REPORT OF THE 2013 BLUEFIN MEETING ON BIOLOGICAL PARAMETERS REVIEW

(*Tenerife, Spain – May 7 to 13, 2013*)

SUMMARY

The Bluefin Meeting on Biological Parameters Review was held in Tenerife, Spain, 7-13 May 2013. The Group assessed the results of research on biology and other stock parameters carried out within the framework of the GBYP.

RÉSUMÉ

La réunion concernant l'examen des paramètres biologiques du thon rouge a eu lieu à Tenerife (Espagne) du 7 au 13 mai 2013. Le Groupe a examiné les résultats des travaux de recherches sur la biologie et d'autres paramètres du stock réalisés dans le cadre du GBYP.

RESUMEN

La reunión sobre el examen de los parámetros biológicos del atún rojo se celebró en Tenerife, España, del 7 al 13 de mayo de 2013. El Grupo evaluó los resultados de las investigaciones sobre biología y otros parámetros del stock llevadas a cabo en el marco del GBYP.

1. Opening, adoption of the Agenda and meeting arrangements

The Meeting was held at the Centro Oceanografico de Canarias of the Instituto Español de Oceanografía (IEO), in Tenerife from May 7 to 13. Dr. Josu Santiago, SCRS Chair, opened the meeting and welcomed participants.

Drs. Clay Porch (USA) and Jean-Marc Fromentin (EC-France), BFT Rapporteurs for the western and eastern stocks, respectively co-chaired the meeting. Drs. Porch and Fromentin welcomed meeting participants ("the Group") and proceeded to review the Agenda, which was adopted without changes (**Appendix 1**).

A List of Participants is attached as **Appendix 2** and the List of Documents presented at the meeting is attached as **Appendix 3**.

The following participants served as Rapporteurs for various sections of the report:

Section	Rapporteurs
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. Review of biological data used for Atlantic bluefin tuna assessment

2.1 Revision of the Task II data recovered by GBYP from 2010 to 2012: quality controls and analyses

The Atlantic-wide research programme on bluefin tuna (GBYP), among several objectives, has the duty to identify and recover any possible source of data not already included in the ICCAT bluefin tuna data catalogue. A considerable amount of both historical and recent data sets concerning most of the gears and several fishing grounds was recovered during the three first phases of the GBYP programme. A general overview of the various data sets recovered is reported in document SCRS/2013/073. Since 2011 the SCRS has been regularly informed on the activities conducted under GBYP, including data recovery (**Table 1**).

Tables 2 - 5 show the catalog of bluefin data existing in the ICCAT data bases and the updated catalog of data recovered under the GBYP for the Eastern Atlantic and Mediterranean bluefin with indication of the type of data recovered by flag, gear and year.

Data validation

Fine quality control for incorporating the data in the ICCAT data base was accomplished by individually crosschecking all data, at first against the existing data sets in the ICCAT bluefin tuna data base to test for any potential duplication and to detect outliers.

The Secretariat carried out a detailed overview of all data recovered as well as a comparison-validation of the size data recovered under the GBYP research programme. Detailed results are presented in document SCRS/2012/116. Briefly, the approach for validation was to compare ICCAT size data and GBYP size data by including a factor *Dataset source* (ICCAT, GBYP) in a GLM model that predicted mean size of size frequencies samples. The GLM model also included the factors year, season, gear and flag. The idea behind the method was that mean size is primarily determined by gear, season and flag, the source of the data having a negligible effect. GLM results are shown in tables 4 and 5 of SCRS/2012/116. Although factor *Data source* was statistically significant, mainly due to the large number of observations, leverage plots showed that this factor had minimum or no-leverage on the predicted model in comparison to other factors like *season* and *year*.

Further analyses and potential problems

In order to further analyze new data series provided by GBYP, three main components were identified: i) farm size data provided by the CPCs, ICCAT Bluefin Regional Observer Programme and GBYP; ii) Task II size data and Task II Catch and effort data.

Size data from farms

Size data collected in Italian and Maltese farms for the period 2003-2007 were recovered under the GBYP. Those data were analysed together with other farms' size data from different sources (see section 2.2).

Task II size data

Table 3 shows size data recovered under the GBYP. Data recovered have been validated by the secretariat.

Task II catch and effort data

Table 3 shows catch and effort data recovered under the GBYP. **Table 6** shows more detailed information on task II data recovered under GBYP. The main identified problems were; discrepancies in the fishing effort units between the recovered series and those currently in ICCAT database; overlapping amongst new series provided under GBYP and overlapping amongst the new series provided by GBYP and those already in the ICCAT database

Actions and timetable

For the Task II size data the Group considered that the methods used to validate those data have been appropriate and agreed to incorporate these data to the ICCAT data bases.

As regards Task II catch and effort series that fill gaps in ICCAT current data base, once the quality checking is passed, be incorporated in the ICCAT data base

Regarding Task II catch and effort series recovered under the GBYP that overlap (see **Table 5**), scientists from the involved CPCs will work in collaboration with the Secretariat in order to solve the problem. Those corrections will be submitted to the next BFT Species Group for approval by the SCRS.

Regarding Task II catch and effort series that overlap with those already in ICCAT database, scientists from the involved CPCs will work in collaboration with the Secretariat in order to solve the problem. Those corrections will be submitted to the next BFT Species Group for approval by the SCRS.

2.2 Overview of other new information on bluefin tuna biology collected from other programmes, including farming data, market and auction data

The data collected by observers in the farms since 2003 were not used so far by the SCRS to establish the catch at size of BFT caught by Mediterranean PS because of the difficulty to estimate conversion factors due to growth in farms (ICCAT 2007, 2009). However, when the French PS log books have been widely used to estimate the PS CAS, these results were clearly widely questionable, as it was concluded by Fromentin 2004: "The information provided by the EU log-books remains too imprecise and lacks validation to allow the computation of a size frequency table ».

On the opposite, it appears that since 2003 large numbers of BFT have been well measured by scientific observers and national technicians in the farms since 2003 offering a good potential to estimate a much more realistic CAS. This work can be done independently of the changes in condition factors in the farms, and solely working on measurements of BFT sizes sampled at their killing in the farms. Two documents (SCRS/2013/076 and SCRS/2013/083) analysed these size data from the farms.

The numbers of yearly size samples that are now available to estimate the catch at size are given in **Table 7** (most of the 2012 samples are not yet available). This table shows well the importance of the size sampling done in the farms during the last 10 years, with more than 140.000 tunas sampled for size in the farms during the period (measured in straight fork length, curved fork length or straight first dorsal fin length). Taking into account the total BFT catches of PS used in the last assessment, an average 16% of these PS catches has been sampled in the farms: a low but still significant percentage lower than 10% during the 2003-2006 period, and a very high coverage rate between 10 and 40% of the catch sampled during the 2007-2012 period.

