



**Universitat**  
de les Illes Balears

## **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

# **INTERACCIÓN DEL ATÚN ROJO (THUNNUS THYNNUS) CON ESPECIES ÍCTICAS DE INTERÉS COMERCIAL EN BALEARES**

**Alejandra Tous Estarellas**

**Grado de Biología**

**Facultad de Ciencias**

**Año Académico 2020-21**

# INTERACCIÓN DEL ATÚN ROJO (THUNNUS THYNNUS) CON ESPECIES ÍCTICAS DE INTERÉS COMERCIAL EN BALEARES

**Alejandra Tous Estarellas**

**Trabajo de Fin de Grado**

**Facultad de Ciencias**

**Universidad de las Illes Balears**

**Año Académico 2020-21**

Palabras clave del trabajo:

*Thunnus thynnus*, biología, recuperación, depredador, presa, competencia, pesca

*Nombre Tutor/Tutora del Trabajo Guillem Mateu Vicens*

*Nombre Tutor/Tutora (si procede)*

Se autoriza la Universidad a incluir este trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con fines exclusivamente académicos y de investigación

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Resumen

Considerando que la recuperación del atún rojo o *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758) es una realidad, el presente trabajo se centra en dos aspectos. En primer lugar, pretende ofrecer una visión global de los planes de recuperación que han llevado al atún rojo a mejorar su situación. En segundo lugar, otro de los objetivos principales del trabajo es observar y plasmar la competencia que puede tener el atún rojo con otras especies marinas de carácter comercial. Además, puesto que las Islas Baleares son una de las zonas de puesta más importantes para el atún rojo y otros túnidos, como el atún blanco o bonito (*Thunnus alalunga*) y la melva (*Auxis rochei*), se pretende estudiar las relaciones inter e intraespecíficas, ya sean de tipo depredador-presa en diferentes estadios de desarrollo o bien de competencia por los recursos.

Considerant que la recuperació de la tonyina vermella o *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758) és una realitat, el present treball se centra en dos aspectes. En primer lloc, pretén oferir una visió global dels plans de recuperació que han portat a la tonyina vermella a millorar la seva situació. En segon lloc, un altre dels objectius principals de la feina és observar i plasmar la competència que pot tenir la tonyina vermella amb altres espècies marines de caràcter comercial. A més, ja que les Illes Balears són una de les zones de posta més importants per a la tonyina i altres túnids, com la tonyina blanc o bonic (*Thunnus alalunga*) i la melva (*Auxis rochei*), es pretén estudiar les relacions inter-i intraespecífiques, ja siguin de tipus depredador-presa en diferents estadis de desenvolupament o bé de competència pels recursos.

Now that is a fact that the recovery of Atlantic bluefin tuna or *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758) is a reality, this paper focuses on two aspects. Firstly, it aims to offer a global vision of the recovery plans that have led the Atlantic bluefin tuna to improve its situation. Secondly, another of the other objectives of the work is to observe and reflect the competition that bluefin tuna may have with other commercial marine species. On the other side, since the Balearic Islands are one of the most important spawning areas for Atlantic bluefin tuna and other tunas, such as albacore tuna (*Thunnus alalunga*) and frigate tuna (*Auxis rochei*), the aim is to study the interspecific and intraspecific relationships, whether predator-prey in different stages of development or competition for resources.

## Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>13</b>
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>13</b>
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>14</b>
<b>5. RELACIÓN DEPREDADOR-PRESA</b>	<b>14</b>
<b>6. EXPLOTACIÓN Y COMPETENCIA POR LOS RECURSOS</b>	<b>20</b>
<b>7. ESTADO PESQUERÍAS</b>	<b>23</b>
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>28</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>30</b>

## INTRODUCCIÓN

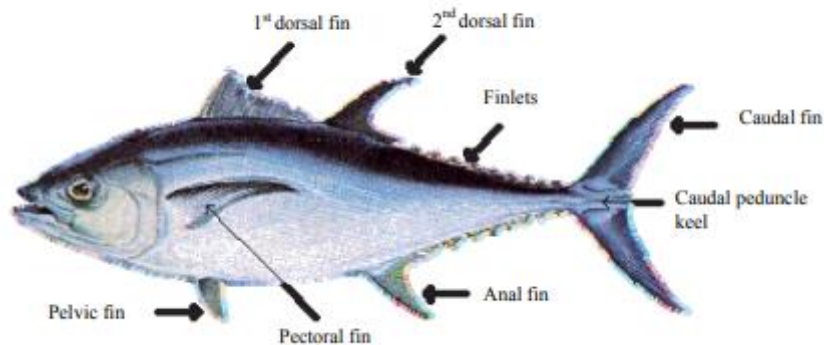
### Características Generales

El atún rojo presenta la siguiente clasificación (Fuente: WoRMS):

- o **Reino:** Animalia
- o **Filo:** Chordata
- o **Subfilo:** Vertebrata
- o **Infracilo:** Gnathostomata
- o **Superclase:** Pisces
- o **Clase:** Actinopterygii
- o **Orden:** Perciformes
- o **Suborden:** Scombroidei
- o **Familia:** Scombridae
- o **Subfamilia:** Scombrinae
- o **Género:** Thunnus
- o **Especie:** *T. thynnus*

El atún rojo (*Thunnus thynnus*) es conocido desde tiempos prehistóricos, aunque fue descrito por primera vez por el naturalista Linnaeus en 1758. Es conocido por múltiples nombres entre los que destacan atún de aleta azul, atún común e incluso en regiones de España, como Cantabria o País Vasco, se le conoce como cimarrón.

El atún rojo es considerado la especie más grande entre los túnidos pudiendo exceder los 4 m de largo. Presenta un diseño corporal fusiforme con un extremo anterior (cefálico) más robusto respecto al extremo caudal (**Fig. 1**). En cuanto a la biomasa, el peso máximo que puede alcanzar *T. thynnus* supera ligeramente los 720 kg, sin embargo, hay capturas documentadas de hasta 900 kg (Mather *et al.* 1995). La parte dorsal de *T. thynnus* es de un tono azulado-oscuro, mientras que la parte ventral se caracteriza por un color grisáceo con líneas transversales incoloras.



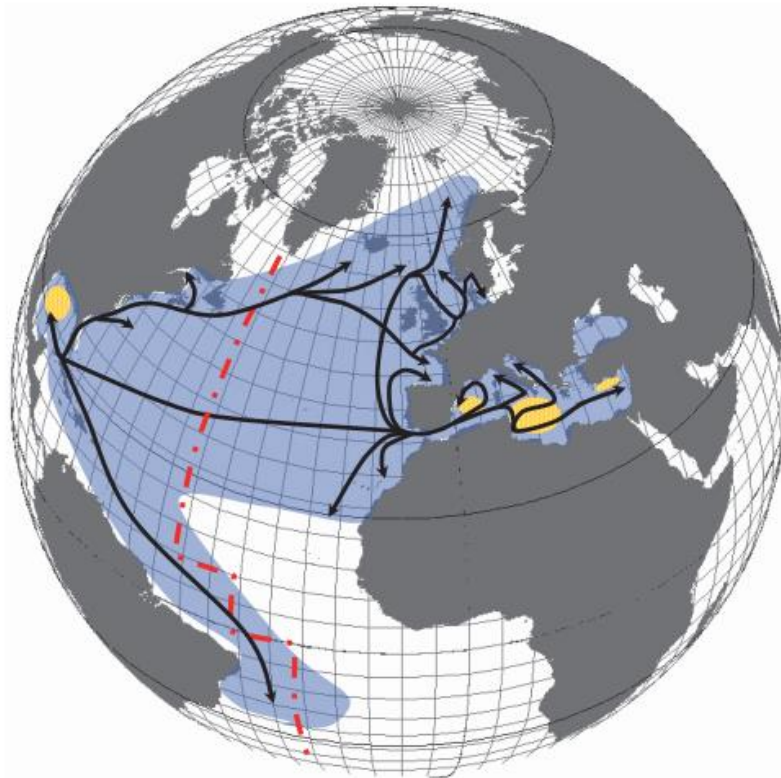
**Fig. 1:** Dibujo de un atún rojo. Fuente: *Fisheries Global Information System (FAO)*.

*T. thynnus* presenta dos aletas dorsales, un par de aletas pectorales adelantado respecto al par de aletas pélvicas (morfotipo torácico), una aleta anal y una aleta caudal homocerca, cóncava (**Fig. 1**). Entre la segunda aleta dorsal y el lóbulo superior de la aleta caudal, y entre la aleta anal y el lóbulo inferior de la aleta caudal, se disponen entre 7 y 10 pínulas. Tal y como se observa en la **Fig. 1**, la primera aleta dorsal es ligeramente más pequeña (entre 12 y 14 espinas) que la segunda aleta dorsal. En cuanto al número de radios, la primera aleta dorsal presenta entre 13-15 radios de tipo espinoso mientras que la segunda aleta dorsal presenta 13-15 radios de tipo blando, y únicamente uno de tipo espinoso.

Se aprecian también variaciones en cuanto al color entre la primera y segunda aleta dorsal ya que la primera aleta es de un tono azulado mientras que en la segunda es un color marrón oscuro. Tanto las aletas como la aleta anal son de color amarillo con bordes en color negro. Las aletas pectorales destacan por su tamaño reducido con respecto a otras especies de túnidos, como *T. alalunga*, ya que constituyen menos del 80% con respecto a la longitud de la cabeza. Además, es considerado la clase de túnido, más rápido llegando a alcanzar los 70 km/h en espacios reducidos. Su temperatura interna puede variar entre los 18°C y 25°C. El sistema de red admirable, conocido como “rete mirabilis” es el que permite mantener estas temperaturas y alcanzar estas velocidades de natación al atún rojo. La “rete mirabilis” es un complejo entramado de arteriolas y vénulas muy cercanas entre sí. Este sistema utiliza un mecanismo de flujo de sangre en contracorriente donde la sangre venosa y arterial fluye en direcciones opuestas lo que provoca el intercambio de calor, iones y gases entre las paredes basales de los vasos, haciendo que mantenga un gradiente con respecto a la temperatura, Galen (2000).

