

El cultivo de atún rojo

Fernando de la Gándara

Instituto Español de Oceanografía (IEO) Centro Oceanográfico de Murcia. Planta de Cultivos Marinos

El atún rojo del atlántico *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758) es un pez teleósteo perteneciente a la familia *Scombridae*. A esta familia pertenecen otros peces que, en ocasiones, se agrupan bajo el apelativo de túnidos. Sin tener un valor taxonómico, como túnidos se conocen también otros atunes rojos como el del Pacífico o japonés (*Thunnus orientalis*) y el australiano o del sur (*Thunnus maccoyii*). Otros túnidos son el bonito del norte, también llamado atún blanco (*Thunnus alalunga*), el yellowfin o rabil (*Thunnus albacares*), el patudo o bigeye (*Thunnus obesus*) así como otro buen número de pequeños túnidos, como el bonito atlántico (*Sarda sarda*) o el listado (*Katsuwonus pelamis*). Son de destacar las pesquerías existentes en el Océano Índico, famosas por los sucesos de piratería padecidos por buques españoles. Dichas pesquerías, dirigidas fundamentalmente al rabil, al patudo y al listado, son unas de las más productivas del mundo, y abastecen entre otras a la potente industria conservera de nuestro país.

El atún rojo tiene un crecimiento espectacular en comparación con otras especies de peces y puede alcanzar 3 metros de longitud y 600 kg de peso (Cort, 2007). Hay incluso registros no comprobados que afirman la existencia de ejemplares de una tonelada. Se han citado ejemplares de más de 15 años (Cort, 2007). Un atún marcado con una edad estimada de 2 años fue recuperado al cabo de 18 años, por lo que parece ser que el atún rojo puede alcanzar, al menos, una edad de 20 años (Abascal, 2004). Se trata de un gran nadador, alcanzando

una velocidad media de 5,9 km/h y una máxima de entre 13 y 31 km/h (Lutcavage *et al.*, 2000) pudiendo cruzar el Océano Atlántico en menos de 60 días. Es capaz de desplazarse miles de kilómetros, estando considerado como especie altamente migratoria según el Anexo I de la convención de 1982 sobre la Ley del Mar (FAO, 1994). Se distribuye en un rango de profundidades desde 0 hasta 1000 m (Abascal, 2004). Aunque se trata de una especie de aguas abiertas, estacionalmente puede acercarse a la costa, tolerando una amplia gama de temperaturas (Collette y Nauen, 1983). Es capaz de realizar a lo largo de su vida varios viajes entre las costas orientales del Atlántico Norte y Mediterráneo y las occidentales. Estas migraciones son fundamentalmente por dos motivos: el trófico, desplazándose a zonas del Atlántico ricas en pequeños pelágicos que le sirven de alimento, y la reproductiva, desplazándose a una de las dos zonas de reproducción conocidas: el Mediterráneo o el Golfo de Méjico. La época de reproducción en ambos casos es en los meses de mayo, junio y julio. El atún rojo se encuentra en aguas que van desde Terranova hasta Brasil, en el lado occidental, y desde Cabo Blanco (20 °N) hasta Noruega y todo el Mediterráneo y el Mar Negro, en el lado oriental (Cort, 2007). Sin embargo su presencia en aguas del Norte de Europa es casi nula desde principios de los años 60 (Mac Kenzie y Myers, 2007).

Una de las características sorprendentes de esta especie, que comparte con algunos de sus congéneres y con ciertos escualos (Dickson y Gra-



Figura 1. Atún rojo (*Thunnus thynnus*).

ham, 2004), es su capacidad para elevar y mantener su temperatura corporal por encima de la temperatura ambiente, en ocasiones más de 20 °C. Esto lo consigue mediante un sistema de contracorriente vascular denominado *rete mirabile*. Este sistema actúa como un intercambiador de calor que transfiere el calor producido en el metabolismo y en la contracción muscular, de la sangre venosa a la arterial, volviendo a los tejidos en los que su acumulación produce el aumento de la temperatura. Este hecho le permite mantener un metabolismo elevado y constante, parecido al de los homeotermos, así como habitar zonas del océano con un muy amplio rango de temperaturas (Graham y Dickson, 2004).

Los atunes se alimentan en zonas costeras de latitudes elevadas a fin de aumentar la grasa corporal que permita hacer frente al gran gasto energético que supone la migración y la reproducción (Chase, 2002). Persiguen a los bancos de pequeños pelágicos: lanzones, boquerones, arenques, caballas, jureles, calamares... (Sinopoli *et al.*, 2004) aunque su alimentación no está limitada solo a ellos ya que un 20 % está constituida en zonas de aguas someras por especies demersales, como cangrejos (*Munida sp.*). La presencia en ocasiones de esponjas en su estómago indica que también se alimenta de especies bentónicas (Chase, 2002). Puede ser considerado por tanto como un predador oportunista capaz de explotar una gran variedad de recursos.

El atún rojo es una especie emblemática que se captura en el Mar Mediterráneo desde la antigüe-

dad, y viene alimentando a las poblaciones costeras desde hace milenios. Hay incluso estudios que afirman que el hombre de Neandertal ya lo consumía (Cort, 2007). Aunque es sabido que su capacidad intelectual aún no le permitía desarrollar y construir artes de pesca para su captura, diversos registros paleontológicos en el Estrecho de Gibraltar, en los que se han identificado vertebras de túnidos de gran tamaño, demuestran que tenía acceso a su consumo. La explicación puede venir del hecho de que, en sus migraciones anuales que se inician sobre el mes de abril y que se realizan desde hace millones de años, los atunes son perseguidos por grupos de orcas en su entrada en el Mar Mediterráneo a donde acuden para reproducirse. Huyendo de las mismas, algunos de ellos quedaban varados en las playas gaditanas, siendo este hecho observado por los humanos primitivos que acudían a consumirlos. Obviamente su consumo solo era posible durante unos pocos días ya que con el tiempo y las altas temperaturas de la zona, la carne de estos peces se corrompía produciendo enfermedades y mortalidad al consumirla. Quién sabe, si el hecho de que algunos trozos que permanecían en las charcas en los que se concentraba la sal pudieran ser consumidos saludablemente tiempo después, constituyó el principio de las técnicas de las salazones.