Time spent in cages is well known for some fishes, for which the size at catching can be estimated assuming that they have followed a typical growth pattern (for instance Cort's 1991 growth curve) in the farms. This working hypothesis is probably realistic: when the growth in weight appears to be very fast in the farms, the growth in length should not be widely different from the basic growth, at least in most farms where tunas are kept during less than 1 year. For many of these fish the fishing dates are probably available in the data bases and they should be recovered. At the moment the fishing dates remain unknown for a large proportion of the harvested tunas, at least in the files that are available today. However, if the fishing dates cannot be identified, they can easily be estimated, simply assuming that these tunas have been caught at the average fishing date around June 1st. This assumption would be fully acceptable since 2009, as the PS fishing season was limited to one month between the 15th of May and the 15th of June. This average date will be more questionable before 2007 because the fishing season was much larger (mid May to mid July) and catches were not mandatory registered with their origin; in this case the average catching period should be estimated based on the fishing dates of the other tunas harvested in each farm during this fishing season.

The average sizes sampled in the farms during recent years are shown by Figure 1.

The estimation of the sizes at catching would need detailed and complex calculations (as the ones envisaged in SCRS/2013/076). As a first guess of the corresponding sizes of BFT at fishing dates, it has been assumed that all the sampled tunas have been kept in the cages during an average duration of 5 months in the farms (an average period often observed in the farms, outside the Croatian farms that are keeping their small BFT during much longer periods).

Figure 2 shows the comparison of the average size distributions at harvesting and catching time estimated under this hypothesis and the average PS catch at size presently assumed for the period 2003-2012. This figure shows that the profile of these 2 vectors of catch at size are widely different: when the bimodal size structure sampled each year in the farms appears to be quite realistic and typical of BFT sizes caught in the Mediterranean, the shape and profile of the CAS used by SCRS appear to be widely questionable for a multiyear CAS average. Furthermore, it should be noted that the average weight estimated from farm samples at the fishing dates is 123 kg, i.e. much larger than the 63 kg obtained from the CAS currently used. This could be due to the fact that the French PS catches are not representative of the Mediterranean PS, or to other factors (for instance the method used to estimate the CAS or/and to a bias in the sizes estimated in the French log books).

It was also noted by the WG that the historical catch at size sampled on PS by Arena during the eighties are very similar to the CAS sampled today in the farms (see **Figure 3**): showing the same bimodal catch at size, by in equal proportion of the 2 mode when in recent years catches of the large size BFT are much lower (at least in the present preliminary analysis).

Based on these results, the WG concluded that the sizes of BFT sampled in the farms are potentially much more realistic than the CAS previously estimated by SCRS, even if the present results are still widely provisional and solely indicative.

The WG also noted that these results may be in disagreement with the total yearly catches of these farmed tunas, that have been declared by fishing countries (without a real knowledge of the real weight of these catches). It is recommended that the sizes of BFT sampled in the farms should be extrapolated, after their correction at the fishing dates, in 2 different ways:

- (1) as before to the yearly catches estimated and declared of each country;
- (2) but also based on the total numbers of BFT that have been identified in the ICCAT certificates and in the commercial data (Japanese imports). This extrapolation of the sampled size in the farm to the total numbers of individual sold to international markets (Japan and others) should allow estimating alternate and potentially more realistic figures of yearly catches of Mediterranean BFT. This work should be done in close collaboration with the expert team working in the analysis of BFT trade data. This work will also need to have a full access to the file on BFT Japanese imports (Bluefin Tuna Trade and Market Data) that will be fully validated by ICCAT & GBYP.

The WG recommended that GBYP should make well before its next full assessment of the BFT stock, a full validation, analysis and extrapolation of the farm samples. This work is necessary to estimate the total catches and total catch at size of Mediterranean PS fisheries. This work is described in the Appendix 4. It was estimated that this work would require a full time work of 3 months by an expert in fishery & data bases, who will be working in close cooperation with the ICCAT secretariat and BFT scientists.

Based on this overview of the catch at size presently used by SCRS and of alternate CAS based on farm sampling, the Group concluded that:

- (1) The PS CAS estimated by the SCRS and used in the last assessments are not fully adequate, because of the lack of field samples, and they should be abandoned by SCRS.
- (2) Size data collected in the farms since 2003 (or 2005 as the 2003 and 2004 size sampling are relatively low and geographically limited) offer a good way, to estimate realistic catch as size of BFT caught by PS in the Mediterranean. : these sizes data from the farms are already showing that the catch at size used by SCRS are catches of medium size BFT, in a size range between 70 & 110 cm (i.e. less than 30kg), would have been overestimated, when the catches of large BFT over 2 meters (over 150kg) would have been widely underestimated.
- (3) Sizes data collected by observers at harvesting in the farms should be carefully processed and extrapolated in order to estimate more realistic CAS of farmed BFT. Extrapolation should be made to the most realistic estimates of yearly total catches in number (cf annex 1).
- (4) This new data processing would possibly allow estimating new series of yearly total catches that could be different from today TASK1, and probably higher in weight, than the present catches, because of the higher average weight of these average sizes.

(5) There is no doubt already that this new CAS that will be estimated for the period 2003-2013 will be quite inconsistent with the CAS estimated today for earlier years. This inconsistency in the 2 CAS before and after 2003 will probably introduce serious problems in the stock assessment, as none of the stock assessment models will be able to cope with the major change in the CAS and CAA table after 2002. This potential problem should be well studied by SCRS, and possibly leading to a revised CAS for the years before 2003; for instance assuming an improved CAS that would be consistent with farm sizes since 2003. This work should be done in close collaboration with the expert team working in the analysis of BFT trade data.

Trade data

During the 2012 bluefin stock assessment meeting several documents were presented looking at the use of eastern bluefin trade statistics and ICCAT documentation to back-calculate catches and size distribution of the catch. The information used in some of the documents was provided to the Secretariat to be used by the SCRS. This information contained individual bluefin trade statistics for the period 2001-2012. The Group identified several potential problems in the methods used in the estimations which should be solved before the use of these data by the SCRS. The Group considered that the SCRS needs a team of experts to conduct studies aimed to provide methods to obtain unbiased catches and catch at size estimates.

This work will be conducted under a specific contract in Phase 4 of the GBYP.

The Group recognized the need of incorporating data recovered under the GBYP and other sources to the ICCAT data bases in order to make them available for future analyses on the bluefin eastern Atlantic and Mediterranean stock. The Group agreed that the final decisions should be taken by the bluefin species group during the 2013 species group meeting and then submitted to the Sub-Committee on Statistics and the SCRS for approval.

3. Review of main biological parameters used for Atlantic bluefin tuna assessment

3.1 Size conversions: length to weight, curved fork-length to straight fork-length

The original length-weight relationships for Eastern (Rey and Cort, *unpubl*,; Arena 1980) and Western Bluefin (Parrack and Phares 1979) tuna have not been updated for many years. Since these original relationships were determined, a substantial amount of new information has been made available to reevaluate these relationships. New L-W relationships have been estimated by Rodrigues-Marin *et al.* (2013) from a large compilation of recent length-weight information. In addition, the GBYP program has obtained thousands of historical records which should permit a reevaluation of these relationships with a comprehensive set of length weight measurements and associated covariates (gear, month, area, etc.).