### Hábitat y migraciones

El atún rojo se distribuye por todo el dominio pelágico del Atlántico Norte, junto con sus mares adyacentes, incluyendo el Mar Mediterráneo. Así, es entre todos los túnidos, el que posee la distribución geográfica más amplia y el único pez pelágico grande que vive en aguas templadas del atlántico, Fromentin y Powers (2005). En cuanto a la temperatura del organismo, el atún rojo es una especie euriterma capaz de tolerar un rango de temperatura entre 3°C y 30°C, lo que le permite ocupar un mayor nicho respecto a otras especies tales como la *Sardina pilchardus* o *Trachurus trachurus* (Block *et al.* 2001), las cuales no son competidoras con el atún rojo. Una vez alcanzada la etapa juvenil, los atunes adoptan un carácter gregario, por lo que a partir de ese momento, los movimientos y migraciones se harán en grupos de cientos de individuos, con el fin de evitar depredadores en su travesía. Estudios realizados con telemetría ultrasónica (Brill *et al.* 2001) demuestran que el atún rojo prefiere residir en aguas superficiales; no obstante, tanto los atunes rojos juveniles como los adultos pueden sumergirse hasta una profundidad que ronda los 500-1000 m.



**Fig. 2:** Mapa que muestra la distribución espacial del atún rojo, las principales rutas migratorias (flechas negras) y las áreas de desove más importantes (áreas amarillas). Fuente: ICCAT Manual.

En los últimos años se ha demostrado (Fromentin y Powers, 2005) que los atunes rojos juveniles y adultos frecuentan y se reúnen a lo largo de los frentes oceánicos, probablemente en búsqueda de alimento. Los frentes oceánicos que son visitados habitualmente son las zonas de afloramiento de nutrientes, situados en las costas occidentales de Marruecos y Portugal, y las estructuras oceanográficas a meso escala relacionadas con la circulación general del Atlántico Norte y los mares adyacentes.

Las migraciones del atún rojo fueron mencionadas por primera vez por Cetti (1777) quien postuló que *T. thynnus* entra al Mediterráneo procedente del Atlántico Norte para desovar y posteriormente realizar el recorrido contrario para poder alimentarse. No fue hasta los años 60' y 70' del siglo XX, que la hipótesis de Cetti fue finalmente aceptada. Desde entonces, la migración del atún rojo ha sido documentada por muchos investigadores, llegando a afirmar que éstos migran para desovar en zonas específicas y bien definidas como son tanto el Mar Mediterráneo como en el Golfo de México (Block *et al.* 2005).

### Ciclo Biológico

Una de las migraciones más largas del atún rojo, recorriendo aproximadamente 4000 km, está asociada a la reproducción, con el objetivo de encontrar las condiciones óptimas para desovar, en aguas que deben estar aproximadamente a unos 20°C. La producción de huevos presenta una relación directa con la edad del ejemplar de atún rojo, por lo que una hembra de aproximadamente cinco años puede liberar una media de cinco millones de huevos mientras que hembras de 15-20 años pueden liberar hasta 45 millones de huevos (Schaefer 2001). Además, la puesta se realiza entre las dos y las cuatro de la madrugada para evitar a los depredadores como pueden ser las ballenas o peces teleósteos de mayor tamaño.

Una vez se ha realizado la puesta, el huevo fecundado, que mide un milímetro de diámetro, flota en la superficie hasta eclosionar. Este proceso dura aproximadamente 24 y 72 horas dependiendo de la temperatura del agua. Cuando el huevo eclosiona y expulsa la larva, ésta mide 3,5 milímetros. El atún rojo no presenta dimorfismo sexual, salvo en algunos casos, por lo que presentan sexos separados al eclosionar (Ortega 2016). Mientras crece, la larva se alimenta del saco vitelino hasta que se forma la boca y empieza a alimentarse activamente (Schaefer 2001). El atún rojo escoge aguas oligotróficas, como el Mediterráneo, para la puesta de huevos ya que acuden pocos depredadores a las crías.



A pesar de la escasez de nutrientes, las larvas requieren alimentarse de especies con alto contenido calórico para continuar con su desarrollo, y para compensar, y es habitual que practiquen el canibalismo hasta que alcanzan la fase post-larvaria (Medina et al. 2002).

En las dos semanas posteriores, las larvas desarrollan su sistema digestivo, que incluye dientes, mandíbula, estómago y glándulas gástricas; además de desarrollar también su sistema visual. En la larva, durante la primera semana de vida, se forma la vejiga natatoria, lo que le permitirá estar a las profundidades deseadas. En todo momento, las larvas se sitúan en la superficie donde el agua es más cálida (Mather et al. 1995).

A lo largo del desarrollo, la flexión de la notocorda da lugar, en su extremo posterior, a la aparición de la aleta caudal, que permite aumentar su capacidad de natación. Tarda aproximadamente 25 días en acabar la metamorfosis, el proceso en el cual adquiere características propias de un juvenil parecido a los adultos. El juvenil pasará a adulto que seguirá creciendo y engordando para realizar sus grandes migraciones. Aquellos adultos que alcancen los 4-6 años, adquirirán la madurez sexual y podrán reproducirse y comenzar el ciclo nuevamente (Mather et al. 1995).

#### Relaciones tróficas de *Thunnus thynnus*

Como a la mayoría de los depredadores, el atún rojo es considerado una especie oportunista (Chase, 2002). La dieta de *T. thynnus* varía en función de la fase de desarrollo en la que se encuentre. En su fase larval, la alimentación se basa en la ingesta de pequeños copépodos (en larvas de hasta 5 mm), cladóceros, crustáceos e incluso larvas de gasterópodos (en larvas de 6 mm). El tamaño de la presa es mayor cuanto más se desarrolla la larva (Catalán et al. 2011). En larvas que superan los 7 mm, la mayor fracción consumida es de naturaleza piscívora (50%).

En cuanto a la dieta de *T. thynnus* en estadio juvenil y adulto, se ha observado que se alimentan de en torno a unas 20 especies de las cuales el 50% representan animales invertebrados, Chase (2002). Esta dieta puede incluir medusas, pulpos, cangrejos y esponjas. Sin embargo, *T. thynnus* en fase adulta mostrará preferencia por la ingesta de peces tales como el arenque, la anchoa, la lanza de arena, la sardina, el espadín, el pez azul y la caballa, Eggleston y Bochenek (1990).

Por otra parte, los mayores depredadores del atún rojo son las orcas y la especie humana, aunque también destacan otras especies de túnidos como *T. alalunga*, *Sarda sarda* o *Orcynopsis unicolor*; y tiburones grandes como la tintorera, conocida científicamente como *Prionace glauca*.

## Revisión histórica de las técnicas de explotación del recurso

### ➤ Desde los inicios hasta el siglo XIX

La carne del atún rojo es un alimento muy demandado y consumido desde el principio de nuestra historia, siendo los fenicios, los primeros en pescar el atún rojo en el Mediterráneo hace más de 4000 años (Desse y Desse-Berset, 1994). Los fenicios fueron los primeros en descubrir la relación de los atunes con las orcas, que llamaban espartes. La orca es el gran depredador del atún rojo. Por ello, los fenicios aprovecharon cavidades naturales en el estrecho de Gibraltar, de modo que las sombras producidas en distintas zonas de la cueva, diferentes según la incidencia del sol en las diferentes estaciones, se usaban como referencia del tiempo. Por ello, desde la cueva, los fenicios vigilaban a las orcas, que perseguían a los bancos de atunes rojos generando desconcierto y forzando que se acercaran a la orilla, quedando, muchos de ellos, varados en la arena de modo que los fenicios podían capturarlos. Aprovechando el carácter periódico de estas migraciones y el comportamiento de las orcas, los fenicios empezaron a crear asentamientos (plantas de salazón) cerca de la costa del estrecho de Gibraltar para el tratamiento del atún rojo (Doumenge 2000).

Además, a los fenicios se les atribuye otro gran avance en la captura de esta especie, la creación de las almadrabas. La almadraba, también llamada el “laberinto del atún” es una técnica de pesca de las más antiguas del mundo, que se remonta a aproximadamente 4000 años de antigüedad.

La pesca de la almadraba consiste en instalar un laberinto de redes, las cuales pueden llegar al fondo que se encuentran fijadas por anclas (las primeras redes estaban hechas de esparto). Los atunes se introducen en los compartimentos buscando una salida que no existe. Finalmente, pasando por el laberinto llegan a la denominada “cámara de la muerte”, el compartimento final. Por todo esto, se considera un tipo de pesca artesanal, no agresiva y respetuosa tanto con la especie como con el medio ambiente. Hoy en día, los pescadores de los pueblos de Barbate y Zahara aprovechan la migración gregaria del atún rojo para llevar a cabo esta técnica.

Después de los fenicios, griegos y romanos continuaron explotando la pesquería de *T. thynnus*. Los romanos desarrollaron la mayor parte de la pesca de atún con el fin de aprovisionar a las legiones durante sus guerras. Al igual que los fenicios, los romanos crearon asentamientos para tratar y conservar el atún rojo. Uno de los asentamientos más famosos es el de Baelo Claudia, que se encuentra en la costa gaditana, y en donde se pueden ver vestigios de las estructuras dedicadas a producir salazones.

