

INFORME DE LA REUNIÓN SOBRE EL EXAMEN DE LOS PARÁMETROS BIOLÓGICOS DEL ATÚN ROJO DE 2013

(Tenerife, España, 7 a 13 de mayo de 2013)

1 Apertura, adopción del orden del día y disposiciones para la reunión

La reunión se celebró en el Centro Oceanográfico de Canarias, del Instituto Español de Oceanografía (IEO), del 7 al 13 de marzo. El Dr. Josu Santiago (Presidente del SCRS), inauguró la reunión y dio la bienvenida a los participantes.

Los Drs. Clay Porch (Estados Unidos) y Jean-Marc Fromentin (UE-Francia), relatores de los stocks del oeste y del este respectivamente, copresidieron la reunión. Los Drs. Porch y Fromentin dieron la bienvenida a los participantes en la reunión (el Grupo) y procedieron a revisar el orden del día que fue adoptado sin cambios (Apéndice 1).

La lista de participantes se adjunta como Apéndice 2 y la lista de documentos presentados a la reunión se adjunta como Apéndice 3.

Los siguientes participantes actuaron como relatores de las diversas secciones del informe:

<i>Sección</i>	<i>Relatores</i>
Puntos 1, 7	P. Pallarés
2.1	J.M. Ortiz de Urbina, P Pallarés
2.2	A. Fonteneau
3.1	J. Walters, A. Kimoto
3.2	E. Rodríguez-Marín, J. Neilson
3.3	G. Díaz, M. Lutcavage
3.4	A. Fonteneau
3.5	D. Secor
5	C. Porch, J.M. Fromentin
6	JM Fromentin, L. Kell

2 Examen de los datos biológicos utilizados en la evaluación de atún rojo del Atlántico

2.1 Examen de los datos de Tarea II recuperados por el GBYP desde 2010 a 2012: análisis y controles de calidad

El Programa de investigación sobre atún rojo para todo el Atlántico (GBYP), entre varios objetivos, tiene la tarea de identificar y recuperar cualquier posible fuente de datos que no esté ya incluida en el catálogo de datos de atún rojo de ICCAT. Durante las tres primeras fases del GBYP se recuperó una cantidad considerable de conjuntos de datos recientes e históricos relacionados con la mayoría de los artes y con diversos caladeros. En el documento SCRS/2013/073 se presenta una visión general de los diversos conjuntos de datos recuperados. Desde 2011, el SCRS ha sido regularmente informado de las actividades llevadas a cabo en el marco del GBYP, incluida la recuperación de datos (**Tabla 1**).

Las **Tablas 2-5** muestran el catálogo actualizado de datos de atún rojo existente en las bases de datos de ICCAT y el catálogo de los datos recuperados en el marco del GBYP para el atún rojo del Atlántico este y Mediterráneo con una indicación del tipo de datos recuperado por pabellón, arte y año.

Validación de los datos

Se logró un buen control de calidad para incorporar los datos en la base de datos de ICCAT haciendo una verificación cruzada individual de todos los datos, al principio con los conjuntos de datos existentes en la base de datos de atún rojo de ICCAT para probar cualquier posible duplicación y detectar datos atípicos.

La Secretaría presentó un resumen detallado de todos los datos recuperados, así como una comparación-validación de los datos de talla recuperados en el marco del programa GBYP. En el documento SCRS/2012/116 se presentan los resultados detallados. De forma resumida, el enfoque para la validación era comparar los datos

de talla de ICCAT y los datos de talla del GBYP incluyendo un factor *Fuente del conjunto de datos* (ICCAT, GBYP) en un modelo GLM que predecía la talla media de las muestras de frecuencias de talla. El modelo GLM incluía también los factores año, temporada, arte y pabellón. La idea detrás de este método era que la talla media es principalmente determinada por el arte, la temporada y el pabellón, y la fuente de los datos tiene un efecto insignificante. Los resultados del GLM se muestran en las Tablas 4 y 5 del SCRS/2012/116. Aunque el factor *Fuente de los datos* era estadísticamente significativa debido principalmente al gran número de observaciones, los gráficos de influencia mostraban que este factor tenía una influencia mínima o inexistente en el modelo predicho en comparación con otros factores como *temporada* y *año*.

Otros análisis y posibles problemas

Con el fin de analizar las nuevas series de datos proporcionadas por el GBYP de forma más exhaustiva, se identificaron tres componentes principales: i) los datos de talla de las granjas facilitados por las CPC, el Programa regional de observadores de atún rojo de ICCAT, ii) los datos de talla de Tarea II y iii) los datos de captura y esfuerzo de Tarea II.

Datos de talla de las granjas

En el marco del GBYP se recuperaron los datos de talla de granjas italianas y de Malta para el periodo 2003-2007. Estos datos se analizaron junto con datos de talla de otras granjas procedentes de diferentes fuentes (véase el punto 2.2).

Datos de talla de Tarea II

La **Tabla 3** muestra los datos de talla recuperados en el marco del GBYP. Los datos recuperados han sido validados por la Secretaría.

Datos de captura y esfuerzo de Tarea II

La **Tabla 3** muestra los datos de captura y esfuerzo recuperados en el marco del GBYP. La **Tabla 6** muestra información más detallada sobre los datos de Tarea II recuperados en el marco del GBYP. Los principales problemas identificados fueron las discrepancias en las unidades de esfuerzo pesquero entre las series recuperadas y las existentes en la base de datos de ICCAT, el solapamiento entre las nuevas series proporcionadas por el GBYP y el solapamiento entre las nuevas series proporcionadas por el GBYP y las existentes en la base de datos de ICCAT.

Acciones y programa

Para los datos de talla de Tarea II, el Grupo consideró que los métodos utilizados para validar estos datos habían sido los adecuados y se llegó al acuerdo de incorporar estos datos en las bases de datos de ICCAT.

Respecto a la serie de captura y esfuerzo de Tarea II que cubría los huecos en la base de datos actual de ICCAT, una vez que haya pasado la comprobación de calidad, será incorporada a la base de datos de ICCAT.

En lo que concierne a la serie de captura y esfuerzo de Tarea II recopilada en el marco del GBYP que se solapa con ella (véase la **Tabla 5**), los científicos de las CPC implicadas trabajarán en colaboración con la Secretaría para solucionar el problema. Estas correcciones se presentarán a la próxima reunión del Grupo de especies de atún rojo para que las apruebe el SCRS.

En lo que concierne a las series de captura y esfuerzo de Tarea II que se solapan con las que se encuentran en la base de datos de ICCAT, los científicos de las CPC implicadas trabajarán en colaboración con la Secretaría para solucionar el problema. Estas correcciones se presentarán a la próxima reunión del Grupo de especies de atún rojo para que las apruebe el SCRS.

2.2 Perspectiva general de la otra información nueva sobre la biología del atún rojo recopilada por otros programas, lo que incluye datos de cría, comerciales y de subastas

Los datos recopilados por los observadores en las granjas desde 2003 no habían sido utilizados hasta ahora por el SCRS para establecer la captura por talla del atún rojo capturado por los cerqueros del Mediterráneo a causa de la dificultad de estimar los factores de conversión debido al crecimiento en granjas (ICCAT, 2007, 2009). Sin

embargo, cuando los cuadernos de pesca del cerco francés se han usado para estimar la CAS del cerco, estos resultados fueron claramente muy cuestionables, tal y como concluyó Fromentin, 2004: “La información facilitada por los cuadernos de pesca de la UE continúa siendo demasiado imprecisa y le falta validación para permitir el cálculos de una tabla de frecuencias de tallas”.

Por el contrario, parece que desde 2003 gran cantidad de atunes rojos han sido bien medidos por los observadores científicos y los técnicos nacionales en las granjas, lo que ofrece un buen potencial para estimar una CAS mucho más realista. Este trabajo puede llevarse a cabo independientemente de los cambios en los factores de condición de las granjas, trabajando únicamente en las mediciones de tallas de atún rojo muestreado en el momento del sacrificio en las granjas. Dos documentos (SCRS/2013/076 y SCRS/2013/083) analizaban estos datos de talla procedentes de las granjas.

Los números de muestras anuales de tallas que están disponibles ahora para estimar la captura por talla se presentan en la **Tabla 7** (la mayoría de las muestras de 2012 no están disponibles aún). Esta tabla muestra muy bien la importancia del muestreo de tallas realizado en las granjas durante los últimos diez años, con más de 140.000 atunes muestreados para obtener la talla en las granjas durante el periodo (medidos en longitud recta a la horquilla, longitud curva a la horquilla y longitud recta a la primera aleta dorsal). Teniendo en cuenta las capturas totales de atún rojo del cerco utilizadas en la última evaluación, una media del 16% de estas capturas del cerco han sido muestreadas en las granjas: un porcentaje bajo aunque significativo, inferior al 10% durante el periodo 2003-2006, y una tasa de cobertura muy alta, entre 10 y 40%, de la captura muestreada durante el periodo 2007-2012.

Se conoce bien el tiempo pasado en las jaulas de algunos peces, para los que puede estimarse la talla en el momento de la captura asumiendo que han seguido el patrón de crecimiento típico (por ejemplo, la curva de crecimiento de Cort de 1991) en las granjas. Esta hipótesis de trabajo es probablemente realista: cuando el crecimiento en peso parece ser muy rápido en las jaulas, el crecimiento en talla no debería ser muy diferente del crecimiento básico, al menos en la mayoría de las granjas en las que los atunes se mantienen durante menos de un año. Para muchos de estos peces, las fechas de pesca estén probablemente disponibles en las bases de datos y deberían recuperarse. Por el momento, las fechas de pesca siguen siendo desconocidas para una gran parte de los túnidos sacrificados, al menos en los archivos de los que se dispone hoy en día. Sin embargo, si las fechas de pesca no pueden identificarse, pueden estimarse fácilmente, simplemente asumiendo que estos atunes han sido capturados en la fecha media de pesca aproximada del 1 de junio. Este supuesto sería plenamente aceptable desde 2009, ya que la temporada de pesca del cerco fue limitada a un mes, entre el 15 de mayo y el 15 de junio. Esta fecha media sería más cuestionable antes de 2007 porque la temporada de pesca era mucho más larga (mediados de mayo a mediados de julio) y no era obligatorio consignar las capturas con su origen. En este caso, el periodo de captura medio debería estimarse sobre la base de fechas de pesca de otros atunes sacrificados en cada granja durante esa temporada de pesca.

Las tallas medias muestreadas en las granjas durante años recientes se muestran en la **Figura 1**.

La estimación de las tallas en el momento de la captura necesitaría cálculos detallados y complejos (como los previstos en el SCRS/2013/076). Para resolver la primera incógnita relativa a las tallas correspondientes de atún rojo en las fechas de pesca, se ha asumido que todos los atunes muestreados han sido mantenidos en jaulas durante un periodo medio de 5 meses en la granja (un periodo medio observado a menudo en las granjas, aparte de las granjas croatas que mantienen a su atún rojo pequeño durante periodos más largos).

La **Figura 2** muestra la comparación de las distribuciones medias de talla en el momento del sacrificio y de la captura estimadas de acuerdo con esta hipótesis y la captura por talla media del cerco asumida actualmente para el periodo 2003-2012. Esta Figura muestra que el perfil de estos dos vectores de captura por talla son muy diferentes: mientras que la estructura de tallas bimodales muestreadas cada año en las granjas parece ser bastante realista y típica de las tallas de atún rojo capturado en el Mediterráneo, la forma y el perfil de la CAS usada por el SCRS parece ser muy cuestionable para una media de CAS plurianual. Además, cabe señalar que el peso medio estimado a partir de las muestras de granjas en las fechas de pesca es de 123 kg, es decir, mucho mayor que los 63 kg obtenidos a partir de la CAS utilizada actualmente. Esto podría deberse al hecho de que las capturas del cerco francés no son representativas del cerco del Mediterráneo o a otros factores (por ejemplo, el método usado para estimar la CAS y/o a un sesgo en las tallas estimadas en los cuadernos de pesca franceses).

El Grupo de trabajo señaló también que la captura por talla histórica muestreada en el cerco por Arena durante los ochenta era muy similar a la CAS muestreada actualmente en las granjas (véase la **Figura 3**): muestra la

misma captura por talla bimodal, con una proporción igual de las dos modas cuando en años reciente las capturas de atún rojo grandes son bastante menores (al menos en el presente análisis preliminar).

Basándose en estos resultados, el Grupo de trabajo concluyó que las tallas del atún rojo muestreado en las granjas son potencialmente mucho más realistas que la CAS previamente estimada por el SCRS, incluso aunque los resultados actuales siguen siendo aún muy provisionales y son únicamente indicativos.

El Grupo de trabajo señaló también que estos resultados podrían estar en desacuerdo con las capturas totales anuales de estos atunes engordados que han sido declaradas por los países pesqueros (sin un conocimiento real del peso real de estas capturas). Se recomienda extrapolar las tallas de atún rojo muestreado en las granjas, tras la corrección de las fechas de pesca, de dos formas diferentes:

- (1) como antes de las capturas anuales estimadas y declaradas de cada país;
- (2) basándose también en los números totales de atún rojo que se han identificado en los certificados de ICCAT y en los datos comerciales (importaciones japonesas). Esta extrapolación de la talla muestreada en la granja a los números totales de ejemplares vendidos en los mercados internacionales (Japón y otros) debería permitir estimar cifras alternativas y potencialmente más realistas de las capturas anuales de atún rojo del Mediterráneo. Este trabajo debería realizarse en estrecha colaboración con el equipo de expertos que está trabajando en el análisis de los datos comerciales de atún rojo. Asimismo, para este trabajo se debería tener completo acceso al archivo de las importaciones japonesas de atún rojo (Datos comerciales y de mercado de atún rojo) que será plenamente validado por el ICCAT y el GBYP.

El Grupo de trabajo recomendó que el GBYP, antes de su próxima evaluación completa del stock de atún rojo, realice una validación, análisis y extrapolación completas de las muestras de granjas. Este trabajo es necesario para estimar las capturas totales y la captura por talla total de las pesquerías de cerco del Mediterráneo. Este trabajo se describe en el Apéndice 4. Se estimó que esta tarea requeriría un tiempo total de 3 meses por parte de un experto en pesquerías y bases de datos, que trabajará en estrecha colaboración con la Secretaría de ICCAT y con los científicos relacionados con el atún rojo.

Basándose en esta perspectiva global de la captura por talla actualmente utilizada por el SCRS y de la CAS alternativa basada en el muestreo en granjas, el Grupo llegó a las siguientes conclusiones:

- (1) La CAS del cerco estimada por el SCRS y utilizada en las últimas evaluaciones no es totalmente adecuada a causa de la falta de muestras de campo y el SCRS debería dejarla de lado.
- (2) Los datos de talla recogidos en las granjas desde 2003 (o 2005 ya que el muestreo de tallas en 2003 y 2004 era relativamente bajo y geográficamente limitado) ofrecen una buena forma de estimar una captura por talla realista del atún rojo capturado por el cerco en el Mediterráneo. Estos datos de tallas de las granjas ya muestran que la captura por talla utilizada por el SCRS refleja capturas de atún rojo de talla media, en un rango entre 70 y 110 cm (es decir, menos de 30 kg), que habrían sido sobreestimadas, y que las capturas de atún rojo grande, de más de dos metros (más de 150 kg), habrían sido muy subestimadas.
- (3) Los datos de talla recogidos por observadores durante el sacrificio en las granjas deberían procesarse y extrapolarse cuidadosamente para estimar una CAS más realista del atún rojo engordado. . La extrapolación debería realizarse a las estimaciones más realistas de las capturas totales anuales en número (véase el **Anexo 1**).
- (4) Este nuevo procesamiento de los datos permitiría, posiblemente, estimar nuevas series de capturas totales anuales que podrían ser diferentes de la Tarea I actual, y probablemente superiores en peso que las capturas actuales, debido al mayor peso medio de estas tallas medias.
- (5) No hay duda ya de que esta nueva CAS que se estimará para el periodo 2003-2013 será bastante incoherente con la CAS estimada actualmente para los primeros años. Esta incoherencia en las 2 CAS, antes y después de 2003, planteará probablemente varios problemas en la evaluación de stock, ya que ninguno de los modelos de evaluación de stock se adaptará al gran cambio en la tabla de CAS y CAA posterior a 2002. Este posible problema debería ser bien estudiado por el SCRS y posiblemente conducirá a una CAS revisada para los años anteriores a 2003, asumiendo, por ejemplo, una CAS mejorada que sería coherente con las tallas de las granjas desde 2003. Este trabajo debería realizarse en estrecha

colaboración con el equipo de expertos que está trabajando en el análisis de los datos comerciales de atún rojo.

Datos comerciales

Durante la reunión de evaluación del stock de atún rojo de 2012, se presentaron varios documentos que estudiaban el uso de las estadísticas comerciales del atún rojo oriental y de la documentación de ICCAT para retrocalcular el volumen de captura y la distribución de las tallas de la captura. La información utilizada en algunos de los documentos se facilitó a la Secretaría para que la utilizara el SCRS. Esta información contenía estadísticas comerciales individuales de atún rojo para el periodo 2001-2012. El Grupo identificó varios problemas potenciales en los métodos utilizados en las estimaciones que deberían resolverse antes de que el SCRS utilice estos datos. El Grupo consideró que el SCRS necesita un equipo de expertos para realizar estudios destinados a proporcionar métodos para obtener estimaciones de captura por talla y capturas sin sesgos.

Este trabajo se realizará en el marco de un contrato específico en la Fase 4 del GBYP.

El Grupo reconoció la necesidad de incorporar en las bases de datos de ICCAT los datos recuperados en el marco del GBYP y de otras fuentes con el fin de que estén disponibles para futuros análisis del stock de atún rojo del Atlántico este y Mediterráneo. El Grupo de trabajo se mostró de acuerdo en que las decisiones finales debería tomarlas el Grupo de especies de atún rojo durante las reuniones de los Grupos de especies de 2013 y posteriormente presentarlas al Subcomité de Estadísticas y al SCRS para que las aprueben.

3 Examen de los principales parámetros biológicos utilizados en la evaluación de atún rojo del Atlántico

3.1 Conversiones de talla: talla a peso, longitud curva a la horquilla a longitud a la horquilla

Las relaciones originales de talla-peso para el atún rojo del Este (Rey y Cort, sin publicar; Arena 1980) y el Oeste (Parrack y Phares 1979) no han sido actualizadas en muchos años. Desde que se determinaron estas relaciones originales, una cantidad importante de nueva información está disponible para realizar una reevaluación de las mismas. Rodríguez Marín *et al.* (2013) han estimado nuevas relaciones talla-peso a partir de una gran recopilación de información reciente sobre talla-peso. Además, el GBYP ha obtenido miles de registros históricos que deberían permitir una reevaluación de estas relaciones con un amplio conjunto de mediciones de talla peso y las covariables asociadas (arte, mes, área, etc.).

Se ha utilizado un enfoque de modelo mixto para tener en cuenta la variabilidad en ciertos factores como el arte, el año y la técnica de transformación del buque, para que estos factores puedan ser tenidos en cuenta en el modelo aunque sin sesgar la relación global. Se minimiza la potencial influencia falsa de estas variables estimándolas como efectos aleatorios e integrándolas en el modelo global. Aunque las condiciones de pesca pueden variar en el tiempo o incluso entre diferentes tipos de arte o unidades de transformación, para este documento estamos interesados exclusivamente en la relación talla-peso media, teniendo en cuenta solo las covariables más críticas.

