Ciencias de París a profundizar en el hallazgo,

lo que desembocó en la creación del Instituto de Huninge, el primer centro de investigación en acuicultura de Europa. Las primeras piscifactorías se crearon en 1878 en los EEUU para trucha arcoíris y en 1883 en Noruega para salmón, mientras que la reproducción artificial del rodaballo se consiguió en Inglaterra en 1894.

A finales del siglo XIX y principios del XX se realizaron grandes transferencias de poblaciones de salmón entre distintas partes del mundo (p. e. de California a Nueva Zelanda). La acuicultura marina comenzó a despegar con la producción de la seriola en Japón y el salmón en Noruega y la industria creció de manera rápida a finales de los 60 con el desarrollo de los piensos artificiales en grano. También en los años 60 y 70 tuvo lugar una enorme expansión del cultivo de almejas y ostras en Norteamérica y Europa. En esta época la acuicultura se polarizó, de modo que en los países en desarrollo se mantuvieron prácticas tradicionales en tanto que en Occidente se generalizaron los sistemas de producción industrial.

Los inicios de la cría en Europa de lubina y dorada tuvieron lugar en los años 70 y principios de los 80 en centros estatales de investigación de Francia e Italia. Los esfuerzos iniciales de investigación se centraron en la etapa de engorde que se llevaba a cabo en estanques a los que se bombeaba agua de mar. Conforme el sector se fue desarrollando, el engorde se trasladó a aguas abiertas siguiendo la tecnología desarrollada para el salmón y otras especies en Noruega y Japón. La producción permaneció baja hasta mediados de los 80 pero a partir de ese momento empezó a desarrollarse rápidamente mediante sistemas de cultivo semi-intensivos e intensivos, una vez resueltas las dificultades relacionadas con la reproducción, la alimentación larvaria mediante cultivos auxiliares, el desarrollo de alimentos adecuados para el engorde y el cultivo en jaulas. Desde este momento, la producción a gran escala se desarrolló en los 90 y superó todas las expectativas, de modo que en los últimos 20 años la acuicultura se ha consolidado como una potente industria que sigue sufriendo importantes transformaciones. En 1985 la producción de salmón (26.000 toneladas) se llevaba a cabo por un gran número de pequeñas empresas familiares, mientras que en 2007, una única empresa, Marine Harvest, controlaba ya el 30 % de una producción mundial cercana a los 1,6 millones de toneladas. En Vietnam, cuatro plantas de procesado controlan un 35 % de las 286.000 toneladas de filetes de panga que se exportan anualmente. En la actualidad, las empresas salmoneras se están introduciendo en la industria de la tilapia, de modo que uno de los mayores productores de salmón en Chile controla el 45 % de la producción de tilapia en Costa Rica. La integración horizontal y vertical en la acuicultura continuará aumentando hasta el 2030 y tendrá un profundo impacto en la industrialización y desarrollo tecnológico de esta actividad.

2. Importancia actual de la acuicultura

En el año 2007 la producción de alimento de origen marino alcanzó 157 millones de toneladas, lo que representaba un 2 % de todo el alimento producido en el mundo y un 16 % de la proteína consumida. El consumo per cápita de productos marinos aumentó desde los 14,4 kg en los 90 a los 16,7 kg en 2007 y este aumento se debe prácticamente en su totalidad a los productos de la acuicultura, ya que los rendimientos de la pesca extractiva se han reducido en un 3 % en el mismo periodo y muchos de los stocks están sobreexplotados (Myers y Worm, 2003; Naylor y Burke, 2005). Algunas estimaciones indican que los niveles actuales de captura duplican los considerados sostenibles (Coll *et al.*, 2008). Según la FAO, en los años 70 la acuicultura representaba solo el 4 % de los alimentos de origen acuático y en la actualidad representa el 47 %. El crecimiento de esta actividad (de más del 7 % anual) excede el de la población (0,5 % anual) así como el de la producción terrestre de alimentos, que se incrementa a un ritmo del 2 % anual. La producción en el medio marino está dominada en peso por las algas (46,2 %) y los bivalvos (42,9 %), en tanto que los peces diádromos (salmones principalmente), peces marinos y crustáceos representan cantidades notablemente menores (5,3; 3,7 y 1,8 %, respectivamente). Durante la pasada década la producción de crustáceos ha sido la de más rápido crecimiento (23 % anual), duplicando la de salmónidos y otros peces marinos. La acuicultura en aguas continentales, dominada por la producción de carpas en China, representa el 57 % de la producción acuícola (FAO, 2010). Según este organismo, la acuicultura tendrá que duplicar su capacidad productiva para el año 2030 para cubrir la demanda de alimentos de una población en rápido crecimiento. Aunque por el momento la acuicultura no es una alternativa a la pesca, sino un complemento a la proteínas que suministra la pesca extractiva, no es descabellado pensar que en algunas décadas la situación pueda invertirse. Las predicciones apuntan en este sentido e indican que la acuicultura producirá entre 54 y 70 millones de toneladas de alimento para el 2020 (Delgado *et al.* 2003).