Es en plena Edad Media, durante la etapa de la Reconquista, cuando el atún empieza a adquirir una gran importancia económica. En el siglo XIII, se le concedió a Guzmán el Bueno el privilegio de poder explotar las almadrabas de las localidades de Conil y Zahara y que fue pasando de generación en generación. Además, los árabes aportaron datos anuales de captura de atunes rojos siendo los primeros en hacerlo.

Desde el siglo XVI hasta el siglo XIX, para la captura del atún rojo se usaban técnicas que consistía en la pesca de cerco, lo que dio lugar a las primeras pesquerías industriales (Ravier y Fromentin, 2001). Esta técnica consiste en acorrallar a los atunes en una gran red sujeta a dos embarcaciones, donde una de ellas mantiene una parte de la red fija mientras que la otra embarcación realiza un movimiento que termina atrapando al banco de atunes. Finalmente, se cierra el círculo para que no escapen los peces. Los atunes atrapados se traspasan a gigantes piscinas flotantes donde son alimentados hasta su pesca. Es una técnica que sigue siendo usada sobre todo en el Mediterráneo.

➤ *Del siglo XX a la actualidad*

Los diferentes tipos de pesca asociados a la captura del atún rojo sufrieron pocas modificaciones técnicas hasta principios del siglo XX, donde comienza a aumentar el tráfico, el ruido y la contaminación costera a la par que disminuye la eficiencia de las trampas usadas contra *T. thynnus* (Addis et al., 1997).

Durante la década de los 50', las flotas del norte de Europa, conocidas como flotas nórdicas, tuvieron su época dorada, de modo que su producción superó la de las pesquerías tradicionales alcanzando las 16000 t/año (Pusineri et al., 2002). Durante esta década también predominó la captura de juveniles, por pesca deportiva con caña y carrete. La pesca de individuos adultos grandes se llevaba a cabo con líneas de mano, que consisten en el uso de una línea que mida entre 4 y 6 m, y un anzuelo con cebo, el cual es introducido desde una barca en movimiento, de modo que cuando el pez pica el anzuelo, éste puede ser capturado directamente con la mano. Esta técnica requiere de cebo vivo y embarcaciones que rompen la superficie del mar formando espuma para que se asemeje a un banco de peces. Aún así, por aquel entonces, la demanda de atún rojo era baja (Fromentin y Powers, 2005).

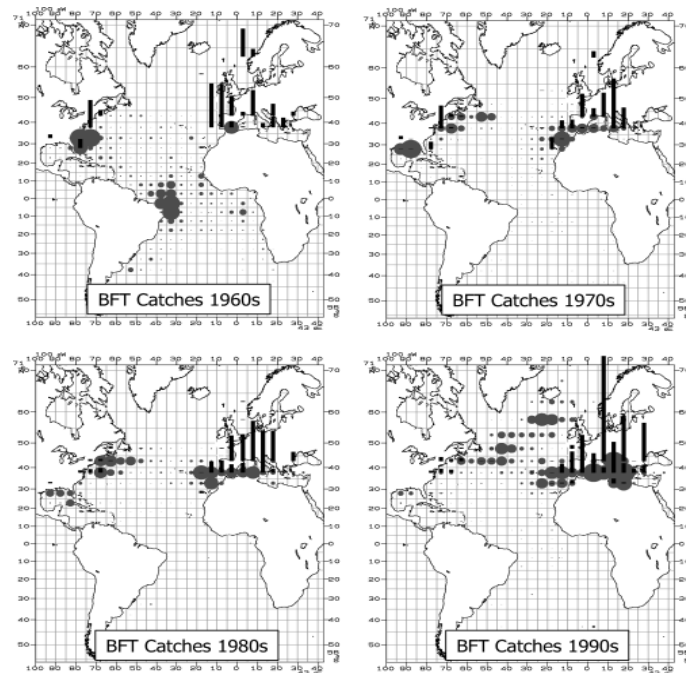
No fue hasta la década de los 60', cuando se empezaron a desarrollar técnicas conocidas como la pesca de palangre (derivada de la técnica de línea de mano), que consiste en una línea que se bifurca repetidas veces, en varios sedales con cebo. Estos pueden llegar hasta los 100 m de profundidad.

Durante los 60', los palangreros se centraron en peces de tamaño medio, aunque fueron adaptándose para pescar individuos adultos de mayor tamaño (Fromentin y Powers, 2005). Esta década, junto con la década de los 70', fue considerado un periodo de bajo rendimiento para las pesquerías ya que éste fue decreciendo, alcanzando un balance que rondaba las 12000 t/año, lo que se debe a la menor demanda comercial del atún rojo en esa época.

Fue durante los 80', debido al desarrollo del mercado japonés de sushi, lo que hizo que la explotación del atún fuera mucho más rentable que anteriormente (Porch 2005). En consecuencia, incrementó la eficiencia en la captura y su rentabilidad, cosa que favoreció el aumento de la explotación de las pesquerías durante las décadas de los ochenta y noventa. Además, se modificaron las estrategias de pesca (Bregazzi 2004). Como resultado, las áreas de pesca económicamente disponibles se expandieron tanto en el Atlántico Norte como en el Mediterráneo.

En la década de los 90', la demanda comercial del atún rojo se elevó alcanzando picos históricos de captura superiores a 50000 t/año, en zonas tanto del Atlántico Este como en el Mediterráneo (**Fig. 3**). Posteriormente, se redujo la captura, como resultado de la implementación de la medida de gestión conocida como "Total Admisible de Capturas" (TAC). El TAC marca los límites de captura que se establecen para la mayoría de las poblaciones de peces de interés comercial. Éstas, se reparten entre los países en forma de cuotas nacionales y son establecidas anualmente en función del stock poblacional de la especie en cuestión. Al principio de implementarse esta regulación, y con el objeto de aumentar el control sobre la explotación de la especie, el número de toneladas bajó hasta alcanzar las 13.261 t en 2014. A partir de entonces, el número de capturas fue aumentando progresivamente.

En 2015, fueron 16.201 t, en 2016 fueron de 19.131 t, en 2017 fue de 23.616 t y en 2018 fueron de hasta 27.757 t, año en el que más del 50% de las capturas ocurrieron en el mar Mediterráneo. Sin embargo, el comité encargado de realizar las estadísticas del stock, el SCRS, fue informado de la existencia de capturas sin declarar, que debían de tenerse en cuenta.



**Fig. 3:** Capturas totales de atún rojo por décadas. Las barras representan las capturas mediante pesca de cerco mientras que los círculos indican las capturas realizadas por pesca de palangre. *Fuente: Fromentin y Powers (2005).*

## OBJETIVO

El objetivo principal del estudio consiste en documentar las relaciones depredador-presa que presenta el atún rojo con especies de carácter comercial como *Thunnus alalunga*, *Auxis rochei* o *Sarda sarda* que desovan en la misma zona (Islas Baleares) en todos los niveles de desarrollo: larva, juvenil y adulto. Por otro lado, puesto que las Islas Baleares es una zona de desove importante de varias especies, se pretende demostrar la competencia por el alimento entre las especies mencionadas. Otro de los objetivos del presente trabajo se centra en la revisión de los planes de recuperación realizados por la organización ICCAT que han hecho posible el aumento de la población del atún rojo.

## METODOLOGÍA

Para obtener la información necesaria, se ha llevado a cabo una búsqueda en varias bases bibliográficas como son Web of Science o Google académico entre otras, utilizando las siguientes palabras clave: “*Thunnus thynnus*”, “biología”, “recuperación”, “depredador”, “presa”, “competencia”, “pesca”, “*Thunnus alalunga*”, “*Auxis rochei*”, “*Sarda sarda*”, “larva”, “juvenil” y “adulto”.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Usando las palabras clave anteriormente mencionadas, han aparecido hasta un total de 50 artículos de los cuales 45 han sido seleccionados para contrastar la información y relacionarlo con el objetivo del trabajo.

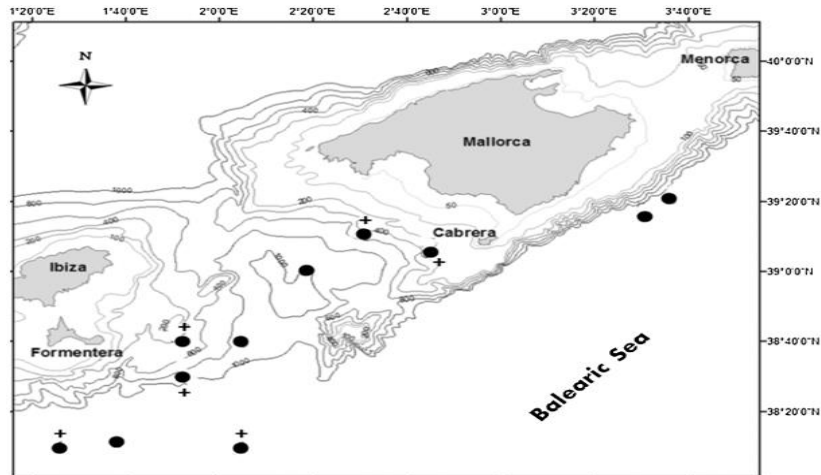
### Relación depredador-presa

#### Fase larvaria

Tal y como se expone en la “Introducción”, una de las zonas de desove más importante es el Mediterráneo, zona caracterizada por su oligotrofia (escasez de nutrientes). La oligotrofia y las características hidrográficas de mesoescala determinan la distribución de las larvas de atún rojo. En el Mediterráneo la distribución de las larvas de atún rojo se encuentra favorecida por los frentes de convergencia que resultan de aguas superficiales recientes del Atlántico y residentes del Mediterráneo (Lindo-Atichati *et al.* 2012). Las características de mesoescala, aumentan las concentraciones de partículas alimenticias, por lo que la probabilidad de supervivencia de las larvas de atún rojo crece a pesar de situarse en un entorno oligotrófico (Alemany *et al.* 2010).