El principal objetivo de este análisis es proporcionar relaciones talla-peso actualizadas y útiles para los modelos de evaluación de stock. Esta tarea representa un compromiso entre representar el realismo biológico de la variabilidad estacional y espacial en las condiciones y, por tanto, contar con muchas relaciones talla-peso, y la operatividad a la hora de realizar el modelo, ya que múltiples relaciones talla-peso complican de forma importante la modelación.

3.1.1 Bases de datos y métodos utilizados en el análisis

Se dispone de numerosas bases de datos para ambos stocks. El grupo decidió utilizar solo las tallas y pesos ya medidos y no valores estimados. Las tallas se facilitaron en muy diferentes formatos pero el principal formato utilizado en el Este es la longitud recta a la horquilla (SFL) y en el Oeste la longitud curva a la horquilla (CFL). Para el Este solo se utilizaron mediciones en SFL. Para el Oeste la CFL se convirtió a SFL utilizando los métodos descritos a continuación. Los pesos se registraron en peso vivo (RWT), eviscerado y sin agallas (GGWT), eviscerado (GWT) o eviscerado, sin agallas y sin cola (GGTW). Los pesos eviscerados son muy poco comunes y fueron eliminados. Para la modelación se utilizaron RWT, GGWT o GGTW y un término de modelo estimado dependiendo de cuál unidad de peso era la medición original.

3.1.1.1 Stock oriental

Para el stock oriental, estaban disponibles las siguientes bases de datos en la reunión.

Datos del GBYP

El GBYP recuperó una considerable cantidad de conjuntos de datos históricos y recientes para utilizarlos en el análisis y las relaciones biométricas del atún rojo para casi todos los artes y caladeros. Los datos recuperados, que van desde 1903 hasta 2010 y desde 1512 hasta 2009 para las almadrabas, se utilizaron para actualizar la regresión talla-peso del atún rojo. Se facilitaron para esta reunión los datos pertinentes del GBYP después de haber sido comprobados con la base de datos de atún rojo de ICCAT y haber sido comprobada su calidad individualmente. Se excluyeron los datos atípicos. En la reunión se presentó una publicación con una perspectiva general de los diversos conjuntos de datos disponibles del GBYP como documento SCRS/2013/073.

Datos de Malta y Túnez

En el análisis se utilizó también un conjunto de datos de talla y peso de un total de 170 ejemplares de atún rojo salvaje capturado por cerqueros en el verano de 2012, junto con los datos de talla-peso facilitados por Malta de peces capturados por palangreros malteses durante el periodo reproductivo de esta especie (mayo-julio) durante 2005, 2006, 2007 y 2012. Se facilitaron en total 1970 registros de talla-peso de la pesquería de palangre de Malta que se dirige a esta especie. También se facilitó información adicional procedente de los palangreros de Malta para los años 2008-2011 a través del trabajo llevado a cabo por Rodríguez Marín *et al.* (2013) mencionado en la sección 3.1.1.5.

Palangre de Japón

La información sobre talla (longitud recta a la horquilla) y peso (procesado y vivo) recopilada por observadores científicos a través del programa de observadores de Japón entre 2000 y 2011 se incluyó también en los análisis de regresión talla-peso. El trabajo realizado para recopilar esta información se presentó en el documento SCRS/2013/075. Se presentaron en total 13.121 registros de talla-peso procedentes de esta pesquería para el análisis del stock oriental.

Almadrabas de Marruecos

Asimismo, se presentaron al Grupo los datos de las almadrabas marroquíes para su inclusión. Estas mediciones consistían en 178 peces medidos en longitud curva a la horquilla.

Rodríguez Marín et al.

Se utilizó también un conjunto de datos de talla-peso que cubría amplias zonas geográficas y temporales del Atlántico noreste y el Mediterráneo procedentes de un amplio muestreo de varias pesquerías de atún rojo del Atlántico a lo largo de 14 años. Los conjuntos de datos facilitaron 54.549 registros de talla-peso por zona geográfica y mes. El trabajo realizado para recopilar estos datos se presentó en el documento SCRS/2013/079.

Arena et al. (1980)

Las actuales relaciones talla-peso para el Mediterráneo occidental y oriental se basan en la función talla-peso de Arena (sin publicar), que se usa en las evaluaciones del stock de atún rojo del Atlántico este y Mediterráneo para los ejemplares de más de 100 cm SFL (ICCAT, 2012). Por primera vez se dispuso durante esta reunión de la publicación de Arena *et al.* (1980) facilitando el conjunto de datos en bruto de talla-peso para trabajar. Los datos de talla-peso de Arena *et al.* fueron recopilados durante el periodo reproductivo (mayo-julio) durante más de 20 años en los caladeros del mar Tirreno meridional en cerqueros y una almadraba. Sigue sin disponerse de datos individuales de talla/peso (y probablemente se hayan perdido) pero las tallas (SFL) y los pesos (en peso vivo wt) medios pudieron recuperarse de Arena *et al.* (1980) y fueron utilizados con fines comparativos pero no en el ajuste del modelo.

3.1.1.2. Stock occidental

Para el stock occidental, estaban disponibles diversas bases de datos en la reunión. Debido a la falta de tiempo, algunas bases de datos no pudieron obtenerse durante la reunión y se realizarán esfuerzos para obtener datos adicionales que puedan utilizarse en las regresiones después de la reunión.

Datos canadienses

Se obtuvieron los datos recopilados a bordo y en tierra en la pesquería canadiense. Se facilitó un conjunto de datos de 7855 observaciones talla-peso. Las tallas estaban medidas como longitud curva a la horquilla pero existían algunas inquietudes respecto a algunos datos atípicos.

Datos de observadores del palangre de Japón

El mismo conjunto de datos descrito más arriba para el palangre de Japón estaba disponible para el Oeste de 45°W.

Datos de observadores del palangre de México

Se facilitaron los datos recopilados por observadores a bordo de palangreros mexicanos de acuerdo con los métodos descritos en el SCRS/2012/193. Estos datos incluían 755 registros. En el momento de la reunión, no pudo determinarse qué medida se utilizó para la talla y el peso, por lo que los datos no pudieron incorporarse al conjunto de datos maestro.

Datos del programa de observadores de palangre de Estados Unidos

Se facilitó un conjunto de datos de 521 observaciones talla-peso. Se midieron 509 tallas como longitud curva a la horquilla y 12 en longitud recta a la horquilla. Estos datos fueron recopilados por observadores a bordo de palangreros pelágicos estadounidense o cuando se desembarcaba el pescado.

Datos proporcionados por Golet y Lutcavage de la pesquería estadounidense

Estos datos se han recopilado en la pesquería comercial y de recreo de Estados Unidos.

Datos históricos de Estados Unidos

Los datos utilizados en el conjunto de datos original de Parrack y Phares (1979) procedían aparentemente de 3545 peces y fueron recopilados por científicos nacionales de Estados Unidos durante 1974-1977. Podría ser posible obtener el conjunto de datos original, pero requeriría más investigaciones después de la reunión.

Registros de los comerciantes de Estados Unidos

Podrían existir datos en los registros de los comerciantes estadounidenses. Teniendo en cuenta el poco tiempo existente durante la reunión, no fue posible obtener estos datos, que estarán disponibles posteriormente.

Base de datos de marcado de ICCAT

Se examinaron los peces liberados incluidos en la base de datos de marcado de ICCAT para utilizar la información sobre talla-peso pero el escaso número de registros en los que se habían medido la talla y el peso (~547) y la variabilidad en las mediciones de talla hacía que estos datos fueran poco útiles como observaciones de talla-peso.

3.1.1.3 Datos excluidos

Algunos de los datos disponibles fueron excluidos porque no cumplían los criterios de calidad establecidos por el Grupo. Los datos excluidos fueron los siguientes:

- ✓ Se excluyeron los datos de las almadrabas del estrecho de Sicilia para los años 1994, 1995;
- ✓ Mediciones de talla en las que no estaba consignado el tipo de talla (804 peces)

- ✓ Potenciales registros de datos atípicos a partir del ajuste del modelo. Los datos atípicos se identificaron utilizando el factor de condición de Fulton (**Figura 4**). Este factor de condición se calcula de la siguiente manera:

$$K = 100 * (\text{wt}(\text{gramos}) / \text{talla}^3)$$

- ✓ Los valores inferiores a 1 y superiores a 2,8 (**Figura 5**) siguiendo la lógica de Cort et al (en imprenta) pero permitiendo una mayor proliferación de observaciones. Para este análisis, todos los pesos fueron convertidos a RWT utilizando las siguientes relaciones entre peso sin agallas, eviscerado y sin cola (GGTW) y peso eviscerado (GWT):

RWT = 1,13 x GWT; principalmente para el estrecho de Sicilia a partir de los factores de conversión de ICCAT para el Mediterráneo.

$$\text{RWT} = 1,16 \times \text{GGTW}; (\text{SCRS}/2013/075)$$

Estas conversiones iniciales se hicieron para obtener los valores similares de K para excluir los datos atípicos pero toda la modelación se realizó con el tipo original de mediciones.

La partición espacial de los datos se dejó inicialmente en la resolución más fina de los conjuntos de datos y consistía en áreas. La partición temporal de los datos se realizó inicialmente por mes. Se llevaron a cabo más análisis exploratorios para condensar las áreas espaciales y temporales.

3.1.1.4 Conversión de CFL a SFL para los datos occidentales

Dado que la mayoría de los datos occidentales se recopilaron en CFL pero los datos del palangre japonés que cubren algunas zonas espaciales esenciales se habían recogido en SFL, se tomó la decisión de convertir las medidas en CFL a SFL utilizando la ecuación establecida por Parrack *et al.* (1979) en el Atlántico occidental.

$$\text{SFL} = 0,955 \text{ CFL} \quad (\text{Parrack et al., 1979})$$

Esta ecuación es similar a la ecuación para el Mediterráneo central presentada en el documento SCRS/2013/065 (SFL = 0,968 CFL). Cabe señalar que también podrían considerarse las ecuaciones estimadas por Salz *et al.* (2007) (SFL = 0,9728 CFL).

3.1.1.5. Crear un conjunto de datos maestro

Para este ejercicio es esencial la creación de un conjunto de datos maestro con factores comunes para el análisis. Los campos de datos para este conjunto de datos maestro se muestran en el Apéndice 5 y los ejemplos de líneas de datos en el Apéndice 6. Inicialmente, todos los campos de datos se introdujeron en la escala de resolución lo más fina disponible, es decir, si se disponía de código de buque, área y muestreador, se introducían. Cuando no se disponía de esos datos, el campo de datos se codificaba como "NA".

3.1.2 Modelación

3.1.2.1. Análisis exploratorio

Se llevaron a cabo análisis exploratorios realizando una PCA en los parámetros de la relación $\text{wt} = a * \text{talla}^b$, mes y área para determinar si había un efecto mes y área en los coeficientes del modelo. En el PCA se exploraron cuatro zonas iniciales: Atlántico (ATL), Mediterráneo occidental (WMED), Mediterráneo central (CMED) y Mediterráneo oriental (EMED).

Se llevó a cabo un análisis similar en el modelo mixto en el que se estimó inicialmente con 14 áreas separadas y 12 meses. Se exploraron las estimaciones de parámetros del modelo para determinar si las áreas o meses podrían condensarse en grupos homogéneos. Las áreas para las que el 95% de los percentiles para las estimaciones de parámetros se solapaban fueron condensadas para obtener un conjunto de ecuaciones de regresión más parco.

3.1.2.2. Construcción del modelo y factores

Debido a la variabilidad entre los transformadores en la forma en que un pez es transformado para obtener pesos eviscerados o sin agallas, eviscerados y sin cola, se creó una variable adicional para representar la variabilidad en la transformación. Se creó esta variable adicional denominada "unidad de transformación" que constituía el buque individual para el conjunto de datos del palangre japonés y para el resto de los conjuntos de datos se asignó un valor único a todas las observaciones (64) en las que un pez era desembarcado en peso eviscerado. El resto de observaciones se midió en peso vivo y fueron asignadas a otra categoría de unidad de transformación.

Los métodos de modelación de la regresión siguieron el enfoque de modelación mixto presentado en el documento SCRS/2013/075 y utilizaron un paquete MCMCglmm (Hadfield, 2010) en R 2.15.3. El ajuste del modelo, la selección del modelo y los métodos de raleo. MCMC eran similares a los presentados en el documento SCRS/2013/075. El Criterio de Información de desviación (DIC) se utilizó para las decisiones sobre la selección de modelo, salvo indicación contraria:

Los modelos iniciales evaluados se muestran a continuación:

Modelo A (igual b , diferentes interceptos)

```
MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+as.factor(month)+as.factor(area)+as.factor(wcode),random=~rnd,
family="gaussian",",nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)
```

Factores fijos: month,area,wcode(0:round weight,2:gilled,gutted,and tailed,3:gilled weight)

Factores aleatorios (rnd): paste(year, gear, processing unit); de tal forma que el factor aleatorio es la combinación de año, arte y unidad de transformación.

Condensado en solo 2 áreas y 3 temporadas:

Modelo B (condensado, misma b , diferentes interceptos)

```
MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+ as.factor(CondensedArea) +as.factor(Season) as.factor(wcode),
random=~rnd, family="gaussian", ",nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)
```

Modelo C (condensado, sin temporada, misma b , diferentes interceptos)

```
MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+ as.factor(CondensedArea) + as.factor(wcode),random=~rnd,
random=~rnd, family="gaussian", ",nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)
```

Tras condensar el modelo en solo 2 áreas y 3 temporadas, se probaron las interacciones (que estiman parámetros a y b separados) con un modelo en forma de:

Modelo D (condensado, a y b separados)

```
MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+as.factor(CondensedArea) + as.factor(wcode) + log(SFL)*as.factor
(CondensedArea),random=~rnd,family="gaussian",",nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)
```

Modelo E (Atlántico, separado, a y b separados, sin efecto de temporada)

```
MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+ as.factor(wcode) , random=~rnd, family="gaussian",
",nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)
```

Modelo F (Med, a y b separados, sin efecto de temporada)

```
MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+ as.factor(wcode) , random=~rnd, family="gaussian",
",nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)
```

3.1.3 Resultados

3.1.3.1 Exclusiones y filtrado de datos

Los conjuntos de datos iniciales disponibles para el grupo consistían en 117536 observaciones de talla-peso para el Este y en 22129 observaciones para el Oeste (**Tablas 8 y 9**). Tras una cuidadosa consideración del conjunto de datos occidental, el grupo decidió no realizar la modelación de los datos hasta que pudieran obtenerse algunos conjuntos de datos clave y los científicos nacionales pudieran comprobar si había errores en un gran número de datos atípicos.

Tras aplicar las exclusiones basadas en el factor condición (-218 observaciones) utilizando solo observaciones de SFL (-3695 observaciones) y eliminando los datos de peso medio por talla (-1658), el resultado fue un total de 110498 parejas de talla-peso restantes (**Tabla 10**).

3.1.3.2. Análisis exploratorio

Se llevaron a cabo análisis exploratorios utilizando el análisis de los componentes principales para evaluar los factores más influyentes en los parámetros estimados. El PCA indicaba que tanto el mes como el área covariaban en el mismo componente, lo que indica que el mes y el área servían como aproximaciones similares para la talla por peso pero que el área dividía la mayor variabilidad en las relaciones talla-peso (**Figura 6**). Esto indica que los efectos probables más fuertes sobre los parámetros a y b se deberían probablemente al área y que la influencia del mes, aunque presente, no era tan fuerte como la del área. Las **Figuras 7 y 8** muestran las relaciones talla-peso por mes y año.

3.1.3.3. Resultados del modelo

Ajuste del modelo inicial

Las estimaciones de los parámetros iniciales por mes del Modelo A indicaban que había diferencias en la condición por mes. La parte superior (línea verde) y la inferior (líneas rojas) representan los percentiles 95 de las estimaciones MCMC para los parámetros. La línea azul y las barras de error representan la mediana ± 1 unidad de error estándar. Las estimaciones muestran las tres temporadas potencialmente distintas (**Figura 9**); una temporada "previa al desove", de febrero a junio; una temporada posterior al desove (julio a agosto) y una temporada de engorde (septiembre a diciembre) para representar la principal variación temporal en la relación talla-peso.

Las estimaciones iniciales de los parámetros para el efecto área del Modelo A indicaban que los nuevos modelos pueden condensar áreas homogéneas (**Figura 10**).

Basándose en los intervalos de confianza de los parámetros de solapamiento se consideraron inicialmente dos áreas: Atlántico y Mediterráneo occidental (ATL_WMED) y Mediterráneo oriental y central (ECMED). Esto condensaría ATL_ATL, ATL_BB, ATL_Portugal, CATL_CATL, WMED y WMED_Sardinia en el ATL_WMED y CMED_IO, CMED_Southern Med, CMED_SS (Sicily), CMED_TY, EMED_Antalya, EMED_Levant, EMED_N Aegean en el ECMED. Posteriormente, las áreas se revisaron basándose en la opinión de expertos a Atlántico solo y Mediterráneo solo, lo que implicó que se movieran las muestras del Mediterráneo occidental al grupo Med.

Modelos condensados

Se comparó el Criterio de información de desviación (DIC) entre el modelo condensado estacional y no estacional, Modelo B frente a Modelo C. Aunque el efecto estacional era significativo, los intervalos de confianza de los modelos estacionales se solapan (**Figura 11**) lo que indica que había muy poca diferencia estadística entre las temporadas. Además, había una diferencia insignificante en el peso por talla entre las temporadas. Para la talla más grande de peces observada (300 cm SFL), el peso por talla sería de 439, 447 y 457 kg en la temporada posterior al desove, a la de base y a la de engorde respectivamente, lo que representaría una diferencia de $\pm 2\%$ respecto a la temporada base. Dentro del rango de muchos de los datos la diferencia absoluta era mucho menor, pero el porcentaje permanecía en aproximadamente un 2% entre la temporada posterior al desove y la temporada de engorde. Por tanto, dado que estas diferencias representan una cantidad tan pequeña, en el resto de modelos se dejó de lado la temporada.

Interacciones

Para estimar los parámetros a y b por separado fue necesario estimar la interacción entre el área y SLF (Modelo D). Este modelo proporcionaba un ajuste bastante mejor en el modelo con una única b e interceptos separados lo que indica que deben estimarse los parámetros a y b separados. Surgió una complicación adicional cuando se obtuvieron estimaciones muy divergentes (del ATL-WMED) y no sensibles del Mediterráneo oriental y central (ECMED) a causa de los muchos códigos de buques que faltaban en los efectos aleatorios. Como solución oportuna a este problema, el Grupo decidió simplemente separar los datos en dos áreas y estimar modelos separados.

Modelos finales y rendimiento de la estimación de parámetros

Se construyeron modelos finales para el Atlántico (ATL) y para el Mediterráneo (MED) de forma separada sin factores de temporada (**Tabla 11**). Se evaluó el rendimiento de la estimación de parámetros observando los diagramas de los 6 parámetros estimados para los modelos finales (**Figura 12**). Estos parámetros estimados fueron: intercepto (a), log (talla) o el coeficiente b y 2 parámetros definidos para el peso. Los diagramas y los histogramas indicaban que la mayoría de los parámetros convergían en una distribución relativamente simétrica y ajustada en torno a un valor medio.

Los modelos finales, sin efectos estacionales, solo con el efecto área, no mostraban diferencias entre el Atlántico este y el Mediterráneo, sino algunas diferencias con relaciones históricas utilizadas por el SCRS (**Figura 13**).