Mucho tiempo después se desarrollaron, en esa misma zona así como en otras del Mediterráneo, las almadrabas, que son artes fijas que capturan el atún rojo, aprovechando sus migraciones anuales. Fundamentalmente en las Gaditanas y desde la Edad Media, se vienen cap-

El periodo de alimentación de los atunes en las granjas, que transcurre entre su ubicación en las jaulas y su envío al mercado, es variable, oscilando entre 3 y 7 meses en el caso de España, Malta o Turquía, hasta más de un año en el caso de Croacia. El objetivo es aumentar el contenido de grasa en su músculo, factor este altamente valorado por el mercado japonés y americano

turando ingentes cantidades de atún rojo de las que existen preciosos registros históricos que nos permiten valorar la importancia de esta actividad (Cort, 2007). En los escritos del Padre Benedictino Fray Martín de Sarmiento puede leerse: "...eran casi infinitos los atunes que en las almadrabas se cogían". En el Siglo XV, el rey Juan II declaró al primer Duque de Medina Sidonia propietario de todo espacio adecuado para establecer las almadrabas. Dado que, para su operación era necesaria una ingente cantidad mano de obra no cualificada, consta en los textos de la época que una muchedumbre se desplazaba desde todo punto de la Península Ibérica para trabajar en las almadrabas del Duque. De ahí el dicho: "ir a por atún y a ver al Duque". Según parece, estos que iban a las almadrabas eran "de lo peorcito" de la sociedad española de la época (malhechores, criminales, ladrones etc.). Tanto es así, que el citado Fray Martín de Sarmiento llegó a afirmar que "carecían de alma". De su mala reputación ha trascendido hasta nuestros días el calificativo "tunante".

EL ENGRASE DE ATÚN ROJO

A partir de años 90 se inicia en el Mediterráneo la actividad denominada "engrase" del atún rojo. Consiste en capturar ejemplares vivos

mediante arte de cerco en las zonas de puesta, trasladarlos a granjas cercanas a la costa, alimentarlos durante varios meses con pequeños peces pelágicos ricos en materia grasa, y una vez sacrificados de forma rápida para evitar la formación de lactato, enviarlos al mercado, especialmente al japonés (Belmonte y De la Gándara, 2008; Mylonas *et al.*, 2010).

Los altos precios que el atún de granja ha alcanzado en este mercado (en enero de 2013 se pagaron por un atún de 220 kg, 1,7 millones de dólares) han llevado a la sobreexplotación de las poblaciones naturales, con una importante reducción del *stock* de reproductores (Fromentin y Powers, 2005). Cifras no oficiales arrojaron en 2003-2006 valores anuales de capturas por encima de las 60 000 toneladas, más del doble de lo oficialmente reportado. Para paliar esta situación de sobrepesca, que de continuar podría haber llevado a las poblaciones naturales al colapso, el Consejo Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (ICCAT) estableció en 1999 un sistema de cuotas para limitar las capturas, y en 2008 un Plan de recuperación con una reducción importante de dichas cuotas (Figura 2), del aumento del tamaño mínimo de ejemplares capturables (a 30 kg de peso), así como un sistema de vedas (ICCAT, 2011) que limita el periodo en el que pueden realizarse las capturas. En el caso del arte de cerco, este periodo es del 15 de mayo al 15 de junio y se prohíbe el uso de medios aéreos para la detección de cardúmenes. La flota de cerco que se dedica al atún rojo en España está formada por solo 6 barcos con licencia para ello, todos con base en el puerto tarraconense de l'Ametlla de Mar.

Sin embargo una de las regulaciones que, a juicio de muchos expertos, ha tenido uno de los mayores impactos sobre la recuperación de esta especie, ha sido la de prohibir la captura de individuos de pequeño tamaño en el Golfo de León durante el otoño. En estas campañas las capturas de atún rojo no eran tan elevadas en cuanto a tonelaje, pero sí en cuanto a individuos, ya que estos eran juveniles de menos de 30 kg. Tras la prohibición, todo este ingente

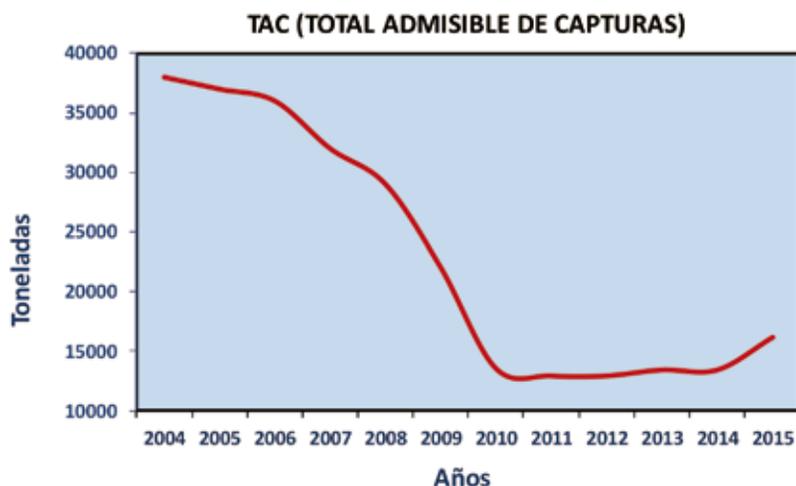


Figura 2. Sistema de cuotas o TAC (Total admisible de capturas) establecido por ICCAT para la conservación del atún rojo atlántico (fuente: ICCAT).

número de ejemplares, en torno a 840 000 al año según Cort y Martínez (2010), ha permanecido en el mar con la consecuente recuperación del *stock* reproductor años más tarde. La aplicación de estas medidas está haciendo que en la actualidad se estén observando claros signos de recuperación de esta especie. Desde el punto de vista de la actividad de engrase, todas estas medidas han hecho que las producciones hayan caído de forma muy importante desde 2004 como puede apreciarse en la Figura 3. Asimismo se ha asistido a una drástica reducción del número de empresas que se dedican a esta actividad. En nuestro país, de las 14 empresas que operaban en 2003, hemos pasado a

solamente 2 en 2015: la empresa catalana Grup Balfegó y la murciana, Caladeros del Mediterráneo, perteneciente al grupo Ricardo Fuentes e Hijos.