Las larvas requieren de un rápido crecimiento somático y un buen desarrollo de sus órganos internos por lo que necesitan un mayor aporte energético. De hecho, un único día de inanición puede suponer un retraso en su crecimiento y provocarle una mayor mortalidad (Uriarte *et al.* 2019), por ello, precisan de una buena alimentación. Una de las estrategias que presentan las larvas para aumentar las tasas de crecimiento, es pasar de manera temprana a la dieta piscívora (Reglero *et al.* 2014).

Las larvas de atún rojo son localizadas, en el estudio de Uriarte *et al.* (2019), en la parte sur del archipiélago balear (**Fig. 5**) en el frente de convergencia de las aguas superficiales del Atlántico recientes y residentes del Mediterráneo formando un frente debido a las diferentes densidades entre ambas (Lindo-Atichati *et al.* 2012).

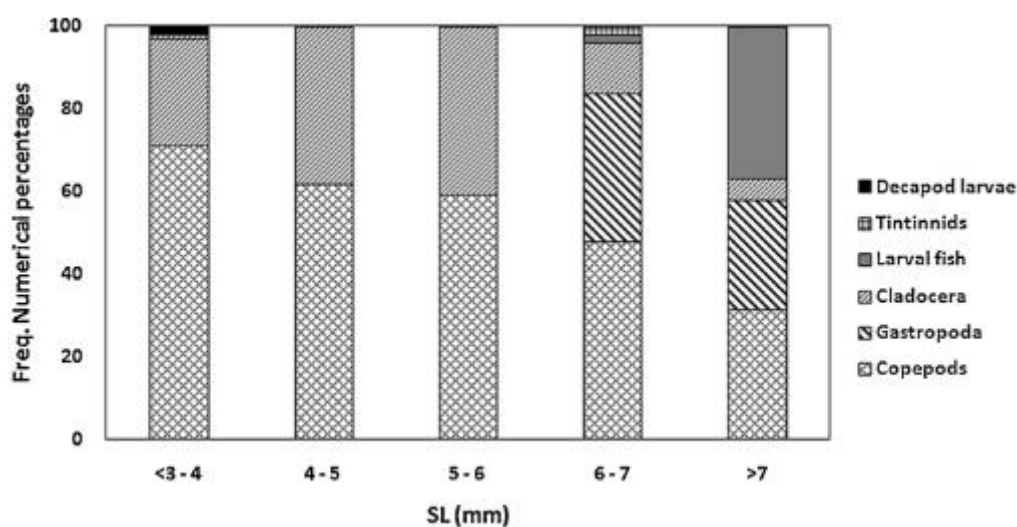


**Fig. 5:** Mapa obtenido de Uriarte *et al.* (2019) que presenta las estaciones de muestreo durante la campaña de estudio. En círculos negros estaciones donde se encuentran las larvas de atún rojo. En cruz donde se encuentra la mayoría de zooplancton.

El Índice de Importancia Dietética Relativa (IRI%), que muestra que presa tiene mayor preferencia en la dieta del atún rojo y, por lo tanto, se consume preferentemente con respecto a las otras especies, varía durante el desarrollo de la larva de atún rojo, cambiando así las preferencias a medida que crece ya que a mayor tamaño mejor será la categoría de las presas (Uriarte *et al.*, 2019). Dependiendo del estado de flexión de la notocorda, las larvas de atún rojo se decantarán por tipos de presa distintos acordes a su desarrollo en cada una de las fases (**Fig. 6**):

- **Estado de pre-flexión:** Se caracteriza por el comienzo de flexión de la notocorda, cuando las larvas de atún rojo miden menos de 3.5 mm y se acaba de formar la boca. Por ello, la alimentación se basa hasta casi en un 78% de IRI en el consumo de copépodos.
- **Estado de flexión:** El proceso de flexión de la notocorda continua y las larvas miden unos 5-6 mm. En este momento, las larvas ya han desarrollado su sistema digestivo, el sistema visual y la vejiga natatoria. En este momento, su dieta se basa en la ingesta mayoritaria de copépodos y cladóceros lo que ya supone un aumento en el tamaño de las presas. Morote *et al.* (2008) observaron por primera vez la presencia de gasterópodos de manera significativa en la ingesta de la larva de atún rojo. La alimentación de gasterópodos es determinante durante la transición de alimentación planctívora a la alimentación piscívora (Morote *et al.* 2008).

- **Estado de post-flexión:** La flexión de la notocorda ha llegado a su fin, lo que ha originado en el extremo posterior del individuo la aparición de la aleta caudal. La larva de atún rojo supera los 7 mm. En este estadio, la mayor parte de la ingesta es de naturaleza piscívora, como el ictioplancton (huevos y larvas de peces), entre los que se encuentran: familias Scombridae, Myctophidae y Gonostomatidae. Esto es debido a que las larvas de otras especies de túnidos presentan mayor contenido calórico, lo que les ayudará al atún rojo a desarrollarse más rápidamente (Torres *et al.* 2011). Incluso se ha llegado a demostrar la presencia de canibalismo por parte de las larvas de atún (Uriarte *et al.*, 2019).



**Fig. 6:** Porcentajes de las frecuencias numéricas de las presas de las larvas de atún rojo agrupadas por intervalos de tamaño. Fuente: Uriarte *et al.*, 2019.

Con la **Figura 6** se prueba que las larvas de atún no tan sólo presentan relaciones interespecíficas con diferentes especies de túnidos, sino que, además, promovido por la supervivencia es capaz de llevar a cabo relaciones intraespecíficas practicando el canibalismo entre individuos de la misma especie.

En estudios como el de Uriarte *et al.* 2019, en el cual se comprobó, que la incidencia de alimentación (cantidad de alimento ingerido) de las larvas de atún rojo, supone un 94%. Existe una relación directa entre el tamaño del atún rojo y el nicho trófico que ocupa. A su vez, se ha observado que a mayor tamaño larvario mayor plenitud estomacal (Uriarte *et al.* 2019). También está demostrado en estudios como el de Uriarte *et al.* (2019) que a mayor tamaño de la larva no incrementa el número de presas, sino que se alimentan de presas con mayor tamaño.



Durante la fase larvaria es cuando el atún rojo sufre la mayor presencia de depredadores debido a que se encuentra en su estado de mayor vulnerabilidad, relativo a su pequeño tamaño en comparación con sus depredadores, los cuales son: *Thunnus alalunga* y *Auxis rochei* o el propio *Thunnus thynnus* (García *et al.* 2017). Otros depredadores son invertebrados como las medusas y las ballenas.

## Fase Post-larvaria

### Juveniles

Los individuos de *T. thynnus* pasan de la fase larvaria a juvenil entre los 3 y 5 meses de vida. Estos juveniles se distribuyen en aguas poco profundas a lo largo de toda la costa Ibérica-Mediterránea (Compeán-Jimenez y Bard, 1983). Una vez alcanzada la fase post-larvaria, los juveniles de atún rojo presentan una dieta mayoritariamente piscívora que representa casi el 90% de su dieta mientras que un porcentaje muy pequeño, que ronda el 10%, son invertebrados entre los que destacan algunos crustáceos y cefalópodos (Sanz Brau 1990).

Antes de describir que especies se encuentran presentes en la dieta del juvenil de atún rojo es conveniente introducir el concepto de índice de alimentación (AI%), que nos permite clasificar a la presa dependiendo de la preferencia del depredador. El índice de alimentación (AI%) representa lo siguiente según el estudio de Ferrer-Palau *et al.*, 2015 (**Tabla 1**):

**Tabla 1.** Tabla que muestra la frecuencia de una presa para especie según el rango de índice de alimentación (AI%) observado.

Rango AI%	Frecuencia de una presa en la alimentación del depredador
AI>50%	Presa preferente
50%>AI>25%	Presa preferente secundaria
25%>AI>10%	Presa frecuente
AI<10%	Presa aleatoria

Como indican algunos estudios (Sanz Brau, 1990; Sorell 2017), generalmente un 70% de los estómagos de los juveniles de atún rojo contiene al menos una presa. Las especies que componen la dieta del atún rojo son las siguientes (Sorell 2017) (**Tabla 2**):

**Tabla 2.** Tabla que muestra de manera ordenada (de mayor a menor AI%), las especies que componen la dieta de los juveniles de atún rojo.

<b>Categoría</b>	<b>Especie</b>	<b>AI%</b>
Pez	Boquerón ( <i>Engraulis encrasicolus</i> )	AI>50%
	Sardina ( <i>Sardina pilchardus</i> )	50%>AI>25%
	Chicharro ( <i>Trachurus trachurus</i> )	25%>AI>10%
Crustáceo	Anfípodos Hiperídeos	AI<10%
	Familia Stomatopoda	AI<10%
Cefalópodo	Calamar de cola corta ( <i>Illex coindetii</i> )	AI<10%
	Calamar volador menor ( <i>Todaropsis eblanae</i> )	AI<10%

Una vez completado el desarrollo de larva a juvenil, éste presenta unas características fisiológicas, como son mayor velocidad de natación y un mejor desarrollo del sistema digestivo (Sinopoli *et al.* 2004).