3.1.3 Discusión

El Grupo actualizó las relaciones talla-peso para el atún rojo del Atlántico este y Mediterráneo y desarrolló una metodología de modelación para actualizar las relaciones talla-peso del Oeste cuando se disponga de información. Para el atún rojo del Este, el Grupo estimó dos regresiones separadas, una para el Atlántico (ATL) y otra para el Mediterráneo (MED). Sin embargo, las relaciones y las estimaciones de parámetros eran tan similares que podría ser mejor contar con una única relación.

Los resultados de este análisis deberían considerarse preliminares probablemente ya que la similitud de los modelos del ATL y MED plantea la pregunta de si simplemente deberían combinarse en un único modelo. Teniendo en cuenta el tiempo disponible en la reunión y el importante procesamiento de los datos requerido, este ensayo adicional del modelo no pudo hacerse durante la reunión y podría presentarse como un producto del grupo de trabajo en la reunión del Grupo de especies de 2013. Además, es probable que los datos para el stock del Oeste estén pronto disponibles, lo que permitiría el desarrollo de relaciones talla-peso para este stock.

Estas relaciones talla-peso deberían ser aplicables a los peces salvajes en el momento de la captura ya que se ha tenido cuidado en excluir a los peces engordados de este análisis. Los modelos de dos áreas representan la principal fuente de variabilidad identificada en la regresión talla-peso, aunque pequeña y probablemente poco importante, a la vez que representan la variabilidad aleatoria en el tiempo, arte y método de transformación. Aunque la temporada era un factor importante en los modelos, se decidió no recomendar modelos estacionales ya que las diferencias estacionales eran muy pequeñas tras tener en cuenta las áreas. Si un investigador desea más detalles espaciales o temporales, Rodríguez Marín *et al.* (2013) proporcionan un conjunto de modelos espaciales y temporales separados con una consideración más detallada de los patrones espaciales y temporales.

En comparación con otros modelos de talla-peso para el atún rojo del Este, los modelos ATL y MED son muy similares a modelos comparables de Rodríguez Marín *et al.* (2013) y Rey y Cort (sin publicar) (**Figuras 13 y 14**). Ambos modelos son muy diferentes de los modelos del Atlántico occidental de Arena (1980) y de Parrack y Phares (1979) que indican un peso por talla bastante más elevado. Estas diferencias son importantes pero posiblemente puedan explicarse por las muestras relativamente más pequeñas y localizadas utilizadas por Arena y Parrack y Phares (1979). Teniendo en cuenta que este análisis, al igual que el de Rodríguez Marín *et al.* (2013), contiene importante información nueva y más amplia espacial y temporalmente, y que ambos estiman relaciones talla-peso similares, es probable que estas estimaciones representen mejor las relaciones talla-peso de la población.

3.2 Conversiones de edad: curva de crecimiento, datos de determinación de la edad, tablas de la clave edad-talla (ALK)

Situación actual de los Programas de determinación directa de la edad

La estimación de la edad y del crecimiento de una especie es un parámetro clave para describir su ciclo vital y es esencial para su evaluación. Existen diversos enfoques para estimar el crecimiento y los más frecuentes son: observación directa o marcado, análisis de los datos de frecuencia de tallas e interpretación de las estructuras calcificadas. El crecimiento del atún rojo del Atlántico se ha obtenido a partir de tres métodos, pero las curvas de crecimiento que se utilizan actualmente en la evaluación de ICCAT de esta especie se basan en una combinación de los dos últimos métodos, los análisis de frecuencia de tallas y la determinación directa de la edad (Cort, 1991; Restrepo *et al.*, 2010). El método de marcado es uno de los enfoque más fiables para obtener información sobre edad y crecimiento cuando se dispone de buena información sobre la talla en el momento de la liberación y la recaptura, pero hasta ahora a menudo se ha descartado para esta especie debido a que la escasez de ejemplares grandes no permite estimar una talla asintótica fiable. Sin embargo, los documentos SCRS/2013/093 y SCRS/2013/078 estiman que los datos existentes de marcado podrían examinarse más en profundidad y ayudar a aportar información a los estudios de crecimiento. El Grupo expresó alguna inquietud respecto al número y fiabilidad de la información sobre recaptura para los peces más grandes.

La determinación directa de la edad de las capturas mediante claves edad-talla (ALK) es un método común que ha sido muy utilizado en muchas organizaciones regionales de ordenación pesquera que se ocupan de los peces peces pelágicos y los peces de fondo. Por el contrario, en las evaluaciones de especies de ICCAT las curvas de crecimiento anual medias se utilizan para convertir la captura por talla en matrices de captura por edad (CAA) en lugar de aplicar las ALK. Las razones para esto se deben principalmente a la dificultad de muestrear esta especie, al tiempo necesario para desarrollar ALK anuales y a la necesidad de una determinación directa de la edad validada. Sin embargo, el SCRS y los científicos nacionales han invertido considerables recursos en determinaciones directas de la edad para los stocks oriental y occidental, y aquí se resumen los resultados alcanzados hasta la fecha y las prioridades en cuanto a trabajo futuro.

Se han utilizado diversas estructuras calcificadas para la estimación de la edad del atún rojo del Atlántico, lo que incluye escamas, vértebras, otolitos y espinas de la aleta dorsal (Rooker *et al.* 2007). De todas estas estructuras, las dos últimas son las que han proporcionado resultados más fiables (Rodríguez Marín *et al.* 2007). Los otolitos representan una ventaja para la determinación directa de la edad del atún rojo del Atlántico respecto a las espinas de la aleta porque pueden interpretarse todas las edades ya que no hay vascularización del núcleo, por el contrario las espinas de la aleta dorsal (denominadas posteriormente espinas) son más fáciles de recopilar y preparar que los otolitos (Rodríguez Marín *et al.* 2007). De las dos estructuras, hasta la fecha solo se han validado las determinaciones de la edad a partir de otolitos (Neilson y Campana, 2008) y las validaciones se finalizaron solo para la categoría de talla más grande. El Grupo también constató que las interpretaciones de edades a partir de otolitos durante los primeros 5 a 6 años de vida son, a menudo, problemáticas, pero son comparativamente fáciles en las espinas. Por otra parte, después de la edad 7, los recuentos de anillos de otolitos pueden hacerse con buena precisión. El Grupo observó que las asignaciones de edad más robustas podrían hacerse combinando edades determinadas a partir de ambas partes duras.

Comparando los métodos innovadores en cuanto a determinaciones directas de la edad en el Este y el Oeste, hay protocolos bien establecidos para la determinación de edad por espinas que se han utilizado durante muchos años (Rodríguez Marín *et al.* 2012, Luque *et al.* presentado). Por el contrario, la determinación de la edad a partir de otolitos de los laboratorios occidentales no es tan avanzada, y los trabajadores están estableciendo ahora recopilaciones de referencia, intercambios de otolitos y finalizando los protocolos. Sin embargo, se están haciendo progresos, tal y como establece el SCRS/2013/084. Los participantes en unas jornadas de trabajo recientes, con experiencia en procedimientos de control de calidad en grandes laboratorios de determinación de edad indicaron que en especies como el atún rojo del Atlántico, para las que es difícil determinar la edad, se implementaba habitualmente un error porcentual medio (APE) del 10% (por ejemplo, en carita lucio). Con mejor estandarización y más experiencia, los participantes en las jornadas consideraron que se podía lograr un APE <5%, un nivel sugerido por Campana (2001), como un nivel de umbral común para los laboratorios de determinación de la edad.

Respecto a la situación de dichas recopilaciones para el Oeste, el UMCES (SCRS/2013/084) y algunos socios internacionales están realizando una recopilación. En el Este, el IEO ha asumido el liderazgo en el desarrollo de recopilaciones de referencia para espinas y vértebras. Estas herramientas deberían finalizarse cuando proceda y compartirse con otros laboratorios interesados en contribuir a este trabajo.

La contribución sobre determinación directa de la edad del GBYP incluía más de 1050 estructuras calcificadas y para las que se había determinado la edad (SCRS/2013/080). Este documento presenta resultados de la determinación directa de la edad del atún rojo del Atlántico basados en otolitos y espinas de aletas muestreados en el Atlántico nororiental y el Mediterráneo con el objetivo de estimar la edad de la captura en el stock oriental de esta especie. Las tallas asintóticas y los coeficientes de crecimiento obtenidos a partir de ALK derivadas de ambas estructuras no presentaban diferencias significativas y se descubrió que la precisión entre lectores dentro de cada estructura era muy elevada.

Se presentó otro documento, el SCRS/2013/081, basado en estructuras pareadas de los mismos ejemplares procedente del GBYP y otros programas de investigación españoles, canadienses y estadounidenses.

Este documento exploraba el valor potencial del radiocarbono para validar interpretaciones sobre la edad en muestras de espinas disponibles de atún rojo del Atlántico desde 1984 y se compararon las estimaciones de edad a partir de estructuras pareadas para examinar el sesgo relativo de las lecturas de espinas respecto a las de otolitos. Las espinas contenían radiocarbono en concentraciones coherentes con lo previsto. La comparación de las interpretaciones de edad a partir de otolitos y espinas procedentes del mismo ejemplar presentaba un buen ajuste a una relación lineal entre ambas estimaciones de la edad hasta los 10 años, y a partir de esta edad se observa que las interpretaciones de edad a partir de espinas son inferiores a las correspondientes a partir de otolitos. Sin embargo, los autores reconocieron que estos resultados son muy preliminares ya que el tamaño de la muestra para el ensayo con radiocarbono era pequeño y la preparación de los otolitos y el criterio de interpretación de la edad están siendo aún revisados. Se sugirió una combinación de lecturas de otolitos y espinas del mismo ejemplar para lograr una experiencia complementaria y corroborativa.

La **Tabla 12** contiene un catálogo de partes duras del periodo reciente, 2010-2013, correspondiente al periodo de mejor muestreo biológico asociado al GBYP en el Atlántico oriental y Mediterráneo y a programas complementarios de muestreo nacional desarrollados por UE-España en el Atlántico oriental y Estados Unidos y Canadá en el Atlántico occidental. La información presentada en la tabla se ha extraído del SCRS/2013/094, SCRS/2013/050 y SCRS/2013/080 y de otra información proporcionada por los científicos nacionales. Existen asimismo recopilaciones históricas bien muestreadas de otolitos en varias instituciones de investigación como las de la NOAA (Estados Unidos) de mediados de los 70, las del FOC (Canadá) desde 1970 hasta 1990 y las colecciones de espinas del IEO (UE-España) desde 1975 hasta 1990.

Claves edad-talla disponibles y comparaciones de la CAA resultante con la evaluación anterior

El Grupo desarrolló claves de edad-talla (ALK) utilizando los datos del GBYP (es decir, espinas y otolitos de atún rojo del Atlántico este) y pares de edad-talla a partir de otolitos del atún rojo del Atlántico oeste. Aunque se disponía de muestras desde 2009 a 2013, la mayoría de las muestras eran de 2010 y 2011. Para este análisis, se combinaron todos los años para desarrollar ALK para el atún rojo del Atlántico este y oeste. Se estimó la composición edad utilizando estas ALK empíricas para determinar el efecto de usar ALK para desarrollar la composición por edad en lugar de la rutina de separación de edades (filo de cuchillo) utilizada para construir las entradas del VPA para el caso base de los modelos de 2012.

Para el atún rojo del Atlántico oeste se desarrollaron dos ALK. Una utilizaba observaciones de otolitos de atún rojo capturado en aguas nororientales del Atlántico occidental estadounidense y en las pesquerías de Carolina del Norte (**Figura 15**). La segunda utilizaba todos los pares edad-talla disponibles del Atlántico este y oeste (**Figura 16**).

Las **Figuras 17 y 18** comparan la captura por talla extrapolada con las muestras de otolitos y espinas respectivamente para el atún rojo del Atlántico este. En ambas figuras, los primeros paneles muestran la distribución de frecuencias de talla de la población, el segundo los números por cada edad (representados por los diferentes colores) para cada grupo de tallas y el tercer panel las proporciones por edad. Las **Figuras 17 y 18** permiten comparar la intensidad de muestreo de partes duras a lo largo de la distribución de frecuencias de talla de la captura.

Las **Figuras 19 y 20** muestran los números muestreados por cada edad como una "curva de crecimiento" para los otolitos y las espinas respectivamente. Las **Figuras 19 y 20** permiten comparar el solapamiento por talla de las clases de edad, es decir, cuanto mayor el solapamiento mayor la incertidumbre en las estimaciones de edad.

La **Figura 21** contrasta las estimaciones de números por edad para la separación de edades (filo de cuchillo) utilizando una clave de edad-talla basada en otolitos y espinas. La **Figura 21** compara las estimaciones de las proporciones por edad. Estos resultados son preliminares y están pensados como punto de partida para comparar la evaluación actual basada en el VPA utilizando la separación de edades con modelos estadísticos de captura por edad, en lugar de sacar ninguna conclusión cuantitativa.

El Grupo indicó las diferencias en la reconstrucción de la captura por edad derivada de claves edad-talla preliminares desarrolladas tanto para el este como para el oeste. Las edades que faltan en las edades más jóvenes provocaron problemas en el oeste y los valores que faltan en las edades mayores provocaron dificultades en el este. El uso de técnicas de modelación como el stock síntesis podría tener en cuenta las ALK incompletas. Sin embargo, se señaló que las ALK facilitadas aquí son preliminares, especialmente para el oeste. A medida que se dispone de más edades y las ALK son más completas, se deberían obtener capturas por edad más fiables. Se indicó que con información adicional sobre las edades mayores, los problemas del grupo plus son menores.

Escala adecuada para agregar información de edad-talla

Al considerar la escala adecuada para la construcción de claves de edad-talla, es importante comprender factores que podrían influir potencialmente en el crecimiento del atún rojo y considerar la bibliografía sobre el crecimiento de los túnidos. Por ejemplo, la tasa de crecimiento se muestra como un rasgo de dimorfismo sexual para varias especies (atún rojo del Atlántico, atún rojo del Sur y patudo del Pacífico), aunque el sexo que crece más rápido difiere. Se han descrito las diferencias en la tasa de crecimiento regional y a menudo son importantes entre las diferentes unidades de ordenación (por ejemplo, para el atún blanco). Se ha demostrado que los factores medioambientales afectan a la tasa de crecimiento (véase por ejemplo la respuesta del patudo del Pacífico a El Niño y La Niña). Considerando la variación temporal, existe información limitada sobre la variación interanual, aunque Rodríguez Marín *et al.* (2009) hallaron que las cohortes de atún rojo pueden detectarse y seguirse más fácilmente cuando se utilizan claves de edad-talla anuales. También se ha descubierto que las tasas de crecimiento cambian en una escala temporal de décadas (atún rojo del Sur, Polacheck *et al.* 2004) y pueden ser una respuesta dependiente de la densidad a un descenso en el tamaño de la población.

Los estudios de simulación pueden ser un medio para evaluar la sensibilidad de las claves de edad-talla a posibles fuentes de sesgo, y para tener determinar los niveles de muestreo requeridos para lograr ciertos niveles de precisión.

Comparaciones entre las curvas de crecimiento

El Grupo discutió los datos que se utilizaron para derivar las curvas de crecimiento adoptadas actualmente para los stocks de atún rojo del Atlántico este y oeste (Cort, 1991 y Restrepo *et al.* 2010). Se acordó incluir una descripción detallada del marco temporal y los datos utilizados para ambas curvas. Ambas curvas se basan principalmente en frecuencias de talla y en estructuras calcificadas que fueron muestreadas durante los 70 y 80. La curva de crecimiento actualizada del atún rojo del Atlántico occidental de Restrepo *et al.* (2010) se basa en información de edad procedente de un largo periodo. En este último documento se utilizaron dos tipos de datos: lecturas de edad basadas en otolitos con las distribuciones de frecuencias de tallas de peces pequeños (edades 1-3) capturados por cerqueros en los 70. Los otolitos usados en esta función de crecimiento actualizada fueron recopilados en su mayoría de la unidad de ordenación del Atlántico occidental a finales de los 90 y principios de la primera década del 2000, pero principalmente la categoría de atún rojo gigante del Atlántico fue recopilada durante los 70 y los 80. Ambos extremos de la función de crecimiento occidental actualizada están basados en muestras recopiladas hace muchas décadas. El mismo problema potencial se indicó para la curva de crecimiento oriental (Cort, 1991), ya que esta curva se basa también en dos tipos de datos: lecturas de edad de espinas de atunes capturados por almadrabas en 1984 y distribuciones de frecuencias de talla de juveniles (edades 1-5) capturados por cañeros desde 1975 a 1984.

Se describió también el enfoque metodológico para ajustar la curva de crecimiento oriental de Cort (1991). Este autor ajustó los datos al modelo de crecimiento de von Bertalanffy aplicando el método Ford&Walford, obteniendo parámetros de crecimiento ligeramente diferentes a los recalculados que fueron obtenidos durante la reunión del Grupo de trabajo a partir de los datos referenciados (tallas medias por edad) minimizando la suma de los residuos cuadrados (**Tabla 13**).

Las curvas de crecimiento adoptadas actualmente para los stocks de atún rojo del Atlántico oriental y occidental se compararon con las curvas derivadas de conjuntos de datos de estructuras calcificadas disponibles de la prueba de la ratio de verosimilitud de Kimura (1980) (**Tabla 13**). La prueba se llevó a cabo utilizando rangos de

edad equivalentes tal y como recomendó Haddon (2001). Los parámetros recientemente estimados correspondientes se probaron con los de otros autores, que fueron recalculados a partir de los datos referenciados (tallas medias por edad) minimizando la suma de los residuos cuadrados. Los conjuntos de datos de otolitos del Oeste no se incluyeron en el análisis porque estas estimaciones de edad eran preliminares y hay relativamente pocas edades disponibles debido a la falta de muestreo en ambos extremos del rango de edad. Se indicó que los procedimientos estadísticos utilizados aquí comparaban las tallas medias por edad, pero un uso más adecuado podría ser tratar las observaciones individuales.

Los resultados de la **Tabla 13** demostraron que las estimaciones de los parámetros de crecimiento y la importancia de estas comparaciones son sensibles a los siguientes factores: rango de edad comparado, uso de edades fraccionarias y número de muestras y años usados en el análisis. En general, utilizar conjuntos de datos de edades fraccionarias y de estructuras calcificadas con numerosas estimaciones de edad por edad y cubrir amplios rangos de edad produce curvas de crecimiento que no eran significativamente diferentes de las adoptadas por ICCAT actualmente.

El Grupo se mostró de acuerdo en que las comparaciones presentadas eran útiles e interesantes. Se observó que las estimaciones comparativamente altas de L_{∞} obtenidas a partir del conjunto de datos del GBYP se acercaban a las estimaciones previamente publicadas a medida que se añadían más años de información, reflejando probablemente el añadido de peces más grandes y mayores, que en las muestras actuales se encuentran en números relativamente bajos.

3.3 Reproducción: ratio de sexos, madurez, fecundidad y reproducción

3.3.1 Edad de madurez

El Grupo acordó adoptar las siguientes definiciones:

Madurez - estado histológico de las gónadas y/o expresión de las ratios del nivel de hormonas que indica un cambio respecto a las expresadas en los peces jóvenes.

Desove - la expresión de huevos o espermatozoides en la columna de agua con fines reproductivos.

Edad de primera reproducción/desove - la edad más joven en la que los ejemplares en la población desovan.

