

Acuicultura Marina: Cría Larvaria de Peces

Francisco Amat

Resumen— *La acuicultura moderna tiene su origen en el ánimo de cumplir y controlar adecuadamente la progresiva demanda de recursos marinos para consumo humano. Esta demanda supera los niveles alcanzados por la pesca extractiva a escala mundial, que se ha estancado desde 1990, y podría declinar como consecuencia de la sobreexplotación de los caladeros. Sin embargo, al centrar el foco en el cultivo de especies carnívoras, con mayor valor comercial, y que exigen el desarrollo de métodos complejos para el cultivo de especies auxiliares (presas vivas) en la fase de larvicultura (alevinaje), y la dependencia de dietas formuladas (piensos) a partir de harinas y aceites de pescado en la fase final de engorde, la acuicultura moderna plantea serias cuestiones sobre su sostenibilidad.*

Palabras clave— Piscicultura, larvicultura, presas vivas, nutrición, sostenibilidad

I. INTERÉS DE LA ACUICULTURA

EN la actualidad nuestro planeta da cobijo a una población de unos 7.200 millones de habitantes. Las prospecciones de las Naciones Unidas hablan de un incremento progresivo de esta población, que puede llevarnos a alcanzar los 9.200 millones de habitantes a mediados de este siglo XXI, y a unos 11.000 millones a finales del mismo. Esta población exige unos recursos alimenticios que deben ser producidos en el propio planeta. Nada nos llega del exterior, salvo la energía radiante del sol, y el planeta, con toda seguridad, tendrá una capacidad limitada en cuanto a lo que puede dar de sí como fuente de alimento para esta humanidad en continuo incremento, especialmente si consideramos que las principales fuentes de recursos alimenticios en tierra proceden de la agricultura y la ganadería. Según la FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), los recursos que en la actualidad extraemos de los mares no aportan más del 2 % de los requerimientos de la humanidad (Duarte et al. 2009)

Esta población se distribuye en unos continentes e islas que ocupan el 29% de la superficie del planeta. El restante 71 % de la superficie está cubierto de agua. El agua planetaria está contenida en un 96,5 % en mares y océanos, agua salada, y el 3,5 % restante, en forma de agua dulce, se halla en tierra, en los acuíferos y en los polos y cimas de las montañas, en forma de hielo (69 %).

Las actividades desarrolladas en tierra para la producción y aprovisionamiento de recursos alimenticios, y la demanda propia y directa de la población, ponen en claro riesgo la disponibilidad de agua en todo el planeta, que está sufriendo un notable estrés hídrico en la actualidad, que se complicará progresivamente con el propio incremento de la población y el discutido, no por menos comprobado, cambio climático. Baste para ello exponer que la producción de carne exige un consumo de agua 10 veces mayor que la producción de grano por caloría obtenida.

La explotación de los recursos procedentes de la producción en tierra le lleva varios milenios de antigüedad en ventaja a la explotación de los mares. A pesar de ello, el desarrollo tecnológico ha facilitado esta explotación como actividad extractiva (pesca), hasta tal punto que se ha llegado a superar la capacidad de regeneración de los stocks de recursos marinos precisos para mantener unos niveles adecuados de extracción. La sobreexplotación ya ha producido un nivel de estancamiento desde 1990, con inicio de un continuo retroceso. El esfuerzo pesquero ya sobrepasa el nivel de

inversiones necesarias para llegar a criar en cautividad algunas especies acuáticas, marinas y de agua dulce, siguiendo esquemas propios de la ganadería en tierra firme: es el desarrollo de la acuicultura.

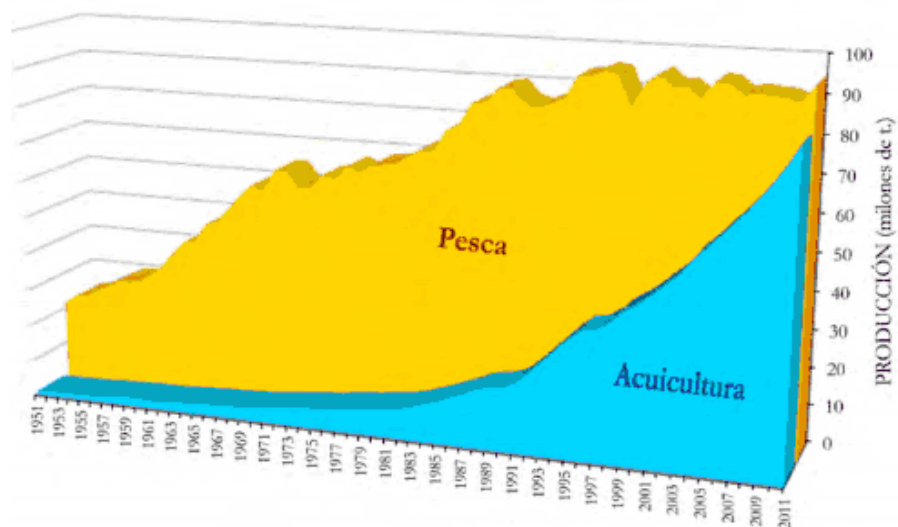


Fig. 1 Evolución de la producción acuática (acuicultura y pesca) mundial en el periodo 1951-2011 (FAO)

La acuicultura ha experimentado un notable crecimiento desde el principio de la década de 1950 del siglo pasado hasta la actualidad. En este siglo XXI las cifras testimonian este éxito y el estancamiento de la producción pesquera a nivel mundial, cifrada en unos 93 millones de toneladas en 2006, frente a los 67 millones de toneladas procedentes de la acuicultura. Esta progresión ha llevado en 2011 a una caída de la producción pesquera hasta los 90 millones de toneladas frente a 80 millones producidas por la acuicultura (APROMAR, 2014)- (Fig. 1).