3. Aspectos que diferencian la producción acuícola de la de otros alimentos

La producción animal en medio acuático presenta muchos puntos en común con la de las especies terrestres, ya que se controla la reproducción de los individuos, se desarrollan planes de producción por fases, se realiza manejo por lotes, se utilizan piensos específicos adaptados para cada especie y etapa de desarrollo, etc. Pero también

presenta rasgos peculiares relacionados tanto con las peculiaridades fisiológicas de los organismos acuáticos, como con las propias del medio en el que se lleva a cabo la producción. Desde el punto de vista biológico una de las principales diferencias de la producción animal acuática respecto a la terrestre es la enorme diversidad en la que se sustenta. En la actualidad el número de especies acuícolas que de un modo u otro son cultivadas ronda las 450 y el número de especies en las que se concentra el 90 % de la producción marina pasó de 14 a 20 en el periodo comprendido entre 1994 y 2004, comparado con las 4 o 5 especies que soportan el 90 % de la producción animal terrestre. Este amplio abanico incluye grandes grupos de invertebrados (moluscos y crustáceos) y de vertebrados (peces óseos). Cabe señalar que, al igual que ha ocurrido con la domesticación de animales terrestres y debido a diferentes aspectos relacionados con su fisiología reproductiva, hábitos alimenticios o sensibilidad al *stress* de confinamiento, no todas las especies acuáticas son susceptibles de una potencial producción en cautividad. Este punto es importante de considerar cuando se plantea la acuicultura como la solución para reemplazar los stocks de especies marinas esquilmas por la pesca extractiva, ya que en muchos casos la alternativa de cultivo resulta imposible.

A diferencia de lo que ocurre con las especies domésticas terrestres, el desarrollo en un buen número de organismos acuicultivados no es directo, sino que pasa por una serie de estadíos larvarios caracterizados por su pequeño tamaño, vulnerabilidad extrema y necesidades alimenticias específicas. Estos rasgos se ponen particularmente de manifiesto en el caso de los crustáceos o de bastantes especies de peces marinos, y exigen, entre otras prácticas, el empleo de técnicas especiales de suministro de alimento durante las etapas larvianas basadas en la producción paralela de organismos zooplanctónicos (gusanos rotíferos, crustáceos branquiópodos o copépodos) que se conocen como «cultivos auxiliares». Las especies acuicultivadas son sin excepción ectotermas, es decir, que su temperatura corporal y por tanto su metabolismo, dependen de la temperatura del agua circundante. Esto condiciona sus ritmos de actividad y crecimiento y hace que los ciclos productivos hasta tamaño comercial sean proporcionalmente mucho más largos que los de las especies terrestres (hasta dos años en especies de aguas frías como el rodaballo). De este modo, el principal limitante para la actividad vital de estas especies es la cantidad de oxígeno disponible, aspecto que también puede resultar determinante en los cultivos en estanques, sobre todo en las épocas calurosas. Resulta igualmente singular el hecho de que los piensos utilizados en acuicultura han de contener una proporción mucho mayor de proteína que los utilizados en producción porcina o avicultura, debido a las peculiares características del metabolismo de una buena parte de especies piscícolas, las cuales

utilizan una fracción importante de la proteína alimentaria como fuente energética. Esto encarece notablemente el coste de la alimentación y limita significativamente el abanico de ingredientes potencialmente utilizables. Por otra parte, resulta llamativo que, a diferencia del patrón seguido con las especies terrestres, en el caso de animales acuáticos los intentos de domesticación no se han limitado a las especies herbívoras o detritívoras, sino que existe una amplia representación de especies carnívoras, lo que conlleva condicionantes importantes en la formulación de alimentos adecuados (no solo en la selección de los ingredientes, sino en sus cualidades organolépticas) o en el manejo de la biomasa, con objeto de reducir las interacciones agresivas que pueden desembocar en canibalismo (Naylor y Burke, 2005)