We employ a mixed model approach where we account for variability in certain factors such as gear, year and processing technique of a vessel so that these factors can be accounted for within the model while not biasing overall relationship. We minimize the potential spurious influence of these nuisance variables by estimating them as random effects and integrating them out of the overall model. While fish condition may vary over time or even between different gear types or processing units, for this paper we are interested exclusively in the average LW relationship, while accounting for only the most critical covariates.

The primary objective of this analysis is to provide updated LW relationships useful for stock assessment modeling. This task represents a compromise between capturing the biological realism of seasonal and spatial variability in condition and hence having many LW relationships and modeling practicality where multiple LW relationships substantially complicate modeling.

3.1.1 Databases and methods used in the analysis

For both stocks numerous databases were available. The group decided to use only lengths and weights that were actually measured and not estimated values. Lengths were provided in several different formats but the primary format used in the East was Straight Fork Length (SFL) and in the West was Curved fork length (CFL). For the East, only SFL measurements were used. For the West CFL were converted into SFL using methods described below. Weights were recorded in either round weight (RWT), gilled and gutted weight (GGWT), gutted weight (GWT) or gilled, gutted and tailed weight (GGTW). Gutted weights were extremely rare and these

measurements were removed. For modeling either RWT, GGWT or GGTW were used and a model term estimated depending upon which weight unit was the original measurement.

3.1.1.1 Eastern stock

For the eastern stock the following databases were available at the meeting.

GBYP data

The GBYP recovered a considerable amount of historical and recent data sets for use in BFT biometric relationships and analysis for most of the gears and fishing grounds. The data retrieved, covering the years from 1903 to 2010, and from 1512 to 2009 for tuna traps were used to update the BFT L-W regression. Relevant data from the GBYP was provided for this workshop after being cross-checked against the ICCAT BFT data base and individually quality checked. Outliers were excluded. A publication, providing a general overview of the various data sets available from the GBYP was presented in this meeting through SCRS/2013/073.

Tunisia and Malta data

A data set on the length and weight from a total of 170 wild BFT specimens caught by purse seiners in summer 2012 was also used in the analysis, together with L-W data provided by Malta for fish caught by Maltese Longliners during the reproductive period for this species (May-July) during 2005, 2006,2007 and 2012. A total of 1970 L-W records were provided from the Maltese Longline fishery targeting this species. Additional information from Maltese longliners were also made available for years 2008-2011 through the work carried out by Rodriguez-Marin *et al.* (2013) referred to in section 3.1.1.5.

Japanese LL

Length (straight fork length) and weight (processed and round) information collected by scientific observers through Japan's observer program between 2000 and 2011 were also included in the L-W regression analysis. The work carried out for the collection of this information was presented through document SCRS/2013/075. A total of 13,121 L-W records were made available for the Eastern stock analysis from this fishery.

Moroccan traps

Data from Moroccan traps was also presented to the group for inclusion. These measurements consisted of 178 fish measured in curved fork length.

Rodriguez-Marin et al.

A length-weight dataset covering wide seasonal and geographical areas of the North East Atlantic and Mediterranean from extensive sampling of several Atlantic bluefin tuna fisheries over 14 years was also utilized. The dataset provided 54,549 L-W records by geographical area and month. Work carried out in the collection of this data was presented through document SCRS/2013/079.

Arena et al. (1980)

Present L-W relationships for the Western and Eastern Mediterranean are based on Arena's (unpublished) L-W function which is used in East Atlantic and Mediterranean ABFT stock assessments for specimens greater than 100 cm SFL (ICCAT 2012). For the first time the Arena et.al (1980) publication was made available during this meeting providing the raw L-W data set to work with. L-W data by Arena *et al.*, were collected during the reproductive period (May-July) over 20 years from the fishing grounds of the Southern Tyrrhenian Sea from purse seines and a single trap. Individual length/weight data remain unavailable (and probably lost), but mean lengths (SFL) and weights (in whole wt) could have been retrieved from Arena *et al.* (1980) and were used for comparison but not in model fitting.

3.1.1.2 Western stock

For the Western stock several databases were available at the meeting. Due to the short time some databases could not be obtained during the meeting and efforts will be made to acquire additional data after the meeting that could be used in the regressions.

Canadian data

Data collected onboard and onshore from the Canadian fishery were obtained. A dataset of 7855 L-W observations were made available. Lengths were measured as curved fork lengths but some concerns existed over some outliers.

Japanese longline observer data

The same dataset was described above for the Japanese longline was available for West of 45°W.

Mexico longline observer data

Data collected by observers on Mexican longline vessels was provided according to methods described in SCRS/2012/193. These data comprise 755 records. At the time of the meeting it could not be determined which measurement for length and weight was taken so the data could not be incorporated in the master dataset.

United States longline observer program data

A dataset of 521 L-W observations were made available. 509 lengths were measured as curved fork lengths while 12 were in straight fork lengths. This data is collected by observers onboard US pelagic longline vessels or when the fish are landed.

Data provided by Golet and Lutcavage from US fishery

This data is collected from the US recreational and commercial fishery.

United States historical data

Data used in the original Parrack and Phares (1979) dataset apparently came from 3545 fish collected by the United States national scientists during 1974-1977. It may be possible to obtain the original dataset but this would require further inquiry after the meeting.

United States dealer records

Data may exist within United States dealer records. Given the very short timeframe of the meeting it was not possible to acquire this data within the short timeframe of the meeting and it will be available at a later date.

ICCAT tagging database

Released fish in ICCAT tagging database was examined for use for length-weight information but the very few numbers of records where length and weight were measured (~547) and the variability in which length was measured make the data an unlikely source of useful length-weight observations.

3.1.1.3 Data excluded

Some of the data available were excluded because they don't follow the criteria of quality defined by the group. Data excluded were the following:

- ✓ Data from Straits of Sicily traps were excluded for the years 1994,1995-
- \checkmark Length measurements where the length type was not recorded (804 fish)
- ✓ Potential outlier records from the model fitting. Outliers were identified using the Fulton's condition factor (Figure 4). This condition factor is calculated as follows:

$K = 100*(wt(grams)/length^3)$

✓ Values less than 1 and greater than 2.8 (**Figure 5**) following the logic of Cort *et al.* (in press) but allowing for a wider spread of observations. For this analysis all weights were converted to RWT using the following relationships between gilled, gutted and tailed (GGTW) and gutted weight (GWT):

RWT=1.13 x GWT; mainly for Straights of Sicily from ICCAT conversion factors for Mediterranean

RWT=1.16 x GGTW ; (SCRS/2013/075)

These initial conversions were done so that similar K values were obtained for excluding outliers but all modeling was performed with the original type of measurement.

Spatial partitioning of the data was initially left at the finest resolution of the datasets and consisted of areas. Temporal partitioning of the data was done by month, initially. Further exploratory analysis was conducted to condense spatial and temporal areas.