La acuicultura también tiene su historia. Es una actividad muy antigua en aguas dulces. Se cultivaban carpas en China hace ya 2000 años, y tilapias en Egipto hace más de 1000 años. Se conoce un primer manual de elaboración china, conocido como el manual de Fan Laui para la cría de la carpa, escrito en el año 475 antes de nuestra era. Griegos y romanos engordaban peces y moluscos en lagunas y esteros (Milne 1972). A partir de la Edad Media la piscicultura de especies de agua dulce se practicaba en monasterios y abadías, con lo que los monjes proporcionaban pescado fresco a los fieles, especialmente en cuaresma para cumplir con el precepto pascual. Así había surgido, por ejemplo, la actividad desarrollada en el Monasterio de Piedra (Zaragoza), actividad que, tras la desamortización de Mendizábal (1835), pasó a manos privadas, llevándose a cabo los primeros ensayos de piscifactoría industrial en 1866-67 (Jiménez Sánchez 1997).

No cabe duda de que el desarrollo de la acuicultura moderna ha alcanzado un éxito indiscutible, pero sus planteamientos "filantrópicos" son claramente discutibles. A pesar de que la acuicultura ha conseguido mejorar o aumentar la disponibilidad de algunas especies de crustáceos, peces y moluscos en el mercado, a unos niveles relativamente económicos, su desarrollo actual se enfrenta a algunos problemas que ponen en duda su cumplimiento del elemental concepto de sostenibilidad. Casi desde un principio la acuicultura moderna se centró en el cultivo de especies de alto valor en el mercado. Tal es el caso del éxito inicial del cultivo de langostinos en Japón, en la década de 1930, cuya tecnología se aplicó con posterioridad muy satisfactoriamente en occidente: Europa y América. Más tarde se desarrolló el cultivo de especies de peces: dorada, lubina, rodaballo, etc., y en la actualidad se hacen notables esfuerzos por lograr el cultivo de un molusco de gran aceptación en el mercado internacional, el pulpo. Todas estas especies de alto valor comercial comparten una importante característica biológica, son especies carnívoras, se hallan en un nivel elevado en la cadena trófica natural (Fig. 2). Es decir, se alimentan o son predatoras de otras especies que se

hallan en niveles inferiores de la cadena trófica, ya sean peces, crustáceos o moluscos que, a su vez, se alimentan de zooplancton y fitoplancton, con lo que la complejidad de la cadena trófica aumenta y su rendimiento (entropía) disminuye.

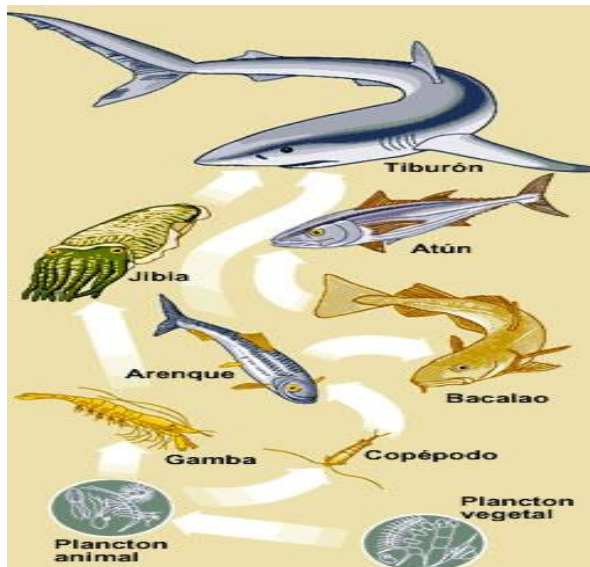


Fig. 2 Cadena trófica marina, en la que cada eslabón se alimenta del inferior, y sirve de alimento al superior, en sentido ascendente

II. LARVICULTURA Y NECESIDAD DE LAS PRESAS VIVAS

El ciclo de producción masiva de las especies marinas parte de la disponibilidad abundante de sus larvas, que proceden de huevos fecundados y fértiles obtenidos de ejemplares adultos reproductivos. En un principio estas larvas se capturaron en el medio natural, pero la esquilmación del medio aconsejó el desarrollo de métodos de obtención a partir de reproductores convenientemente manejados, una vez adaptados a la vida en cautividad. El logro en la obtención de ejemplares adultos maduros y fértiles en laboratorio y en plantas de cultivo, su fecundación, producción de huevos, su eclosión y obtención de larvas de alta viabilidad han sido motivo de importantísimas líneas de investigación, sin las cuales el estado actual sería imposible. Obtenidos los huevos fertilizados (Fig. 3), tras su incubación en condiciones adecuadas se eclosionan las larvas, que se alimentan del vitelo del huevo (Fig. 4) hasta que desarrollan completamente la boca y los ojos (Fig. 5). Una vez alcanzada esta fase, con el vitelo totalmente agotado, centran su actividad en buscar alimento vivo disponible en el medio, alimento que, en la naturaleza, procederá de especies del fito- y del zooplancton.



Fig. 3 Huevos de pez fertilizados, con inicio del desarrollo embrionario (1 mm diámetro)



Fig. 4. Larva de pez recién nacida (3 mm de talla), cuyo crecimiento depende de las reservas nutritivas presentes en el vitelo del huevo

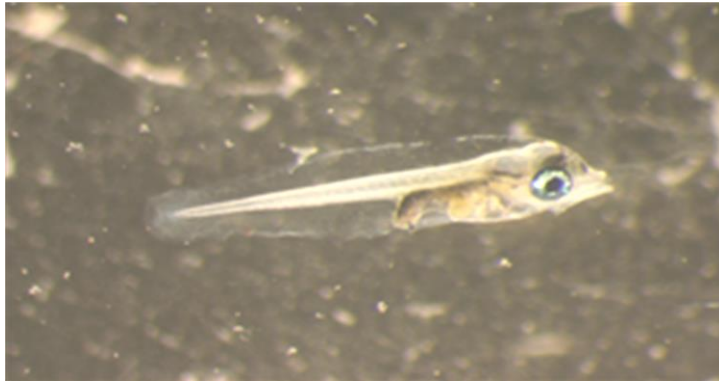


Fig. 5 Larva de dorada de 5 días de edad (talla 3-4 mm)

En el medio marino estas larvas dispondrán de una gran diversidad de alimento, en el fito- y en el zooplancton, los dos eslabones más importantes de la cadena trófica. Ellas mismas forman parte de estos pequeños organismos que sirven de alimento a otras especies. Esta diversidad es imposible de obtener en los medios de cultivo artificial. A pesar de ello, los estudios científicos y zootécnicos han desarrollado cadenas tróficas alternativas (Fig. 6), formadas por organismos vivos, con los que se logró simular y simplificar adecuadamente la diversa y compleja cadena trófica natural.