El medio acuático impone además importantes condicionantes para la manipulación de los animales y dificulta o encarece algunas operaciones de manejo (clasificaciones, tratamientos sanitarios, etc). Por otra parte, las inversiones necesarias para cualquier instalación acuícola son en general más elevadas que para una granja terrestre. En las explotaciones ubicadas tierra adentro las infraestructuras necesarias para la captación, acondicionamiento y distribución de agua resultan costosas tanto por su complejidad como por el tipo de materiales requeridos, que deben ser resistentes a la oxidación y corrosión, además de los costes de consumo energético requeridos por las estaciones de bombeo y aireación. En el caso de instalaciones en mar abierto, los costes elevados se centran en los sistemas de anclaje y fijación y los sistemas automatizados de suministro de alimento. Por último habría que señalar que los lugares favorables para emplazar una instalación de producción acuícola son comparativamente más limitados que para una granja terrestre convencional, dadas las exigencias en cuanto a cantidad y calidad del agua requerida y la necesidad de evitar la competencia por otros usos.

4. Los retos de la producción acuícola

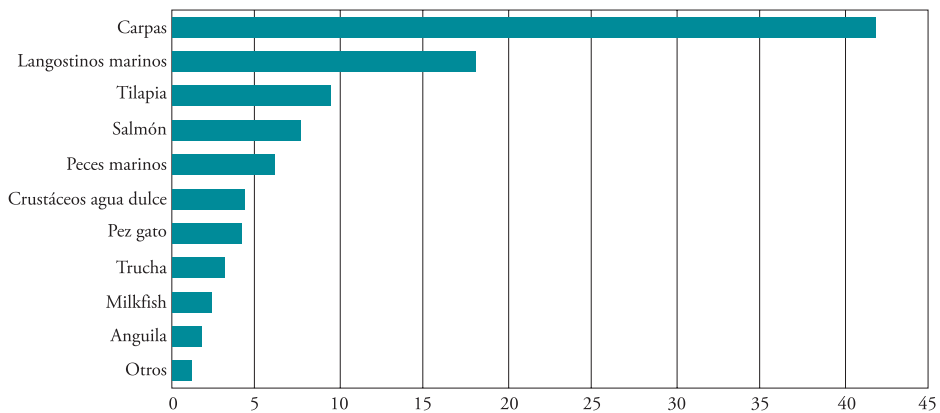
Tal y como se indicaba anteriormente, la producción animal en el medio acuático ha llegado en la actualidad a un grado de desarrollo sin precedentes y la tendencia futura es hacia un mayor crecimiento. Como actividad productora de alimentos se enfrenta a retos en muchos casos similares a los que se plantean para la ganadería convencional (suministro de ingredientes para los piensos, impactos ambientales, control de calidad de los productos, amenazas derivadas del cambio climático), pero otros son más específicos de la actividad acuícola y estarían relacionados con algunas de las particularidades tanto biológicas como tecnológicas antes mencionadas.