3.1.1.4 Conversion from CFL to SFL for Western data

As most of the Western data was collected in CFL but the Japanese longline data that cover some essential spatial areas was collected in SFL, a decision was made to convert CFL measures to SFL using the equation established by Parrack *et al.* (1979) in the western Atlantic:

SFL = 0.955 CFL (Parrack *et al.* 1979)

This equation is similar to the equation for the central Mediterranean presented in document SCRS/2013/065, SFL = 0.968 CFL). Note that the equations estimated Salz *et al.* (2007, SFL = 0.9728 CFL) could also be considered.

3.1.1.5 Creating a master dataset

Essential to this exercise is the creation of a master dataset with common factors for analysis. Data fields for this master dataset are shown in Appendix 5 and example data lines are shown in Appendix 6. Initially all data fields were input at the finest available scale of resolution, i.e., if vessel code, area and sampler was available these were input. When not available, a data field was coded as 'NA'.

3.1.2 Modeling

3.1.2.1 Exploratory analysis

Exploratory analyses were performed by conducting a PCA on the parameters of the $wt=a*length^b$ relationship, month and area to determine whether there was a month and area effect on the model coefficients. Four initial areas were explored in the PCA: ATL, WMED, CMED and EMED.

A similar analysis was conducted within the mixed model where it was initially estimated with 14 separate areas and 12 months. Model parameter estimates were explored to determine if areas or months could be condensed into homogenous groups. Areas for which the 95% percentiles for the parameter estimates overlapped were condensed to provide a more parsimonious set of regression equations.

3.1.2.2 Model construction and factors

Due to variability among processors in the way that a fish is processed to obtain gutted or gilled, gutted and tailed weights, we created an additional variable to capture variability in processing. This additional variable called 'processing unit' was created which constituted the individual vessel for the Japanese longline datasets and for the remaining datasets a single value was assigned to all observations (64) where a fish was landed in gutted weight. The remaining observations were measured in round weight and were assigned to another processing unit category.

Regression modeling methods followed the mixed modeling approach presented in document SCRS/2013/075 and used the MCMCglmm package (Hadfield, 2010) in R 2.15.3. Model fitting, model selection and MCMC thinning methods were similar to that presented in document SCRS/2013/075. Deviance Information Criterion (DIC) was used for model selection decisions, except as noted.

The initial models evaluated are shown below:

Model A (same *b*, different intercepts)

 $\label{eq:MCMCglmm} MCMCglmm(log(weight) \sim log(SFL) + as.factor(month) + as.factor(area) + as.factor(wcode), random = \sim rnd, family = "gaussian", ",nitt=15000, burnin=5000, thin=10, data=yfin)$

Fixed factors: month,area,wcode(0:round weight,2:gilled,gutted,and tailed,3:gilled weight) Random factors (*rnd*) : paste (*year, gear, processing unit*); such that the random factor is the combination of year, gear and processing unit.

Condensed to only 2 areas and 3 seasons:

Model B (condensed, same b, different intercepts)

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)

Model C (condensed no season, same b, different intercepts)

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

After condensing the model to only 2 areas and 3 seasons, interactions were tested (which estimates separate a and b parameters) with a model in the form of: Model D (condensed, separate a and b)

 $\label{eq:MCMCglmm} MCMCglmm(log(weight)~log(SFL)+as.factor(CondensedArea) + as.factor(wcode) + log(SFL)*as.factor(CondensedArea),random=~rnd,family="gaussian",",nitt=15000,burnin=5000,thin=10,data=yfin)$

Model E (Atlantic, separate, separate a and b, no seasonal affect)

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

Model F (Med, separate a and b, no seasonal affect)

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

3.1.3 Results

3.1.3.1 Data filtering and exclusions

The initial datasets for available to the group consisted of 117536 L-W observations for the East and 22129 observations for the West (**Tables 8** and **9**). After careful consideration of western dataset the group decided not to proceed with modeling the data until some key datasets could be obtained and a large number of outliers could be error-checked by national scientists.

After applying condition factor based exclusions (- 218 observations) using only SFL observations (-3695 observations) and removing the Arena average weight at size data (-1658) resulted in a total of 110498 remaining LW pairs (**Table 10**).

3.1.3.2 Exploratory analysis

Exploratory analyses were conducted using principal components analysis to evaluate the most influential factors on the estimated parameters. The PCA indicated that both month and area co-varied along the same component, indicating that month and area served as similar proxies for length at weight but that area partitioned the greatest variability in the length-weight relationships (**Figure 6**). This indicates that the likely strongest effects on a and b parameters would likely be due to area and that the monthly affect, while present was not as strong as the area affect. **Figures 7** and **8** show length-weight relationships by month and year.

3.1.3.3 Model results

Initial model fit

Initial parameter estimates for month from Model A indicated that there were differences in condition by month. Upper (green line) and lower (red lines) represent 95 percentiles of the MCMC estimates for the parameters. The blue line and the error bars represent the median +/- 1 standard error. The estimates show evidence of three potentially distinct 'seasons (Figure 9); a 'pre-spawn season', months Feb-Jun; a post-spawn season (July-August) and a fat season (September-December) to capture the main temporal variation in the LW relationship.

Initial parameter estimates for area effect from Model A indicate that the further models could be condensed into homogenous areas (Figure 10).

On the basis of overlapping parameter confidence intervals initially two areas were considered: Atlantic and Western Med (ATL_WMED) and Eastern and Central Med (ECMED). This would condense ATL_ATL, ATL_BB, ATL_Portugal, CATL_CATL, WMED and WMED_Sardinia into the ATL_WMED and CMED_IO, CMED_Southern Med, CMED_SS (Sicily), CMED_TY, EMED_Antalya, EMED_Levant, EMED_N Aegean into the ECMED. Subsequently, the areas were revised based upon expert opinion to Atlantic Only and Mediterranean only which involved moving the Western Med samples to the Med group.

Condensed models

We compared the Deviance information criterion DIC between seasonal and non-seasonal condensed model Model B vs Model C. While the seasonal effect was significant, the confidence intervals for the seasonal models overlap (Figure 11) indicating that there was very little statistical difference between the seasons. In addition, there was a negligible difference in weight at length between seasons. For the largest size of fish observed (300 cm SFL) the weight at size would be 439, 447 and 457 kg at in the post-spawn, base and fat season, respectively, which would represent a difference of $\pm/-2\%$ from the base season. Within the range of the much of the data the absolute difference was much less but the percentage remained approximately 2% from the post-spawn to the fat season. Hence, as these differences represent such a minor amount we dropped season from the remaining models.

Interactions

To estimate separate a and b parameters it was necessary to estimate and interaction between area and SLF (Model D). This model provided a significantly improved fit over the model with single b and separate intercepts indicating that separate a and b parameters should be estimated. An additional complication arose when we obtained very divergent (from the ATL_WMED and non-sensible estimates for the Eastern and Central Med (ECMED) because of many missing vessel codes in the random effects. As an expedient solution to this problem the group decided to simply split the data into two areas and estimate separate models.