Edad más temprana de madurez - la edad más joven en la que los ejemplares de la población presentan un desarrollo de las gónadas y/o expresión de las ratios del nivel de hormonas que indican un cambio respecto a las expresadas en los peces jóvenes.

Edad del 50% de madurez - la clase de edad en la que la mayoría de los peces de la población presentan un desarrollo de las gónadas y/o expresión de las ratios del nivel de hormonas que indican un cambio respecto a las expresadas en los peces jóvenes.

Edad del 50% de desove - la clase de edad en la que el 50% de los peces de la población ha desovado.

Edad del 100% de desove - la clase de edad en la que todos los peces de la población ha desovado.

El Grupo discutió los pros y los contras de algunas de las técnicas que se usan en la actualidad en los estudios de madurez. Las técnicas histológicas son útiles para identificar los reproductores. Pero no pueden utilizarse para identificar a los peces maduros cuando se encuentran fuera de su ciclo reproductivo. Por el contrario, los estudios endocrinos pueden identificar de modo inequívoco los peces que están sexualmente maduros, pero no pueden identificar si un pez maduro ha desovado o desovará en esa temporada (Heinisch *et al.* presentado). De forma ideal, alguna combinación de estas dos técnicas junto con los índices gonado-somáticos debería utilizarse para los estudios de madurez/reproducción. El Grupo recomendó también que se acuerde un conjunto de técnicas estándar y se usen simultáneamente para ambos stocks con el fin de facilitar la comparación de los resultados de ambos lados del Atlántico (Knapp *et al.* presentado). Además, el Grupo recomendó que se lleven a cabo estudios destinados a desarrollar técnicas (por ejemplo, marcadores histológicos) que permitan la identificación de actividad reproductiva pasada.

El Grupo discutió el estado actual de los conocimientos y los factores que podrían afectar a la estimación de la madurez y la reproducción por edad para ambos stocks. Uno de los más importantes es que, históricamente, las muestras recopiladas para estimar la madurez se obtenían solo de las zonas de desove (es decir, golfo de México

y Mediterráneo). Como ya ha discutido el SCRS en ocasiones anteriores, las muestras para estimar la madurez deberían recogerse de todas las porciones de la población y no limitarse a las zonas de desove. Se han llevado a cabo algunos estudios sobre madurez para el stock occidental utilizando muestras obtenidas fuera del golfo de México (por ejemplo, Goldstein *et al.* 2007). Sin embargo, en el caso del stock del Atlántico oriental y Mediterráneo no ha sido así en años/décadas recientes y, por tanto, el Grupo recomendó que se obtengan muestras de atún rojo del Este fuera del Mediterráneo durante la temporada de desove para llevar a cabo estudios sobre madurez.

Stock del Atlántico este y Mediterráneo

En el caso del stock del Atlántico este y del Mediterráneo, el Grupo identificó otras fuentes potenciales de sesgo que pueden afectar a la madurez por edad. Por ejemplo, los científicos de atún rojo plantearon la hipótesis, basada en el marcado electrónico, de que el mar Mediterráneo cuenta con una población “residente”¹ compuesta de peces maduros e inmaduros además de una población flotante de peces maduros que migran desde el Atlántico al Mediterráneo para reproducirse. Cuando se muestrean únicamente las zonas de reproducción durante la temporada de reproducción, se combinan las muestras de peces plenamente maduros de la población flotante y las muestras de la población residente con peces maduros e inmaduros combinados. Esto puede producir una estimación sesgada de la edad de madurez (a saber, incremento de la proporción de peces maduros en ciertas clases de edad que no reflejan la proporción real en la población).

El índice gonadosomático (GSI) puede cambiar muy rápidamente en el mar Mediterráneo. Los científicos del IEO (UE-España) observaron que las hembras que permanecían en las almadrabas podían pasar de tener valores GSI muy bajos a presentar valores muy elevados en un periodo de dos semanas o menos. Del mismo modo, la transición de un GSI bajo a alto puede producirse también rápidamente (Medina *et al.* 2002, Goldstein *et al.* 2007). Esta característica particular hace que el desarrollo de estudios de reproducción sea una tarea difícil. Dado que se obtuvo una elevada proporción de muestras recogidas para estudios de madurez durante la temporada de pesca de cerco y de almadraba, la duración de la temporada de pesca puede influir en los resultados de los estudios. La duración de la temporada de pesca ha cambiado durante los últimos años y actualmente se restringe a un único mes. Por consiguiente, faltan o no se detectan muchos sucesos de reproducción que tienen lugar fuera de la zona y temporada de pesca de los cerqueros o almadrabas. Esta dificultad se agrava debido al rápido cambio en el GSI explicado antes, que podría hacer que los peces se hubiesen reproducido o estuviesen listos para reproducirse, pero que no se detectasen las fases fisiológicas asociadas con la reproducción.

Otra fuente de sesgo debatida por el Grupo es la ausencia o el bajo número de muestras de algunas zonas de reproducción conocidas del Mediterráneo. Más concretamente, las zonas de reproducción en aguas del Norte de África/Mediterráneo oriental apenas han sido muestreadas para estudios de madurez, sobre todo en años recientes. Los científicos del IEO (UE-España) analizaron una pequeña muestra ($n = 21$) de las hembras de atún rojo capturadas por las almadrabas en aguas libias. Todas las hembras analizadas eran de edades 3 y 4 y habían alcanzado la madurez plena (Tawill *et al.* 2002). Sin embargo, este régimen de muestreo también adolece de los sesgos potenciales indicados antes, cuando el muestreo se realiza sólo en las zonas de reproducción durante la temporada de reproducción.

Actualmente, para fines de evaluación del stock oriental, el SCRS asume que el 50% de la población se reproduce en la edad 4 y el 100% en la edad 5 y edades superiores. Este supuesto se basa en una amplia bibliografía que ha mostrado que en el Mediterráneo pueden encontrarse peces maduros de tan sólo edad 3, así como que peces muestreados en una amplia gama de zonas de reproducción habían alcanzado la plena madurez en la edad 4 (por ejemplo, Mather *et al.* 1995, Piccinetti *et al.* 2012). Sin embargo, considerando algunos de los sesgos potenciales descritos antes, podrían revisarse los supuestos actuales utilizados por el SCRS sobre todo teniendo en cuenta que la proporción de peces que se reproducen en cada edad dentro de la población total sigue siendo incierta. El Grupo debatió que podrían explorarse los datos CAS de pesquerías específicas como una aproximación de la proporción de peces que se reproduce en cada clase de edad. Sin embargo, podría haber múltiples calendarios de madurez en función de la estructura de la población. Además, esto implica también que se conocen todas las zonas de reproducción, mientras que Buen, 1925 y 1926 y Mather *et al.*, 1995 creen que existen zonas de reproducción potenciales fuera del Mediterráneo. Aprovechando las características especiales de la pesquería de almadrabas en la zona del Estrecho de Gibraltar (cuyo objetivo es capturar reproductores que migran utilizando un arte no selectivo), los científicos del IEO (UE-España) realizaron un análisis preliminar para estimar la edad de reproducción del 50% utilizando un enfoque de análisis basado en una curva de captura

¹ La interpretación de atunes rojos “residentes” en el mar Mediterráneo (los atunes que permanecen más de un año en el Mediterráneo) la proporciona Di Natale *et al.*, 2005 - Bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) line fisheries in the Italian seas. Old and recent data ICCAT Coll. Vol. Sci. Pap., 58(4), 2005: 1285-1295.

estructurada por talla. Las muestras se recogieron en mayo, en las almadras de Barbate (cerca del Estrecho de Gibraltar, en la costa atlántica de España), por tanto, justo antes de la temporada de desove. Los resultados preliminares situaron la edad de reproducción del 50% en 6 años, tras estimar la edad a partir de la talla utilizando la curva de crecimiento de Cort (1991) para este componente migratorio del stock del Atlántico este. Aunque el enfoque utilizado era simple y utilizaba una serie de supuestos, se consideró que los resultados eran plausibles y respaldaban la inquietud de que la edad de reproducción del 50% del stock oriental podría haber sido subestimada. Algunos participantes constataron la discrepancia entre este muestreo reciente y el obtenido por Rodríguez Roda (1967) en la misma almadra y durante varios años, y manifestaron su inquietud ante el hecho de que la edad de madurez del 50% para el stock del Atlántico este y Mediterráneo se cuestionase basándose en dichos resultados. El Grupo recomendó que los análisis de la curva de captura estructurada por talla o los análisis CAS se realizasen en concentraciones de reproductores dentro del mar Mediterráneo, lo que constituiría una herramienta para estimar mejor la proporción de peces reproductores por edad.

Stock del Atlántico occidental

Las zonas de reproducción conocidas del atún rojo en el Atlántico occidental incluyen el golfo de México, el estrecho de Florida y el mar Caribe septentrional (Mather et al. 1995; McGowan and Richards 1989, Muhling et al., datos no publicados). A diferencia del Mediterráneo, el atún rojo no permanece en las zonas de reproducción occidentales durante todo el año (Mather et al. 1995). Los datos de captura de palangre pelágico y los datos de seguimiento electrónico muestran que el atún rojo está presente en el Golfo de México de noviembre a junio, con un máximo de residencia de marzo hasta mayo (Block et al. 2005, Galuardi et al., 2006). Actualmente y para fines de evaluación, el SCRS asume que para el atún rojo occidental la edad de reproducción del 100% es 9, basándose en los hallazgos de Baglin (1982) y en la curva de crecimiento desarrollada por Restrepo et al. (2010).

Schirripa (2011) revisó la bibliografía disponible sobre los calendarios de madurez de los stocks oriental y occidental y las explicaciones potenciales para las diferencias entre ambos. Se incluyeron estudios de pruebas directas (a saber, histología) e indirectas (inferidas a partir de las estadísticas de captura) de reproducción. Basándose en la histología, las estimaciones de madurez para el stock oriental oscilaron ampliamente desde que el 50% alcanza la madurez con 97,5 cm FL y el 100% con 130 cm FL hasta que el 50% alcanza la madurez con 140 cm y el 100% con >150 cm. Del mismo modo, las estimaciones de madurez para el stock occidental oscilaron ampliamente desde 95,5 cm FL hasta edad 10. También se debatieron las críticas a los estudios. En el documento también se debatían las investigaciones que hallaron pruebas hormonales de madurez en ejemplares del Este con una talla de tan solo 110 cm FL. También se examinaron dos estudios que utilizaban estadísticas de captura de la zona de reproducción del golfo de México para evaluar la edad de reproducción del atún rojo occidental. El autor concluyó que las diferencias comunicadas en los calendarios de madurez del este y del oeste podrían ser plausibles, dado el medio geográfico y la separación genética de los dos stocks.

Los análisis de la distribución de tallas de los peces capturados en palangres pelágicos en el golfo de México, así como las tasas de movimiento de los peces objeto de seguimiento electrónico se han utilizado para estimar la proporción de peces en cada clase de edad que migran al golfo de México, supuestamente para reproducirse. Hubo un consenso general en el Grupo en cuanto a que los peces hallados en el golfo de México viajaron allí para reproducirse y que, por tanto, podrían considerarse adultos reproductores.

Al examinar la distribución de la captura por edad de los palangreros japoneses y estadounidenses en el Golfo de México, Díaz y Turner (2007) estimaron la proporción de atún rojo reproductor en cada clase de edad, partiendo del supuesto de que fuera de la región conocida de reproducción no tiene lugar una reproducción significativa. Díaz (2011) actualizó el análisis previo para los datos de captura de palangre pelágico de Estados Unidos únicamente utilizando la curva de crecimiento actualizada para el stock de atún rojo del Atlántico occidental desarrollada por Restrepo et al. (2010) y concluyó que menos del 1% de los peces de la muestra recogida en el golfo de México estaba por debajo de la edad 8 y que la mayoría de los peces de la población se había reproducido con 15,8 años. Se constató que los datos de palangre japonés anteriores a 1989 incluían un número considerable de peces más pequeños (Díaz y Turner 2007) que el conjunto de datos de palangre estadounidense utilizado por Díaz (2011). Una posible razón de esto sería que la flota de palangre estadounidense no puede pescar en las aguas territoriales mexicanas, zona en la que se ha observado la presencia de atunes rojos más pequeños en la captura de palangreros mexicanos que dirigen su actividad al rabil (Ramírez-López y Abad, 2012). Si existe una segregación de tallas en el Golfo de México, la flota de palangreros japoneses, que no está excluida de la ZEE mexicana, podría haber capturado peces más pequeños que la flota estadounidense. El Grupo recomendó que se actualicen las estimaciones de la proporción de peces reproductores en cada clase de edad utilizando los datos de captura de palangre japonés y mexicano y la curva de crecimiento desarrollada por Restrepo et al. (2010), ya que si se utilizan sólo los datos de captura estadounidenses podría subestimarse la

proporción de atún rojo reproductor en las clases de edad más jóvenes. También se constató que el palangre es un arte selectivo dirigido a tallas más grandes.

Se utilizaron también datos de marcado electrónico de Block et al. (SCRS/2013/091) para calcular el número de peces por edad marcados dentro o fuera del Golfo de México. La edad se asignó en el momento del marcado basándose en la talla (Restrepo et al. 2010) y se ajustó la edad de los peces en función del tiempo en libertad. Según el modelo de crecimiento desarrollado por Restrepo et al. (2010) para el atún rojo occidental, los peces más jóvenes observados que entraron en el golfo de México eran ejemplares de edad 10 (Block et al. 2005, Teo et al. 2007). Los gráficos mensuales mostraban que mayo era el mes con el número más elevado de atunes rojos rastreados presentes en el golfo de México. La distribución total de los peces rastreados reveló que sólo un pequeño porcentaje de peces de 10 años entró en el golfo de México (0% desde noviembre a abril, 2,5% en mayo y 6% en junio). Durante el mes de mayo, las edades predominantes en el Golfo de México fueron >16 (66% de ejemplares con edades 17 y 19, 80% con edades 18 y 100% con edades 20-23). Cuando se considera el porcentaje de peces rastreados hallados en el golfo de México durante todos los meses, la edad más temprana para la que se observó más de un 50% de peces marcados en el Golfo de México fue la edad 15 (55%) y la edad más temprana en la que todos los peces observados estaban en el golfo de México fue la edad 22. Aunque el conjunto de datos es mucho más pequeño, los resultados obtenidos de los datos de marcado se correspondieron bien con los comunicados por Díaz (2011) para los registros de capturas del golfo de México.

En estudios de marcado con marcas PSAT independientes para el atún rojo adulto liberado en el golfo de Maine y en el suroeste de Nueva Escocia, Canadá, 2001-2010 (por ejemplo, Wilson et al. 2005, Sibert et al. 2006, Galuardi et al. 2010), menos de la mitad de los ejemplares > 185 cm CFL que permanecieron con marcas durante el presunto periodo de reproducción en la parte septentrional del golfo de México, entraron en el golfo. Los que entraron (n=22) lo hicieron en noviembre (1), diciembre-enero (6), febrero-marzo (12), abril-junio (3) (Lutcavage et al, SCRS/2012/157).

El Grupo también debatió la posibilidad de que los peces maduros omitieran la reproducción. Aunque el tamaño de la muestra era limitado, la utilización de datos de marcado Teo et al (2007) y Block et al. (2004) no halló evidencias de que el atún rojo del Atlántico oeste pueda haber omitido la reproducción. Aunque el Grupo convino en que los resultados de los estudios mencionados no pueden considerarse como pruebas concluyentes de que los peces no omiten la reproducción, hubo un acuerdo general en cuanto a que la omisión de la reproducción podría ser más común en clases de edad más jóvenes (Rideout et al., 2006; Goldstein et al., 2007). Basándose en las condiciones somáticas de los atunes rojos grandes (por ejemplo, 185 cm CFL) que abandonan las zonas de alimentación del Atlántico noroccidental (por ejemplo: Estrada et al. 2005, Goldstein et al. 2007, Golet et al. 2007), en los perfiles de reproducción de otros túnidos (Schaeffer et al, 19xx) y en la modelación del ciclo vital del atún rojo (Chapman et al. 2011), se prevé que es menos probable que la omisión de la reproducción se produzca en peces más grandes, basándose en el estatus energético (Heinisch et al. presentado).

La evidencia de los patrones de dispersión de los peces marcados con PSAT en las zonas de alimentación canadienses y de Nueva Inglaterra (n=126, 150-185 cm CFL) mostraban que la mayoría de los ejemplares que retuvieron las marcas hasta el siguiente abril-junio (20/36) no entraron en el golfo de México. En coherencia con las observaciones históricas (por ejemplo, Mather et al. 1995) y basándose en la información espacial y medioambiental, los autores predijeron que algunos atunes rojos podrían reproducirse en otros lugares, posiblemente a finales del invierno o en primavera en zonas cercanas al extremo de la corriente del golfo (Lutcavage et al., (SCRS/12/157; y en prep.). Los patrones de dispersión que muestran los atunes rojos sexualmente maduros coinciden con los modelos del ciclo vital que predicen que los peces más pequeños/más jóvenes deberían reproducirse en zonas más próximas a las zonas de alimentación que los ejemplares más grandes (Chapman et al. 2011), lo que es similar a los patrones documentados para el atún rojo del Pacífico (Itoh et al. 2006).

Knapp et al. (presentado) utilizó análisis esterológicos de tejido de los ovarios para identificar similitudes y diferencias en la frecuencia de reproducción, fecundidad y periodicidad de la reproducción de peces muestreados del golfo de México y del mar Mediterráneo. El atún rojo muestreado en las zonas de desove orientales y occidentales mostraba la misma duración de reproducción (tres meses), pero la reproducción en la parte septentrional del golfo de México tenía lugar un mes antes que en la mayor parte del mar Mediterráneo. Los atunes rojos muestreados mostraban una menor frecuencia de reproducción en el golfo de México que en el Mediterráneo (<50% y 60%, respectivamente), aunque la fecundidad (59 huevos g⁻¹) era coherente con la de los peces muestreados en el mar Mediterráneo (48.22 huevos g⁻¹).

Heinisch et al. (presentado) utilizó análisis endocrinos e histiológicos para investigar el estado de madurez sexual de 93 atunes rojos del Atlántico (134-292 cm de longitud curva a la horquilla CFL) muestreados en las zonas de alimentación del Atlántico noroccidental en aguas de Nueva Inglaterra y Nueva Escocia y en 17 juveniles del año (YOY) en aguas de Virginia. No se detectaron diferencias fisiológicas entre los atunes rojos grandes y pequeños. Se hallaron testículos que se habían reproducido y oocitos en fase lipídica en atunes rojos de todas las tallas >134 cm FL, lo que indica que la reproducción en la temporada de reproducción previa y posterior era posible. La ratio de hormona foliculoestimulante (FSH) con respecto a la ratio de la hormona luteoestimulante (LH) detectada en atunes rojos de más de 134 cm CFL (<0,4) era similar a la observada en los reproductores del Mediterráneo, lo que indica que la talla de primera madurez del atún rojo occidental podría ser considerablemente inferior a la asumida actualmente (≥ 185 cm CFL). Heinisch et al. (presentado) también halló pruebas adicionales del comportamiento de reproducción asincrónica en hembras "gigantes" de atún rojo (221-292 cm CFL) desembarcadas en aguas de Nueva Escocia en septiembre-octubre, en las que la secreción de LH pituitaria podría ser el resultado de un suceso de reproducción reciente. Es el primer estudio que integra enfoques endocrinos e histiológicos para definir la madurez del atún rojo muestreado fuera de las zonas de reproducción y temporadas de reproducción conocidas. Los resultados de los análisis endocrinos e histiológicos no coinciden con los calendarios de reproducción asumidos actualmente para el atún rojo occidental.