Tal vez el reto fundamental en el campo de la alimentación de organismos acuáticos se centra en la etapa de engorde de peces y crustáceos y está relacionado con el uso cada vez más extendido de sistemas basados en el uso de piensos compuestos (en la actualidad, en torno al 40 % de la acuicultura depende del empleo de estos) y en la composición de los mismos. Esta dependencia llega al 100 % en la producción de salmones o al 83 % en la de langostinos, pero es solo del 38 % en carpas aunque, dada la enorme producción de estas últimas, su consumo total resulta muy elevado (Gráfico 1). A su vez, la producción de esos piensos se basa en el empleo de harinas y aceites de pescado que se obtienen no solo de descartes o subproductos de procesado, sino a partir de pesquerías específicas de especies pelágicas como la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) o el capelín (*Mallotus villosus*). La cantidad de peces procedentes de capturas que se utiliza anualmente para producir estos ingredientes se ha incrementado desde los 3 a los 28 millones de toneladas en los últimos 50 años. El rendimiento máximo posible de estas capturas para producir harina se estima que es de unas 45 millones de toneladas/año, un límite que al ritmo actual se alcanzará para 2040. De hecho, la acuicultura emplea en la actualidad el 68 % de la harina y el 88 % del aceite de pescado y la producción de salmones, truchas y langostinos, que representan menos del 10 % de la producción acuícola mundial, utiliza un 26 % de dichas harinas de pescado. En conjunto, se precisan de 20 a 25 millones de toneladas de harina de pescado para producir 30 millones de toneladas de peces y crustáceos (Tacon *et al.* 2006). La eficiencia en el uso de harinas fabricadas a partir de peces pelágicos se evalúa mediante el índice FIFO (*Fish In/Fish Out*; kg de peces usados como alimento/kg de peces producidos). La acuicultura en su conjunto presenta un índice FIFO de 0,52, es decir, que por cada tonelada de peces usados para harina, la acuicultura produce 1,92 toneladas (Jackson, 2009), aunque dentro de estos valores hay importantes variaciones entre el elevado índice FIFO del salmón (1,68) y los de otras especies en las que se emplea menos harina de pescado.

Desde hace bastantes años se han evaluado alternativas que han permitido una reducción paulatina del empleo de la harina y aceite de pescado que ha sido sustituida en buena parte en los piensos de engorde por productos de origen vegetal. No obstante, el uso de las harinas vegetales hace a la acuicultura tan dependiente de la agricultura como lo es la producción animal terrestre, y dado que se convierte en un nuevo sector que demanda proteínas de soja y cereales, incrementa su vulnerabilidad frente a la disponibilidad de tierras de cultivo y agua para irrigación o los problemas logísticos de aprovisionamiento. Numerosos expertos señalan que el reto al que se enfrenta la acuicultura, especialmente la de peces marinos, es el de cerrar el ciclo productivo, es decir, reorientarse hacia el empleo mayoritario de recursos obtenidos en el propio

medio acuático, de manera que consiga hacerse independiente del uso de productos agrícolas. La producción primaria requerida para conseguir una unidad de alimento de la pesca o la maricultura de carnívoros es de 34 o entre 2,5 y 5 veces mayor que la que se precisa para obtener una unidad de alimento en tierra. En el primer caso, y considerando una eficiencia de transformación de entre el 15 y el 35 %, cada unidad de alimento producido precisa de entre 3 y 7 veces más producción primaria de la que precisaría para alcanzar el mismo rendimiento en un escalón más bajo. Teniendo esto en cuenta, resulta fundamental plantear la posibilidad de plantear otras opciones como fuente de alimento, tales como los cultivos de algas o de grandes especies de zooplancton, entre las que cabría señalar crustáceos como el *Calanus finmarchicus* de los mares del Norte y el Antártico o el krill (*Euphausia superba*) en los mares del Sur (Olsen et al, 2008). Esta reorientación por si sola no resolvería un problema básico y es que para incrementar la productividad en acuicultura sería necesario desplazar el nivel trófico que en la actualidad ocupan buena parte de las especies cultivadas, desde el escalón de los carnívoros al de los herbívoros u omnívoros, grupo en el que abundan especies de rápido crecimiento y más fáciles de alimentar como las carpas, tilapias o mújoles.

Gráfico 1. Consumo de piensos compuestos en acuicultura por categorías de organismos.
En porcentaje



Fuente: modificado de Tacon y Nates (2007).

Otra línea de desarrollo fundamental pasa por optimizar el suministro de alimento en primeras edades mediante una reducción progresiva de la dependencia respecto a los cultivos auxiliares y la formulación de alimentos artificiales para la cría larvaria. En este ámbito se están realizando importantes avances que, a partir de la industria

farmacéutica, incorporan tecnologías de preparación de partículas de composición compleja y de muy pequeño tamaño, requeridas para incorporar todos los nutrientes necesarios de una forma atractiva, estable y nutricionalmente eficiente, pero estos avances todavía no están suficientemente desarrollados a escala industrial.

Por otra parte, aunque se han producido enormes avances en la consecución de una base animal adecuada para las producciones acuáticas, existen aún problemas importantes en cuanto a la heterogeneidad de las poblaciones, la dependencia respecto a los stocks salvajes para abastecimiento de reproductores o la todavía escasa selección centrada en aspectos que faciliten el manejo en condiciones de piscifactoría (p. e. resistencia al *stress*), pese a que se están dando pasos muy importantes en este sentido.