III. CADENA TRÓFICA

A. El rotífero *Brachionus plicatilis*

Durante la investigación dirigida al desarrollo de esta cadena trófica simplificada se estudió la biología y cultivo de una multitud de organismos del zooplancton marino (rotíferos, copépodos, cladóceros, larvas de moluscos y equinodermos, etc.) (Gross 1937, Kinne 1977) pero en ningún caso se obtuvieron resultados fiables sobre su viabilidad y producción masiva en condiciones de cultivo en el laboratorio. Solo el rotífero *Brachionus plicatilis*, uno de los metazoos acuáticos de menor tamaño conocido, fácil de cultivar masivamente en aguas marinas y mixohalinas, dio buenos resultados en los cultivos iniciales de *Pagrus major* (pargo) (Okamoto 1969) y de la seriola en Japón en la década de 1970 (Hirayama et al. 1972), y de la anchoeta californiana (*Engraulis mordax*) en Estados Unidos (Theilacker y McMaster 1971). A partir de entonces se generalizó su uso en todos los proyectos de larvicultura de especies marinas.

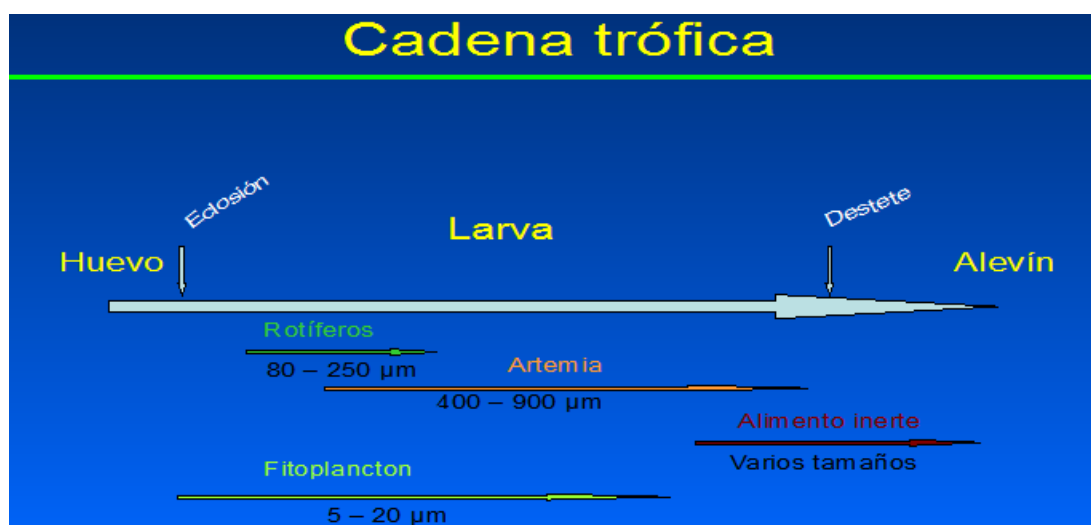


Fig. 6 Cadena trófica habitualmente utilizada en la alimentación de larvas de especies marinas (Tomada de J.Carlos Navarro. Master de Acuicultura. IATS.CSIC)

Los rotíferos son animales metazoos pseudocelomados acuáticos, los de menor tamaño conocido, que alcanzan tallas comprendidas entre 0,05 y 0,5 mm (50 a 500 micras) (Fig. 7). Se hallan en aguas dulces, mixohalinas y marinas. A la mayoría les caracteriza un tipo de reproducción cíclica, con una fase partenogenética dominante, con presencia exclusiva de hembras amícticas, que se reproducen sin ser fecundadas por machos, alternada con una fase sexual, muy corta, con presencia de machos y hembras que, al ser fecundadas, producen huevos con un cigoto o embrión que permanece en estado de vida suspendida, huevos de resistencia que no eclosionarán hasta haber sufrido un período de desecación y latencia, dando lugar de nuevo a poblaciones formadas exclusivamente por hembras partenogenéticas. Estas hembras partenogenéticas, mantenidas en condiciones idóneas de salinidad, temperatura y disponibilidad de alimento, desarrollan una fecundidad extraordinaria, produciendo poblaciones de gran densidad, que pueden duplicarse cada 24 horas. Esta fase del ciclo reproductivo es la que interesa en el desarrollo de cultivos masivos, permitiendo obtener poblaciones de gran densidad, sobrepasando los 400 – 500 individuos / ml (Amat 1975; SanFeliu et al. 1976)



Fig. 7 Hembra del rotífero *Brachionus plicatilis* (200 - 250 micras de talla) habitualmente cultivada masivamente en acuicultura marina

Los rotíferos se alimentan filtrando las partículas nutritivas que hay en el medio. Se cultivan masivamente en grandes tanques, a los que se añaden diversas especies de microalgas del fitoplancton, también cultivadas masivamente en agua de mar, como alimento. Es frecuente suplementar las microalgas con suspensión concentrada de levadura de pan (*Saccharomyces cerevisiae*) que, a pesar de ser menos nutritiva, está disponible en abundancia, se puede adquirir en el mercado, almacenar y utilizar a voluntad sin someterse a la complejidad que exigen los cultivos masivos de microalgas.

Una vez las larvas de peces han consumido las reservas nutritivas del huevo (vitelo), han desarrollado los ojos y abierto la boca, se dedican a buscar su alimento en el medio en que han nacido, alimento que serán otros organismos, presas vivas de adecuado tamaño para ser vistas por la larva y engullidas según su tamaño de boca. Estas primeras presas vivas son los rotíferos añadidos a los tanques de cría de las larvas, en cantidad y densidad adecuadas durante los primeros días de cultivo. Los ejemplares de *B.plicatilis* recién nacidos tienen una talla comprendida entre 80 y 100 micras, y las hembras adultas pueden alcanzar entre 250 y 300 micras de tamaño máximo. En este rango las larvas de peces hallan una amplia diversidad de tallas de presas vivas acorde al desarrollo y amplitud de su abertura de boca. Sin embargo, conforme la larva crece, debe ir capturando una cantidad progresivamente mayor de rotíferos para satisfacer sus necesidades nutricionales, ello implica un esfuerzo cada vez mayor, que redundará en su crecimiento. Es el momento de proporcionarles otra presa viva de mayor tamaño, igualmente atractiva para las larvas, fácil de obtener en grandes cantidades, y de adecuado manejo para evitar complejidades que impliquen mayores problemas y costos en el desarrollo del cultivo larvario.