Final models and parameter estimation performance

The final models were constructed for the Atlantic (ATL) and for the Mediterranean (MED) separately without season factors (Table 11). Parameter estimation performance was evaluated by looking at traceplots of the 6 estimated parameters for the final models (**Figure 12**). These estimated parameters were: intercept (a), log(length) or the b coefficient and 2 weight code parameters. The traceplots and histograms indicated that most parameters converged to a relatively symmetric and tight distribution a central tendency.

The final models, with no seasonal effects, but only area effect showed no difference between the East Atlantic and Mediterranean, but some differences with historic relationships used by the SCRS (Figure 13).

3.1.4 Discussion

The Group updated LW relationships for Eastern Atlantic and Mediterranean Bluefin tuna and developed a modeling methodology for updating the Western LW relationships when information becomes available. For EBFT the Group estimated two separate regressions, one for the Atlantic (ATL) and one for the Mediterranean (MED). However the relationships and the parameter estimates were so similar that it might be desirable to have a single relationship.

The results of this analysis should probably be considered preliminary as the similarity of the ATL and MED models begs the question that they should simply be combined into a single model. Given the timeframe of the meeting and the substantial data processing required this additional model run could not be done at the meeting and could be presented as a working group product at the 2013 species group meeting. In addition it is likely that data for the Western stock will be available soon which will allow for the development of LW relationships for this stock.

These LW relationships should be applicable to wild fish at the time of capture as care was made to exclude farmed fish from the analysis. The two-area models represent the major source of identified variability in the LW regression, albeit tiny and maybe minor, while accounting for random variability in time, gear and processing method. While season was a significant factor in the models, we decided not to recommend seasonal models as the seasonal differences were very minor after accounting for areas. If a researcher desires greater spatial or temporal detail, Rodriguez-Marin *et al* (2013) provide a suite of separate spatial and temporal models with a more detailed consideration of spatial and temporal patterns.

Compared with other LW models for EBFT, the ATL and MED models are very similar to comparable models from the Rodriguez-Marin *et al* (2013) and Rey and Cort (*unpublished*) (Figures 13 and 14). Both models are substantially different from the Arena (1980) and the Parrack and Phares (1979) West Atlantic models which indicate substantially higher weight at length. These differences are substantial but possible may be explained by the relatively smaller and more localized samples used in Arena and Parrack and Phares (1979). Given that the current analysis as well as that of Rodriguez-Marin *et al* (2013) contains substantial new and more spatially and temporally comprehensive information and that they both estimate similar LW relationships, it is likely that these estimates better represent the population length-weight relationships.

3.2 Age conversions: growth curve, ageing data, ALK tables.

Current Status of Direct Age Determination Programs

The estimation of age and growth of a species is a key parameter to describe its life history and essential for its assessment. There are several approaches to estimate growth, the most frequent being: direct observation or tagging, analysis of length-frequency data and interpretation of calcified structures. Atlantic bluefin growth has been obtained from the three methods, but the growth curves that are currently used in the ICCAT assessment of this species are based on a combination of the latter two methods, length frequency analyses and direct ageing (Cort, 1991; Restrepo *et al.*, 2010). The tagging method is one of the more reliable approaches to obtain age and growth information given good information at size at release and recapture, but up until now it has often been discounted for this species because the scarcity of larger specimens does not allow the estimation of a reliable asymptotic length. However, SCRS 2013/093 and SCRS/2013/078 develop a case that the existing tagging data could be examined further, and help inform further growth studies. The Group expressed some concern over the number and reliability of recapture information for fish of larger size.

Direct ageing of the catches through age-length-keys (ALKs) is a common method that has been widely used in many regional fisheries management organizations dealing with pelagic and ground fish species. In contrast, in ICCAT species assessments average annual growth curves are used to convert catch at size into the catch at age matrices (CAAs) instead of applying ALKs. The reasons for this procedure were mainly due to the difficulty in sampling of this species, the time consumed for developing annual ALKs and the need for validated direct ageing. However, the SCRS and national scientists have invested considerable resources into direct age determinations for both the eastern and western stocks, and the results to date and future work priorities are summarized here.

Various calcified structures have been used for age estimation of ABFT, including scales, vertebrae, otoliths, and dorsal fin spines (Rooker *et al.*, 2007). Of all these structures, the latter two are those which have provided more reliable results (Rodriguez-Marin *et al.*, 2007). Otoliths represent an advantage for ABFT direct ageing in relation to fin spines because all ages can be interpreted since there is no nucleus vascularization; conversely, dorsal fin spines (referred to later as spines) are easier to collect and prepare than otoliths (Rodriguez-Marin *et al.*, 2007). Of the two structures, only age determinations from otoliths have been validated to date (Neilson and Campana, 2008), and the validations were completed for only the largest size category. The Group also noted that interpretations of ages from otoliths during the first 5 to 6 years of life is often problematic, but such structures are comparatively easy to count in spines. On the other hand, after age 7, counts of annuli from otoliths can be made with good precision. The Group noted that the most robust age assignments might be made by combining ages determined from both hard parts.

Comparing the "state of the art" for direct age determinations in the east and west, there are well-established protocols for spine age determinations that have been use for many years now (Rodriguez-Marin *et al.*, 2012; Luque *et al.* submitted). In contrast, otolith-based production ageing from western laboratories is not as advanced, and workers are now establishing reference collections, otolith exchanges, and finalizing protocols. However, good progress is being made, and as reported in SCRS 2013/084, participants in a recent workshop with experience in quality control procedures in large age production laboratories indicated that a 10% Average Percent Error was commonly implemented for species like Atlantic bluefin tuna (e.g., king mackerel) that are somewhat difficult to age. With improved standardization and experience, workshop participants thought that a mean APE <5% was attainable, a level suggested by Campana (2001) as a common threshold level for production ageing laboratories.

Regarding the status of such collections for the West a collection is being developed by UMCES (SCRS/2013/084) and international partners. In the East, the IEO has been taking a leading role in developing reference collections for spines and vertebrae. These tools should be finalized as appropriate and shared with other laboratories interested in contributing to this work.

The GBYP direct ageing contribution included more than 1050 aged calcified structures (SCRS 2013/80). This document presents direct ageing results of Atlantic bluefin tuna based on otoliths and fin spines sampled in the N E Atlantic and Mediterranean Sea, with the aim of estimating the age of the catch of the eastern stock of this species. Asymptotic lengths and growth coefficients obtained from ALKs derived from both structures did not present significant differences and inter-reader precision within each structure was found to be high.

Another paper based on paired structures from the same specimens coming from GBYP and other Spanish, Canadian and US research programs, SCRS/2013/081, was presented.