Tal y como ocurre con la ganadería terrestre, la progresiva intensificación de la producción acuícola también es susceptible de generar impactos en el entorno. Ejemplos notables son las granjas camaroneras ubicadas en distintos países de Centroamérica en las que las grandes superficies necesarias para el cultivo son conseguidas a costa de la destrucción de los manglares y la viabilidad del cultivo se mantiene mediante el empleo de grandes cantidades de quimioterapéuticos. También las instalaciones de jaulas flotantes son ocasionalmente responsables de generar impactos en sus inmediaciones por los residuos de heces o alimento no consumido. Se estima que en el Mediterráneo las instalaciones de jaulas representan un 7 % y un 10 % de las descargas totales de N y P respectivamente (Pitta *et al.*, 1999). Además, las instalaciones de engorde en mar abierto constituyen un riesgo potencial de afectar a las comunidades biológicas de su entorno debido a los escapes de ejemplares, que no son escasos; en las granjas noruegas de salmón se han notificado escapes que representan el 0,35 % de la producción (790.000 peces/año)

En contraste con la agricultura o la producción animal terrestre, que se llevan a cabo en terrenos privados, la producción marina generalmente depende del uso de espacio público en las costas, lo que determina una fuerte competencia con otros usos como el ocio y las infraestructuras. Aunque una alternativa ha sido desplazar las instalaciones mar adentro u *off-shore* (Marra, 2005), esto conlleva la necesidad de importantes desarrollos tecnológicos y grandes inversiones y aún es preciso desarrollar un marco legal adecuado para amparar el uso compartido y adecuado de los océanos. Las limitaciones en el caso de la acuicultura continental son mucho mayores, ya que a pesar de su creciente intensificación, la acuicultura de aguas dulces está sometida a una reducción de los espacios disponibles, especialmente notable en las zonas tropicales y subtropicales a causa de la expansión de las poblaciones humanas en tales zonas que conlleva elevada competencia por el uso directo de territorio y agua. Por otra parte,

mientras que en la acuicultura marina la cantidad de agua utilizada no es un factor limitante, el consumo de la misma necesario para producir especies continentales se convierte en algo fundamental. Se manejan cifras muy variables, que dependen del grado de intensificación del sistema y de la especie producida, oscilando desde los 45 m³/toneladas cuando la producción se hace en estanques hasta los 5 m³/toneladas en el caso de la tilapia (Rothbard y Peretz, 2002). En este sentido cabe destacar que existe un potencial muy interesante y aún por desarrollar de reducir el consumo de agua en los acuicultivos, incrementando los sistemas de producción en circuito cerrado o mejorando la productividad por m³ mediante el establecimiento de policultivos.

Un reto fundamental de la actividad acuícola es la obtención de productos de calidad contrastada y positivamente valorada por los consumidores. En este sentido, hay aspectos negativos que aún es preciso corregir si se quiere alcanzar una plena aceptación de los consumidores. La acumulación de contaminantes orgánicos persistentes y metales pesados en las harinas y aceites de pescado que se utilizan como ingredientes en los piensos, aunque no es mayor que la derivadas de consumir directamente especies de captura (Holmer *et al.* 2008), no ayuda a diferenciar el producto. Por otra parte, la utilización de ingredientes vegetales en los piensos de engorde requiere de una cuidadosa selección y pautas adecuadas de inclusión si se quiere mantener el perfil nutricional de la grasa, rica en ácidos grasos insaturados omega-3, que caracteriza a los alimentos de origen marino.

Por último, no hay que olvidar que la acuicultura es una actividad productiva particularmente vulnerable a los efectos del cambio climático. Diferentes estudios prospectivos establecen que tales efectos podrán ejercerse de modo directo o indirecto (Tabla 1). Entre los primeros cabe señalar la modificación de las líneas de costa como resultado de cambios en el nivel de los mares, que afectarán a los lugares de aprovisionamiento de larvas y reproductores de varias especies y a la disponibilidad de ubicaciones para las instalaciones de engorde. Igualmente, el incremento de la actividad ciclónica en las zonas tropicales y subtropicales se prevé que puede afectar de manera cada vez más severa a las instalaciones costeras ubicadas en tales áreas. Igualmente, las modificaciones en los patrones de precipitación y las sequías suponen una amenaza importante para el abastecimiento de los caudales necesarios para la acuicultura en aguas continentales. Entre los efectos indirectos cabe reseñar que el incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos como el Niño tendrá repercusiones muy importantes sobre los stocks de especies pelágicas que constituyen la base de las harinas y aceites de pescado.