Para la realización de la práctica del engrase, en las áreas de reproducción y en los meses de mayo y junio, se capturan ejemplares de más de 30 kg de peso (150 kg de media) mediante el arte de cerco, como se ha indicado previamente. Una vez en el cerco, que se mantiene abierto, los atunes son transferidos a una jaula de transporte, uniendo ambos bolsillos de red bajo el agua y abriendo una gran ventana (De la Gándara y Ortega, 2013). Esta maniobra deno-

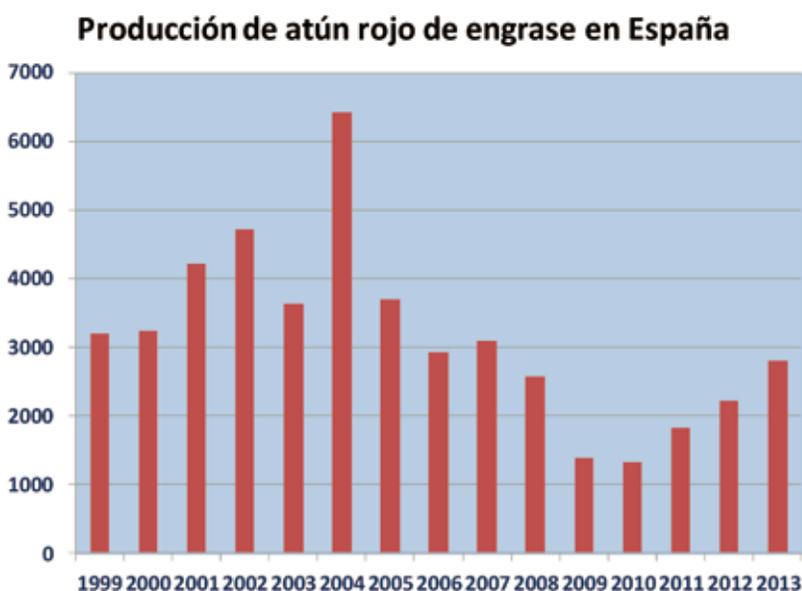


Figura 3. Producción (toneladas) de atún rojo en engrase en España (fuente Jacumar).

Para garantizar el abastecimiento de atún rojo en la cantidad y calidad que requiere un mercado cada vez más importante y selectivo, este tiene que venir indefectiblemente de su producción mediante técnicas de acuicultura integral, lo que además conllevará que las poblaciones naturales recuperen la estructura que tenían hace cientos de años, de una forma más rápida y segura

minada transferencia, se realiza con la ayuda de buceadores. Una vez en la jaula de transporte, los atunes son remolcados desde la zona de captura hasta las granjas de cultivo. Para evitar que la red se colapse, el transporte debe realizarse a una velocidad muy reducida, normalmente en torno a 1 nudo. Cuando la jaula de transporte llega a la granja, los atunes son transferidos a la jaula de cultivo, mediante la misma maniobra de unir los bolsillos. Una vez allí, los atunes son alimentados con pequeños peces y cefalópodos pelágicos (Vita *et al.*, 2004). El periodo de alimentación en las granjas, que transcurre entre su ubicación en las jaulas y su envío al mercado, es variable oscilando entre 3 y 7 meses en el caso de España, Malta o Turquía, hasta más de un año en el caso de Croacia. El objetivo es aumentar el contenido de grasa en su músculo, factor este altamente valorado por el mercado japonés y americano. Es por ello por lo que a esta actividad se la conoce con el término de engrase (*fattening*) aunque se reconoce el término cultivo (*farming*) cuando la actividad se desarrolla durante uno o más años.

Una particularidad que cabe destacar en esta actividad, la constituyen los métodos de sacrificio que se utilizan. Para el despesque se

utilizan varias formas, pero se basan todas en dejar a los atunes encerrados en un arte confeccionado al efecto, que puede estar dentro o fuera de la jaula, para dejarlos con poco agua, y entonces según el tamaño se sacrifican de una forma u otra. Los atunes de menos de 80 kg generalmente se sacrifican produciéndoles la muerte inmediata introduciendo un punzón en el cerebro del pez (Mylonas *et al.*, 2010). Los atunes de peso superior son sacrificados antes de ser extraídos del agua. Para ello se utiliza una escopeta de cartuchos con una sola bala hueca, que al hacer el impacto sobre la cabeza del atún, se deforma y así no la atraviesa y por tanto no daña a otro que se encuentre próximo (Belmonte y De la Gándara, 2008).

Otras dos técnicas que han sido empleadas en el sacrificio del atún rojo en las granjas de engorde son: el electrosacrificio y la lupara. La primera consiste en clavar un arpón provisto de una conexión eléctrica en el atún que va a ser sacrificado (Soto *et al.*, 2006). Esta técnica ya no se emplea debido a que un exceso de corriente eléctrica produce daños en la espina dorsal y en el músculo adyacente, reduciendo el valor de mercado, mientras que si la intensidad eléctrica es inferior a la necesaria, no se produce la muerte instantánea del animal. La segunda se realiza mediante el uso de un rifle submarino o una vara de unos 2-3 metros de longitud que porta en su extremo un cartucho explosivo. Un buceador impacta bajo el agua dicho extremo sobre la cabeza del atún a sacrificar, produciéndole la muerte inmediata. Al igual que en el caso anterior, este método tiene la ventaja de que el sacrificio se produce de forma individualizada, produciéndose en este caso, además, la muerte instantánea. Sin embargo, resulta poco práctico cuando el número de ejemplares a abatir en una jornada es muy elevado, ya que resulta un método muy lento.