Sorell (2017) indica que el boquerón y la sardina, constituyen las presas más deseadas por parte de los juveniles de atún rojo. Tanto el boquerón como la sardina son especies pelágicas costeras, al igual que el juvenil de atún rojo que se alimenta de estas especies en la zona nerítica en sus primeros estadios de vida (Sinopoli *et al.* 2004). Por otra parte, la dieta de los juveniles de atún rojo se caracteriza por ingerir un número reducido de presas, es decir, que cada juvenil ingiere entre tres y cuatro especies diferentes, y en su mayoría corresponden a presas preferentes (Sorell, 2017). Por tanto, se considera que el juvenil de atún rojo presenta un comportamiento generalista heterogéneo con alto grado de especialización (Medina *et al.* 2015). En cuanto a los depredadores de los juveniles de atún rojo encontramos a otras especies de túnidos, de alto interés comercial, que se encuentran en fase adulta como puede ser *T. alalunga* o *A. rochei*. En estas especies también se ha observado, en estudios como el de Morote *et al.* (2008) o el de Catalan *et al.* (2007), que presentan relaciones interespecíficas con los juveniles de atún rojo siendo *A. rochei* el que presenta un AI% para el atún rojo superior al de *T. alalunga*, entre 25% y 10% AI y <10% AI respectivamente.

## Adultos

Pasados los cinco meses de vida, los atunes rojos del Mediterráneo pasan de juveniles a adultos, momento en el que están a punto de abrirse camino, mediante una nueva migración, hacia el Atlántico.

La alimentación del atún rojo se basa en una amplia variedad de especies entre las que destacan los crustáceos, que corresponden a un mayor AI% (>50%) y que por lo tanto, representan la presa preferente del adulto de atún rojo. Por otra parte, otras especies preferentes, aunque de forma secundaria, son diferentes peces teleósteos donde la familia Stomiidae es la más destacada (Sorell 2017). También se alimentan, aunque en menor medida, de cefalópodos. Las especies que conforman la dieta del atún rojo del Mediterráneo se engloban en tres grandes grupos:

- ❖ **Crustáceos.** Dentro de este grupo predomina las especies *Sergia robusta* (AI>50%) y en menor medida la especie *Acanthephyra pelagica* (25-50%AI).
- ❖ **Peces teleósteos.** Las especies más frecuentes de este grupo pertenecen a la familia de los Estómidos y algunos peces mesopelágicos. Sin embargo, la dieta del atún rojo puede ser más variada, y dependiendo del gradiente batimétrico, incluye diferentes grupos ícticos:
  - Peces epipelágicos, destacando la familia de los Clupeidos.
  - Peces mesopelágicos, situados entre los 200 y los 1000 m de profundidad, destacando cuatro grupos de familias (Stergiou y Karpouzi, 2002):
    1. Estómidos
    2. Mictófidos
    3. Sternoptíquidos
    4. Trichiurdos
  - Por último, las especies de peces batipelágicos (aguas >1000 m de profundidad) y tienen una importancia prácticamente nula en la dieta del atún rojo (Sorell 2017).
- ❖ **Cefalópodos.** Son las presas menos frecuentes en la dieta del adulto de atún rojo del Mediterráneo ya que representan entre el 25-10% de AI, de tal forma que la especie más destacada es *Illex coindetii* seguida del género *Histioteuthis* spp.

La variedad en las especies consumidas por parte del adulto de atún es en parte debido a la amplitud del nicho trófico de la especie que aumenta conforme pasa de la etapa larvaria a la fase juvenil y de ahí a la fase adulta (Costa 2009).

En cuanto a los depredadores, el adulto de atún rojo es presa de otras especies de túnidos como *T. alalunga* o *Sarda sarda* (Catalan *et al.* 2007), tiburones (*Carcharodon carcharias*) y en mayor proporción, las orcas.

No obstante, el mayor depredador del atún rojo es el ser humano, quien ha sido responsable durante años de la reducción en la población de atún rojo en el Mediterráneo.

## Explotación y competencia por los recursos

### Fase larvaria

La fase larvaria del atún rojo es clave para el devenir de su supervivencia, fase donde presenta más vulnerabilidad en comparación con la fase post-larvaria. Por esto, la supervivencia larvaria, además de la presencia de depredadores, depende de la disponibilidad de alimentos por los que competirán las larvas de atún rojo con otras especies de túnidos y especies pelágicas (Cowan *et al.* 1993) tales como *Thunnus alalunga*, *Auxis rochei*, *Cyclothone pygmaea* y *Ceratoscopelus maderensis* (Torres *et al.* 2011), con lo cuales, el atún rojo compite principalmente con *T. alalunga* y *A. rochei*, ambos de la familia Scombridae, con los que, a partir de la fase de flexión de la notocorda, comparte características tróficas muy similares (Young y Davis, 1990) y es en este momento cuando empezarán a competir por el alimento en las aguas oligotróficas del mar Mediterráneo (Torres *et al.* 2011).

Para conocer de una manera más precisa la competencia de los atunes rojos en estadio larvario, es imprescindible observar estas tres características (Kendall *et al.* 1984):

- ✚ Tamaño de las poblaciones de la larva de atún rojo.
- ✚ Morfología de las larvas.
- ✚ Tasas de crecimiento a nivel de longitud y biomasa.

Las larvas de atún rojo junto con las larvas de *T. alalunga* se sitúan en alta mar mientras que las larvas de *A. rochei* lo hacen más cerca de la costa. La localización de las larvas es algo a tener en cuenta a la hora de observar la competencia entre especies puesto que al situarse en alta mar, las larvas de atún rojo y *T. alalunga* se ven favorecidas por la formación de frentes oceánicos, ya mencionados, que darán lugar con alta probabilidad a la formación de remolinos que retienen y acumulan el ictioplancton. Consecuentemente, en esas áreas habrá mayor disponibilidad de alimentos en comparación con aguas menos profundas cercanas a la costa provocando una mayor competición por el alimento (Alemany *et al.* 2010).

La distribución de las larvas depende de dos factores: temperatura y salinidad (Torres *et al.* 2011). La salinidad es el factor que más influye a la hora de determinar la distribución de las larvas, al observarse en estudios como el de Torres *et al.* 2011, una relación inversa entre la concentración de sal y la distribución de larvas en una zona, lo que puede conllevar un aumento en la competencia entre las larvas de túnidos, dado que las tres especies toleran aproximadamente los mismos valores de salinidad, entre 36 y 38 (Balbín *et al.* 2014).

Por otro lado, el mar Mediterráneo posee unas temperaturas que se encuentran dentro del rango de tolerancia de las larvas de atún rojo, *T. alalunga* y *A. rochei*, por lo que éstas se distribuirán por todo el mar Mediterráneo de manera homogénea, sin que ninguna zona se vea favorecida con respecto a otra zona, de modo que se trata de un factor a tener menos en cuenta en cuanto la observación por la competencia entre especies (Torres *et al.* 2011). En una misma zona del mar Mediterráneo se pueden llegar a encontrar hasta 54 taxones de larvas diferentes donde las especies dominantes son las siguientes cuatro clases de túnidos: el atún rojo, *T. alalunga*, *A. rochei* y *Sarda sarda*. En relación con lo comentado, el atún rojo presenta el periodo de desove entre mayo y agosto, un mes antes que sus competidoras, que lo presentan entre junio y agosto. Esto supone que una vez eclosionan los huevos de *T. alalunga* y *A. rochei*, las larvas de atún rojo ya han crecido lo suficiente como para desarrollar la dieta piscívora y proporcionar a las larvas de atún rojo una ventaja frente al resto de sus competidores (*T. alalunga*, *A. rochei*). Esto es compensado con que tanto *T. alalunga* como *A. rochei* presentan un periodo de desove más largo que el atún rojo y por lo tanto, el tamaño poblacional de estas dos especies sea mayor (Alemany *et al.* 2006).

## Fase Post-Larvaria

### Juveniles

El paso de larva a juvenil de atún rojo favorece la disminución de competencia que puede sufrir esta especie dado que a medida que se desarrolla el atún rojo confecciona sus importantes características de depredador entre las que destacan su tamaño y su velocidad (Sorell 2017).

En esta etapa de desarrollo, el juvenil de atún rojo compite principalmente con otra especie de tipo comercial como es *Sarda sarda*, también en fase juvenil (Bigelow y Schroeder, 1953), por presas pelágicas de pequeño tamaño en el Mediterráneo como son: *Trachurus trachurus* y *Sardina pilchardus* (Demir 1963), que se localizan en los afloramientos costeros (Marina *et al.* 2015).

La concentración de estas especies en puntos concretos del mar Mediterráneo, hace que los juveniles de atún rojo y *S. sarda* presenten una estrategia alimentaria similar, haciendo que ambas especies exhiban un comportamiento generalista heterogéneo, por lo que se tratan de especies oportunistas que adaptan inmediatamente su dieta a los recursos disponibles. Uno de los recursos adquiridos por parte de los juveniles de atún rojo, para hacer frente a la competencia por los recursos, es modificar la estrategia de alimentación, como se ha observado en estudios como el Salman y Karakulak (2009) o el de Battaglia et al. (2012), en el que se compara el estado de digestión de las presas con el ritmo de alimentación (horario alimenticio) del juvenil de atún rojo. El estudio demuestra que al capturar a los ejemplares de juveniles de atún rojo en horario diurno y llevar a cabo el análisis de los contenidos estomacales para observar las especies que había podido ingerir, éstas se encontraban en estado de digestión intermedio, lo que sugiere que la dieta del juvenil de atún rojo es nocturna debido a que la digestión no se había completado. Por el contrario, en estudios dedicados al ritmo de alimentación de *S. sarda* como es el de Fletcher et al. (2013), en el que la captura de los individuos de esta especie se daba en horario diurno. Los contenidos estomacales analizados mostraron que las presas se encontraban totalmente digeridas, lo que reafirma que la estrategia de alimentación de esta especie es diurna.