This paper explored the potential value of bomb radiocarbon for validating age interpretations in ABFT available spine samples from 1984 and age estimates from paired structures were compared to examine the relative bias of spine readings in relation to otoliths. Spines contained radiocarbon at concentrations consistent with expectations. The comparison of otoliths and spines age interpretations coming from the same specimen showed a good fit to a linear relationship between both age estimations up to 10 years, and from this age it is observed that the spine age interpretations are lower than that of the corresponding otoliths. However, authors recognized that these results were preliminary since the sample size for the radiocarbon assay was small and otolith preparation and age interpretation criterion are still been reviewed. It was suggested a combination of otoliths and spine readings from the same specimen to produce a complementary and corroborating experience.

Table 12 contains a catalog of hard parts over the recent period 2010-2013, corresponding to the period of enhanced biological associated with the GBYP in the eastern Atlantic and Mediterranean and complementary national sampling programs developed by Spain in the east Atlantic and the USA and Canada in the West Atlantic. The information presented in the table is abstracted from SCRS/2013/094, SCRS/2013/050, SCRS/2013/080 and from other information provided by national scientists. There are also well-sampled historical collections of otoliths in various research institutions like the ones in NOAA (USA) from the mid 70s, in FOC (Canada) from 1970 to 1990 and spines collections in the IEO (Spain) from 1975 to 1990.

Available Age-length Keys, and comparisons of Resulting CAA with Previous Assessment

The Group developed age-length keys (ALKs) using GBYP data (i.e. spines and otoliths from E-ATL BFT) and age-length pairs from otoliths of W-ATL BFT. Although samples were available from 2009-2013, the majority of samples were from 2010 and 2011. For the purposes of this analysis, all years were combined to develop ALKs for E-ATL and W-ATL BFT. Age composition was estimated using these empirical ALKs to determine the effect of using ALKs to develop age composition rather than the age-slicing routine used to construct VPA inputs for the 2012 base models.

For W-ATL BFT, two ALKs were developed. One used only otolith observations from BFT caught in the W-ATL Northeastern U.S. and North Carolina fisheries (Figure 15). The second used all available age-length pairs from the W-ATL and the E-ATL (Figure 16).

Figures 17 and **18** compare the raised catch-at-size with the samples of otoliths and spines respectively, for the E-ATL BFT. In both figures the first panels show the length frequency distribution of the population, the second the numbers at each age (represented by the different colors) for each length group and the third panel the proportions at age. **Figures 17** and **18** allows the sampling intensity of hard parts across the length frequency distribution of the catch to be compared.

Figures 19 and **20** show the numbers sampled at each age as a "growth curve" for otoliths and spines respectively. **Figure 19** and **20** allows the overlap by length of the age classes to be compared, i.e. the greater the overlap the higher will be the uncertainty in age estimates.

Figure 21 contrast the estimates of numbers at age for "age-slicing" and using an age-length-key based on otoliths and spines. **Figure 21** compares the estimates of proportions at age. These results are preliminary and are intended to be a starting point for comparing the current assessment based on VPA using age slicing with statistical catch-at-age models, rather than drawing any quantitative conclusions.

The Group noted the differences in the reconstruction of the catch at age derived from preliminary age length keys developed for both the east and west. Missing ages at youngest ages caused problems in the west, and missing values in the oldest ages caused difficulties for the east. Use of modeling techniques such as stock synthesis could account for incomplete ALKs. However, it was noted that the ALKs provided here were preliminary, particularly for the west. As more ages become available and ALKs become more complete, more reliable catches at age should result. It was noted that with additional information at older ages, plus group problems may become less apparent.

Appropriate Scale for Aggregating Age-length Information

When considering the appropriate scale for construction of age-length keys, it is important to understand factors that could potentially influence bluefin tuna growth, and consider the literature on tuna growth broadly. For example, growth rate is shown to be a sexually dimorphic trait for several species (Atlantic bluefin tuna, southern bluefin tuna, and Pacific bigeye tuna), although the fastest-growing sex differs. Regional growth rate differences have been described and are often substantial among different management units (for example for albacore). Environmental factors have been shown to affect growth rate (see, for example, the response of Pacific bigeye tuna to El Nino and La Nina events). Considering temporal variation, there is limited information on interannual variation, although Rodriguez-Marin *et al.* (2009) found that cohorts of bluefin tuna can be more easily detected and followed when annual age length keys were used. Growth rates have also been found to change on a decadal time scale (southern bluefin tuna, Polacheck *et al.* 2004), and may be a density-dependent response to a decrease in population size.

Simulation studies can offer a means to evaluate the sensitivity of age-length keys to potential sources of bias, and to consider levels of sampling required to achieve certain levels of precision.

Comparisons among Growth Curves

The Group discussed the data that were used to derive the currently adopted growth curves for western and eastern stocks of Atlantic bluefin tuna (Cort, 1991 and Restrepo *et al.*, 2010). It was agreed to include a detailed description of time frame and data used for both curves. Both curves are based mostly on length frequency and calcified structures that were sampled during the 70s and 80s. The updated western Atlantic bluefin tuna growth

curve from Restrepo *et al.* (2010) is based in age information over a long time period. In this last paper two types of data were used: otolith-based age readings with the size frequency distributions of small (ages 1–3) caught by purse seiners in the 1970s. Otoliths, used in this updated growth function, were mostly collected from the western Atlantic management unit in late 1990s and 2000s but principally the giant ABFT category were collected during 1970s and 1980s. Both extremes of the updated western growth function are based on samples collected many decades ago. The same potential issue is noted for the eastern growth curve (Cort, 1991), this curve is also based in two types of data: spine age readings from tuna caught by traps in 1984 and length frequency distributions of juveniles (ages 1-5) tuna caught by bait boats from 1975 to 1984.

The methodological approach to fit the eastern growth curve from Cort (1991) was also described. This author fitted the data to the von Bertalanffy growth model by applying the Ford&Walford method, obtaining slightly different growth parameters from the recalculated ones that were obtained during the Working Group meeting from the referenced data (mean lengths at age) by minimising the sum of squared residuals (**Table 13**).

Currently adopted growth curves for east and west Atlantic bluefin tuna stocks were compared with curves derived from available calcified structures data sets by Kimura's (1980) Likelihood Ratio test (**Table 13**). The test was conducted using equivalent age ranges as recommended by Haddon (2001). The corresponding newly estimated parameters were tested with those from other authors, which were recalculated from the referenced data (mean lengths at age) by minimising the sum of squared residuals. West otolith data sets were not included in the analysis because those age estimations were preliminary and there are relatively few available ages at lack of sampling in both extremes of the age range. It was noted that the statistical procedures used here compared the mean lengths at age, but a more appropriate use might be to treat the individual observations.

Results from **Table 13** showed that growth parameters estimations and the significance of these comparisons are sensitive to the following factors: age range compared, the use of fractional ages and the number of samples and years used in the analysis. In general using fractional ages and calcified structures data sets with numerous age estimations by age and covering wide age ranges produces growth curves which were not significantly different with the ones currently adopted by ICCAT.