En todos los casos, una vez muerto el atún, se procede a su desangrado rápido. Para ello se realizan unos cortes en las venas que recorren el atún superficialmente por los flancos y son las que alimentan de sangre al sistema de termorregulación. Una vez realizada esta operación,

Valor de la producción de atún rojo de engrase en España

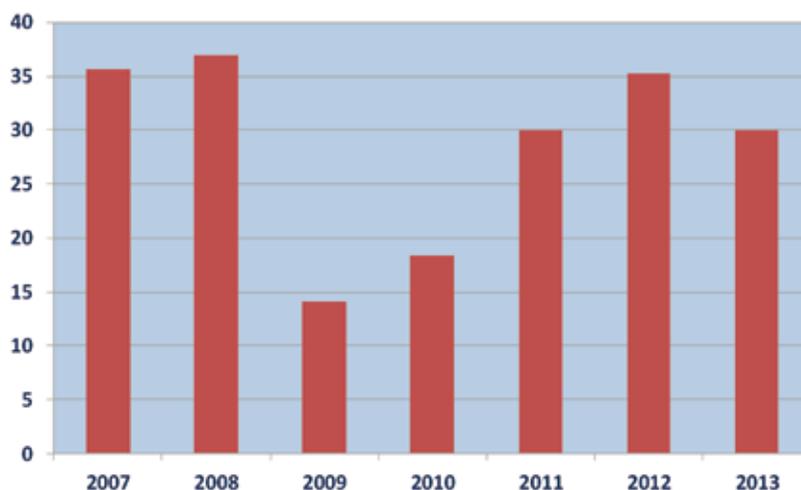


Figura 4. Valor (millones de euros) de la producción de atún rojo de engrase en España (fuente: Jacumar).

el atún es izado a bordo de la embarcación en donde o bien se procede a su decapitado o se introduce un alambre rígido a través de la cabeza para destruir la médula espinal (Mylonas *et al.*, 2010). Inmediatamente después, el atún es introducido en hielo bien entero o eviscerado.

Hay que tener muy en cuenta que el objetivo de todos los métodos de sacrificio es el de producir la muerte del pez lo más rápido posible, evitando la formación de lactato en el músculo (Messina y Santulli, 2008) que confiere un sabor metálico a la carne cuando se consume cruda. Este hecho, llamado síndrome de la carne quemada y en japonés “*yake*” hace que el precio de venta disminuya enormemente o incluso que no sea aceptado por el mercado japonés.

El precio de venta del atún engrasado depende de muchos factores, entre los cuales figura principalmente si se trata de producto fresco o congelado pero también de otros muchos como la cantidad de grasa, el color, la textura y sobre todo el grado de *yake* que tiene la carne, tal y como se ha citado. En España los precios de venta en los últimos años oscilaron entre 7 y 10 €/kg (Figura 4).

En cuanto al aumento de peso que experimentan los atunes durante su época de ali-

mentación a base de pescado natural, este depende del tamaño inicial, de la temperatura del agua a lo largo del período de estabulación, del número de días de alimentación, del tipo de alimento, que tenga mayor o menor contenido graso, pues este, no olvidemos que es natural, y por tanto no tiene una composición corporal exacta y óptima para el fin al que va destinado. Pero por regla general un atún rojo del Atlántico, de un tamaño de 40-50 kg puede aumentar su peso alrededor de un 30 o 40% en los seis o siete meses que permanece en las jaulas, mientras que un atún de más de 150 o 200 kg, alcanza en torno a un 12 o un 15% más de peso en el mismo período (Belmonte y De la Gándara, 2008).

Al igual que el incremento en peso, las tasas de conversión del alimento son enormemente variables. En ejemplares de gran tamaño (> 150 kg) pueden superar los 40:1 (kg de carnada por kilo de atún producido). Esto se debe fundamentalmente al hecho de que estos atunes de gran tamaño no crecen realmente, solo incrementan el contenido graso de su carne. Sin embargo, en ejemplares de pequeño tamaño (< 30 kg) se han citado tasas de conversión sensiblemente menores, entre 15-20:1 (Katavic *et al.*, 2003).

A finales de la década de los 90, varios investigadores pertenecientes a un buen número de Instituciones Europeas, entre ellas el IEO, constituyeron un grupo denominado DOTT, acrónimo de “Domestication of *Thunnus thynnus*”. El objetivo de dicho grupo fue el de recorrer el largo camino que, sin duda, culmina en lo que puede ser el reto más importante de la acuicultura marina, la domesticación del atún rojo para aliviar la presión sobre las poblaciones naturales consiguiendo su producción enteramente en cautividad

LA DOMESTICACIÓN DEL ATÚN ROJO

Es evidente que, a pesar de los efectos positivos que sobre la recuperación del *stock* están ejerciendo las medidas de recuperación, estas van a continuar en un futuro próximo en mayor o menor medida. Por tanto y para garantizar el abastecimiento de atún rojo en la cantidad y calidad que requiere un mercado cada vez más importante y selectivo, este tiene que venir indefectiblemente de su producción mediante técnicas de acuicultura integral, lo que además conllevará que las poblaciones naturales recuperen la estructura que tenían hace cientos de años, de una forma más rápida y segura.

A este respecto y a finales de la década de los 90, varios investigadores pertenecientes a un buen número de Instituciones Europeas, entre ellas el IEO, y liderados por el científico israelí

Hillel Gordin, constituyeron un grupo denominado DOTT, acrónimo de “Domestication of *Thunnus thynnus*, the Bluefin tuna”. El objetivo de dicho grupo fue el de recorrer el largo camino que, sin duda, culmina en lo que puede ser el reto más importante de la acuicultura marina, la domesticación del atún rojo para aliviar la presión sobre las poblaciones naturales consiguiendo su producción enteramente en cautividad, de forma independiente al *stock* silvestre, tal y como ocurre con otras muchas especies producidas en cautividad.

El primer proyecto llevado a cabo por el grupo DOTT, fue la celebración del I Simposio Internacional sobre la domesticación del atún rojo. Este proyecto, financiado por la Comisión Europea, estuvo coordinado por el citado investigador israelí y reunió en febrero de 2002 en Cartagena (España), a la mayoría de expertos en el tema. En este simposio se trazaron las líneas maestras para la domesticación de esta especie.

A partir de este proyecto, el IEO asume el liderazgo de la investigación sobre el cultivo de atún rojo a nivel europeo (de la Gándara y Ortega, 2008) y coordina la siguiente acción del grupo DOTT: el proyecto REPRODOTT (Reproduction of the Bluefin Tuna in Captivity - feasibility study for the domestication of *Thunnus thynnus*), que se llevó a cabo en el periodo comprendido entre los años 2003-2006. Este proyecto, financiado con 1,5 millones de euros por el 5º Programa Marco de la UE, contó con la participación de 8 Instituciones europeas de investigación, y con la empresa Tuna Graso, perteneciente al grupo Ricardo Fuentes, con el que el IEO tiene firmado un convenio de colaboración. Uno de los resultados de este proyecto fue la consecución por primera vez a nivel mundial, de puestas de atún rojo en cautividad (Mylonas *et al.*, 2007).