B. El crustáceo *Artemia*

El problema planteado sobre la necesidad de una presa viva de mayor tamaño se solventó con la incorporación del uso masivo de larvas nauplio del crustáceo *Artemia* como segundo eslabón de la cadena trófica formada por organismos zooplanctónicos.

Artemia es un género de crustáceos branquiópodos anostráceos de distribución cosmopolita. Está formado por siete especies de reproducción bisexual, repartidas por los medios hipersalinos de diversos continentes, y un amplio grupo de estirpes partenogenéticas. Todas sus formas se caracterizan por vivir exclusivamente en aguas muy saladas, en lagos y lagunas, costeros o continentales, y en salinas explotadas por el hombre para la obtención de sal. Esta característica procede de una evolución y adaptación a vivir en un medio tan agresivo, en el que apenas tiene predadores, salvo algunos peces y aves.

Los individuos adultos de *Artemia* pueden alcanzar una talla máxima de hasta 2 cm, variando según especies, bisexuales o partenogenéticas, y que en su medio natural depende de la salinidad, dado que las salinidades elevadas disminuyen su crecimiento. Presentan machos y hembras en las especies bisexuales (Fig. 8), y casi exclusivamente hembras (amícticas) en las estirpes partenogenéticas. Sin embargo, lo que mejor les caracteriza es su ciclo biológico y reproductivo.

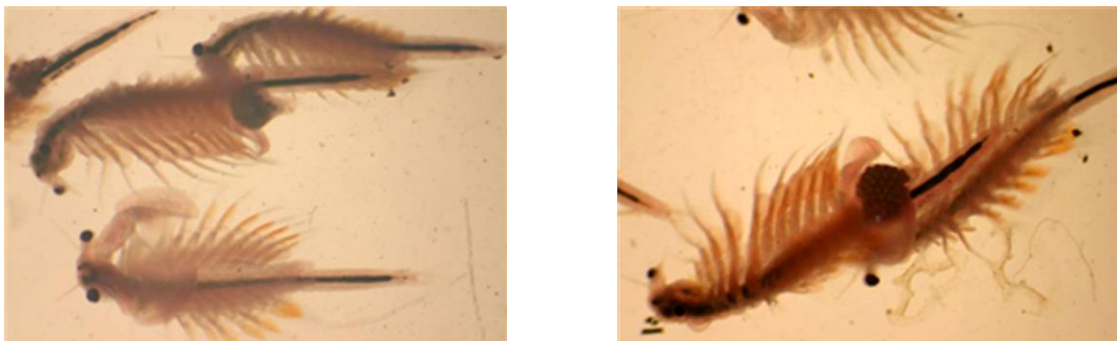


Fig. 8 Machos y parejas de adultos de la especie *Artemia franciscana* (12 a 14 mm de talla)

Todas las formas de *Artemia*, ya sean bisexuales o partenogenéticas, combinan dos tipos de producción de descendencia, ovovivíparo y ovíparo, normalmente excluyentes. Cuando el medio en que habitan es totalmente favorable para el desarrollo de una población abundante, en términos de salinidad, temperatura, concentración de oxígeno, abundancia de alimento, etc., las hembras desarrollan un tipo de reproducción ovovivíparo. Una vez fecundadas por el macho, si son bisexuales, o tras segmentación de los óvulos sin fecundar, si son partenogenéticas, las hembras permiten el desarrollo embrionario de estos huevos en el interior del ovisaco (en la Fig. 8, saco ovífero que presenta la hembra en mitad de su anatomía). Estos embriones se convertirán a los pocos días en nauplios (Fig. 9), primera fase larvaria del crustáceo, que serán expulsados vivos al medio exterior por la boca del ovisaco de la hembra.



Fig. 9 Larvas nauplio de *Artemia* recién eclosionados (talla 200 – 300 micras)

Este mecanismo se repite tantas veces como es posible, con una frecuencia entre cinco a nueve días según especies, y mientras permanezcan las condiciones favorables del medio. Este nauplio de *Artemia*, de un tamaño comprendido entre 400 y 900 micras, de color anaranjado, móvil, sin apenas respuesta de huida, es una presa viva idónea para ser empleada como segundo eslabón trófico en la nutrición larvaria de las especies marinas sujeto de cultivo. Sin embargo, no es el proceso ovovivíparo el que nos interesa, sino el ovíparo. Cuando las condiciones del medio se hacen desfavorables, amenazando la persistencia de la población (salinidad y temperatura elevadas, falta de oxígeno, disminución drástica del alimento, entre otras), el desarrollo de los embriones en el ovisaco de la hembra se detiene. Los embriones adoptan un estado de vida suspendida o latente, son recubiertos de una membrana externa muy resistente a los factores ambientales adversos, y son emitidos al medio como quistes o huevos de duración. Tras la deshidratación sufrida al ser expulsados por la hembra a un ambiente hipersalino, y superada la fase de latencia, pueden volver a hidratarse en un medio favorable, reemprender el desarrollo embrionario detenido, y nacer de la eclosión del quiste como nauplio en este nuevo medio.