The Group agreed that comparisons presented were useful and interesting. It was noted that the comparatively high estimates of $L_{infinity}$ obtained from the GBYP data set became closer to previously published estimates as more years of information were added, probably reflecting the addition of larger, older fish, which are in relatively low numbers in the current samples.

3.3 Reproduction: sex ratio, maturity, fecundity and spawning

3.3.1 Age at maturity

The Group agreed to adopt the following definitions:

Maturity – histological status of gonads and/or expression of hormone level ratios that indicate a shift from those expressed in young fish.

Spawning - The expression of eggs or sperm into the water column for the purpose of reproduction.

Age of first reproduction/spawning – the youngest age in at which individuals in the population exhibit spawning.

Earliest age at maturity – the youngest age at which individuals in the population exhibit development of gonads and/or expression of hormone level ratios that indicate a shift from those expressed in young fish.

Age to 50% maturity – the age class for which the majority of fish in the population exhibit development of gonads and/or expression of hormone level ratios that indicate a shift from those expressed in young fish.

Age to 50% spawning - the age class for which 50% of fish in the population exhibit spawning.

Age to 100% spawning – The age class at which all fish in the population exhibit spawning.

The Group discussed the pros and cons of some of the techniques currently in use in maturity studies. Histological techniques are useful to identify spawning fish. But, they can't be used to identify mature fish when they are outside their spawning cycle. In contrast, endocrine studies can unambiguously identify fish that are sexually mature, but they can't identify whether a mature fish has spawned or will spawn in the current season (Heinisch *et al.* submitted). Ideally, some combination of these two techniques along with gonadal somatic indices should be used for maturity/spawning studies. The Group also recommended that a set of standard techniques be agreed upon and be used simultaneously for both stocks to facilitate the comparison of results from both sides of the Atlantic (Knapp *et al.* submitted). In addition, the Group recommended that studies aimed at developing techniques (e.g., histological markers) that would allow the identification of past spawning activity be pursued.

The Group discussed the current state of knowledge and the factors that could affect the estimation of maturity and spawning at age for both stocks. Among the most important ones is that historically, samples collected to estimate maturity were obtained only from the spawning grounds (i.e., Gulf of Mexico and Mediterranean Sea). As previously discussed by SCRS, samples to estimate maturity should be collected from all portions of the population and not be limited to the spawning grounds. Some maturity studies were conducted for the Western stock using samples obtained outside the Gulf of Mexico (e.g., Goldstein *et al.* 2007). However, this is not the case for the Eastern Atlantic and Mediterranean stock in recent years/decades and, therefore, the Group recommended that samples of E-BFT outside the Mediterranean be obtained during the spawning season to conduct maturity studies.

Eastern Atlantic and Mediterranean stock

In the case of the Eastern Atlantic and Mediterranean stock, the Group identified other potential sources of bias that can affect the estimation of maturity at age. For example, BFT scientists hypothesize on the basis of electronic tagging that the Mediterranean Sea may have a "resident"¹ population composed of both mature and immature fish in addition to a transient population of mature fish that migrate from the Atlantic into the Mediterranean to spawn. When sampling only on the spawning grounds during the spawning season samples of fully mature fish from the transient population and samples from the resident population with mature and immature fish are combined. This can produce a biased estimate of age at maturity (i.e., increase proportion of mature fish at certain age classes that do not reflect the true proportion in the population).

The GSI can change very quickly in the Mediterranean Sea. Scientists from the IEO (EC-Spain) observed that females kept in traps can go from very low GSI values to high values within a 2 weeks period or less. Similarly, the transition from high to low GSI can also happen quickly (Medina *et al.* 2002, Goldstein *et al.* 2007). This particular characteristic makes conducting spawning studies a difficult endeavor. Because a high proportion of the samples collected for maturity studies were obtained during the purse seine or the trap fishing season, the duration of the fishing season can influence the results of the studies. The duration of the fishing season has changed during the past several years and currently is restricted to just one month. As a result, many spawning events that occur outside the purse seine and the trap fishing area and season are being missed or going undetected. This difficulty is exacerbated by the rapid change in GSI explained above where fish could have spawned or are getting ready to spawn, but the physiological stages associated with spawning go undetected.

Another source of bias discussed by the Group is the lack or low number of samples from some known spawning grounds in the Mediterranean Sea. More specifically, the spawning areas in North Africa / Eastern Mediterranean waters have been under sampled for maturity studies, especially in recent years. Scientists from the IEO (EC-Spain) analyzed a small sample (n=21) of female BFT caught by traps in Libyan waters. All analyzed females were of age 3 and 4 and all were fully mature (Tawill *et al.* 2002). However, this sampling regime also suffers from the potential biases outlined above when sampling only on the spawning grounds during the spawning season.

Currently for the assessment of the Eastern stock, the SCRS assumes a 50% of the population spawns at age 4 and 100% for age 5 and older. This assumption is based on a large body of literature that has shown that mature fish as young as age 3 can be found in the Mediterranean Sea as well as fish sampled within a wide range of spawning areas were 100% mature at age 4 (e.g. Mather *et al.* 1995, Piccinetti *et al.* 2012). However, considering some of the potential biases described above, the current assumptions used by the SCRS could be revised particularly taking into consideration that the proportion of fish among the total population that spawn at

¹ The interpretation of "resident" bluefin tunas in the Mediterranean Sea (tunas staying more than one year within the Mediterranean) is provided by 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.

each age remains uncertain. The Group discussed that CAS data from particular fisheries could be explored as a proxy for the proportion of fish in each age class that spawn. However, there could be multiple maturity schedules according to population structure. Furthermore, this also implies that all spawning grounds are known, while potential spawning areas outside the Mediterranean Sea were suspected by de Buen, 1925 and 1926 and by Mather et al., 1995. Taking advantage of the special characteristics of the trap fishery in the area of the Strait of Gibraltar (which is aimed at catching migrating spawners using a non-selective gear), scientists from the IEO (EC-Spain) conducted a preliminary analysis to estimate age of 50% spawning using a size structured catchcurve analysis approach. The samples were collected in May in the trap of Barbate (close to the Strait of Gibraltar, along the Atlantic coast of Spain), so just before the spawning season. The preliminary results placed the age to 50% spawning around 6 yr after estimating age from length using the growth curve developed by Cort (1991) for this migratory component of the Eastern Atlantic stock. Although the approach utilized was simple and used a number of assumptions, the obtained results were considered to be plausible and supported the concern that the age of 50% spawning of the Eastern stock might have been underestimated. . Some participants pointed out the discrepancy between this recent sampling and those obtained by Rodriguez Roda (1967) in the same trap and over several years and expressed concern that the current age of 50% maturity for the Eastern Atlantic and Mediterranean stock is questioned based on these results. The Group recommended that size structured catch-curve analyses or CAS analyses be conducted on other spawning aggregations within the Mediterranean Sea as a tool to better estimate the proportion of spawning fish at age. Western Atlantic stock

The known spawning areas for bluefin tuna in the Western Atlantic comprise the Gulf of Mexico, Straits of Florida and the Northern Caribbean Sea (Mather *et al.* 1995; McGowan and Richards 1989, Muhling *et al.*, unpublished data). Unlike for the Mediterranean Sea, bluefin tuna are not found in the western spawning areas year round (Mather *et al.* 1995). Pelagic longline catch data and electronic tracking data show bluefin tuna in the Gulf of Mexico from November to June, with peak residency in March through May (Block *et al.* 2005, Galuardi *et al.*, 2006). Currently and for stock assessment purposes, the SCRS assumes age of 100% spawning for western Atlantic bluefin tuna to be age 9 based on the findings of Baglin (1982) and the growth curve developed by Restrepo *et al.* (2010).