Entre los años 2006 y 2008, y bajo la dirección del IEO, se llevaron a cabo los proyectos ADAR-AJAR, financiados mediante un Convenio entre el propio IEO, la CARM y el grupo Ricardo Fuentes. Dichos proyectos tuvieron

como objetivo “la Captura y la Domesticación de juveniles de atún rojo”. En ellos se desarrolló una técnica de captura al curricán con anzuelos sin muerte de juveniles 0+ vivos de atún rojo (De la Gándara *et al.*, 2009).

El siguiente proyecto, SELFDOTT: From capture based to self sustained aquaculture and domestication of bluefin tuna, *Thunnus thunnus* (KBBE-2007-1-2-09 Cooperation Work Programme: Food, Agriculture and Fisheries, and Biotechnology), con un presupuesto total de 4,4 millones de euros, 3 de ellos cofinanciados por el 7º Programa Marco de la Comisión Europea y coordinado por el Instituto Español de Oceanografía (IEO) se llevó a cabo entre los años 2008 y 2011 para sentar las bases para producir atún rojo mediante técnicas de acuicultura integral (De la Gándara y Ortega, 2008). Los objetivos de SELFDOTT se basaron en tres pilares fundamentales:

1. La reafirmación de los conocimientos actuales sobre la reproducción en cautividad de esta especie.
2. El establecimiento de los conocimientos básicos necesarios para la obtención de puestas y el control del desarrollo larvario.
3. El establecimiento de las bases necesarias para el desarrollo de alimentos adecuados desde el punto de vista de la eficacia como del respeto al medio ambiente.

Los reproductores de atún se mantuvieron en las instalaciones de las empresas participantes en el proyecto, el grupo español Ricardo Fuentes y la maltesa Malta FishFarming. Los otros miembros del consorcio fueron el Hellenic Centre for Marine Research de Grecia, el IFREMER (Institut Français d'Exploitation de la Mer, Francia); la Universidad de Düsseldorf, Alemania; el National Centre for Mariculture, Israel; la Universidad de Cádiz, España; la Universidad de Bari, Italia; el Ministry for Rural Affairs and Environment (MRAE-Aquaculture) Malta, el Centre National pour la Recherche

Los cultivos larvarios realizados en la Planta de Cultivos Marinos del IEO en Mazarrón, fueron los más exitosos. En 2011 se produjeron 3000 juveniles de atún rojo. A los 4 meses de vida, los ejemplares supervivientes superaban el kilo de peso, alcanzando los 2 kg a principios de 2012. Se espera que algunos de ellos o de las generaciones sucesivas, alcancen el estado adulto tras un mínimo de cuatro años y puedan reproducirse, consiguiendo por tanto y por primera vez en esta especie, cerrar su ciclo biológico en cautividad

Scientifique (CNRS, Francia), la Universidad de Montpellier 2, Francia y el Skretting Aquaculture Research Centre (SARC) de Noruega, perteneciente a la multinacional Nutreco, una de los grupos empresariales más importantes a nivel mundial en la producción de alimento para peces.

En España se mantuvo un *stock* de alrededor de 30 reproductores de atún rojo frente a El Gorguel (Cartagena), en una concesión del Grupo Ricardo Fuentes. Estos reproductores, capturados en el Mar Balear en junio de 2007, se ubicaron en una jaula circular de 25 m de diámetro y 20 m de profundidad, provista de un bolsillo de malla de 2 cm de luz, para evitar en lo posible la entrada de pelágicos que depredan los huevos liberados. Los atunes se alimentaron una vez al día, a saciedad, con estornino (*Scomber japonicus*) y caballa (*Scomber scombrus*). Otro *stock* en condiciones semejantes fue mantenido en Malta por la empresa Malta Fishfarming.



Figura 5.
Recolección
de huevos
en la jaula de
reproductores.

Para la recogida de huevos, se colocó en la época de puesta (junio-julio) una cortina de 6 m de altura, rodeando totalmente la parte superior de la jaula. Se instaló a principios de julio en 2008, a finales de junio en 2009, a mediados de junio en 2010 y a principios de junio en 2011, oscilando las temperaturas del agua entre los 21 y los 26°C. En los años 2008 y 2009 se utilizaron implantes hormonales con GnRH α según la técnica desarrollada en el anterior proyecto REPRODOTT, utilizando para ello un arpón submarino (Mylonas *et al.*, 2007).

En julio de 2008 no se obtuvieron puestas de huevos, probablemente debido a que se realizaron los implantes y se instaló la cortina muy tarde. En 2009 fue el primer año en que

empezaron a obtenerse puestas masivas de huevos fértiles (140 millones de huevos a lo largo de 17 días, con un pico máximo de 60 millones de huevos en un solo día). En 2010 y 2011, en los que se ubicó la cortina mucho antes, se recolectaron puestas masivas de forma espontánea, sin necesidad de implantes hormonales. En 2010 se obtuvieron 60 millones de huevos a lo largo de 40 días siendo los resultados de 2011 de 162 millones durante un periodo de tiempo semejante aunque se comenzaron a recolectar las puestas con una semana de antelación (De la Gándara *et al.*, 2011).