Fig. 10 Acumulación de quistes de *Artemia* en las orillas de la laguna de La Mata (Torrevieja, Alicante)



Fig. 11 Detalle de una de estas bandas de acumulación



Fig. 12 Aspecto habitual de los quistes de *Artemia* una vez procesados, deshidratados y dispuestos para su uso en acuicultura

Este quiste, una vez deshidratado y convenientemente procesado, puede permanecer en estado de vida latente durante mucho tiempo, años o siglos, pero en cuanto se rehidraten en agua de mar, nos darán los nauplios que precisamos para usarlos como alimento vivo en larvicultura. Estos quistes (Fig. 10-Fig. 12), flotantes en las salmueras, se cosechan en la superficie o en las orillas de lagos y lagunas hipersalinos, y en salinas. Su tamaño es diminuto, unas 200 a 300 micras. Suelen contabilizarse entre 200 mil y 300 mil por gramo una vez deshidratados. Se procesan, se deshidratan, se envasan y se comercializan, formando en la actualidad uno de los materiales más indispensables en la obtención de grandes cantidades de larvas, postlarvas y alevines, de peces y crustáceos marinos, que son la base de los proyectos de cría de especies marinas.

Una vez en el laboratorio, o en la planta de cría larvaria y alevinaje, estos quistes se rehidratan en agua de mar (Fig. 13-Fig. 15) y, en menos de 24 horas han eclosionado produciendo miles o millones de nauplios que se introducirán en los tanques de cultivo larvario (Amat 1985a, b).



Fig. 13 Dispositivo donde se lleva a cabo la eclosión controlada de quistes de *Artemia* en el laboratorio

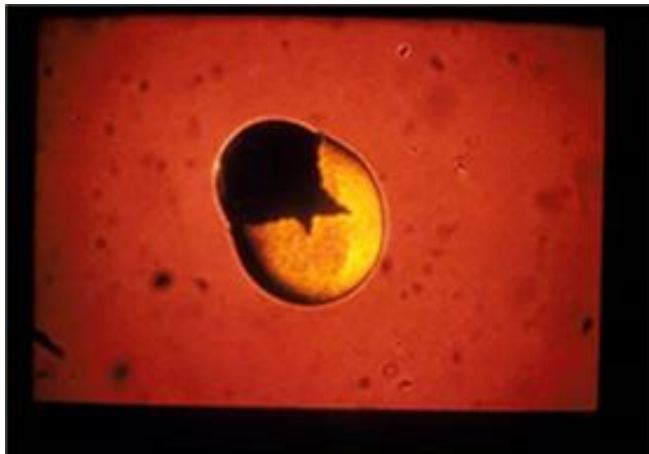


Fig. 14 Prenauplio tras romper la cáscara del quistes (corion) al eclosionar



Fig. 15 Nauplio eclosionando del quiste, aun envuelto en su membrana embrionaria, y nauplio de origen ovíparo, recién eclosionado

En los tanques de cultivo larvario los rotíferos serán progresivamente sustituidos por los nauplios de *Artemia*. Este será el alimento esencial de las larvas hasta que hayan crecido lo suficiente para el inicio de su alimentación con piensos compuestos de tamaño adecuado a su capacidad de captura y deglución, tras un proceso de adaptación progresiva al nuevo y definitivo alimento, que les permitirá llegar a alevines, base del desarrollo de la industria de engorde en plantas de piscicultura marina. En la actualidad se comercializan unas 2000 toneladas de quistes de *Artemia* para atender la demanda de la acuicultura marina a nivel mundial. En su mayoría proceden del Gran Lago Salado de Utah (USA), aunque también se comercializan por parte de China, Argentina, alguna exrepública soviética, países del Sureste asiático. Su precio supera los 100 dólares/Kg, dependiendo del origen, especie, calidad de eclosión, valor nutritivo, etc.

No todo son ventajas en el empleo de estas presas vivas en la adecuada alimentación de larvas de especie marinas, sin embargo, los inconvenientes surgidos a lo largo de las últimas décadas de desarrollo de la acuicultura marina, se han resuelto satisfactoriamente tras los preceptivos logros en investigación científica.

Como se ha dicho, los nauplios de *Artemia* se obtienen masivamente de la eclosión de los quistes cosechados en la naturaleza. Aunque se puede inducir la reproducción por oviparismo (producción de quistes) en el laboratorio, es una práctica impensable en la naturaleza. Los quistes de *Artemia* se producen masivamente en la naturaleza bajo la única y exclusiva inducción de factores medioambientales en los grandes ecosistemas hipersalinos en los que se cosechan, factores que son incontrolables por el hombre. Su producción y disponibilidad responden a las de un recurso natural, dependiendo de la influencia de los factores climáticos sobre las grandes poblaciones de *Artemia* que se desarrollan en estos medios en los períodos favorables del año.

El único control que se puede llevar a cabo en estos ecosistemas para asegurarse una adecuada producción de quistes se basa en un equilibrado régimen de extracción del recurso, evitando la sobreexplotación que llevaría a su agotamiento a corto y medio plazo. Un ejemplo es la legislación establecida por la División de Vida Silvestre del Gobierno del Estado de Utah (USA), que controla a lo largo del año las condiciones ecológicas del Gran Lago Salado, origen de la mayor parte de los stocks de quistes de *Artemia* disponibles en la actualidad. Una hipotética caída de producción del recurso en dicho lago significaría un desastre para la acuicultura a escala mundial.

Los nauplios de *Artemia* se obtienen a partir de la eclosión masiva de sus quistes. Como ya se ha expuesto, estos quistes están formados por un embrión en vida latente encerrado en una "cáscara" externa (corion), que deberá ser eliminada tras la eclosión, pues es totalmente indigerible, por composición y por tamaño, por las larvas a alimentar. Los nauplios introducidos en los tanques de cultivo larvario deben estar completamente libres de quistes no eclosionados y de "cáscaras". Durante el desarrollo de la larvicultura se han ingeniado diversos métodos para eliminar las cáscaras de los quistes tras la eclosión de sus nauplios, pero el mejor y definitivamente aceptado es la "descapsulación". Este método aprovecha la capacidad del hipoclorito (OCl^-) de disolver esta membrana o corion (Bruggeman et al., 1980; Amat 1985 b).