Tabla 1. Potenciales impactos del cambio climático en la producción acuícola

Factores de cambio	Impacto en los sistemas de cultivo	Cambios operacionales
Cambios en la temperatura superficial del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento en los blooms de algas tóxicas. • Disminución O² disuelto. • Incremento enfermedades y parásitos. • Aumento periodos crecimiento. • Cambios en las localizaciones y rangos ambientales de las especies. • Disminución mortalidad invernal. • Mejoras en el crecimiento y conversión alimento. • Competencia y predación por especies exóticas o invasoras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en las infraestructuras y costes operacionales. • Aumento del <i>fouling</i> y enfermedades. • Ampliación del rango geográfico en distintas especies. • Cambios en los niveles de producción.
Cambios en otras variables oceanográficas	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en la disponibilidad de alimento para bivalvos. • Cambios en la abundancia de especies utilizadas como alimento o para harinas de pescado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de residuos bajo jaulas. • Incremento costes de operación.
Subida nivel del mar	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de áreas para acuicultura. • Pérdida de áreas refugio de alevines. • Aumento riesgo inundaciones. • Intrusión salina en aguas de pozos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Daños en infraestructuras. • Cambios en las zonas de acuicultura. • Incremento costes de seguros. • Disminución disponibilidad agua dulce.
Incremento tormentas	<ul style="list-style-type: none"> • Oleaje. • Cambios en la salinidad. • Inundaciones por precipitación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de <i>stocks</i>. • Daños en instalaciones. • Incremento costes de diseño instalaciones. • Incremento costes de seguros.
Sequía y <i>stress</i> hídrico	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la salinidad. • Reducción calidad de agua. • Aleatoriedad aportes hídricos. • Aumento patologías. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de <i>stocks</i>. • Daños en instalaciones. • Conflictos con otros usos del agua. • Disminución capacidad productiva. • Cambio en las especies cultivadas.

Fuente: modificado de Handisyde et al, 2006.

5. Las oportunidades de la producción acuícola

A pesar de todo lo expuesto anteriormente la producción de alimentos de origen acuático presenta una serie de oportunidades fundamentadas en sus aspectos distintivos, tanto desde el punto de vista biológico como nutricional y estratégico. Desde el punto de vista biológico resulta indudable que la acuicultura es un modo muy eficiente de producir proteína animal ya que los índices de eficiencia en distintos sistemas varían entre 2,5 a 4,5 kg de alimento seco/kg de masa comestible, comparados

con los 3,0 a 17,4 para los sistemas convencionales que emplean especies terrestres. Ninguna especie doméstica convencional transforma el alimento de modo tan eficiente como los peces, debido a que estos no utilizan apenas energía para mantener su temperatura corporal y tampoco consumen demasiada para su desplazamiento, ya que el medio acuático soporta buena parte de su peso. Esto determina además que los esqueletos de los peces sean comparativamente menos voluminosos y por tanto presenten una carcasa con una mayor proporción comestible (Tabla 2). La producción primaria requerida para conseguir una unidad de alimento de la pesca o la maricultura de carnívoros es de 34 o entre 2,5 y 5 veces mayor que la que se precisa para obtener una unidad de alimento en tierra. En el primer caso, y considerando una eficiencia de transformación de entre el 15 y el 35 %, cada unidad de alimento producido precisa de entre 3 y 7 veces más producción primaria de la que precisaría para alcanzar el mismo rendimiento en un escalón más bajo.