Los huevos se recogieron entre las 3 y las 5 de la madrugada de la superficie de la jaula mediante salabres con malla de 500 μ m (Fi-

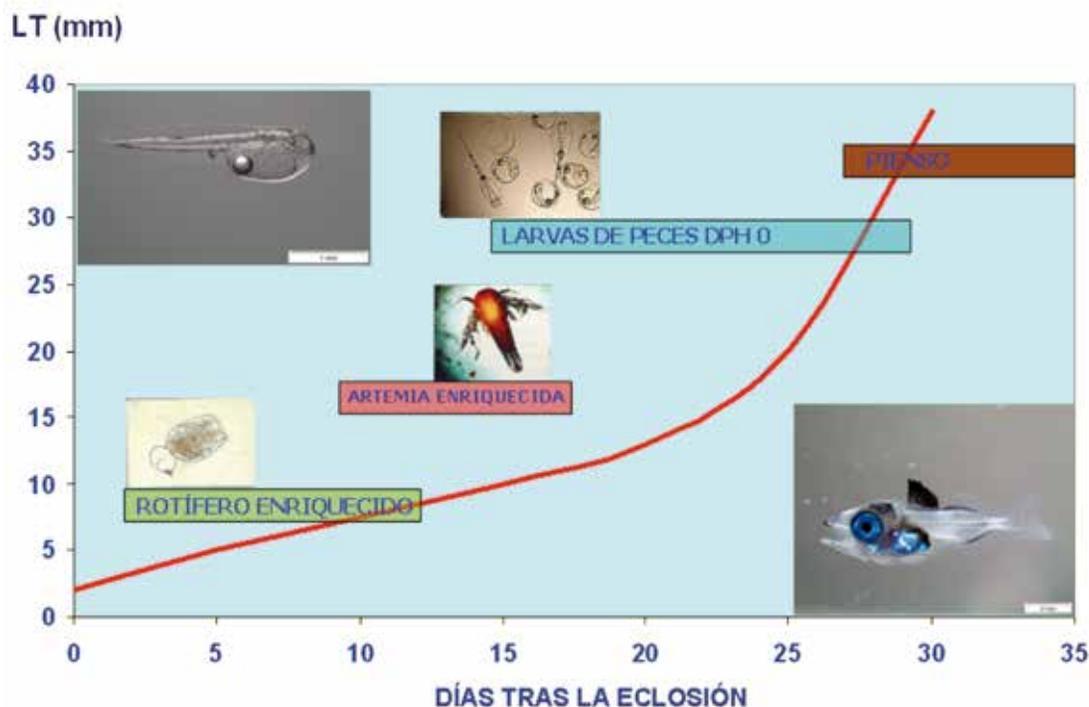


Figura 6. Crecimiento de larvas de atún rojo y estrategia de alimentación durante el primer mes de vida, en el IEO.

gura 5), y se trasladaron a la Planta de Cultivos del IEO en Mazarrón para proceder a evaluar su cantidad y calidad, a su eclosión y a su cultivo larvario. Asimismo y según estaba previsto en el Anexo Técnico del Proyecto SELFDOIT, se realizaron con éxito envíos de huevos vivos a los socios del proyecto en Francia, Grecia e Israel.

Por su parte, el laboratorio maltés del MCFS utilizó las puestas obtenidas del stock de reproductores ubicado en las instalaciones de la empresa Malta Fishfarming. En este caso el número de huevos colectado fue muy inferior al obtenido en Cartagena, aunque suficiente para llevar a cabo los experimentos previstos en el citado Centro.

Para el cultivo larvario se emplearon las técnicas conocidas como *pseudogreen water*, mesocosmos y agua clara. Las dos primeras coinciden en el uso de microalgas en los tanques de cultivo larvario. Se diferencian en que en el primer caso se utilizan tanques de menor tamaño (5 m³) y la densidad inicial de larvas es mayor (20-50 larvas/l). En el segundo caso se utilizan tanques de mayor volumen (20-

40 m³) siendo menor la densidad inicial (1-10 larvas/l). En el caso de agua clara, no se utilizan microalgas y las densidades larvarias iniciales son altas, siendo como en el primer caso, los tanques de tamaño reducido (De la Gándara *et al.*, 2012). La estrategia de alimentación larvaria consistió en utilizar rotífero y *Artemia* enriquecidos con productos comerciales, larvas de dorada (*Sparus aurata*) recién eclosionadas y pescado desmenuzado o alimentación artificial desarrollada por el SARC (Figura 6).

Los cultivos larvarios realizados en la Planta de Cultivos Marinos del IEO en Mazarrón, con el método de *pseudogreen water* (Figura 7) fueron los más exitosos, consiguiendo una supervivencia de 73 días en 2009 (30 g de peso) y 110 días (100 g de peso) en 2010. En 2011 se produjeron 3000 juveniles de atún rojo de 40 días de edad y alrededor de 10 g de peso en estas instalaciones del IEO. Parte de ellos fueron transportados a jaulas en el mar, gestionadas por el grupo empresarial Ricardo Fuentes (Ortega *et al.*, 2011). A los 4 meses de vida, los ejemplares supervivientes superaban el kilo de peso (Figura 8), alcanzando los 2 kg a princi-



Figura 7. Uno de los tanques de cultivo larvario utilizado por el IEO.

pios de 2012. Se espera que algunos de ellos o de las generaciones sucesivas, alcancen el estado adulto tras un mínimo de cuatro años y puedan reproducirse, consiguiendo por tanto y por primera vez en esta especie, cerrar su ciclo biológico en cautividad.

En cuanto a los resultados del tercer objetivo, el grupo SARC desarrolló una alimentación artificial que fue bien aceptada por los juveniles de esta especie tanto producidos en cautividad como capturados en el medio natural, y ubicados en jaulas flotantes gestionadas por el grupo empresarial Ricardo Fuentes. Los crecimientos obtenidos son comparables a los de alimentación a base de pescado, lo que abre

la posibilidad de realizar su crianza de una forma más respetuosa con el medio ambiente, tal y como estaba previsto en los objetivos del proyecto.

Tras la finalización del proyecto SELFDOTT se han continuado otros proyectos en la Planta de Cultivos de Mazarrón, dirigidos fundamentalmente a mejorar las técnicas de producción de juveniles. Durante los años 2012 y 2013, el equipo de cultivo de túnidos del Centro Oceanográfico de Murcia ha estado dedicado a los siguientes proyectos: 1) ATAME (Indíces de abundancia de atún rojo: hacia estimadores de reclutamiento basados en ecología larvaria) cofinanciado por el Plan Nacional de