Fig. 16 Quistes de *Artemia* originales, y su aspecto tras la descapsulación mediante hipoclorito. El color amarillo anaranjado se debe a los pigmentos carotenoides y lípidos que contienen los embriones y prenauplios

Previamente a la eclosión de los quistes, tras su hidratación en agua dulce o marina, los quistes se tratan con una solución de hipoclorito sódico (lejía) que elimina totalmente la cáscara. Finalizada la reacción se lavan los quistes en agua abundante y se neutralizan los restos de hipoclorito con sustancias químicas adecuadas (tiosulfato). Los quistes libres del corion (Fig. 16), sencillamente envueltos en la finísima membrana embrionaria, se disponen para su eclosión en agua de mar como antes se expuso, con lo que se mejora la eclosión (número de nauplios obtenidos por gramo de quistes) al requerir menos energía del prenauplio para romper el corion original, y aquellos quistes que no lleguen a eclosionar, manteniendo en su interior el embrión original, se convierten en una partícula nutritiva más, que las larvas pueden engullir y digerir sin problemas.

IV. NUTRICIÓN LARVARIA. ENRIQUECIMIENTO DE LAS PRESAS VIVAS

Otro gran problema en el uso de las presas vivas citadas, de aplicación general en toda la acuicultura marina actual, procede de su deficiente composición química en principios nutritivos esenciales para el desarrollo y viabilidad de las larvas de especies marinas. Las especies marinas, especialmente los peces, presentan importantes niveles de lípidos en su composición química. Estos niveles varían entre un máximo de 8 - 10 % en el pescado azul y 2 %, o menos, en el pescado blanco. Los constituyentes más importantes de estos lípidos, especialmente de los fosfolípidos, son los ácidos grasos poliinsaturados, importantísimos en el desarrollo y crecimiento en el mundo animal (Fig. 17).

Se les denomina esenciales porque no se pueden biosintetizar en el propio organismo, por ello deben ser adquiridos con la alimentación. Son los conocidos $\omega 3$ (omega 3) y $\omega 6$ (omega 6). Los ácidos grasos esenciales para los peces de agua dulce son el ácido linoléico (LNA 18:3 $\omega 3$) y el ácido linoleico (LA 18:2 $\omega 6$). Los peces de agua dulce pueden biosintetizar otros ácidos grasos de mayor insaturación a partir del LNA. Los ácidos grasos esenciales para los peces marinos son el ácido eicosapentaenoico (EPA 20:5 $\omega 3$), el ácido docosahexaenoico (DHA 22:6 $\omega 3$) y el ácido araquidónico (ARA 20:4 $\omega 6$), pero son incapaces de sintetizarlos a partir de precursores (LNA, LA) como hacen los peces de agua dulce. Deben adquirirlos a través de su dieta o alimentación. Son altamente esenciales para ellos (Sargent et al., 1997), como consecuencia de una adaptación evolutiva, por el hecho de que todo el alimento disponible en la cadena trófica en el medio marino (fitoplancton y zooplancton) presenta altos contenidos en estos ácidos grasos esenciales ($\omega 3$ y $\omega 6$).

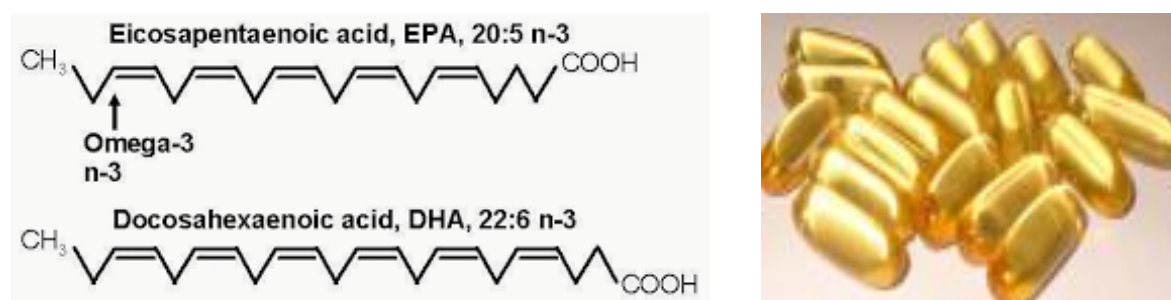


Fig. 17 Fórmula química de los dos ácidos grasos poliinsaturados esenciales EPA y DHA, y aspecto de las cápsulas empleadas en nutrición humana para compensar malos hábitos alimenticios con carencias en ácidos grasos $\omega 3$

Las presas vivas antes citadas y de uso generalizado en la alimentación larvaria de peces marinos, el rotífero *B. plicatilis* y el crustáceo *Artemia*, son evolutivamente originales de aguas dulces. No son marinos, por lo que en su composición carecen de aquellos ácidos grasos esenciales o poliinsaturados (EPA, DHA), precisos para el adecuado crecimiento y viabilidad de las larvas de peces marinos.

A su facilidad de obtención en cultivo (rotíferos) o de adquisición en el mercado (quistes de *Artemia*) oponen el limitado valor nutritivo. Los primeros intentos de cultivar larvas de especies

marinas durante las décadas de 1970 y 1980 dieron resultados muy poco satisfactorios (deformaciones y altas mortalidades), hasta que se asociaron estos efectos a la baja concentración de ácidos grasos poliinsaturados en esas presas vivas (Fujita et al., 1980). Fue entonces cuando se concibió la idea de enriquecer las presas vivas con aquellos ácidos grasos. El enriquecimiento, en el caso de los rotíferos, consiste en cultivarlos masivamente en un medio en el que, además de las microalgas y levaduras, se añaden emulsiones acuosas de lípidos con alto contenido en ácidos grasos ω_3 .

Las micelas (minúsculas gotas de grasa) de la emulsión son filtradas por el rotífero e incorporadas a su composición química a medio plazo. Otro tipo de enriquecimiento más inmediato, practicado tanto en rotíferos como en nauplios de *Artemia*, consiste en separarlos de su medio de cultivo o eclosión habitual y concentrarlos, en condiciones que no causen mortalidades apreciables. De inmediato se les resuspende, durante un cierto tiempo, y previamente a su entrada en los tanques de larvas, en un medio formado por agua de mar a la que se han añadido adecuadas dosis de las emulsiones ricas en ácidos grasos ω_3 . Al ser organismos filtradores, tanto los rotíferos como los nauplios de *Artemia*, engullen y almacenan en su aparato digestivo gran cantidad de micelas de la emulsión. Antes de que las digieran o asimilen de acuerdo con su actividad fisiológica, son añadidos a los tanques de cultivo larvario, donde las larvas se encontrarán ahora con presas vivas cargadas de ácidos grasos ω_3 , que les proporcionarán adecuados niveles de estos nutrientes esenciales. Los métodos de enriquecimiento de las presas vivas han proporcionado grandes avances en el éxito del cultivo de larvas de especies marinas, empleándose modalidades de uso de formulaciones de composición diversa, como emulsiones y/o liposomas (Navarro et al., 1997, Hontoria et al., 1994; Monroig 2006).