Aunque no puede descartarse la existencia de zonas de reproducción adicionales fuera de las ya identificadas en el Atlántico occidental, los datos de captura por edad y los datos de rastreo electrónico no respaldan la noción de que la mayor parte de la población de atún rojo se reproduce en el golfo de México antes de la edad 15. Sin embargo, los resultados presentados por Heinisch et al (presentados) que indicaban que peces de tan solo 5 años habían alcanzado la madurez sexual, sugieren que estos peces más jóvenes: 1) desovan en zonas no conocidas fuera del golfo de México, o 2) aunque han alcanzado la madurez sexual no se reproducen hasta que alcanzan edades superiores.

Fecundidad

A efectos de evaluación de stock, reviste la mayor importancia disponer de información sobre el promedio de huevos per cápita producido por cada clase de edad. Idealmente, esto se estima como el producto de la fecundidad por lote (promedio de huevos producido cuando un pez desova) y frecuencia de lotes (promedio de veces que desova un pez). Si la frecuencia de desove no cambia con la edad, podría sustituirse el porcentaje peces que se reproducen por edad por la frecuencia de desove por edad. Asimismo, la fecundidad por lote es proporcional al peso total, por lo que podría sustituirse el peso por edad por fecundidad por lote por edad. El producto del porcentaje de peces que se reproducen y el peso por edad sería entonces una medición del número per cápita relativo de huevos producidos por cada clase de edad, que cuando se multiplica por el número de peces en cada clase de edad se denomina generalmente biomasa reproductora.

Para el stock oriental, Aranda et al. (2012) mostró una relación exponencial entre volumen ovárico y talla con un valor para el parámetro $a = 0,0009$ y un valor exponencial de $b = 2,9586$ (que a su vez corresponde a una relación lineal con el peso), y también concluyó que el volumen ovárico y la fecundidad están linealmente relacionados (fecundidad potencial = $1920,4 \times \text{volumen ovárico } 0.59 \times 10^{-6}$). El estudio de Aranda et al. (2012) se realizó con un tamaño de muestra relativamente pequeño ($n=49$) recopilada durante tres años, y parece que no todos los datos se ajustan adecuadamente a la relación. Medina et al. (2002), también para el stock oriental, proporcionó información sobre el número de oocitos por gramo de masa corporal para diferentes fases de desarrollo y estimó que la fecundidad por lotes para las hembras que desovan en Baleares se situaba en 92,8 oocitos por gramo de masa corporal. En el pasado se realizaron amplios estudios sobre fecundidad y correlación entre peso del cuerpo y talla y gónadas, en muestras más grandes (Rodríguez Roda, 1967). Para el atún rojo occidental, Baglin (1982) comunicó estimaciones del número de huevos por peso (estimado) y por talla, pero no se estimó una función de fecundidad a partir de los datos (véase la siguiente tabla). El Grupo reconoció la importancia de identificar funciones de fecundidad adecuadas para reducir las incertidumbres y sesgos de la evaluación. Además el Grupo debatió el hecho de que la utilización de supuestos erróneos sobre fecundidad del stock puede tener un impacto mayor en los resultados de la evaluación que la subestimación o sobreestimación de la edad de madurez en 1-2 años. El Grupo acordó que, dado el estado actual de los conocimientos sobre fecundidad, una relación lineal entre fecundidad y peso parece un supuesto apropiado para fines de evaluación. Pero, dado el impacto potencial de la utilización de supuestos erróneos sobre fecundidad, el Grupo recomendó también que se realizasen más estudios de fecundidad para confirmar si la relación lineal entre fecundidad y peso (tal y como es asumida actualmente el SCRS) es un supuesto correcto o si deberían adoptarse funciones nuevas para su utilización en futuras evaluaciones de stock.

Body length (cm)	Estimated body weight (kg)	Dry weight of eggs (g)	Gono-somatic index (%)	Estimated no. of eggs	
				>0.46 mm diameter (millions)	>0.32 mm diameter (millions)
205	156	1,260	5.3	13.6	32.7
222	¹ 188	696	2.1	16.7	22.7
229	217	1,202	3.1	24.2	46.4
229	217	2,177	5.0	55.5	96.0
229	217	1,481	2.8	33.9	64.4
231	224	1,330	4.4	26.8	41.1
236	¹ 197	1,329	3.2	28.4	40.3
236	¹ 189	1,404	3.2	29.6	44.7
238	246	1,788	4.1	39.0	63.9
238	246	1,703	4.2	40.1	64.5
238	246	1,796	3.8	34.4	61.7
241	254	1,483	3.4	29.8	62.4
241	254	2,436	4.8	48.0	84.9
241	¹ 247	1,560	3.9	33.0	44.0
244	263	1,750	3.6	25.2	56.7
244	263	1,452	3.4	23.2	42.1
244	263	2,121	5.0	49.3	93.3
252	289	2,770	4.7	39.6	94.6
254	298	1,942	2.9	41.6	76.0
—	307	1,681	2.5	32.0	59.2
256	307	1,950	2.6	42.2	79.5
257	¹ 232	1,200	2.9	24.3	33.8
257	309	750	1.9	16.2	26.2
259	316	2,750	4.2	32.6	76.9
259	316	2,500	4.4	48.8	80.6
261	¹ 272	1,488	2.6	31.4	42.3
262	¹ 324	2,593	4.5	57.6	81.6
269	¹ 284	1,950	4.6	40.6	74.8
$\bar{X}$ 243	255	1,734	3.7	34.2	60.3
SE 2.78	8.37	102.79	0.18	2.15	4.04

¹Actual weight determined.

Se analizaron datos de talla, peso y gónadas de 28 hembras de atún rojo del Atlántico oeste del golfo de México y del Estrecho de Florida que se habían recopilado durante los meses de abril, mayo y junio de 1967, 1968, 1974, 1975, 1976 y 1978. La media y el error estándar de la media se presentan en la parte inferior de las columnas. Extraído de Baglin (1982).

Ratios de sexos

En el documento SCRS/2013/083 se comunicaban las ratios de sexos estimadas a partir de los datos recopilados en granjas de atún rojo del Mediterráneo presentados a la Secretaría desde 2008. Este documento mostraba que, aunque parece haber cierta variabilidad en la ratio de sexos por talla, las diferencias no eran significativas y puede asumirse una ratio de sexos 1:1. Los resultados presentados parecen ser contradictorios con los presentados por Aranda et al. (2012) que mostraban divergencias importantes de la ratio de sexos 1:1 en diferentes gamas de tallas. Sin embargo, un examen más detallado de los resultados de ambos estudios mostraba que el documento SCRS/2013/083 resaltaba divergencias, aunque no importantes, en la ratio de sexos 1:1 en gamas de talla que eran muy similares a aquellas para las que Aranda et al. (2012) había hallado diferencias significativas. Para el stock del Atlántico occidental no hay mucha información disponible sobre ratios de sexos. However, Beerkircher et al. (2009) comunicó una proporción ligeramente superior (60%) de hembras que de machos en las capturas de atún rojo reproductor realizada por la flota de palangre pelágico de Estados Unidos que opera en la parte septentrional del golfo de México. Baglin (1982) también estimó algunas ratios de sexos

por mes y categorías de tallas y halló algunas divergencias importantes en la ratio de sexos 1:1. Sin embargo, Baglin (1982) no proporcionó información detallada sobre las gamas de talla en las que se detectaron dichas divergencias.

3.4 Mortalidad natural

El Grupo examinó la conclusión del documento SCRS/2013/077 y debatió los valores de la tasa de mortalidad natural por edad (M) que podrían utilizarse en futuras evaluaciones de stock de atún rojo. Aunque la mortalidad natural es claramente un parámetro fundamental en la mayoría de las evaluaciones de atún, sigue siendo, hoy por hoy, uno de los parámetros peor estimados en la mayoría de los modelos de pesquerías de túnidos. En el caso del atún rojo del Atlántico, en lo que concierne a este parámetro, puede constatar que los niveles y tendencias de mortalidad natural específica de la edad utilizados por el SCRS en años recientes difieren en gran medida en el Atlántico oriental y occidental, tal y como se muestra en la **Figura 22**.

Hay pocas o ninguna justificación científica que expliquen por qué un stock migratorio de este tipo, que muestra curvas de crecimiento muy parecidas en el Atlántico occidental y oriental, muestra unas diferencias tan marcadas en la mortalidad natural al este y al oeste de la línea, bastante artificial, establecida en 45° W. El Grupo también constató que el supuesto de una M constante con la edad se considera desde hace tiempo un supuesto no plausible desde el punto de vista biológico, pero se ha seguido considerando en las evaluaciones del stock occidental con el fin de mantener una base coherente para el seguimiento de su recuperación en el marco del plan de recuperación.

El Grupo concluyó que los futuros análisis de evaluación de stock de atún rojo deberían basarse en un mejor vector común de M por edad, utilizado en todo el Atlántico. Trabajos anteriores sugerían que los datos disponibles de colocación y recuperación de marcas no eran suficientes para estimar el nivel de mortalidad natural por edad (M_i), sin embargo gracias a los estudios recientes de marcado electrónico y convencional se ha podido realizar esta estimación. Debería estudiarse en profundidad esta perspectiva de análisis de los datos:

El Grupo examinó y debatió cuatro series indirectas de mortalidad natural por edad (M_i) (**Figura 23**).

- 1) SBT M_i , como la asumida actualmente en el Atlántico oriental (SCRS/1998/022).
- 2) M_i estimada mediante el método Lorenzen 1996.
- 3) M_i estimada mediante el método Gislason et al 2010.
- 4) M_i estimada mediante el método Watanabe (Chen y Watanabe 1989).

Las diferencias en los niveles y tendencias de los vectores M_i estimados mediante los métodos de Lorenzen, Gislason y Watanabe se detectan fácilmente, pero las incertidumbres en los resultados de cada método parecen bastante limitadas si se consideran las curvas de crecimiento muy parecidas, actualmente aceptadas, para el Atlántico occidental (Restrepo) y el Atlántico oriental (Cort).

Todos estos vector de M_i muestran una tendencia decreciente hacia los niveles asintóticos más bajos de M natural de los adultos en niveles cercanos a 0,075 (Lorenzen y Gislason) o 0,10 (SBT y Watanabe). En ninguna de estas cuatro M_i se observa una tendencia creciente tras la primera reproducción, supuesto asumido a menudo en diferentes evaluaciones de stock de túnidos tropicales (patudo y rabil). Cabe señalar también que, aunque los niveles de mortalidad natural estimados para los adultos son muy similares en estos cuatro vectores de M_i , presentan importantes diferencias en los juveniles. Las estimaciones de M en las edades 0 a 2 realizadas con el método Gislason son mucho más elevadas que las de las otras tres fuentes. Cabe señalar que estas elevadas estimaciones de M en la edad 0 realizadas mediante el método Gislason coinciden con la estimación preliminar de 1,6 para M_0 realizada a partir de un programa de marcado de Japón realizado en atunes rojos del Pacífico. (Iwata et al 2012).

El método actual de evaluación de stock VPA asume un grupo plus de 10. Sin embargo, se han observado recuperaciones de atunes rojos marcados incluso después de 10 años, y no hay duda de que los ejemplares de atún rojo pueden alcanzar edades mucho más avanzadas (por ejemplo, Secor, SCRS/2008/084; Fromentin y Fonteneau 2001). A medida que se recupera la población, la dinámica del grupo plus tendrá un efecto cada vez más importante en la productividad asumida del stock, en las estimaciones de puntos de referencia y en las proyecciones de stock utilizadas en el marco de asesoramiento de Kobe. Por ejemplo, los procesos como la mortalidad natural por edad, ¿se incrementan (Chen y Watanabe 1989) o descienden ligeramente con la edad (Lorenzen 1996)?

El Grupo consideró la hipótesis de incremento de la mortalidad natural para los atunes rojos más viejos (como en Chen y Watanabe 1989), que se debería, por ejemplo, al gasto de energía derivado de la reproducción (migración pre y pos reproducción, maduración de gónadas) y a la senectud biológica de los peces viejos debida a la edad y a la acumulación de factores negativos a los que se enfrentan los ejemplares de más edad (más parásitos, enganches accidentales en anzuelos, heridas en las aletas causadas por las pesquerías en varias ocasiones, distancias mayores recorridas en las migraciones, etc.).

El Grupo recomendó que en el marco de los trabajos futuros del GBYP se estudie este incremento potencial de la mortalidad natural de los ejemplares de atún rojo de más edad.

Las incertidumbres básicas en los diferentes vectores de M investigadas durante la reunión del Grupo deberían analizarse mejor antes de proceder a una elección final para su utilización en la próxima evaluación de stock, por ejemplo, considerando mejor las incertidumbres relacionadas con la longevidad y el crecimiento del atún rojo.

3.5 Estructura de la población y mezcla del stock: microquímica de otolitos, genética, marcado, tablas clave stock-edad

Examen del estado de los conocimientos

3.5.1 Población del Mediterráneo

Los datos pesqueros y de marcado respaldan la idea de la presencia de elementos residentes y migratorios en el mar Mediterráneo. El grupo migratorio parece provenir sobre todo de la reproducción en las partes central y occidental del Mediterráneo. Los reproductores en el Mediterráneo oriental forman posiblemente una subpoblación separada que podría tener conexiones con la población histórica del mar Negro.

3.5.1.1 Elemento migratorio

Migradores jóvenes

Algunos juveniles de edad 0 y edad 1 parten del Mediterráneo occidental (por ejemplo, región de Baleares) y utilizan las aguas de Marruecos en invierno para después desplazarse a las zonas de cría del Atlántico norte (por ejemplo, Bahía de Vizcaya) durante el verano.

Basándose en la similitud de las condiciones medioambientales y oceanográficas y de la producción, las aguas de la plataforma de Marruecos y del Atlántico nororiental proporcionan hábitats equivalentes para la alimentación de juveniles de edades 0 y 1.

Migradores de edad más avanzada

A partir de la edad 2, algunas pequeñas fracciones de juveniles migratorios entran en las unidades de ordenación del stock occidental, pero la fracción dominante ocupa el océano Atlántico nororiental (Rooker et al. 2008; Busawon et al. 2013 y datos recientes obtenidos en el marco del GBYP).

Los adultos (edad 4+) son interceptados en sus migraciones de reproducción desde el Atlántico norte al Mediterráneo por pesquerías históricas de almadrabas. En los datos históricos de las almadrabas se observan ciclos marcadamente estacionales de entrada (abril a mayo) y salida (finales de junio a julio) en el Mediterráneo, que se corresponden con el periodo de reproducción conocido. Los datos de las almadrabas muestran también ciclos marcados en la abundancia en términos de décadas y de siglos (Ravier y Fromentin 2001).

El marcado electrónico respalda las migraciones de reproductores al Mediterráneo desde regiones de todo el Atlántico Norte. Los adultos de este grupo migratorio ocupan sobre todo el mar Mediterráneo occidental, presuntamente para reproducirse. El marcado electrónico muestra pocas pruebas de este componente migratorio en el mar Mediterráneo oriental.

La información histórica (anzuelos noruegos) muestra la incidencia de un componente migratorio del Atlántico norte en las zonas de reproducción del Mediterráneo central y occidental (Sella 1929; Genovese 1959). Las marcas naturales (marcas de mordiscos del tiburón cigarro) también respaldan la incidencia de este componente migratorio en esta región.

Distribución geográfica

El componente migratorio está presente en todo el Atlántico norte, en aguas canadienses y en aguas estadounidenses. No hay evidencias de este componente en el golfo de México. Los análisis históricos sugieren que el componente brasileño no está conectado con la población del Mediterráneo (Fromentin et al., presentado).

3.5.1.2 Componentes de residencia

Residencia en el Mediterráneo

Los estudios genéticos y el marcado electrónico respaldan la hipótesis de dos componente residentes predominantes en la región central-occidental y en la región oriental del Mediterráneo, pero la fidelidad al lugar de nacimiento o de reproducción sigue sin estar documentada.

La conducta de residencia del atún rojo del Mediterráneo se ve respaldada por su incidencia en pesquerías de pequeña escala, como la pesquería de liña de mano (Di Natale et al., 2005) durante todo el año.

El marcado electrónico sugiere un regreso estacional a las zonas de forraje que podría indicar una residencia durante toda la vida en el mar Mediterráneo.

Subpoblaciones en el mar Mediterráneo

No se sabe si la estructura de subpoblación implica residencia en el Mediterráneo.

Las tallas de los reproductores y las fechas de reproducción varían en el Mediterráneo central, oriental y occidental, pero éstas variaciones no muestran una separación que sea coherente con la diferenciación entre subpoblaciones. Las tallas de reproductores a menudo se mezclan en la misma concentración de reproductores.

Los juveniles de edad 0 y edad 1 están presentes en todo el Mediterráneo, pero con una distribución irregular. La zona más extensa de concentración de juveniles de edad 0 se halla en el Mediterráneo central y hay concentraciones más pequeñas por todo el Mediterráneo oriental y occidental. Las concentraciones de edad 0 muestran evidencias de diferenciación en los análisis genéticos y química de otolitos (Rooker et al. 2003).

Hipótesis específica del componente de residentes del Mediterráneo

Los juveniles tienen unas distribuciones espaciales diferenciadas en el Mediterráneo, que podrían reflejar una posible estructura de la población.

El Mediterráneo oriental podría haber albergado el hábitat de reproducción para la población histórica del mar Negro. La recolonización del mar Negro dependería del atún rojo originario del mar Mediterráneo oriental.

El mar Negro podría haber albergado reproducción y una subpoblación separada (Mather et al. 1995). Durante la última parte de la temporada de reproducción se han capturado adultos en la mar Negro y en el mar de Azov (McKenzie y Patrizio 2012), pero las aguas podrían ser demasiado frías para la supervivencia de las larvas y los huevos.

3.5.2 Población del golfo de México

La evidencia de una población occidental separada de atún rojo del Atlántico procede de la presencia de larvas, una estructura de tallas que indica una edad de madurez diferente a la de la población del Mediterráneo y los datos de marcado convencional (Fromentin y Powers 2005). El marcado electrónico, la microquímica de otolitos, los estudios de indicios naturales y los estudios genéticos respaldan con fuerza la premisa de una población del Atlántico occidental diferenciada de la población mediterránea (Carlsson et al 2007; Boustany et al 2008; Rooker et al. 2008). Sin embargo, al igual que la población mediterránea, la población del golfo de México podría incluir elementos separados con comportamientos de migración y reproducción únicos.

3.5.2.1 Separación de la población mediterránea

Los marcadores naturales, la genética y la estructura de talla diferenciada de los reproductores son coherentes con la teoría de poblaciones de reproductores separadas en el golfo de México y en el mar Mediterráneo. Los

reproductores del golfo de México y del Mediterráneo muestran un alto nivel de fidelidad al lugar de nacimiento (>90%) a estos amplios centros de origen (Rooker et al. 2013; Secor et al. 2013a).

Los datos de marcado y los datos de las pesquerías respaldan la premisa de que el golfo de México es un hábitat de reproducción único. Las marcas PSAT muestran sobre todo la ocupación individual de ~2 meses, con presencia de atún rojo de noviembre a junio. La entrada de algunos peces a principios del invierno podría sugerir una temporada de reproducción prolongada o un componente migratorio separado (por ejemplo, contingentes orientales v. contingentes occidentales del golfo de México). Los registros de capturas también muestran la incidencia de atún rojo del Atlántico durante los meses de invierno.