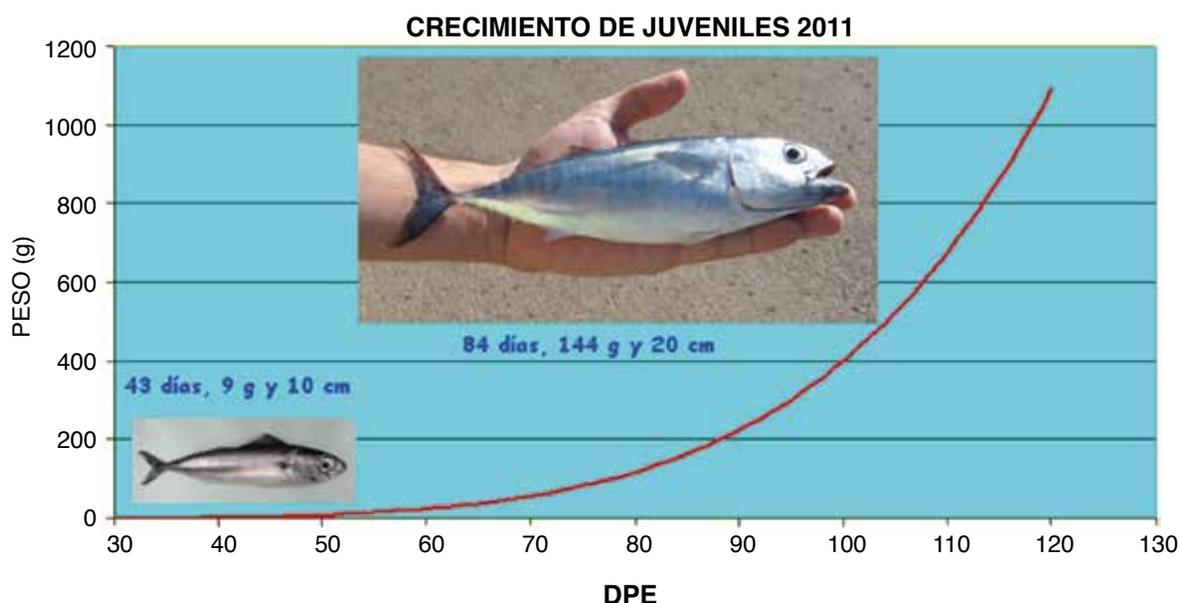


Figura 8. Crecimiento de juveniles de atún rojo en el IEO hasta los 120 días de vida.

I+D+i, con el objetivo de conocer aspectos de la biología y ecofisiología de los huevos y larvas de atún rojo. 2) TCAR (técnicas de cultivo de atún rojo, *Thunnus thynnus*). Proyecto CDTI cofinanciado por la empresa caladeros del Mediterráneo S.L., para avanzar en los conocimientos sobre cultivo larvario, transporte y engorde de juveniles. 3) MALT (Mejora de las técnicas de enriquecimiento de presas vivas y dietas de destete para atún rojo, *Thunnus thynnus*) financiado por la multinacional noruega, Skretting. En el marco del proyecto TCAR se produjeron anualmente alrededor de 4000 juveniles de unos 40 días de vida y en torno a 5 g de peso, que fueron trasladados a jaulas flotantes en la Bahía del Gorguel, en las instalaciones de la empresa Caladeros del Mediterráneo, S.L.

En la actualidad se está trabajando en el proyecto de investigación CLARA (Mejora de las técnicas de cultivo larvario de atún rojo mediante el uso de *Acartia*): con la empresa Fortuna Mare S.L. para desarrollar el cultivo de copépodos (*Acartia*) como alimentación de las larvas de atún rojo. Los resultados preliminares son muy prometedores.

El 21 de julio de 2009, se publicó en el BOE el Convenio de colaboración, entre el Ministerio de Ciencia e Innovación, la Consejería de

Universidades, Empresa e Investigación de la Región de Murcia y el IEO, en la selección y en la ejecución de proyectos de infraestructuras científicas cofinanciadas con Fondos europeos de desarrollo regional (FEDER). Dicho Convenio contemplaba la construcción de una infraestructura para el Control de la Reproducción del Atún rojo (ICRA), con el objetivo de conseguir su reproducción en cautividad y disponer de larvas con las que desarrollar proyectos de investigación encaminados a consolidar su cultivo. La infraestructura, sita en el término municipal de Cartagena, a unos 500 m de la Planta de cultivos Marinos del IEO en Mazarrón, consta de un edificio con unas dimensiones aproximadas de unos 2660 m², de los que 1960 m² corresponden a la nave que alberga los tanques, 300 m² a la zona de laboratorios y oficinas y 400 m² a la zona de tratamiento de las aguas y recirculación. En el interior del edificio existen cuatro tanques (Figura 9) con un volumen total de más de 7000 m³; dos de los tanques están destinados a cuarentena de los atunes nuevos y al crecimiento de los mismos. Los otros dos tanques son para albergar los reproductores de atún rojo y tienen unas dimensiones de 20 y 22 metros de diámetro y de 9 y 10 metros de profundidad, pudiéndose controlar el fotoperiodo de cada uno de ellos de modo independiente. Asimismo se cuenta con laboratorios,



Figura 9. Interior de la Infraestructura para el Control de la Reproducción del Atún rojo (ICRA).

almacenes y oficinas así como cámaras para conservación y preparación de alimento. La zona para tratamiento de agua se estructura en dos sistemas independientes cada uno de los cuales consta de filtración mecánica, mediante filtros de tambor, filtración biológica, tratamiento térmico (calentamiento o enfriamiento del agua), filtración química mediante espumadores y ozono y esterilización mediante luz ultravioleta.

Los objetivos principales de esta infraestructura son:

- Garantizar la obtención de huevos fecundados independientemente de las condiciones ambientales que se den durante el periodo de puesta natural en las jaulas de establecimiento de los reproductores.
- Eliminación del riesgo de incorporar depredadores y patógenos de las larvas de atún rojo acompañantes de las puestas obtenidas en el medio natural.
- Alargar el periodo de puesta mediante la modificación selectiva de las condiciones de temperatura y, eventualmente, de iluminación de los tanques de establecimiento.
- Mejorar la calidad de las puestas por la vía de la estandarización de los mecanismos de recolección y de transporte de los huevos fecundados.