El uso generalizado de presas vivas en la larvicultura de especies marinas carnívoras ha facilitado su desarrollo hasta la actualidad, sin embargo, constituye un gasto económico importante derivado de la necesidad de infraestructuras auxiliares (cultivos de fitoplancton, de rotíferos, equipos de eclosión de quistes de *Artemia*, de enriquecimiento, etc), mano de obra y consumo de energía. La tendencia actual aspira a minimizar el uso de presas vivas, al menos en términos de duración temporal, administrando con mayor anterioridad, o simultáneamente, dietas artificiales bien formuladas nutritivamente y de adecuado tamaño, adelantando la fase de destete, a regímenes con uso exclusivo de dietas inertes (piensos), a pesar de que presentan inconvenientes tales como su digestibilidad por las larvas y postlarvas de peces, su adecuada composición nutritiva, o su defectuoso comportamiento hidrodinámico en el medio acuático, antes o después de ser devoradas por las postlarvas o alevines tempranos en cultivo.



Fig. 18 Instalaciones de jaulas en mar abierto para el engorde de peces hasta tamaño comercial con aporte de dietas o piensos artificiales equilibrados

A partir de esta fase, conseguidos los alevines, con una edad de 50-60 días y un peso de 5 gramos, ya son comercializados y destinados a las plantas o granjas de engorde, donde alcanzarán su

tamaño comercial (Fig. 18) de unos 350-400 gramos al cabo de 16 meses, en el caso de engorde en jaulas en mar abierto. Ya tenemos los peces que deben cumplir con la demanda creciente de recursos marinos, cada vez más solicitados debido a sus características como dieta hipocalórica, sana, equilibrada y cardiosaludable para el hombre, que debería compensar adecuadamente las carencias que se prevén, a medio y largo plazo, a causa del estancamiento o disminución de los recursos marinos obtenidos por pesca.

V. PROBLEMÁTICA Y PERSPECTIVAS

Se han expuesto los logros alcanzados en el desarrollo del cultivo larvario de especies marinas, especialmente en peces, que han dado carta de naturaleza a la acuicultura o piscicultura marina moderna. Estos logros son indiscutibles, a pesar de los inconvenientes expuestos al final del apartado anterior, y asociados esencialmente al cultivo larvario de especies carnívoras.

Tales inconvenientes no se circunscriben solamente al cultivo larvario dirigido a la obtención de alevines. Como se ha expuesto a lo largo de esta presentación, el enfoque sobre la piscicultura se ha centrado en el cultivo de peces carnívoros: dorada, lenguado, lubina, rodaballo, corvina, besugo, etc. Para su engorde y crecimiento deben consumir piensos adecuadamente formulados en sus perfiles de proteínas, carbohidratos, vitaminas y grasas o lípidos, esencialmente. Estos perfiles se hallan bien representados en harinas y aceites de pescado. Los piensos habitualmente utilizados se elaboran con estos dos ingredientes. Para ello se depende, sin remedio, de las pesquerías que explotan caladeros ricos en pescado azul, como las de anchoveta y otras especies abundantes en las costas del océano Pacífico en Perú, Ecuador, Chile, o en las del océano Atlántico en Namibia, Plataforma Sahariana, etc. Esta situación plantea serias dudas sobre la sostenibilidad de la piscicultura de especies marinas, cuando su desarrollo depende de la sobreexplotación de otros recursos marinos, no consumidos directamente por el hombre en países subdesarrollados, y sometidos a su manipulación industrial para la obtención de los piensos que posibilitan la piscicultura industrial en países desarrollados.

Para apoyar este razonamiento basta un simple cálculo numérico basado en cifras publicadas por FAO (1988), quizá simplista, pero que refleja razonablemente la cuestión planteada:

Una tonelada de anchoveta (= 700 kg de agua + 300 kg de peso seco) permite obtener algo más de 180 kg de harina de pescado (peso seco).

Los piensos para peces suelen contener entre 30-40 % de harina de pescado.

Aquellos 180 kg de harina de pescado permitirán fabricar unos 540 kg de pienso, con los que se podrán cultivar unos 100 kg de pescado en piscifactoría, de los cuales 70 kg son agua y 30 kg son materia nutritiva para consumo. Sin contar los porcentajes de agua citados, y resumiendo, con 1 Tm de anchoveta podremos llegar a obtener 100 kg de pescado cultivado, una proporción que apenas alcanza el 10 % de rendimiento. Son planteamientos de baja sostenibilidad que actualmente han provocado un loable interés en el intento de sustituir, en la medida de lo posible, la harina de pescado por harinas de concentrados de soja, guisantes secos y otras legumbres (¿llegarán a ser transgénicos?) que proporcionan adecuados niveles de proteínas y de lípidos en su composición (Jackson 2013).

VI. CONCLUSIONES

La acuicultura marina se desarrolló con el fin de suplir las carencias en disponibilidad de recursos marinos, para consumo humano, como consecuencia del estancamiento y declive de las pesquerías extractivas a nivel mundial.

Permite la disponibilidad de peces y crustáceos dotados de ecoetiqueta que garantiza su control de calidad, fresca y trazabilidad.

Sin embargo, este objetivo, de tintes filantrópicos, cambió con su enfoque en el cultivo de especies carnívoras de mayor valor comercial, basado en metodologías más complejas y en la

dependencia de aquellas pesquerías por el uso de harinas y aceites de pescado, lo que cuestiona su sostenibilidad.

La acuicultura marina debería contemplar una mayor diversidad de especies en cultivo, con preferencia por las especies herbívoras. De no ser así, sería preceptivo incrementar el uso de proteínas de origen vegetal en la elaboración de piensos de engorde, en apoyo de su sostenibilidad económica y ambiental.