#### *Adultos*

Una vez alcanzada la época reproductora y después del transcurso de juveniles a adultos, éstos comenzarán de nuevo una larga migración de vuelta a las aguas del Atlántico. Sin embargo, utilizan las aguas del sector mediterráneo del estrecho de Gibraltar como zona de alimentación (Chase 2002). La fase adulta del atún rojo es la que presenta menos competencia, debido en su mayoría a que presenta una dieta completamente generalista de modo que pueda alimentarse de prácticamente cualquier presa del mar Mediterráneo (Sorell 2017) ya sea de pequeño o gran tamaño; característica que confiere una gran ventaja frente a posibles competidores del Mediterráneo (Costa 2009). El motivo por el que el atún rojo presenta una menor competencia con otras especies de túnidos, como *T. alalunga* o *A. rochei*, se debe a que *T. thynnus* posee un nicho trófico más amplio (Medina et al. 2015)

No obstante, los peces mesopelágicos y batipelágicos de los cuales se alimenta el atún rojo, no sólo representa un importante recurso trófico para esta especie, sino también para otras especies de peces teleósteos y cetáceos como los delfines (Battaglia et al. 2012) ya que se ha comprobado en algunos estudios como el de Castriota et al. (2007) que los mictófidios, una de las presas preferentes del atún rojo, son también una de las

presas preferidas del dorado (*Coryphaena hippurus*). También se observó en el estudio Consoli *et al.* (2008) que el género *Paralepis* es frecuente tanto en la dieta de *T. alalunga* como en la de *T. thynnus*. Sin embargo, los atunes rojos sufren poca competencia en este estadio de desarrollo puesto que su estancia en el mar Mediterráneo es muy corta debido a que realizan otra gran migración hacia el Atlántico precisamente para poder nutrirse y volver en la siguiente época de desove (Olivar *et al.* 2012).

## Estado de las pesquerías

### Evaluación del stock

La organización más importante encargada de la gestión del atún rojo es la International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). Esta organización tiene por cometido la conservación de los túnidos y especies afines en todo el océano Atlántico y sus mares adyacentes en el ámbito internacional. La ICCAT surge del convenio, firmado por la Unión Europea (UE) en 1969, y ofrece un marco para la gestión de unas 30 especies de túnidos aproximadamente. La UE lo suscribió en 1997. Los países que conforman la ICCAT deben proporcionar de manera anual, las estadísticas de captura y el esfuerzo pesquero correspondientes a sus pesquerías de túnidos, para integrarlos con los resultados de las investigaciones biológicas y ecológicas llevadas a cabo por parte de diferentes organismos científicos.

El esfuerzo pesquero determina la intensidad con la que es ejercida la actividad pesquera y depende de las dimensiones del buque, su potencia, cuantas personas componen la tripulación o cuanto tiempo de actividad pesquera se lleva a cabo. Desde sus inicios, la ICCAT ha procurado determinar el estado del stock del atún rojo, aunque no fue hasta finales de la década de los 70 cuando se empezaron a introducir evaluaciones exhaustivas del stock mediante el análisis de cohortes y el análisis de población virtual (VPA). La VPA sirve para reconstruir números históricos de poblaciones de individuos con información de mortalidad de ejemplares por año, en los que la mortalidad puede ser a causa de la pesca o la muerte natural. Gracias a estos análisis, se conocieron las tasas de captura, las capturas por edad y mortalidad natural para toda una cohorte, lo que ayudó enormemente a diseñar un plan de recuperación para el atún rojo. En la actualidad, en las evaluaciones de stock mediante VPA se separa el Atlántico Occidental del Atlántico oriental más el Mediterráneo.

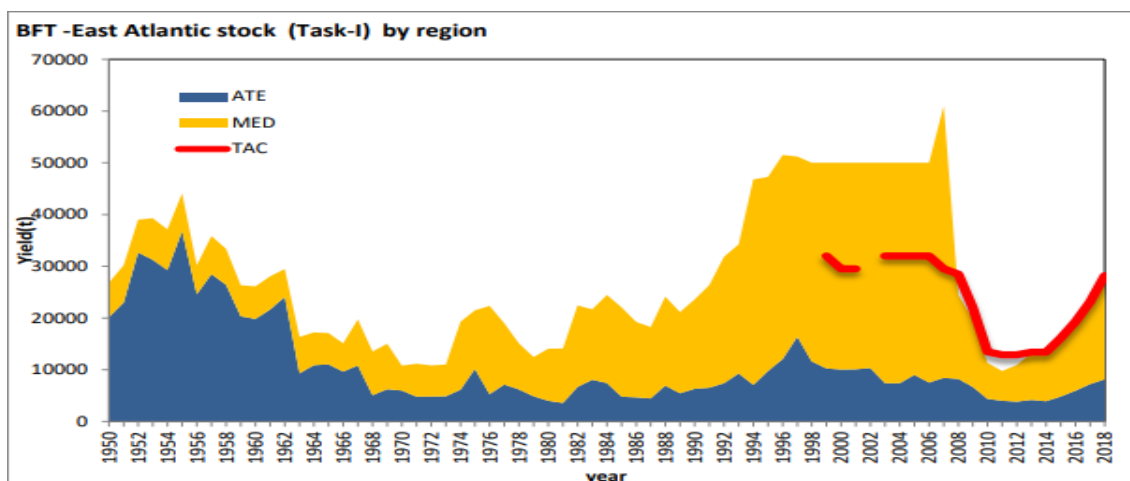
En los últimos años, ha mejorado la cantidad y calidad de los datos del stock, aunque todavía existen deficiencias en la cobertura espacial y temporal para las estadísticas de talla y captura-esfuerzo. Tal y como se indica en una de las últimas evaluaciones de la

VPA, en 2017, la biomasa del stock reproductor alcanzó su pico máximo durante en la década de los 70'. A partir de ese momento, descendió hasta 1991 y se mantuvo estable hasta el 2000. Desde entonces y hasta hoy día, ha aumentado sustancialmente (**Fig. 4**). Por otro lado, el reclutamiento es el proceso según el cual los especímenes maduros sexualmente, entran en las zonas explotadas de pesca, con la posibilidad de ser capturados. El reclutamiento de los atunes más jóvenes (edad 1), fue de entre 0,8 y 1,8 millones de individuos hasta mediados de los ochenta. A partir de mediados de los 80', los atunes de edad temprana presentaron un reclutamiento activo llegando al "periodo de reclutamiento alto", es decir, entre 3 y 4,5 millones de atunes entre mediados de la década de los noventa y mediados de la primera década de los 2000. Por ello, la ICCAT tuvo que incluir en su programa de recuperación del atún rojo normativas por las cuales se redujera el reclutamiento de los ejemplares más jóvenes impidiendo un aumento de la población adulta de atún rojo, y disminuyendo así la población por lo que el reclutamiento descendió abruptamente entre el 2008 y el 2010. Hasta el día de hoy, el número de reclutas de *T. thynnus* de edad temprana ha ido fluctuando hasta mantenerse en números estables en torno a 1 millón de individuos.

Otra de las evaluaciones fue la tasa de mortalidad, donde se observó que para los especímenes de entre 2 y 5 años hubo un aumento continuo hasta finales de la década de los 90' y un descenso brusco en la primera década de los 2000. Esto es debido a la drástica reducción en capturas de ejemplares de entre 2 y 3 años, promovida por la recomendación de la ICCAT acerca de las tallas mínimas, que propone que las capturas sean a partir de los 96-111 cm.

Gracias a los datos del stock del atún rojo publicados anualmente, la ICCAT elabora el plan de recuperación correspondiente con el fin de que la población del atún rojo se mantenga estable con el paso de los años y permita una pesca segura y sostenible.





**Fig. 4:** Captura declarada para el Atlántico este y Mediterráneo separada por principales áreas geográficas junto con la captura no declarada estimada por el SCRS (TAC).  
Fuente: Informe SCRS 2019.

#### Gestión del stock

Debido a la drástica bajada del stock de atún rojo, en la década de los 90' esta especie estuvo a punto de formar parte de la lista de especies de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES). Ante esta situación, la ICCAT desarrolló un mecanismo regulador en el que se exigía la documentación del comercio de *T. thynnus* con el fin de reducir la cantidad de capturas no declaradas y creó un mecanismo para estimar las capturas no declaradas (ICCAT 2003a).

La ICCAT adoptó un programa de reconstrucción para el Atlántico Occidental en 1998 con el objetivo de alcanzar el rendimiento máximo sostenible (RMS). En 2021 la población del atún rojo se encuentra en el rendimiento máximo sostenible.

En 2006, la ICCAT impuso el establecimiento de un Plan de Recuperación Plurianual para el Atún rojo en el Atlántico Oriental y el Mediterráneo con el propósito de establecer a nivel internacional un grupo de medidas de ordenación de la pesca de atún rojo con el fin de mantener la población de *T. thynnus* dentro de unos niveles óptimos que permitieran la captura máxima sostenible. Este convenio se ha llevado a cabo durante 11 años hasta que en el 2018 se confirmó su éxito al recobrar las existencias de la pesquería 5 años antes de lo previsto.