La importancia de la temporada temprana de reproducción debería investigarse más mediante prospecciones de larvas y modelaciones de la idoneidad del hábitat.

Ningún adulto con marcas electrónicas ha visitado las dos zonas; el golfo de México y el mar Mediterráneo.

3.5.2.2 Subpoblaciones independientes

Las capturas recientemente documentadas de atún rojo en el golfo de México suroccidental incluyen una mayor proporción de peces pequeños (110-180 cm CFL) que en la parte septentrional del golfo de México (Ramirez y Abad 2013). Se requieren más trabajos de investigación, pero esto podría sugerir un componente con un comportamiento de migración único y/o con un comportamiento de reproducción diferente.

3.5.2.3 Distribución geográfica

En los esfuerzos realizados para documentar los movimientos de los peces originarios del golfo de México, los ejemplares se asignaron al golfo de México basándose en si se habían marcado en el golfo de México o en si habían visitado posteriormente el golfo de México tras haber sido marcados en otro sitio (Block et al. 2005; Walli et al. 2009). Dichos peces se desplazaron al Atlántico noroccidental, central y nororiental. El destino predominante para los peces del golfo de México es el Atlántico noroccidental. Unos pocos peces del Atlántico noroccidental (Canadá) mostraron evidencias de haberse desplazado estacionalmente hacia el Atlántico nororiental.

Los análisis históricos oceanográficos y de palangre sugieren que algunos contingentes podrían haber migrado entre el golfo de México y Brasil y posteriormente haber desaparecido debido al cambio oceanográfico y a la posible sobrepesca (Fromentin et al., presentado).

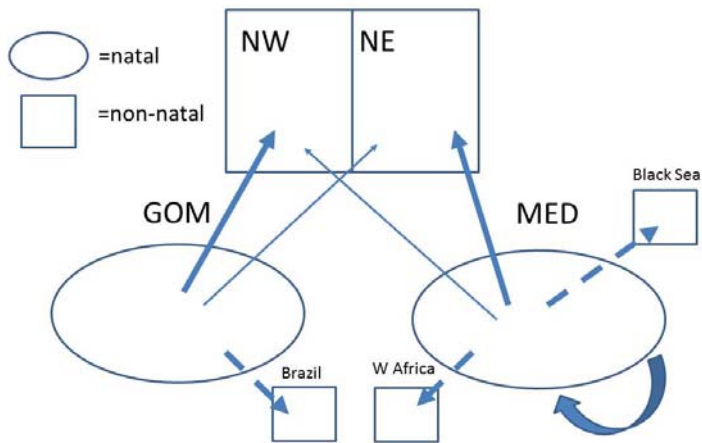
3.5.3 Otras estructuras de población

El atún rojo del Pacífico muestra una interesante estructura de población que podría considerarse una estructura de población alternativa para las poblaciones del golfo de México y del Mediterráneo. El atún rojo del Pacífico desova a lo largo de diferentes latitudes (desde Taipei Chino hasta el mar de Japón). Los reproductores pequeños son más propensos a utilizar el mar de Japón y los más grandes las zonas de reproducción más meridionales (Itoh 2006). Se ha sugerido que se podría aplicar una estructura similar en el Atlántico occidental.

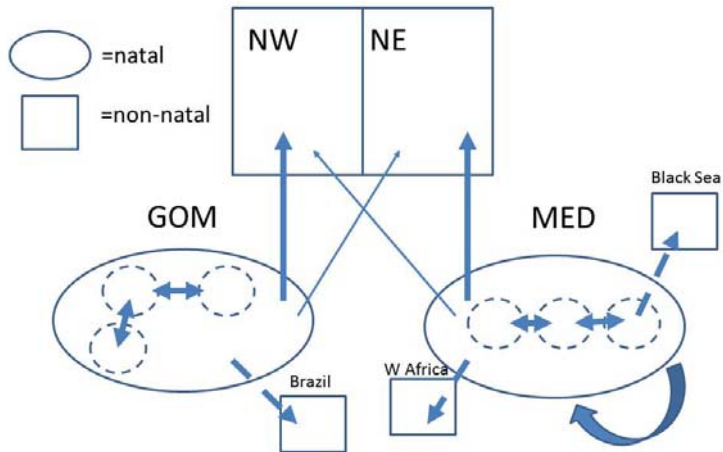
Conceptos de estructura de población - diagramas

Los científicos han propuesto una gama de estructuras de población para el atún rojo del Atlántico. Los diagramas que se presentan más adelante muestran estructuras de población que dependen de entidades auto-reproductivas (poblaciones y subpoblaciones) y grupos con comportamientos migratorios similares a lo largo de su ciclo vital, que no dependen necesariamente del aislamiento reproductivo (contingentes). Estas estructuras de población no son exhaustivas: por ejemplo, se pueden concebir combinaciones de subpoblaciones y contingentes dentro de la misma estructura. El objetivo de esto es proporcionar estructuras de población principales y confrontarlas con los datos existentes.

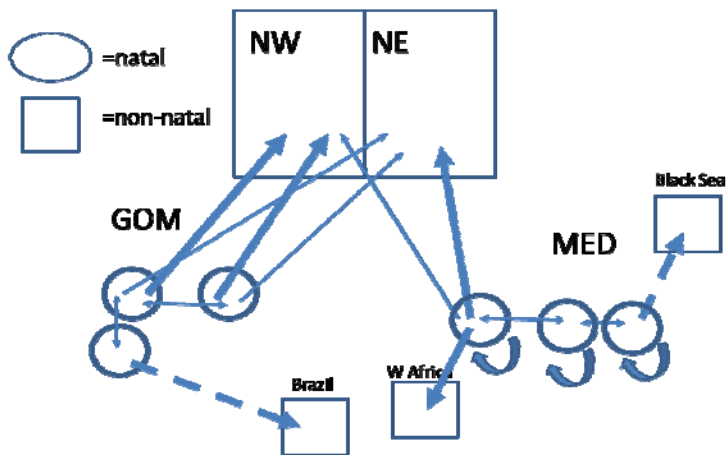
Two Population Model with No Sub-populations



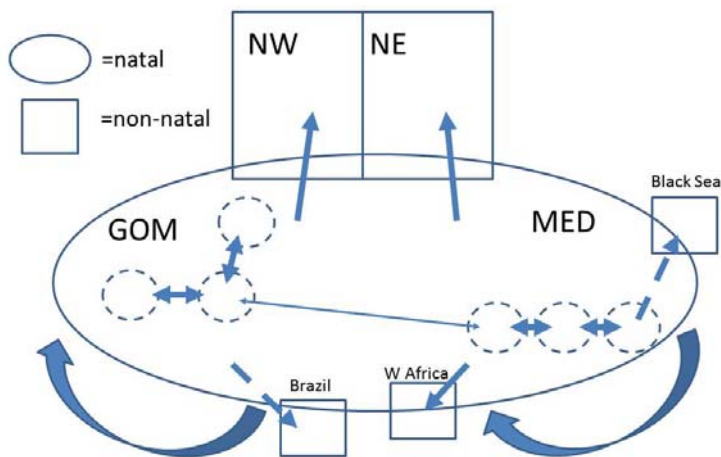
Two Population Model with Contingents



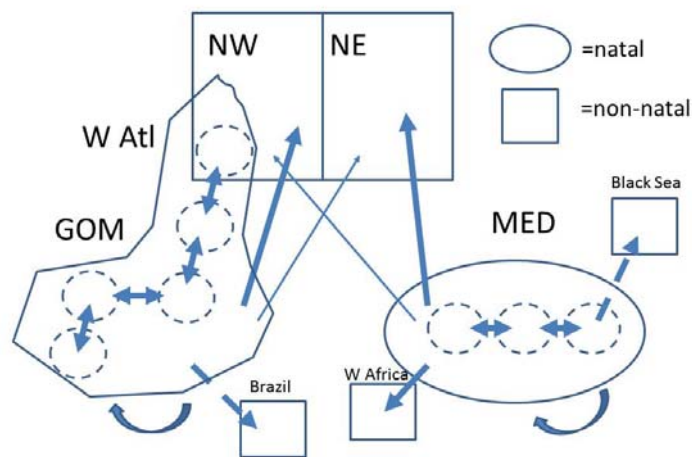
Metapopulation Model



Panmictic Population with Some Patchiness



Extended W. Atl. Two Population Model w Contingents

*Enfoques para evaluar la estructura de la población*

Los enfoques que abordan la estructura de la población incluyen marcadores moleculares, química de otolitos, contaminantes, “marcas naturales” y marcas electrónicas. Los movimientos y la mezcla de stocks se evalúan con más precisión mediante los datos de marcado, pero las marcas naturales pueden proporcionar también información sobre movimientos regionales. Los indicios de estructura de la población, sobre todo los enfoques genético y de química de otolitos, varían significativamente en el modo en que se representa la estructura espacial pasada de la población histórica.

Enfoques moleculares

En los últimos quince años, se han explorado varias técnicas moleculares en un esfuerzo por obtener una imagen más precisa de la estructura de la población de *Thunnus thynnus* y su dinámica de un modo coherente con los resultados desarrollados por las campañas de marcado electrónico y los conocimientos ecológicos tradicionales. La sofisticación y resolución de estas técnicas están evolucionando y los resultados recientes muestran un gran potencial a la hora de aclarar esta cuestión esquivada que ha interferido en la ordenación óptima de la especie (**Tabla 14**).

La primera evidencia de diferenciación entre las poblaciones del Atlántico y del Mediterráneo procede Alvarado Bremer et al. (1999), que realizó una genotificación del atún rojo del Atlántico (ABFT) utilizando la región de control del ADN mitocondrial (mtADN CR), aunque la efectividad de este marcador se puso en tela de juicio cuando un estudio posterior no pudo diferenciar las muestras recogidas de diferentes años (Ely et al. 2002). Estudios posteriores que utilizaron análisis de alozimas no consiguieron diferenciar las poblaciones (Ely et al. 2002; Pujolar 2003). La diferenciación de poblaciones dentro del Mediterráneo se detectó por primera vez

utilizando marcadores moleculares en 2004, cuando Carlsson et al. genotipificó una recopilación de juveniles del año de atún rojo del Atlántico utilizando CR mtDNA y microsatélites. Desde entonces, varios estudios han respaldado la diferenciación de población del golfo de México y del Mediterráneo (Carlsson et al. 2005; Boustany et al. 2008) así como dentro del Mediterráneo (Carlsson et al. 2005; Riccioni et al. 2010), a pesar de los bajos valores F_{ST} en comparación con otras especies marinas (Waples 1998). Por el contrario, otros estudios no han podido revelar la misma estructuración de la población utilizando las mismas técnicas moleculares (Alvarado Bremer et al. 2005; Viñas et al. 2011). Albaina et al. (2013) fueron los primeros que caracterizaron la estructura de población entre el Atlántico occidental y el Atlántico este y Mediterráneo utilizando polimorfismos de nucleótido simple (SNP), un marcador relativamente nuevo, que es potencialmente más eficaz, es asequible y tiene mayor capacidad. Los 17 SNP utilizados en sus estudios produjeron las pruebas más significativas para la diferenciación de las poblaciones que se han obtenido hasta la fecha. Sin embargo, debido al número limitado de muestras utilizadas en sus estudios es necesario que su potencial de asignación de población sea validado de un modo suficiente antes de realizar aplicaciones a gran escala (véase el Apéndice X para los registros detallados de análisis genéticos anteriores de ABFT).

Actualmente, en el marco del ICCAT-GBYP se está desarrollando un panel de SNP mediante la secuenciación reducida de reproducción y genotipificación (RRSG), una tecnología de secuenciación de próxima generación. El objetivo primordial es tratar de resolver la estructura de la población de atún rojo del Atlántico y desarrollar un panel SNP capaz de realizar asignaciones de población que puedan utilizar las diferentes partes cualificadas en el marco de ICCAT. Esto podrá aplicarse directamente a las evaluaciones de stock y a la trazabilidad comercial. En el futuro, los SNP individuales podrán asignarse a genes asociados con presiones selectivas, revelando así las diferencias funcionales entre poblaciones o contingentes de atún rojo del Atlántico. Por tanto, los SNP obtenidos de este proyecto podrían también revelar información sobre la influencia de factores medioambientales en la supervivencia de reclutas dentro de una misma población.

Los análisis preliminares de datos realizados en el marco del GBYP-Fase 3 sobre un total de 555 ejemplares de atún rojo se centraron sobre todo en muestras de larvas y juveniles de zonas de reproducción y revelaron un número limitado de SNP con buen rendimiento capaces de identificar y diferenciar al menos tres poblaciones de reproductores de atún rojo del Atlántico (GOM, WMED, EMED), que están agrupadas genéticamente y son temporalmente estables. Los trabajos genéticos actuales del GBYP se centran en completar el análisis de 1.332 muestras de toda la gama de especies secuenciadas, así como en la validación de un panel reducido de SNP (48-192 plex). Debido a la complejidad y cantidad de datos genómicos generados mediante RRSG y obtenidos para el atún rojo del Atlántico (datos genómicos pobres con peces que no se ajustan al modelo al mostrar una ecología y biología complejas y parcialmente sin resolver). Se requieren varios análisis adicionales para perfilar la selección/validación del SNP para fines de ordenación y trazabilidad, con el fin de obtener hallazgos científicos bien fundamentados que respalden las acciones de ordenación de ICCAT para el atún rojo del Atlántico en un futuro próximo. En el marco del GBYP, se prevé obtener durante los años civiles 2013 y 2014 resultados de la genotipificación del panel de SNP y los análisis de estructura de la población. Por tanto es razonable esperar que los datos obtenidos durante este proyecto exhaustivo y de gran escala estén disponibles para las actividades de evaluación de stock de 2015.

Isotopos estables de otolitos

Los marcadores de isotopos estables de otolitos representan el medio físico en el que han estado los juveniles de atún rojo. Se producen diferencias permanentes en los isotopos medidos entre las diferentes zonas de cría principales del atún rojo del Atlántico que se reflejan en las muestras de juveniles recogidas durante más de 10 años (Secor et al. 2013 b,c). Las líneas de referencia (límites) establecidos para las muestras procedentes de cada zona de cría muestran un solapamiento pero presentan una diferenciación suficiente que permite asignar las muestras desconocidas a zonas de cría (natales). Un supuesto importante es que los juveniles no realizan migraciones transoceánicas durante su primer año de vida. Este enfoque se ha desarrollado en varios documentos objeto de revisión por pares y a través de la formación recíproca de científicos en laboratorios de la UE, Canadá y Estados Unidos, lo que permite actualmente que el procesamiento intensivo de los otolitos respalde los análisis de estructura del stock. Este enfoque requiere más trabajos (extracción y procesamiento de otolitos) y más costes analíticos por muestra que los enfoques moleculares como el uso de SNP, pero actualmente está en fase de aplicación. Se prevé que antes de la evaluación de 2015, las estimaciones de niveles de mezcla basadas en isotopos estarán disponibles para las principales pesquerías de atún rojo del Atlántico basándose en el análisis de >4.000 otolitos (véase la **Tabla 15**).

Marcas contaminantes

Las marcas contaminantes funcionan como “marcas de dieta” y de ellas se obtiene información sobre el historial reciente de alimentación y crecimiento. Las ratios de organoclorina (transnonacloro/PCB153, cisnonacloro/PCB 187; Dickhut et al. 2009) son modos especialmente eficaces de utilizar las diferencias regionales en fuentes contaminantes para evaluar movimientos, pero el enfoque requiere que se establezcan líneas de base regionales. En particular existen importantes diferencias en las ratios de organoclorina del Atlántico norte occidental y del Mediterráneo para permitir que detectar a migradores recientes entre estas dos regiones. Los movimientos o la ausencia de movimientos (residencia) de los juveniles se ajustan a las expectativas de movimientos transoceánicos de peces de edades 2-3 (Dickhut et al. 2009). Desde el punto de vista operativo, este enfoque es el más oneroso de los enfoques revisados, pero proporciona una información única relacionada con el historial de movimientos recientes ($\sim \leq 1$ año). Actualmente, el enfoque puede proporcionar una corroboración clave de los resultados de otros enfoques como genética o isótopos estables de otolitos. Desarrollos futuros podrían permitir la aplicación de ratios de organoclorina a movimientos específicos de la edad entre amplias regiones oceánicas, aunque las señales regionales estén probablemente forzadas por efectos oceanográficos y meteorológicos estacionales e interanuales.

Marcas electrónicas

Las tecnologías de rastreo electrónico (por ejemplo, marcas archivo, marcas acústicas, marcas vía satélite) se han utilizado en muchos estudios (Lutcavage et al. 1999, Block et al. 2001, Block et al. 2005, Teo et al. 2005, De Metrio et al. 2005, Boustany et al. 2008, Walli et al. 2009, Stokesbury et al. 2007, 2001, Wilson et al. 2005, Wilson et al. 2009, Lawson et al. 2010, Galuardi et al. 2010, Fromentin 2010, Galuardi et al. 2012) en todo el Atlántico oriental y occidental, en el golfo de México y en el Mediterráneo para examinar la dinámica espacial y temporal del atún rojo (Fromentin y Powers, 2005). Muchos de los hallazgos han mejorado con la integración de análisis genéticos (Boustany et al., 2008), la microquímica de otolitos (Rooker et al. 2008) y los datos de pesquerías (Díaz et al. 2006) para inferir la estructura de la población y avanzar en el desarrollo de modelos de evaluación de stock estructurados espacialmente (Taylor et al. 2011). El rastreo electrónico con marcas archivo ha revelado migraciones repetidas de múltiples ejemplares a hábitat de reproducción dentro del golfo de México y del Mediterráneo, lo que indica fidelidad al lugar de desove (Block et al. 2005) y no se han observado migraciones individuales a ambas regiones. Los datos de rastreo respaldan la hipótesis de una estructura de población múltiple en el Atlántico y mares adyacentes, con poblaciones reproductoras diferenciadas en el mar Mediterráneo y en el golfo de México. Los datos genéticos de los peces marcados también respaldan la hipótesis de una población múltiple (véanse los enfoques moleculares). Los datos adicionales de marcado contribuirán a dilucidar la “línea de separación” entre estas poblaciones. Los recientes datos de rastreo del Mediterráneo presentados desde 2009 y durante esta reunión por G. Quilez-Badia et al y J.M Fromentin indican un alto nivel de residencia en la cuenca occidental, con algún movimiento a la cuenca central (véase también Medina et al. 2011; Tudela et al. 2010; Fromentin 2010, Quilez-Badia et al. 2013) pero no se ha detectado ninguna conexión (hasta la fecha a partir de datos de rastreo) con la cuenca oriental. Las actividades de marcado del GBYP han detectado también movimientos no previstos en el Atlántico central oriental durante la temporada de desove (Quilez-Badia et al. 2013). Más colocaciones de marcas dentro de regiones específicas del golfo de México (zonas NE, NW y SW) mejorarán los conocimientos sobre los movimientos y comportamiento del atún rojo dentro del golfo de México y reforzarán las investigaciones genéticas en curso para dilucidar la estructura de la población.