VII. AGRADECIMIENTOS

- El desarrollo de los proyectos de investigación cuyos resultados se reflejan en este texto fue posible gracias al trabajo conjunto de compañeros y colaboradores como Juan Carlos Navarro, Francisco Hontoria, Inmaculada Varó, Oscar Monroig y Maria Nieves Sanz, en el equipo de Investigación sobre Especies Auxiliares en Acuicultura y Ecotoxicología Acuática, del Instituto de Acuicultura de Torre de la Sal, C.S.I.C (Centro Superior de Investigaciones Científicas).
- Es de agradecer la encomiable labor desarrollada por el Programa de Divulgación de ciencia y Tecnología “ciènciaprop[®]” de la Fundació Caixa Vinaròs que permite dar a conocer esta información cultural y formativa a la ciudadanía.

VIII. REFERENCIAS

- [1] F. Amat, “Cultivo masivo del rotífero mixohalino *Brachionus plicatilis* O.F.Müller”. *Publicaciones Técnicas de la Junta de Estudios de Pesca*. 11: 387-399, 1975.
- [2] F. Amat, “Biología de *Artemia*”, *Informes Técnicos del Instituto de Investigaciones Pesqueras*. 126-127. 60 pp, 1985 a.
- [3] F. Amat, “Utilización de *Artemia* en Acuicultura”, *Informes Técnicos del Instituto de Investigaciones Pesqueras*. 128-129. 60 pp, 1985 b.
- [4] APROMAR .2014. La acuicultura en España 2013 (Informe). 97pp.
- [5] E. Bruggeman, P. Sorgeloos, P. Vanhaecke, “Improvements in the decapsulation of *Artemia* cysts: 261-269”. En *The Brine shrimp Artemia*. Vol. 3. *Ecology, culturing, use in aquaculture*. G.Persoone, P.Sorgeloos, O.Roels, E.Jaspers (Eds.).Universa Press, Wetteren, Belgium. 456 pp., 1980.
- [6] C. Duarte, M. Holmer, Y. Olsen, D. Soto, N. Marbá, J. Guiu, K. Black, J. Karakassis “Will the oceans help feed humanity?” *Bioscience* 59(11):967-976, 2009.
- [7] FAO. “El pescado fresco: su calidad y cambios en su calidad”. *Documento Técnico de Pesca*. 348. H.H.Huss. Ministerio de la Pesca de Dinamarca. 1988.
- [8] S. Fujita, t. Watanabe, C. Kitajima, “Nutritional quality of *Artemia salina* from different locations, as a living feed from the viewpoint of essential fatty acids for marine fish”. En: Persoone, G., Sorgeloos, P., Roels, O., Jaspers, E. (Eds.), *Proc. International Symposium on the Brine Shrimp Artemia*. Universa Press, Wetteren (Bélgica), 277-290. 1980.
- [9] F. Gross, “Notes on the culture of some marine plankton organisms”, *Journal Marine Biology Association*, U.K. 21: 753-768. 1937.
- [10] F. Hontoria, J. H. Crowe, L. M Crowe, F. Amat, “Potential use of liposomes in larviculture as a delivery system through *Artemia nauplii*”, *Aquaculture* 127, 255-264, 1994.
- [11] A. Jackson, “El papel de la harina y el aceite de pescado en la acuicultura sostenible”. *Aquafeed*. IFFO. UK. 2013.
- [12] J. L. Jiménez Sánchez, “Historia de la Acuicultura en España”, *AquaTIC*. Nov. 1997, n^o 1.
- [13] O. Kinne, “Marine Ecology. A comprehensive, integrated treatise of life in oceans and coastal waters”, Vol III. *Cultivation*. Part 2. John Wiley and Sons: 579-1293, 1977.
- [14] P. H. Milne, “Fish and shellfish farming in coastal waters”, London. *Fishing News (books)Ltd*, 1972.
- [15] O. Monroig, “Diseño y optimización de liposomas para su uso como sistema de suministro de nutrientes a larvas de peces marinos”. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia, 2006.
- [16] J. C. Navarro, L. A. McEvoy, M. V. Bell, F. Hontoria, J. R. Sargent, “Effect of different dietary levels of docosahexaenoic acid (DHA, 22: 6 ω3) on the DHA composition of lipid classes in sea bass larvae eyes”, *Aquaculture International* 5:509-516, 1997.
- [17] J. M. SanFeliu, F. Muñoz, F. Amat, J. Ramos, J. Peña, A. Sanz, “Cultivo experimental de larvas de crustáceos y peces en tanques”. *Informes Técnicos del Instituto de Investigaciones Pesqueras*. 36: 47pp, 1976.
- [18] J. R. Sargent, L. A. McEvoy, J. G. Bell, “Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds”, *Aquaculture*. 155, pp. 117-127, 1997.

IX. AUTOR



FRANCISCO AMAT DOMENECH, Licenciado y Doctorado en Ciencias Biológicas por la Universidad de Barcelona (1971, 1979). Ingreso por oposición como Colaborador Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en el Instituto de Acuicultura de Torre de la Sal (IATS)(1985). Categoría alcanzada: Profesor de Investigación del CSIC (2004 - 2012). Jubilado desde 01/01/2013.

Líneas de investigación: Biología, ecología, cultivo, presas vivas, fitoplancton, zooplancton, rotíferos, *Artemia*, biodiversidad, larvicultura, nutrición larvaria. Ecotoxicología acuática, organismos indicadores. Especies invasoras. Parasitología asociada a la biodiversidad de *Artemia*.

Participación y/o coordinación de 40 proyectos de investigación, nacionales e internacionales.

Publicaciones: 130: 92 Internacionales (SCI) y 38 nacionales. Capítulos de libros y monografías: 14. Divulgación: 7. Participación en 50 congresos. Evaluador de 90 proyectos de investigación.

Revisor en 20 publicaciones científicas nacionales e internacionales.

Dirección y/o codirección de 6 tesis de Licenciatura y 9 tesis de Doctorado.

Profesor del Master Oficial en Acuicultura. Colaboración CSIC, Universidades Central y Politécnica de Valencia: 2006-2015.

Director del Instituto de Acuicultura de Torre de la Sal (CSIC): 1995 – 2001.