La campaña más reciente es la del 2019-2020. Ésta se encuentra dividida en siete bloques importantes:

1. *TAC, cuotas y condiciones a las CPC (Entidades contratantes y Entidades pesqueras no contratantes colaboradoras) cuyos barcos pescan o transfieren cantidades de atún rojo a jaulas para su cría*
2. *Capacidad de pesca*
3. *Capacidad de cría*
4. *Talla mínima*

Las medidas de estos cuatro primeros apartados tienen como objetivo evaluar el estado del stock, gestionar y controlar la actividad pesquera y asignar cuotas entre las partes contratantes en años posteriores. Estos bloques establecen cuotas individuales para cada uno de los buques, que trabajan tanto en el Atlántico Este como en el Mediterráneo en forma de TAC, en los que están prohibidos los traspasos entre los buques y menos cuando se trata de ejemplares de atún rojo vivos, con la finalidad de reforzar el sistema de control. También es demanda de la ICCAT que, al inicio de cada temporada, las CPC de granja realicen una evaluación detallada de cualquier traspaso de atún rojo vivo después de efectuar los sacrificios masivos en las granjas. En este programa la ICCAT contempla el sobrepaso de la asignación de la cuota total, cuando ocurra esto, se procede a la devolución de la cuota en el año posteriori. Entre todos los buques que practican la pesca del atún rojo, las TAC permitidas para los años 2019 y 2020 son 32240 t y 36000 t respectivamente. Como se observa, debido al aumento en la población del atún rojo, se permite la mayor pesca de individuos de esta especie en 2020 respecto al año 2019. Sin embargo, como cada año se realizan evaluaciones del stock mediante los VPA, la cuantía de TAC puede verse disminuida en función de los resultados observados modificando así el plan de recuperación anual. En la campaña actual, todavía no están permitidas las operaciones de fletamento para la pesquería de atún rojo. Las operaciones de fletamento se configuran como una tipología de contrato de uso del buque por el cual un naviero (fletante) cede a otra persona (fletador) el uso de todo o parte de un buque para sus diversos usos. Por último, cada CPC redactará un plan de pesca anual para los buques de captura y las almadrabas que pescan atún rojo en el Atlántico Este y Mediterráneo consiguiendo de esta manera un mejor control en la gestión de la población del atún rojo. Con esto, se consigue que cada una de las CPC se ajuste a su capacidad de pesca con el fin de asegurar que es acorde con su cuota asignada.

Los buenos resultados mostrados en las campañas anteriores permiten una variación máxima del 20% en la capacidad de pesca para los cerqueros con respecto al año 2018, aunque el logro principal de la campaña 2019-2020, en lo que se refiere a capacidad de pesca, es que las CPC permitan la plena explotación de sus oportunidades de pesca a un número determinado de sus almadrabas. En cuanto a los juveniles de atún rojo, la ICCAT también establece una normativa específica dirigida a las CPC de granja con el objetivo de mantener el rendimiento máximo sostenible en las que restringe la capacidad de cría de atún rojo a la capacidad de cría total de las granjas incluidas en el registro de ICCAT con un máximo de hasta 1800 t por CPC de granja. También se posibilita una entrada máxima anual de atún rojo capturado en estado salvaje al nivel de las cantidades de entrada registradas en ICCAT en el periodo de 2005-2008. De esta manera, imponiendo un límite en la talla mínima del atún rojo se impide la captura de individuos juveniles y se restringe la pesca a individuos adultos de mayor tamaño en los que hayan superado la fase de reproducción siendo la talla mínima permitida de 30 kg o 115 cm de longitud a la horquilla. A pesar de ello, se autoriza un máximo del 5% en capturas accidentales de atún rojo con un peso que oscile entre 8 y 30 kg o 75-115 cm de longitud a la horquilla.

#### *5. Duración temporada de pesca*

Esta medida tiene por objeto limitar la temporada de pesca de forma que no interfiera en los meses de reproducción del atún rojo que es llevada a cabo entre los meses de julio y agosto. Por un lado, se permite la pesca en el Atlántico Este y el Mediterráneo por parte de los grandes palangreros pelágicos durante el periodo del 1 de enero al 31 de mayo. Por otro lado, se permite la pesca con cerco del atún rojo en el Atlántico Este y en el Mediterráneo durante el periodo del 26 de mayo al 1 de julio. Un factor que influye en la duración de la temporada de pesca son las condiciones meteorológicas, ya que si éstas no permiten la pesca durante el periodo de captura establecido, la duración de la temporada puede ampliarse hasta un máximo de 10 días.

#### *6. Capturas fortuitas*

En un entorno de intereses económicos elevados, es difícil evitar completamente la notificación errónea o el fraude, especialmente cuando las acciones son compartidas por muchas entidades que tienen intereses divergentes (Hilborn et al. 2004). Por ello, se han asignado cuotas específicas en estos dos últimos bloques puesto que todas las

CPC asignarán, en sus evaluaciones, una cuota específica destinada a la captura fortuita del atún rojo que se presentará formalmente a la ICCAT. De la misma manera, cada buque que no pesca activamente atún rojo y que se haga con cualquier ejemplar, será separado de otras especies de peces para permitir a las autoridades de control hacer un seguimiento del stock

### 7. Pesquerías deportivas y de recreo

En cuanto a la pesca deportiva y de recreo se permite la pesca siempre y cuando al final del evento se libere el ejemplar al mar de nuevo siempre y cuando las CPC lo autoricen. Si una captura debido a la pesquería deportiva y de recreo implica la muerte del ejemplar del atún rojo, se descontará de la cuota asignada a la CPC.

Las medidas aplicadas han permitido la recuperación de la población de atún rojo, lo cual puede suponer que en un área reducida como el Mediterráneo, provoque un impacto significativo en la comunidad de presas y llegar a causar modificaciones en las relaciones tróficas (Butler *et al.* 2010), ocasionando que se den cambios en las relaciones interespecíficas entre especies alterando la cadena trófica.

### Otros organismos de gestión

En el ámbito nacional, los organismos encargados de la gestión del atún rojo son el propio gobierno mediante el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación junto con organismos públicos de investigación como el Instituto Español de Oceanografía (IEO) que presenta un apartado específico dedicado al atún rojo.

En cuanto a las Islas Baleares, son el propio IEO Balear junto con la Federación Balear de Cofradías los organismos que se encargan de gestionar el stock y la conservación de esta especie de túnido.

## CONCLUSIÓN

Con respecto al primer objetivo del trabajo, las interacciones interespecíficas entre las especies comerciales, como *T. alalunga* y *A. rochei* con el atún rojo, son más abundantes a nivel larvario ya que prácticamente desovan en la misma zona del mar Mediterráneo y el nicho trófico es más pequeño, lo que implica una mayor competición por los recursos por parte de las tres especies. Esta competencia es demostrada en los estudios mencionados en los capítulos anteriores, con las relaciones intraespecíficas observadas, en las que las larvas de atún rojo recurren al canibalismo para promover la supervivencia de la especie.

Las interacciones con estas especies son menores durante la fase juvenil y adulta, puesto que la estrategia de alimentación por parte del atún rojo se vuelve oportunista y el nicho trófico es mayor, lo que conlleva a su vez a una menor competencia por los recursos con las especies de interés comercial comentadas, además de poder adaptarse a ritmos de alimentación distintos. Por ello, se concluye con que la fase donde el atún rojo presenta mayor competencia por la alimentación es en la fase larvaria, donde competirá con otras especies que desovan en la misma zona del mar Mediterráneo como *T. alalunga* o *A. rochei*, y que antoja clave en la supervivencia del atún rojo y su posterior formación a adulto.

El aumento de la población del atún rojo ha sido posible gracias a los numerosos planes de recuperación que se han llevado a cabo en gran medida gracias a la ICCAT, aunque también de manera secundaria, han ayudado los diferentes proyectos a nivel nacional y autonómico. Esta recuperación se ha podido observar en numerosos estudios y análisis de stock por parte de la misma ICCAT. Este acontecimiento ha provocado una mayor interacción entre especies de interés comercial, entre las que destacan *T. alalunga* y *A. rochei*.

## BIBLIOGRAFÍA

- Addis, P., Cau, A., Davini, M.A., Secci, E. and Scibaldi, G. (1997) Collection of tuna data catches by trap-nets in Sardinia: historical (1825–1980) and recent catches (1992–1995). *Collective Volume of Scientific Papers ICCAT 46*, 132–139.
- Alemany, F., Deudero, S., Morales-Nin, B. et al. (2006) Influence of physical environmental factors on the composition and horizontal distribution of summer larval fish assemblages off Mallorca Island (Balearic archipelago, western Mediterranean). *J. Plankton Res.*, 28, 473–487.
- Alemany, F., Quintanilla, L., Velez-Belchí, P., García, A., Cortés, A., Rodríguez, J. M., Fernández de Puellas, M.L., González-Pola, C. y LópezJurado, J.L. (2010). Characterization of the spawning habitat of Atlantic bluefin tuna and related species in the Balearic Sea (western Mediterranean). *Progress in Oceanography* 86, 21–38.
- Balbín, R., López-Jurado, J. L., Flexas, M. M., Reglero, P., Vélez-Velchí, P., GonzálezPola, C., ... & Alemany, F. (2014). Interannual variability of the early summer circulation around the Balearic Islands: driving factors and potential effects on the marine ecosystem. *Journal of Marine Systems*, 138, 70-81.
- Block BA, Stevens ED, Teo SLH, Walli A and others (2005) Electronic tagging and population structure of Atlantic Bluefin tuna. *Nature* 434:1121-1127.
- Battaglia, P., Andaloro, F., Consoli, P., Esposito, V., Malara, D., Musolino, S., Pedà, C. y Romeo, T. (2012). Feeding habits of the Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (L. 1758), in the central Mediterranean Sea (Strait of Messina). *Helgoland Marine Research* 67, 97–107.
- Bigelow, H.B. y Schroeder, W.C. (1953). *Fishes of the Gulf of Maine*. *Fish Bull* 53:1-577.
- Block, B. A., H. Dewar, S. B. Blackwell, T. D. Williams, E. D. Prince, C. J. Farwell, A. Boustany et al. 2001. Migratory Movements, Depth Preferences, and Thermal Biology of Atlantic Bluefin Tuna. *Science* 293: 1310-1314.
- Block, B. A., S. L. H. Teo, A. Walli, A. Boustany, M. J. Stokesbury, C. J. Farwell, K. C. Weng et al. 2005. Electronic tagging and population structure of Atlantic bluefin tuna. *Nature* 434:1121-1127.
- Bregazzi, R.M. (2004) *Tuna Ranching Intelligent Unit – September 2004*. *Advanced Tuna Ranching Technologies (ATRT)*, Madrid, 49 pp.