Tabla 2. Eficiencia comparada en la producción de proteína comestible en algunos sistemas acuáticos y terrestres

Especie	Indice de conversión alimenticia (kg alimento seco/kg ganancia peso fresco +/- DS)	Porción comestible (%)	Eficiencia productiva (kg alimento seco/kg masa fresca comestible)
Tilapia	1,5 (0,2)	60	2,5
Pez gato	1,5 (0,2)	60	2,5
Langostino (marino)	1,5 (0,5)	56	2,7
Langostino (agua dulce)	2,0 (0,2)	45	4,4
Leche	3,0 (0,1)	100	3,0
Huevos	2,8 (0,2)	90	3,1
Pollo	2,5 (0,2)	59	3,1
Cerdo	2,5 (0,5)	45	5,6
Vacuno	5,9 (0,5)	49	10,2

Fuente: Modificado de Costa-Pierce (2002)

La acuicultura se ha transformado en poco tiempo en una de las formas más extendidas para conseguir proteína de calidad y en esto radica una de sus mayores oportunidades; en la reorientación hacia sistemas productivos que se asemejen a los desarrollados con éxito con especies terrestres. Como se indicaba anteriormente, si se continúa alimentando a especies carnívoras con peces pelágicos la situación sería insostenible en un plazo relativamente corto. Pero también es cierto que en la actualidad aproximadamente el 50 % de la producción acuícola mundial es inde-

pendiente de las harinas y aceites de pescado, ya que se realiza transformando los nutrientes contenidos en harinas y subproductos vegetales y la tendencia a reducir el contenido de harina de pescado en los piensos crece sin parar. Por otra parte, la acuicultura ofrece amplias posibilidades para producir otros tipos de alimento, tales como macroalgas, las cuales pueden ser utilizadas como alimento directo por los humanos o emplearse como sustento de especies acuáticas herbívoras, los cuales son además las de crecimiento más rápido. Un enfoque adicional con un amplio potencial sería el desarrollo de cultivos integrados multitróficos, los cuales mejoran el rendimiento global y reducen el impacto ambiental. De hecho, se ha demostrado que el rendimiento de la producción de bivalvos y macroalgas se puede incrementar en un 15 y 50 % respectivamente si se cultivan cerca de granjas de peces (Neori *et al.*, 2004, Zhou *et al.* 2006). La combinación de estos elementos, reducción de nivel trófico, uso de alimentos alternativos como zooplancton y macroalgas y acuicultura integrada, podrían multiplicar por ocho los rendimientos actuales de la acuicultura.

Desde el punto de vista nutricional, y teniendo en cuenta que los peces utilizan los lípidos con mayor eficiencia que los animales terrestres los carbohidratos y, en consecuencia, presentan el mayor contenido en proteína y lípidos musculares de todos los animales que se usan como alimento (Smil, 2002), la acuicultura resulta una actividad fundamental en el suministro no solo de proteína en cantidad y calidad, sino también de otros nutrientes esenciales como los ácidos grasos insaturados. Estos puntos adquieren cada vez más importancia tanto en sociedades en rápido crecimiento, que demandan grandes cantidades de alimentos y con mayor valor nutritivo, como en las de los países desarrollados, preocupadas por la calidad de los alimentos que consumen y por paliar los efectos negativos del consumo indiscriminado y abusivo de grasas saturadas y proteínas obtenidas a partir de rumiantes.

No hay que olvidar por otra parte, que la acuicultura como actividad económica posee un potencial muy elevado y se puede convertir, y de hecho lo ha conseguido en muchos casos, en una alternativa de transformación de una actividad pesquera de escaso rendimiento y cada vez más costosa económica y ambientalmente. Los productos de la acuicultura pueden ofrecer a los consumidores valores añadidos como son la proximidad a los mercados, el abastecimiento regular, y la calidad constante y controlada. En la actualidad, la UE compra tres veces más productos del mar de los que exporta, y además, no tiene garantía sanitaria ni higiénica alguna sobre el origen, ni el control del proceso productivo de una buena parte de esas importaciones. De ahí la necesidad, apoyada a todos los niveles (Comisión, Parlamento y CESE), de apoyar la producción animal acuática como un sector estratégico capaz de generar riqueza y empleo y de producir alimentos con garantías de sanidad, trazabilidad y calidad.