4. Incorporación de datos recopilados y/o recuperados en las bases de datos de ICCAT

El procedimiento para incorporar la nueva información disponible en las estadísticas de pesquerías de las bases de datos de ICCAT se presenta en el punto 2.1

5. Recomendaciones

Recomendaciones de investigación

Tarea II y datos biológicos

- El Grupo recomienda que se comprueben y validen todos los datos de las granjas, tal y como se indicó en el informe, y que se introduzcan dichos datos en la CAS del atún rojo del Mediterráneo, para que esta considerable fuente de información pueda utilizarse en la evaluación de stock de 2015.
- El Grupo recomienda que continúen los análisis de los datos VMS para obtener estimaciones mejores de las variaciones temporales y espaciales en el esfuerzo pesquero de las principales flotas y para obtener un índice de abundancia de la flota de cerco del Mediterráneo mediante una modelación estado-espacio. A este efecto, el Grupo recomienda también que se faciliten los datos VMS con la resolución temporal más alta posible (1 hora o menos).

Conversiones de talla

- El Grupo recomienda que, para la evaluación de stock de 2015, se utilicen algoritmos de conversión de talla actualizados que se basen en los conjuntos de datos más recientes y más amplios.

Conversiones de edad: recomendaciones para trabajos futuros

- El Grupo indicó que siguen surgiendo problemas a la hora de obtener muestras de estructuras calcificadas (especialmente otolitos) en algunos mercados, ya que hay cierta reticencia a la hora de dañar físicamente el valioso pescado durante el proceso de muestreo. Un método para superar este problema es iniciar una campaña de concienciación entre los consumidores y procesadores que promueva el concepto de que un pez muestreado ha contribuido a la ciencia y a los esfuerzos de conservación. Ya se ha iniciado con éxito un programa de este tipo para el atún rojo del Atlántico sur (Anón 2002). El Grupo también indicó que tras considerar los tamaños de muestra mínimos requeridos para el desarrollo de las claves talla-edad, el SCRS debería considerar solicitar a la Comisión que incluya en la próxima recomendación de ordenación que se adopte niveles de muestreo mínimos para las partes duras.
- El Grupo debatió la importancia de las colecciones de partes duras de referencia. Dichas colecciones pueden ser una herramienta de gran valor a efectos de control de calidad y formación, y son utilizadas de forma rutinaria por los laboratorios que realizan determinaciones de la edad (Jerald 1983, Kimura and Anderl 2005, Campana 2001). También se indicó que algunas instituciones adicionales han manifestado su intención de contribuir a las determinaciones de la edad, pero que quieren asegurarse de que sus interpretaciones son coherentes con las que ya han desarrollado los científicos del SCRS. El Grupo recomienda que se facilite una colección de referencia común para respaldar los esfuerzos de estas instituciones.
- El Grupo recomienda que se desarrollen acuerdos para la producción de determinación de la edad. Los ejemplos incluyen el número de edades relacionadas con las interpretaciones, los supuestos de fecha de nacimiento, la utilización de edades fraccionadas basadas en meses o edades múltiples y la utilización de umbrales de precisión para excluir interpretaciones.
- Dada la observación de que tanto los otolitos como las espinas generan información útil para las interpretaciones de la edad, el SCRS podría desarrollar un enfoque de asignación de edad utilizando los otolitos y las espinas, posiblemente ponderando la contribución de las dos partes duras a la varianza de la edad media por talla o la confianza relativa de los lectores en la determinación de la edad.
- Con antelación con respecto a la evaluación de 2015, debería difundirse una compilación de las partes duras y las determinaciones de edad disponibles (**Tabla 12**) entre los laboratorios que participan en estudios de crecimiento y edad, solicitando que revisen y actualicen dicha información. Sería útil disponer de una versión completa de dicha tabla para contribuir a la planificación de los esfuerzos de muestreo.
- Dada la intención del SCRS de desarrollar enfoques de evaluación que se fundamenten más en la información estructurada por edad, sigue siendo una prioridad la continuación de la inversión en el muestreo biológico y en estudios de crecimiento y edad.

- Se recomienda que se desarrollen métodos para disgregar los peces del este de la captura por edad del oeste.
- El Grupo recomienda que se realicen análisis adicionales de los datos de recuperación de marcas para estimar el crecimiento y la variabilidad en el crecimiento entre ejemplares y a lo largo del tiempo.
- Con miras a preparar la próxima evaluación de stock, el Grupo recomienda un análisis de las variaciones entre las ALK combinadas de varios años para incluir las clases de talla infra-representadas (sobre todo los ejemplares más grandes) y de las ALK anuales (que reflejan mejor las variaciones en la fuerza de clase anual).
- Para comprender mejor los sesgos potenciales y la incertidumbre asociada con la CAA utilizada en la evaluación de stock, el Grupo recomienda que se realicen análisis adicionales de la metodología utilizada para calcular CAA. Se sugiere que se utilice un marco de simulación que incluya el proceso de muestreo y una gama de métodos alternativos para convertir CAS en CAA. El marco de simulación podría integrarse en un enfoque de MSE en el futuro (por ejemplo, como modelo de error de observación) lo que permitiría identificar mejor y clasificar las diferentes fuentes de incertidumbre (muestreo frente a modelación) en lo que concierne al asesoramiento de ordenación. Esto también contribuirá a especificar los procesos en modelos estadísticos de captura por edad.

Reproducción

- El Grupo recomienda que se revisen los calendarios de madurez actuales asumidos para la evaluación del stock occidental y del stock oriental, utilizando las ojivas de reproducción, y que se defina una ojiva de madurez más amplia para el Atlántico occidental.
- El Grupo recomienda que se lleven a cabo muestreos de muestras de reproducción (por ejemplo, histología, GSI, FSI, etc.) y muestras de larvas para el atún rojo del Atlántico occidental en toda su zona de distribución geográfica, sobre todo en zonas no bien muestreadas, como el Atlántico pelágico (por ejemplo, regiones de palangre) desde finales de febrero hasta julio con el fin de examinar si la reproducción del atún rojo se produce en el Atlántico más allá del golfo de México.
- El Grupo recomienda que se examine la utilidad de emplear datos de otros programas de muestreo de larvas (por ejemplo, MARMAP) para comprobar la presencia de larvas de atún rojo en áreas situadas fuera de las zonas de reproducción identificadas.
- El Grupo recomienda que se llegue a un acuerdo sobre un conjunto de técnicas endocrinas e histológicas estándar que se utilizarían de forma simultánea para ambos stocks, con el fin de facilitar la comparación de los calendarios de madurez en ambos lados del Atlántico y de desarrollar métodos (por ejemplo, marcadores histológicos) que permitan la identificación de actividad reproductiva pasada.
- El Grupo recomienda que se obtengan muestras de atún rojo del este fuera del Mediterráneo durante la temporada de reproducción para realizar estudios de madurez y que se utilicen los enfoques de curva de captura estructurados por edad y análisis CAS para explorar los calendarios de reproducción para diferentes pesquerías en el Mediterráneo.
- El Grupo recomienda que se actualice la estimación de Díaz (2011) de la proporción de reproductores en cada clase de edad en el golfo de México mediante la utilización de los datos de captura de la pesquería de palangre japonesa y mexicana y la curva de crecimiento de atún rojo occidental de Restrepo et al. (2011).
- El Grupo recomienda que se realicen más estudios de fecundidad para confirmar si la relación lineal entre fecundidad y peso es un supuesto correcto o si deberían adoptarse nuevas funciones para su utilización en futuras evaluaciones de stock. Se debe intentar garantizar que el conjunto de datos de Medina et al. (2002, 2000) se incorpora en este esfuerzo.

Mortalidad natural

- El Grupo recomienda la utilización de vectores de mortalidad natural alternativos para el stock occidental y el stock oriental para la evaluación de stock de 2015. Este vector debería ser el mismo para todos los stocks de atún rojo del Atlántico. Tienen que realizarse más investigaciones, de conformidad con los datos más recientes (como los datos de marcado). El vector M estimado mediante el método Lorenzen (1996) se

recomienda como la mejor hipótesis de trabajo, pero también deberían considerarse las estimaciones basadas en Gislason et al (2010).

- Deberían realizarse investigaciones biológicas explícitas y activas sobre mortalidad natural de atún rojo, sobre todo en el marco del GBYP, para estimar mejor la mortalidad natural por edad del atún rojo (por ejemplo, mediante el análisis de los datos de colocación y recuperación de marcas) o para estudiar la potencial senectud y determinación de la edad del atún rojo.

Estructura de la población y mezcla

- Dado que es probable que la estructura de la población sea más compleja de lo que se asume actualmente, el Grupo recomienda que, durante la evaluación de stock de 2015, se empiecen a probar los efectos de dicha estructura en el asesoramiento científico.
- Se prevé que la evaluación de 2015 sea un hito para el SCRS, ya que se espera disponer de una cantidad importante de información nueva sobre mezcla del stock y se adoptarán nuevos enfoques de modelación que incorporan la mezcla. El Grupo resaltó que se dispondrá de nuevos datos a partir de análisis moleculares y de isótopos estables en otolitos (**Tablas 14 y 15**). Sin embargo, los esfuerzos para reunir información similar sobre marcas convencionales y electrónicas fueron mucho más complejos debido al mayor número de investigadores implicados, al destacado papel que tuvieron los grupos académicos y las ONG, así como a la diversidad de objetivos de estos estudios. Para contribuir a aportar información al proceso, el Grupo recomienda que tras el establecimiento de los requisitos de modelación para la evaluación de 2015, se envíe una solicitud de datos de marcado convencional y electrónico a todas las partes que realicen este tipo de investigación para el atún rojo del Atlántico. En el caso del marcado electrónico, y para evitar la preocupación que plantea el hecho de que compartir dichos datos pueda comprometer las posibilidades de publicación, en la solicitud se debería especificar que los datos que se requieren son los siguientes:
 - 1) la fecha, localización y talla de todos los ejemplares marcados durante el estudio.
 - 2) la fecha, localización y talla (o edad) de todos los ejemplares marcados durante el estudio
 - 3) cuando proceda, la duración del tiempo que pasa dentro de X por cuadrículas de X grados.
 - 4) cuando proceda, el stock de origen tal y como se deduzca de los análisis genéticos y de la microquímica de otolitos.

6. Otros asuntos

6.1 Revisión de otros datos disponibles (por ejemplo, VMS)

El sistema de seguimiento de buques (VMS) de ICCAT para la flota de atún rojo del Este está plenamente operativo desde 2008. Un análisis preliminar de la información VMS de 2010-2011 concluyó que es posible estimar una probabilidad de esfuerzo de pesca efectivo siempre que se identifique la flota-arte principal por buque (SCRS/2012/125). El análisis y revisión de los datos de VMS indicaron que considerando el arte principal, hay diferencias identificables en las variables de velocidad del buque, tiempo que pasa en el mar y conducta pesquera general entre las flotas de palangre, caña y liña y cerco. Estas variables pueden utilizarse para identificar mareas de pesca y para estimar el esfuerzo de pesca efectivo. Se recomendó que la validación se realice con información complementaria como cuadernos de pesca o informes de observadores a bordo. Además, en el caso del atún rojo se recomendó que se vinculen los archivos de operaciones de los buques individuales con los de la documentación de capturas de atún rojo (BCD) para asociar el esfuerzo de pesca individual y la captura asociada y su distribución por tallas.

6.2 Propuesta para el desarrollo de un modelo operativo con miras a su utilización en la MSE

En su reunión de diciembre de 2012, el Comité directivo del GBYP revisó un plan de trabajo plurianual, que incluía objetivos, plazos y documentos a presentar para el trabajo de modelación. Como parte de este plan de trabajo, el Comité directivo recomendó que se formase un Grupo dentro del SCRS para ayudar a desarrollar un modelo operativo. Dicho Grupo debía trabajar antes de esa reunión y debía presentar los resultados en la reunión de tres días del GBYP que se celebraría después de dicha reunión con el objetivo de desarrollar especificaciones para el modelo operativo.

Por diferentes razones, no se realizó el trabajo de preparación antes de la reunión y, por tanto, la reunión de tres días se utilizará para realizar el trabajo preparatorio. Por consiguiente, los trabajos relacionados con el diseño del modelo operativo se realizarán antes de la reunión de métodos de evaluación de stocks de atún rojo, que se celebrará del 20 al 22 de julio de 2013, en Boston, Estados Unidos, con la participación de los científicos de atún rojo del SCRS.

7. Adopción del informe y clausura

El informe fue adoptado.

El Presidente expresó su agradecimiento a los participantes por el gran trabajo realizado.

La reunión fue clausurada.

Referencias

- Albaina A, Iriondo M, Velado I, Laconcha U, Zarraonaindia I, Arrizabalaga H, Pardo MA, Lutcavage M, Grant WS and Estonba A (2013) Single nucleotide polymorphism discovery in albacore and Atlantic bluefin tuna provides insights into worldwide population structure. *Animal Genetics*. doi: 10.1111/age.12051
- Alvarado Bremer JR, Viñas J, Mejuto J, Ely B and Pla C (2005). Comparative phylogeography of Atlantic bluefin tuna and swordfish: the combined effects of vicariance, secondary contact, introgression, and population expansion on the regional phylogenies of two highly migratory pelagic fishes. *Molecular phylogenetics and evolution* 36: 169-187.
- Alvarado-Bremer JR, Naseri I, Ely B (1999) A provisional study of northern bluefin tuna populations. *Collect Vol Sci Pap ICCAT* 49:127-129
- Aranda G, Medina A, Santos A, Abascal FJ, Galaz T. 2012. Evaluation of Atlantic bluefin tuna reproductive potential in the western Mediterranean Sea. *J. Sea Res.* <http://dx.doi.org/10.16/j.seares.2012.08.005>.
- Arena, P. Cefali, A. Munao, F. (1980). Analysis of the Age, Weight, Length and Growth of *Thunnus thynnus* (L.) Captured in Sicilian Seas. *Mem. Biol. Mar. Ocean*, 5, 119-134).
- Anon. 2002. A manual for age determination of southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii*. Otolith sampling, preparation and interpretation. In: Report of the Direct Age Estimation Workshop. 11-14 June 2002. Victoria, Australia. Meeting Report of the Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna (CCSBT). 36p.
- Baglin, R.E. Jr., 1982. Reproductive biology of western Atlantic bluefin tuna. *Fish. Bull.* 80:121-134.
- Beerkircher, L., Brown C.A., and Restrepo V.R. 2009. Pelagic observer program data summary, Gulf of Mexico bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) spawning season 2007 and 2008; and analysis of observer coverage levels. *NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-588*.
- Block, B.A., S.L.H. Teo, A. Walli, A. Boustany, M.J.W. Stokesbury, C.J. Farwell, K.C. Weng, H. Dewar and T.D. Williams. 2005. Electronic tagging and population structure of Atlantic Bluefin Tuna. *Nature* 434: 1121-1127.
- Block BA, Dewar H, Blackwell SB, Williams TD and others (2001) Migratory movements, depth preferences, and thermal biology of Atlantic bluefin tuna. *Science* 293: 1310-1314
- Boustany AM, Reeb CA and Block BA (2008). Mitochondrial DNA and electronic tracking reveal population structure of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Marine Biology* 156: 13-24.
- Busawon, DS, JD Neilson, I Andrushchenko, A Hanke, DH Secor and G. Melvin (2013) Evaluation of Canadian sampling program for bluefin tuna, results of natal origin studies 2011-2012 and assessment of length-weight conversions. SCRS/2013/050

- Campana, S. E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59: 197-242.
- Carlsson J, McDowell JR, Carlsson, J.E and Graves JE (2007) Genetic identity of YOY bluefin tuna from the eastern and western Atlantic spawning areas. *Journal of Heredity* 98: 23-28.
- Carlsson J, McDowell JR, Carlsson, JEL, Ólafsdóttir D and Graves JE (2006) Genetic heterogeneity of Atlantic bluefin tuna caught in the eastern North Atlantic Ocean south of Iceland. *ICES Journal of Marine Science* 63: 1111e1117
- Carlsson J, McDowell JR, Diaz-Jaimes P, Carlsson JEL, Boles SB, Gold JR and Graves J E (2004) Microsatellite and mitochondrial DNA analyses of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus thynnus*) population structure in the Mediterranean Sea. *Molecular Ecology* 13: 3345-3356.
- Cermeno et al., (2012) New data on bluefin tuna migratory behavior in the western and central Mediterranean Sea. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 68(1): 151-162
- Chen, S. and S. Watanabe 1989. Age dependence of natural mortality coefficient in fish population dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55(2): 205-208.
- Cort, J. L. (1991). Age and growth of the bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (L.) of the Northwest Atlantic. *Collective Volume of Scientific Papers ICCAT*. 35: 213–230.
- Cort, J.L. 1991. Age and Growth of the Bluefin Tuna, *Thunnus thynnus* (L.) of the Northwest Atlantic. *SCRS/1990/66 Collective Volume of Scientific Papers, ICCAT*, 35 (2): 213-230.
- Cort J.L., 1991, Age and growth of the bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Northeast Atlantic. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT* 35, 213-230
- De Metrio, Arnold GP, de la Serna JM, Block BA, Megalofonou P, Lutcavage M, Oray I, Deflorio M (2005) movements of bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) Tagged in the Mediterranean Sea with pop-up satellite tags. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 58(4): 1337-1340 (2005)
- Di Natale A., Mangano A., Piccinetti C, Ciavaglia E., Celona A., 2005 - Bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) line fisheries in the Italian seas. Old and recent data. *SCRS/2004/098, ICCAT Coll. Vol. Sci. Pap.*, 58(4), 2005: 1285-1295.
- Diaz G.A. 2011. A revision of western Atlantic bluefin tuna age of maturity derived from size samples collected by the Japanese longline fleet in the Gulf of Mexico (1975-1980). *Collect Vol Sci Pap ICCAT* 66:1216–1226
- Diaz G.A., Turner S.C. 2007. Size frequency distribution analysis, age composition, and maturity of western bluefin tuna in the Gulf of Mexico from the U.S. (1981-2005) and Japanese (1975-1981) longline fleets. *Collect Vol Sci Pap ICCAT* 60:1160–1170
- Dickhut, RM, Deshpande AD, Cincinelli A, Cochran MA, Corsolini S, Brill RW, Secor DH, and Graves JE (2009) North Atlantic bluefin tuna population dynamics delineated by organochlorine tracers. *Environmental Science and Technology* 43:8522-8527.
- Ely B, Stoner DS, Bremer A.J, Dean JM, Addis P, Cau A and Quattro JM (2002) Analyses of nuclear *ldhA* gene and mtDNA control region sequences of Atlantic northern bluefin tuna populations. *Marine Biotechnology* 4: 583-588.
- Fromentin JM (2010) Tagging bluefin tuna in the Mediterranean Sea: Challenge or mission: impossible? *Vol. Sci. Pap. ICCAT*, *ICCAT* 65(3): 812-821.
- Fromentin, J.-M., Fonteneau, A. (2001) Fishing effects and life history traits: a case-study comparing tropical versus temperate tunas. *Fisheries Research* 53, 133-150.