- Brill, R. W., & Lutcavage, M. E. (2001). Understanding environmental influences on movements and depth distributions of tunas and billfishes can significantly improve population assessments. In *American Fisheries Society Symposium* (pp. 179-198). American Fisheries Society.
- Butler, C.M., Rudershausen, P.J. y Buckel, J.A. (2010). Feeding ecology of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in North Carolina: diet, daily ration, and consumption of Atlantic menhaden (*Brevoortia tyrannus*). *Fishery Bulletin* 108, 56–69.
- Castriota, L., Pipitone, C., Campagnuolo, S., Romanelli, M., Potoschi, A. y Andalaro, F. (2007). Diet of *Coryphaena hippurus* (Coryphaenidae) associated with FADs in the Ionian and Southern Tyrrhenian Seas. *Cybiurn* 31, 435–441.
- Catalán, I. A., Tejedor, A., Alemany, F., & Reglero, P. (2011). Trophic ecology of Atlantic bluefin tuna *Thunnus thynnus* larvae. *Journal of fish biology*, 78(5), 1545-1560.
- Cetti, F. 1777, *Storia naturale della Sardegna*. Sassari., Piattoli.
- Chase, B. C. 2002. Differences in diet of Atlantic tuna (*Thunnus thynnus*) at five seasonal feeding grounds of the New England continental shelf. *Fishery Bulletin* 100: 168-180.
- Consoli, P., Romeo, T., Battaglia, P., Castriota, L., Esposito, V. y Andalaro, F. (2008). Feeding habits of the albacore tuna *Thunnus alalunga* (Perciformes, Scombridae) from central Mediterranean Sea. *Marine Biology* 155, 113–120.
- Costa, G.C. (2009). Predator size, prey size, and dietary niche breadth relationships in marine predators. *Ecology* 90, 2014–2019.
- Cowan, J. H., Rose, K. A., Rutherford, E. S. et al. (1993) individualbased model of young-of-the-year striped bass populationdynamics.2. Factors affecting recruitment in the Potomac River, Maryland. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 122, 439–458.
- Demir, M. (1963). Synopsis of biological data on bonito, *Sarda sarda* (Bloch). *FAO Fisheries Report* 6, 101-129
- Desse, J. and Desse-Berset, N. (1994) Stratégies de pêche au 8ème millénaire: les poissons de Cap Andreas Kastros (Chypre). In: *Fouilles récentes à Khirokitia* (eds A. Le Brun). Editions Recherche sur Civilisations, Paris, pp. 335– 360.
- Doumenge, F. (2000) *La pêche en Méditerranée*. Centre d'Etudes et de Rencontres Méditerranéennes (CERM), Palavas-Les-Flots (France), 42 pp.

- Eggleston, D.B. and Bochenek, E.A. (1990) Stomach contents and parasite infestation of school bluefin tuna *Thunnus thynnus* collected from the Middle Atlantic Bight, Virginia. *Fishery Bulletin* 88, 389– 395.
- Ferrer-Palou, L., Medina, A., Goñi, N., Arrizabalaga, H. y Varela, J.L. (2015). Biología trófica del atún rojo (*Thunnus thynnus*) de edad 0+ en el sur del Mar Tirreno. VII Foro Iberoamericano de los recursos marinos y la acuicultura, 237-548.
- Fletcher, N., Batjakas, I.E. y Pierce, G.J. (2013). Diet of the Atlantic bonito *Sarda sarda* (Bloch, 1793) in the Northeast Aegean Sea. *Journal of Applied Ichthyology* 29, 1030–1035.
- Fromentin, J. M., & Powers, J. E. (2005). Atlantic bluefin tuna: population dynamics, ecology, fisheries and management. *Fish and fisheries*, 6(4), 281-306.
- Galen, G. (2000). Galen on Food and Diet.
- ICCAT (2003a) Basic Texts, 3rd revision. International Commission for the Conservation of Atlantic Tuna (ICCAT), Madrid, 113 pp.
- ICCAT (2005) Report of the 2004 Data Exploratory Meeting for the East Atlantic and Mediterranean Bluefin Tuna. Collective Volume of Scientific Papers ICCAT 58, 662– 699.
- Kendall, A. W. Jr, Ahlstrom, E. H. and Moser, H. G. (1984) Early life history stages of fishes and their characters. In Moser, H. G., Richards, W. J., Cohen, D. M. et al. (eds), *Ontogeny and Systematics of Fishes*. Am. Soc. Ichthyol. Herpetol. Special Publication Number 1, La Jolla, California, pp. 11–22.
- Lindo-Atichati, D., Bringas, F., Goni, G., Muhling, B., Muller-Karger, F. E., & Habtes, S. (2012). Varying mesoscale structures influence larval fish distribution in the northern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 463, 245-257.
- Logan, J.M., Rodríguez-Marín, E., Goñi, N., Barreiro, S., Arrizabalaga, H., Golet, W.J. y Lutcavage, M.E. (2011). Diet of young Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in eastern and western Atlantic foraging grounds. *Marine Biology* 158, 73–85.
- Marina, P., Rodríguez, J.M., Laiz-Carrión, R. y García, A. (2015). Spatial and temporal distribution of the larval fish assemblage of the bay of Málaga (Western Mediterranean). Resúmenes sobre el VIII Simposio MAI15, Málaga.



- Masuda, R., Shoji, J., Oayama, M. et al. (2002) Chub mackerel larvae fed fish larvae can swim faster than those fed rotifers and *Artemia* nauplii. *Fish. Sci.*, 68, 320–324.
- Mather, F. J., Mason, J. M., & Jones, A. C. (1995). Historical document: life history and fisheries of Atlantic bluefin tuna.
- Medina, A., Abascal, F.J., Megina, C. and García, A. (2002) Stereological assessment of the reproductive status of female Atlantic northern bluefin tuna during migration to Mediterranean spawning grounds through the Strait of Gibraltar. *Journal of Fish Biology* 60, 203– 217.
- Medina, A, Goñi, N., Arrizabalaga, H. y Varela, J.L. (2015). Feeding patterns of age-0 bluefin tuna in the western Mediterranean inferred from stomach-content and isotope analyses. *Marine Ecology Progress Series* 527, 193–204
- Morote, E., Olivar, M. P., Pankhurst, P. M., Villate, F. & Uriarte, M. (2008). Trophic ecology of bullet tuna *Auxis rochei* larvae and ontogeny of feeding-related organs. *Marine Ecology Progress Series* 353, 243– 254.
- Olivar, M.P., Bernal, A., Molí, B., Peña, M., Balbín, R., Castellón, A., Miquel, J. y Massutí, E. (2012). Vertical distribution, diversity and assemblages of mesopelagic fishes in the western Mediterranean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 62, 53–69.
- Ortega García, A. (2016). Cultivo Integral de dos especies de escómbridos: Atún rojo del Atlántico (*Thunnus thynnus*, L. 1758) y Bonito Atlántico (*Sarda sarda*, Bloch 1793). *Proyecto de investigación*.
- Porch, C.E. (2005) The sustainability of Western Atlantic bluefin tuna: a warm blooded fish in a hot blooded fishery. *Bulletin of Marine Science* 76, 363– 384.
- Pusineri, C., Ravier, C. and Fromentin, J.-M. (2002) Retrospective analysis of the bluefin tuna Nordic fisheries data. *Collective Volume of Scientific Papers ICCAT* 54, 517– 526.
- Ravier, C. and Fromentin, J.-M. (2001) Long-term fluctuations in the Eastern Atlantic and Mediterranean bluefin tuna population. *ICES Journal of Marine Science* 58, 1299– 1317.
- Reglero, P., Blanco, E., Alemany, F., Ferrá, C., Alvarez-Berastegui, D., Ortega, A., ... & Folkvord, A. (2018). Vertical distribution of Atlantic bluefin tuna *Thunnus thynnus* and bonito *Sarda sarda* larvae is related to temperature preference. *Marine Ecology Progress Series*, 594, 231-243.

- Salman, A. y Karakulak, F.S. (2009). Cephalopods in the diet of albacore, *Thunnus alalunga*, from the eastern Mediterranean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89, 635–640.
- Sanz Brau, A. (1990). Sur la nourriture des jeunes thons rouges *Thunnus thynnus* (L. 1758) des côtes du Golfe de Valence. *Rapports Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée* 32, 274.
- Schaefer, K. M. (2001). Reproductive biology of tunas. *Fish physiology*, 19, 225-270.
- 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. *Journal of Applied Ichthyology* 20, 310–313.
- Sorell, J. M. (2017). Patrones de alimentación y reconstrucción de la dieta de juveniles y adultos de atún rojo (*Thunnus thynnus*, L. 1758) en el Mediterráneo occidental: análisis de contenidos estomacales e isótopos estables.
- Stergiou, K.I. y Karpouzi, V.S. (2002). Feeding habits and trophic levels of Mediterranean fish. *Reviews in fish biology and fisheries* 11, 217–254.
- Torres, A. P., Reglero, P., Balbin, R., Urtizbera, A., & Alemany, F. (2011). Coexistence of larvae of tuna species and other fish in the surface mixed layer in the NW Mediterranean. *Journal of plankton research*, 33(12), 1793-1812.
- Uriarte, A., Johnstone, C., Laiz-Carrión, R., García, A., Llopiz, J. K., Shiroza, A., ... & Alemany, F. (2019). Evidence of density-dependent cannibalism in the diet of wild Atlantic bluefin tuna larvae (*Thunnus thynnus*) of the Balearic Sea (NW-Mediterranean). *Fisheries Research*, 212, 63-71.
- Young, J. W. and Davis, T. L. O. (1990) Feeding ecology of larvae of southern bluefin, albacore and skipjack tunas (Pisces, Scombridae) in the Eastern Indian-Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 61, 17–29.