Referencias bibliográficas

- COLL, M.; LIBRALATO, S.; TUDELA, S.; PALOMERA, I. y PRANOVI, F. (2008): «Ecosystem overfishing in the ocean»; PLoS ONE 3: e3881. doi:10.1371/journal.pone.0003881.
- COSTA-PIERCE, B. A. (2002): «Ecology as the paradigm for the future of aquaculture»; en COSTA-PIERCE, B. A., ed.: *Ecological aquaculture: the evolution of the blue revolution*. Oxford, Blackwell Science; pp. 339-372.
- DELGADO, C. L.; WADA, N.; ROSEGRANT, M. W.; MEIJER, S. y AHMED, M. (2003): «Fish to 2020: Supply and Demand in Changing Markets»; *International Food Policy Research Institute, WorldFish Center* (28 October 2009); www.ifpri.org/sites/default/files/publications/oc44.pdf
- FAO (2010): *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma; FAO; p. 219.
- HANDISYDE, N. T.; ROSS, L. G.; BADJECK, M. C. y ALLISON, E. H. (2006): «The effects of climate change on world aquaculture: a global perspective»; *Final Technical Report, DFID Aquaculture and Fish Genetics Research Programme*. Stirling Institute of Aquaculture. Stirling, Reino Unido; p. 151.
- HOLMER, M.; BLACK, K.; DUARTE, C. M.; MARBA, N. y KARAKASIS, I. (2008): *Aquaculture in the Ecosystem*. Springer.
- JACKSON, A. (2009): «Fish in-!sh out (FIFO) ratios explained»; *Aquaculture Europe* 34(3); pp. 5-10
- MARRA, J. (2005): «When will we tame the oceans?»; *Nature* (436); pp. 175-176.
- MYERS, R. A. y WORM, B. (2003): «Rapid worldwide depletion of predatory fish communities»; *Nature* (423); pp. 280-283.
- NAYLOR, R. y BURKE, M. (2005): «Aquaculture and ocean resources: Raising tigers of the sea»; *Annual Review of Environment and Resources* (30); pp. 185-218.
- NEORI, A.; CHOPIN, T.; TROELL, M.; BUSCHMANN, A. H.; KRAEMER, G. P.; HALLING, C.; SHPIGEL, M. y YARISH, C. (2004): «Integrated aquaculture: Rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture»; *Aquaculture* (231); pp. 361-391.
- OLSEN, Y.; OTTERSTAD, O. y DUARTE, C. M. (2008): «Status and future perspectives of marine aquaculture»; en HOLMER, M.; BLACK, K.; DUARTE, C. M.; MARBA, N. y KARAKASIS, I., eds.: *Aquaculture in the Ecosystem*. Springer; pp. 293-319.

- PITTA, P.; KARAKASSIS, I.; TSAPAKIS, M. y ZIVANOVIC, S. (1999): «Natural vs. Mariculture induced variability in nutrients and plankton in the eastern Mediterranean»; *Hydrobiologia* (391); pp. 181-194.
- ROTHBARD, S. y PERETZ, Y. (2002): «Tilapia culture in Negev, the Israeli desert»; en GUERRERO, R. D. y GUERRERO-DEL CASTILLO, M. R., eds.: *Tilapia farming in the 21st century*. Los Banos, Philippines Fisheries Association; pp. 60-65.
- SMIL, V. (2002): «Nitrogen and food production: proteins for human diets»; *Ambio* (31); pp. 125-131.
- TACON, A. J. G.; HASAN, M. R. y SUBASINGHE, R. P. (2006): «Use of fishery resources as feed inputs for aquaculture development: trends and policy implications»; *FAO Fisheries Circular* (1018). Rome, FAO; p. 99.
- TACON, A. G. J. y METIAN, M. (2008): «Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects»; *Aquaculture* (285); pp. 146-158.
- TACON, A. G. J. y NATES, S. F. (2007): «Meeting the feed supply challenges»; en ARTHUR, R. y NIERENTZ, J., eds.: *Global Trade Conference on Aquaculture*. Qingdao, China, 29-31 May 2007. *FAO Fisheries Proceedings* (9). FAO, Rome; p. 271.
- VERDEGEM, M. C. J.; BOSMA, R. H. y VERRETH, J. A. V. (2006): «Reducing water for animal production through aquaculture»; *International Journal of Water Resources Development* (22); pp. 101-113.
- ZHOU, Y.; YANG, H. S.; HU, H. Y.; LIU, Y.; MAO, Y. Z.; ZHOU, H.; XU, X. L. y ZHANG F. S. (2006): «Bioremediation potential of the macroalga *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) integrated into fed fish culture in coastal waters of north China»; *Aquaculture* (252); pp. 264-276.