- Tipificación genética de los *stocks* de reproductores y selección de los mismos con motivo de sus sustitución periódica al superar los ejemplares las tallas idóneas de estabulación. En el proceso de selección se recurrirá a la incorporación de reproductores obtenidos en las instalaciones del IEO cerrando el ciclo de la especie. ❀

BIBLIOGRAFÍA

- Abascal, F.J. 2004. Biología reproductiva del atún rojo, *Thunnus thynnus* (L.), en el Atlántico oriental y Mediterráneo. Universidad de Cádiz.
- Belmonte, A., De la Gándara, F. 2008. El cultivo del atún rojo *Thunnus thynnus*. *Fundación Observatorio Español de Acuicultura*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 37 pp.
- Chase B.C. 2002. Differences in diet of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) at five seasonal feeding grounds on the *New England continental shelf*. *Fish. Bull.*, 100: 168-180.
- Collette, B. B. y Nauen, C. E. 1983. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. *FAO Fish. Synop.* 125(2): 137 pp.
- Cort, J.L. 2007. El enigma del atún rojo reproductor del Atlántico Nororiental. Bedia Artes Gráficas, S.C. Santander, 63 pp.
- Cort, J.L. and Martínez, D. 2010. Possible effects of the bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) recovery plan in some Spanish fisheries. *Collective Volume of Scientific Papers ICCAT*, 65(3): 868-874.
- De la Gándara, F. and Ortega, A. 2008. Eight years of research on bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) culture at the Spanish Institute of Oceanography (IEO). Proceedings of the EAS 2008, 15-18 September 2008, Krakow (Poland) pp 185-186.
- De la Gándara, F., Ortega, A., Belmonte, A., Prieto, J.R. 2009. Captura y acondicionamiento de juveniles 0+ de atún rojo *Thunnus thynnus* en jaulas flotantes. Libro de resúmenes del XII Congreso Nacional de Acuicultura. Madrid, 24-26 Noviembre de 2009, pp 96-97.
- De la Gándara, F., Ortega, A., Belmonte, A., Mylonas, C.C., Prieto, J.R., Viguri, J. 2011. Obtención de puestas masivas de huevos de atún rojo (*Thunnus thynnus*) en cautividad, durante 3 años consecutivos. Actas del XIII Congreso Nacional de Acuicultura. 21-24 Noviembre 2011, Castelldefels- Barcelona, España: P-151-2.
- De la Gándara, F., Mylonas, C.C., Covès, D., Bridges, C.R. 2012. SELFDOT Report 2010-2011. 488 pp. <http://hdl.handle.net/10508/1118>.
- De la Gándara, F. y Ortega, A., 2013. Cultivo de escómbridos: el atún rojo y el bonito atlántico. En: Diversificación de especies en la piscicultura marina española. Capítulo 7, MAGRAMA (Ed.), Secretaría General Técnica: 283-320.
- Dickson, K. A. y Graham, J. B. 2004. Evolution and Consequences of Endothermy in Fishes. *Physiological and Biochemical Zoology*. 77(6): 998- 1018.
- Fromentin, J.M. and Powers, J.E. 2005. Atlantic bluefin tuna: population dynamics, ecology, fisheries and management. *Fish and Fisheries*. 6, 281-306.
- ICCAT 2011. Compendio de recomendaciones y resoluciones en materia de ordenación adoptadas por ICCAT para la conservación de los túnidos atlánticos y especies afines. ICCAT, Agosto de 2011: 273 pp.
- FAO 1994. World review of highly migratory species and straddling stocks. *FAO Fish. Tech. Pap.* 337: 1-75.
- Graham, J. B. y Dickson, K. A. 2004. Tuna comparative physiology. *J. Exp. Biol.* 207: 4015-4024.
- Katavic, I, Ticina, V. y Franicevic, N. 2003. Bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) farming on the Croatian coast of the Adriatic Sea: Present stage and future plans. *Cah. Options Méditerran.* 60: 101-106.
- Lutcavage, M. E.; Brill, R. W.; SKomal, G. B.; Chase, B. C.; Goldstein, J. L. y Tutein, J. 2000. Tracking adult North Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the northwestern Atlantic using telemetry. *Marine Biology*. 137: 347- 358.
- Mac Kenzie, B. R. y Myers, R. A. 2007. The development of the northern European fishery for north Atlantic bluefin tuna *Thunnus thynnus* during 1900-1950. *Fisheries Research*. 8(2-3): 229-239.
- Messina C. y Santulli A. 2008. Effects of slaughtering methods on stress and quality of caged bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). Proceedings of the IFOAM Conference on Organic Aquaculture, Cattolica, Italy, 18-20 June.
- Mylonas, C.C., Bridges, C.R., Gordin, H., Belmonte, A., Garcia-Gomez, A., De la Gándara, F., Fauvel, C., Suquet, M., Medina, A., Papadaki, M., Heinisch, G., De Metrio, G., Corriero, A., Vassallo-Agius, R., Guzman, J.M., Mañanos, E. and Zohar, Y. 2007. *Reviews in Fisheries Science* 15(3), pp 183-210.
- Mylonas, C.C., De la Gándara, F., Corriero, A., Belmonte, A. 2010. Atlantic Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus*) Farming and Fattening in the Mediterranean Sea. *Reviews in Fisheries Science* 18(3), 266-280.
- Ortega, A., Seoka, M., Belmonte, A., Prieto, J.R., Viguri, J., De la Gándara, F. 2011. Cultivo larvario de atún rojo (*Thunnus thynnus*) en el Centro Oceanográfico de Murcia. Actas del XIII Congreso Nacional de Acuicultura. 21-24 Noviembre 2011, Castelldefels- Barcelona, España: O-066-2.
- Sinopoli M., Pipitone C., Campagnuolo S., Campo D., Castriota L., Mostarda E. y Andaloro F. 2004. Diet of young-of-the-year bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758), in the southern Tyrrhenian (Mediterranean) Sea. *J. Appl. Ichthyol.*, 20: 310-313.
- Soto, F., Villarejo, J. A., Mateo, A., Roca-Dorda, J., de la Gándara, F., García-Gómez, A. 2006. Preliminary experiences in the development of bluefin tuna *Thunnus Thynnus* (L., 1758) electroslaughtering techniques in rearing cages. *Aquacultural Engineering* 34(2): 83-91.
- Vita R., Marin A., Jiménez-Brinquis B., Cesar A., Marin-Guirao L. y Borredat M. 2004. Aquaculture of Bluefin tuna in the Mediterranean: Evaluation of organic particulate wastes. *Aquacult. Res.*, 35: 1384-1387.