- Fromentin JM, Powers JE (2005) Atlantic bluefin tuna: population dynamics, ecology, fisheries and management. *Fish and Fisheries* 6: 281–306.
- Fromentin JM, Reygondeau G, Bonhommeau S, Beaugrand G. Oceanographic changes and exploitation drive the spatio-temporal dynamics of Atlantic bluefin tuna (submitted to *Fisheries Oceanography*)
- Galuardi B., Royer F., Golet W., Logan J., Neilson J., and Lutcavage M. 2010. Complex migration routes of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) question current population structure paradigm. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 67:966–976
- Galuardi B, Lutcavage M (2012) Dispersal Routes and Habitat Utilization of Juvenile Atlantic Bluefin Tuna, *Thunnus thynnus*, Tracked with Mini PSAT and Archival Tags. *PLoS ONE* 7(5): e37829. doi:10.1371/journal.pone.0037829
- Genovese S., 1959, Ami trovati in tonni (*Thunnus thynnus* L.) catturati in Sicilia e Calabria. *Atti. Soc.Pelor.Sc.Fis.Mat.Nat.*, V(4).
- Gislason H., N. Daan, J.C. Rice & J. G Pope. 2010. Size, growth, temperature and the natural mortality of marine fish, *FISH and FISHERIES* , 11, 149–158
- Goldstein J., Heppell S, Cooper A., Brault S., and Lutcavage M. 2007. Reproductive status and body condition of Atlantic bluefin tuna in the Gulf of Maine, 2000-2002. *Mar Biol* 151:2063–2075.
- Hadfield, J.D. 2010. MCMC methods for multi-response generalized linear mixed models: the MCMCglmm R package. *J. Stat. Softw.*, 33, 1–22.
- Heinisch, G., Gordin, H., Rosenfeld, H. and M. Lutcavage. Sexual maturity in western Atlantic bluefin tuna. Submitted.
- Itoh, T. (2006) Sizes of adult bluefin tuna *Thunnus orientalis* in different areas of the western Pacific Ocean. *Fisheries Science* 72: 53-62
- Iwata S., K. Fujioka, H. Fukuda and Y. Takeuchi. 2012. Reconsideration of natural mortality of age -0 Pacific bluefin tuna and its variability relative to fish size. *ISC/12-1/PBFWG/13*
- Jerald, A. Jr. 1983. Age determination. Pp 301-324 In: L. A. Nielson and D. L. Johnson (eds.), *Fisheries Techniques*. American Fisheries Society Bethesda, Maryland. USA.
- Kimura, D. K. and D. M. Anderl. 2005. Quality control of age data at the Alaska Fisheries Science Center. *Marine and Freshwater Research* 56: 783-789.
- Knapp, J.M., Aranda, G., Medina, A., and M. E. Lutcavage. Comparative histological and stereological assessment of the reproductive status of female Atlantic bluefin tuna from the Gulf of Mexico and Mediterranean Sea. Submitted.
- Lawson GL, Castleton MR, Block BA (2010) Movements and diving behavior of Atlantic bluefin tuna *Thunnus thynnus* in relation to water column structure in the northwestern Atlantic. *Mar Ecol Prog Ser* 400:245–265
- Lorenzen, K. 1996. The relationship between body weight and natural mortality in fish: a comparison of natural ecosystems and aquaculture. *J. Fish Biol.* 49: 627–647.
- Luque, P.L., Rodriguez-Marin, E., Ruiz, M., Quelle, P., Landa, J., Macias, D. and Ortiz de Urbina, J.M. 2013. Direct ageing of *Thunnus thynnus* from the east Atlantic and western Mediterranean using dorsal fin spines. *J. Fish Biol.* (submitted).
- Lutcavage ME, Brill RW, Skomal GB, Chase BC, Howey PW (1999) Results of pop-up satellite tagging on spawning size class fish in the Gulf of Maine: do North Atlantic bluefin spawn in the mid-Atlantic? *Can J Fish Aquat Sci* 56:173–177. doi:10.1139/cjfas-56-2-173

- Mather F.J.I., Mason J.M., Jones A.C. 1995. Historical Document: Life history and fisheries of Atlantic bluefin tuna.
- McGowan M.F., Richards W.J. 1989. Bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, larvae in the Gulf Stream off the Southeastern United States: satellite and shipboard observations of their environment. *Fish Bull* 87:613–631.
- Mackenzie B, Patrizio M (2012) Spawning of bluefin tuna in the black sea: historical evidence, environmental constraints and population plasticity. *PLoS ONE* (ISSN: 1932-6203) (DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0039998>), vol: 7, issue: 7, pages: e39998, 2012
- Mather FJ, Mason JM, Jones AC (1995) Historical Document: Life History and Fisheries of Atlantic Bluefin Tuna. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-370.
- Medina A, Cort JL, Aranda G, Varela JL, Aragon L, Abascal FJ (2011) Summary of bluefin tuna tagging activities carried out between 2009 and 2010 in the East Atlantic and Mediterranean. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 66(2): 874-882
- Medina, A., Abascal, F.J., Megina, C., 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. *J. Fish Biol.* 60, 203-217.
- Neilson, J. D., and Campana, S. E. 2008. A validated description of age and growth of western Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65: 1523-1527.
- Parrack, M., and Phares, P. 1979. Aspects of the growth of Atlantic bluefin tuna determined from mark recapture data. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 8 (2): 356-366.
- Piccinetti C., Di Natale A., Arena P., in press, Eastern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*, L.) reproduction and reproductive areas and seasons. *SCRS/2012/149*.
- Polacheck, T., Eveson, J.P. and Laslett, G.M. 2004. Increase in growth rates of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) over four decades: 1960 to 2000. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61(2): 307-322.
- Pujolar JM, Roldán MI and Pla C (2003) Genetic analysis of tuna populations, *Thunnus thynnus thynnus* and *T. alalunga*. *Marine Biology* 143: 613-621.
- Quílez-Badía G., Cermefío P., Tudela S., Sainz-Trápaga S., Graupera E. (2013) Spatial movements of Bluefin tuna revealed by electronic tagging in the Mediterranean Sea and in Atlantic waters off Morocco in 2011. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT* (in press, *SCRS/2012/123*).
- Ravier, C., Fromentin, J.-M. (2001) Long-term fluctuations in the Eastern Atlantic and Mediterranean bluefin tuna population. *ICES Journal of Marine Science* 58, 1299-1317.
- Restrepo, V. R., Diaz, G. A., Walter, J. F., Neilson, J. D., Campana, S. E., Secor, D., and Wingate, R. L. 2010. Updated estimate of the growth curve of Western Atlantic bluefin Tuna. *Aquatic Living Resources*, 23: 335–342.
- Riccioni G, Landi M, Ferrara G, Milano I, Cariani A, Zane L, Sella M, Barbujani G and Tinti F (2010) Spatio-temporal population structuring and genetic diversity retention in depleted Atlantic bluefin tuna of the Mediterranean Sea. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107: 2102–2107.
- Rodriguez-Marin, E., Clear, N., Cort, J.L., Megafonou, P., Neilson, J.D., Neves dos Santos, M., Olafsdottir, D., Rodriguez-Cabello, C., Ruiz, M. and Valeiras, J. 2007. Report of the 2006 ICCAT Workshop for bluefin tuna direct ageing. *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers* 60(4): 1349-1392.
- Rodriguez-Marin, E., Luque, P. L., Ruiz, M., Quelle, P., and Landa, J. 2012. Protocol for sampling, preparing and age interpreting criteria of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) first dorsal fin spine sections. *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers*, 68(1): 240-253.

- Rodríguez-Marín, E., Ortiz de Urbina, J.M., Alot, E., Cort, J.L., De la Serna, J.M., Macias, D., Rodríguez-Cabello, C., Ruiz, M. and Valeiras, X. 2009. Following bluefin tuna cohorts from east Atlantic Spanish fisheries since 1980s. ICCAT Collective Volume of Scientific Papers, 63: 121-132.
- Rodriguez-Marin, E., Ortiz de Urbina, J.M., Quelle, P., Santos, M.N., Abid, N., Alot, E., Deguara, S., De la Serna, J.M., Gómez, M.J., Karakulak, S., Labidi, N., Macias, D., Rioja, P., Ruiz, M. and Saber, S. 2013. Biometric relationships and condition of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) from the north-east Atlantic and Mediterranean sea. ICCAT Standing Committee on Research and Statistics Documents, SCRS/2013/079.
- Rodriguez-Roda J., 1967. Fecundidad del atún, *Thunnus thynnus* (L.) de la costa sud-atlantica de España. Invest. Pesquera, 31(1)33-52.
- Rooker, J.R., Bremer, J.R.A., Block, B.A., Dewar, H., Metrio, G.d., Corriero, A., Kraus, R.T., Prince, E.D., Rodríguez-Marín, E. & Secor, D.H. 2007. Life history and stock structure of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). Reviews in Fisheries Science 15, 2365-2310 doi: 10.1080/10641260701484135
- Rooker JR, Secor DH, De Metrio G, Schloesser R, Block BA, et al. (2008) Natal homing and connectivity in Atlantic bluefin tuna populations. Science 322:742–744.
- Rooker JR, SecorDH, Zdanowicz VS, De Metrio G, and Relini LO (2003) Identification of Atlantic bluefin tuna stocks from putative nurseries using otolith chemistry. Fisheries Oceanography 12: 75-84.
- Salz, RJ, J Foster, D. Van Voorhees, C Brown, J Desfosse, M Schulze-Haugen, and C Rogers. 2007. Large pelagics survey bluefin tuna length validation assessment. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 60(4): 1035-1056.
- Schirripa M. 2011. A literature review of Atlantic bluefin tuna age at maturity. Collect Vol Sci Pap ICCAT 66(2): 898-914.
- Secor DH, Barnett B, Rooker JR, Allman R (2013a) Contribution of Gulf of Mexico population to US Atlantic bluefin tuna fisheries, 2010-2011. SCRS/2013/86
- Secor DH, Gahagan B, Rooker JR, (2013b) Atlantic bluefin tuna stock mixing within the US North Carolina recreational fishery, 2011-2012. SCRS/2013/88
- Secor DH, Rooker JR, Allman R (2013c) Natal homing by Gulf of Mexico adult Atlantic bluefin tuna, 1976-2012. SCRS/2013/087
- Sella M., (1929), Migrazioni ed habitat del tonno (*Thunnus thynnus* L.) studiati col metodo degli ami, con osservazioni sull'accrescimento, sul regime delle tonnare, ecc. Mem. R. Com. Talass. Ital., 16: 3-24.
- Stokesbury, M.J.W., Teo, S.L.H., Seitz, A., O. Dor, R.K., Block, B.A. (2004) Movement of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) as determined by satellite tagging experiments initiated off New England. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 61, 1976-1987.
- Stokesbury, M.J.W., Cosgrove, R., Boustany, A., Browne, D., Teo, S.L.H., O. Dor, K. and Block, B.A. (2007) Results of satellite tagging of Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, off the coast of Ireland. Hydrobiologia, 582:91-97.
- Taylor, N.G., McAllister, M.K., Lawson, G.L., Carruthers, T., Block, B.A., 2011. Atlantic bluefin tuna: a novel multi-stock spatial model for assessing population biomass. PLoS One 6 (12), 1–10.
- Tawill M.Y., Macías D., de la Serna J.M. 2002. Preliminary study on age at first maturity of bluefin tuna in the Libyan waters. SCRS/01/127. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT. 54(2):538-544.
- Teo S.L.H., Boustany, A. Dewar, H., Stokesbury, M.J.W., Weng, K.C., Beemer, S., Seitz, A.C., Farwell, C.J., Prince, E.D. and B. A. Block. 2007. Annual migrations, diving behavior, and thermal biology of

- Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, on their Gulf of Mexico breeding grounds. Marine Biology 151:1-18.
- Tudela S., Sainz-Trápaga S., Cermeño P., Hidas E., Graupera E., Quílez-Badia G., 2011, Bluefin tuna migratory behavior in the western and central Mediterranean Sea revealed by electronic tags. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT 66, 1157-1169.
- Viñas J, Gordo A, Fernández-Cebrián R, Pla C, Vahdet Ü and Araguas RM (2011) Facts and uncertainties about the genetic population structure of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Mediterranean. Implications for fishery management. Reviews in Fish Biology and Fisheries 21: 527-541.
- Walli A, Teo SLH, Boustany A, Farwell CJ and others (2009) Seasonal movements, aggregations and diving behavior of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) revealed with archival tags. PLoS ONE 4:e6151
- Waples RS (1998) Separating the wheat from the chaff: patterns of genetic differentiation in high gene flow species. Journal of Heredity 89: 438-450.
- Whitlock R., M. McAllister and B.A. Block. 2011. Estimating fishing and natural mortality rates for Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) using electronic tagging data. Fisheries Research, Vol. 119-120 Pages: 115-12
- Wilson SG, Block BA (2009) Habitat use in Atlantic bluefin tuna *Thunnus thynnus* inferred from diving behavior. Endang Species Res 10: 355–367. doi:10.3354/
- Wilson SG, Lutcavage ME, Brill RW, Genovese MP, Cooper AB, Everly AW (2005) Movements of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the northwestern Atlantic Ocean recorded by pop-up archival tags. Mar Biol 146:409–423

TABLAS

Tabla 1. Documentos SCRS relacionados con datos del GBYP (Inventory.xlsx, en el sharepoint).

Tabla 2. Catálogo de datos de atún rojo del Atlántico este existente en las bases de datos de ICCAT.

Tabla 3. Catálogo de datos de atún rojo del Atlántico este recuperado en el marco del GBYP (F: Operación de pesca (solo captura); CE: Captura y esfuerzo, S: Talla; F + S: captura + talla; CE + S: CE + talla.

Tabla 4. Catálogo de datos de atún rojo del Mediterráneo existente en las bases de datos de ICCAT.

Tabla 5. Catálogo de datos de atún rojo del Mediterráneo recuperado en el marco del GBYP (F: Operación de pesca (solo captura); CE: Captura y esfuerzo, S: Talla; F + S: captura + talla; CE + S: CE + talla.

Tabla 6. Número de operaciones de pesca recuperadas en el marco del GBYP por pabellón, arte y caladero.

Tabla 7. Números anuales de atún rojo medido en el momento del sacrificio en las granjas, peso total estimado de esta muestra en el momento de la captura (asumiendo para todos los atunes una duración de estancia en la granja de 5 meses) y peso medio correspondiente estimado en el momento de la captura.

Tabla 8. Datos de talla-peso del Atlántico oriental.

Tabla 9. Datos de talla-peso del Atlántico occidental.

Tabla 10. Exclusiones de datos.

Tabla 11. Estimaciones finales de los parámetros para los modelos de talla-peso.

Tabla 12. Catálogo de partes duras durante el periodo reciente de 2010-2013. **Tabla 13.** Parámetros estimados del modelo de crecimiento de von Bertalanffy y comparaciones de la curva de crecimiento. Prueba de ratio de verosimilitud, n. s.: no significativo, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Tabla 14. Resumen genético reciente de ICCAT.

Tabla 15. Análisis finalizados o en curso de la asignación de población de atún rojo del Atlántico basados en isótopos estables de otolitos. Los periodos de recopilación se han separado entre reciente (2009-2014) e histórico (<2008). Las estimaciones de la edad indican la fracción de la muestra de otolito cuya edad se ha determinado; si =100% de la muestra se utilizó para las estimaciones de edad.

FIGURAS

Figura 1. Frecuencia anual de tallas de atún rojo muestreadas en el momento del sacrificio por observadores en las granjas durante el periodo 2003-2012 (SCRS/2013/083).

Figura 2. Tallas medias muestreadas en el momento del sacrificio y estimadas en las fechas de pesca, comparadas con la captura por talla media utilizada por el SCRS, periodo 2003-2011.

Figura 3. Captura por talla media muestreada por Arena durante el periodo 1982-1989 (1560 atunes muestreados) y en las granjas en el periodo 2005-2011.

Figura 4. Resultados de aplicar los valores del factor K de Fulton entre 1 y 2,8 ($K=100*wt(grams)/SFL^3$) al conjunto de datos de observaciones de talla-peso.

Figura 5. Diagrama de los datos por fuente tras aplicar el filtro K.

Figura 6. Análisis de PCA de las estimaciones iniciales de los parámetros *a* y *b* de la relación talla-peso indicando que las diferencias espaciales tienden a ser más importantes que las diferencias temporales.

Figura 7. Diagrama de los datos de talla-peso del Este por mes y año.

Figura 8. Datos de talla-peso del este por mes y área.

Figura 9. Estimaciones iniciales de los parámetros por mes indicando que hay diferencias en la condición por mes. La parte superior (línea verde) y la inferior (líneas rojas) representan los percentiles 95 de las estimaciones MCMC para los parámetros. La línea azul y las barras de error representan la mediana ± 1 de error estándar. Las estimaciones presentan muestras de tres "temporadas" potencialmente distintas.

Figura 10. Coeficientes ($\pm 1SE$) para el efecto área del modelo inicial (A) para evaluar la condensación de áreas homogéneas en los modelos.

Figura 11. Relaciones talla-peso estimadas por el modelo para las temporadas condensadas (3) mostrando diferencias muy pequeñas. Las estimaciones estacionales recaen dentro del CI de otras estimaciones del modelo.

Figura 12. Estimaciones del parámetro y consideraciones de convergencia para los modelos finales; a) Atlántico por el modelo E y b) Mediterráneo por el modelo F.

Figura 13. Modelos finales a partir del análisis superpuesto en datos brutos con otros modelos de talla-peso y peso medio por talla a partir del documento de Arena (1980) y de las relaciones de Rey y Cort.

Figura 14. Comparación de modelos existentes de talla-peso para el stock de atún rojo del Atlántico oriental y Mediterráneo.

Figura 15. Comparación de la proporción por edad estimada de atún rojo del Atlántico occidental utilizando la rutina de separación de edades (cuadrados rojos) aplicada al caso base del modelo VPA y la clave preliminar de edad talla (ALK) desarrollada para el GBYP (rombos azules). Para esta comparación, solo se usaron para producir el ALK las muestras de edad-talla disponibles del Atlántico occidental.

Figura 16. Comparación de la proporción por edad estimada de atún rojo del Atlántico occidental utilizando la rutina de separación de edades (cuadrados rojos) aplicada al caso base del modelo VPA y la clave preliminar de edad talla (ALK) desarrollada para el GBYP (rombos azules). Para esta comparación, todas las muestras de edad-talla disponibles se combinaron para producir un único ALK (es decir, otolitos del Atlántico este, espinas del Atlántico este y otolitos del Atlántico occidental).

Figura 17. Comparación de la captura por talla extrapolada con muestras de otolitos. Los primeros paneles muestran la distribución de frecuencias de talla de la población, el segundo los números por cada edad (representados por los diferentes colores) para cada grupo de tallas y el tercer panel las proporciones por edad.

Figura 18. Comparación de la captura por talla extrapolada con muestras de espinas. Los primeros paneles muestran la distribución de frecuencias de talla de la población, el segundo los números por cada edad (representados por los diferentes colores) para cada grupo de tallas y el tercer panel las proporciones por edad.

Figura 19. Números muestreados en cada edad como una "curva de crecimiento" para los otolitos.

Figura 20. Números muestreados en cada edad como una "curva de crecimiento" para las espinas.

Figura 21. Comparación de las estimaciones de números por edad para la separación de edades (filo de cuchillo) utilizando una clave de edad-talla basada en otolitos y espinas.

Figura 22. Mortalidad natural asumida actualmente para el atún rojo del Atlántico occidental y oriental.

Figura 23. Mortalidad natural por edad potencial que podría utilizarse para la futura evaluación de stock del atún rojo del Atlántico. SBT Mi (MiEast), y Mi estimada por el método de Gislason 2010 (Gis) y de Lorenzen 2000 (Lor) para la curva de crecimiento de Cort 1991 (Cort) y de Restrepo 2010 (VR), y por el método de Chen & Watanabe de 1989.

APÉNDICES

Apéndice 1. Orden del día.

Apéndice 2. Lista de participantes.

Apéndice 3. Lista de documentos.

Apéndice 4. Tratamiento de los datos y extrapolación de las tallas de túnidos muestreadas en las granjas.

Apéndice 5. Descripción de variables para la creación de conjuntos de datos maestros.

Apéndice 6. Ejemplos de campos de los conjuntos de datos maestros.