Schirripa (2011) reviewed the available literature on the eastern and western stocks' maturity schedules and potential explanations for the differences between the two. Studies of both direct (i.e.., histology) and indirect (inferred from catch statistics) evidence of spawning were included. Based on histology, maturity estimates for the eastern stock ranged widely, from 50% maturity at 97.5 cm FL and 100% maturity at 130 cm FL to 50% maturity at 140 cm and 100% maturity at >150 cm. Similarly, maturity estimates for the western stock varied widely, from 95.5 cm FL to age 10. Criticisms of the studies were also discussed. The paper also discussed research that found hormonal evidence of maturity for eastern fish as small as 110 cm FL. Two studies that used catch statistics on the Gulf of Mexico spawning ground to evaluate the age of spawning of western bluefin tuna were also reviewed. The author concluded that the reported differences in eastern and western maturity schedules are not implausible, given the geographic, environmental and genetic separation of the two stocks

Analysis of size distribution of fish caught on pelagic longlines in the Gulf of Mexico as well as movement rates of electronically tracked fish has been used to estimate the proportion of fish in each age class that migrate to the Gulf of Mexico, presumably to spawn. There was general consensus among the Group that all fish found in the Gulf of Mexico traveled there for the purpose of spawning, and could therefore be considered spawning adults.

Examining distribution of catch at age from U.S. and Japanese longliners in the Gulf of Mexico, Diaz and Turner (2007) estimated the proportion of spawning bluefin tuna in each age class, with the assumption that there is not significant spawning outside the known spawning region. Diaz (2011) updated the previous analysis for the U.S. pelagic longline catch data alone using the updated growth curve for the Western Atlantic stock of bluefin tuna developed by Restrepo et al. (2010) and concluded that less than 1% of fish in the sample taken from the Gulf of Mexico were less than age 8 and that the age at which the majority of fish in the population spawned was 15.8 years. It was noted that the Japanese longline data from before 1980 contained a larger number of smaller fish (Diaz and Turner 2007) than did the U.S. longline dataset used by Diaz (2011). A possible reason for this is that the U.S. longline fleet is restricted from fishing in Mexican territorial waters, where smaller bluefin tuna have been observed in the catch of Mexican longline vessels targeting yellowfin tuna (Ramirez-Lopez and Abad, 2012). If size segregation exists within the Gulf of Mexico, the Japanese longline fleet, which was not excluded from the Mexican EEZ, may have encountered smaller fish than the U.S. fleet. The Group recommended that the estimates of the proportion of spawning fish in each age class be updated using the Japanese and Mexican longline catch data, and the growth curve developed by Restrepo et al. (2010), as using only the U.S. catch data could underestimate the proportion of spawning bluefin tuna in the youngest age classes. It was also noted that LL is a selective gear towards the larger sizes.

The electronic tagging data of Block *et al.* (SCRS/2013/091) was also used to calculate the number of tagged fish by age class that were located either within or outside the Gulf of Mexico. Age was assigned at tagging based on length (Restrepo *et al.* 2010) and fish were "aged" according to time at liberty. According to the growth model for western bluefin tuna developed by Restrepo *et al.* (2010), the youngest fish observed that entered the Gulf of Mexico was age 10 (Block *et al.* 2005, Teo *et al.* 2007). Monthly plots showed that May was the month with the highest number of tracked bluefin tuna present in the Gulf of Mexico. The total distribution of all tracked fish revealed that only a small percentage of 10 year old fish entered the Gulf (0% for November through April, 2.5% in May, 6% in June). For May, the ages at which the majority of fish were found in the Gulf were ages >16 (66% for ages 17 and 19, 80% for age 18 and 100% for ages 20-23). When looking at percentage of tracked fish found in the Gulf of Mexico was age 15 (55%) and the earliest age for which all fish were observed to have been in the Gulf of Mexico was age 22. Although the dataset was much smaller, the results obtained from the tagging data corresponded well with those reported by Diaz (2011) for Gulf of Mexico catch records.

In separate psat tagging studies for adult bluefin released from the Gulf of Maine and Southwest Nova Scotia, Canada, 2001-2010, (e.g., Wilson *et al.* 2005, Sibert *et al.* 2006, Galuardi *et al.* 2010), less than half of the individuals > 185 cm CFL retaining tags through the presumed spawning period in the northern Gulf of Mexico entered the Gulf. Those that did (n= 22) entered in Nov (1), Dec-Jan (6), Feb-March (12), Ap-June (3) (Lutcavage *et al.*, SCRS/2012/157).

The Group also discussed the possibility that mature fish skip spawning. Although the sample size was limited, using tagging data Teo *et al.* (2007) and Block *et al.* (2005) did not find evidence that Western Atlantic BFT fish might skip spawning. Although the Group agreed that the results of the mentioned studies cannot be considered as conclusive evidence that fish do not skip spawning, there was a general agreement that skipped spawning might be more common in the younger age classes (Rideout *et al.*,2006; Goldstein *et al.*, 2007). Based on somatic condition of large blefin tuna (e.g., 185 cm CLF) leaving NW Atlantic feeding grounds (e.g., Estrada *et al.*, 2005, Goldstein *et al.*, 2007, Golet *et al.*, 2007), reproduction profiles in other tunas (Schaeffer *et al.*, 19XX) and bluefin tuna life history modeling (Chapman *et al.*, 2011), skipped spawning is predicted to be less likely to occur in larger fish, at least, based on energetic status (Heinisch *et al. submitted*).

Evidence from dispersal patterns of tagged bluefin tuna released from New England and Canadian foraging grounds (n=126, 150-185 cm CFL) with PSATS showed that most of the individuals retaining tags until the following April-June (20/36) did not enter the Gulf of Mexico. Consistent with historical observations (e.g., Mather *et al.*, 1995), and based on spatial and environmental information, the authors predicted that some BFT may spawn elsewhere, possibly in late winter or spring, near the Gulf Stream margin, (Lutcavage *et al.*, (SCRS/12/157; and in prep). Dispersal patterns exhibited by sexually mature BFT are consistent with life history models predicting that smaller/younger fish should reproduce in areas closer to foraging grounds than larger individuals (Chapman *et al.* 2011), similar to patterns documented for Pacific bluefin tuna (Itoh *et al.* 2006).

Knapp *et al.* (submitted) used stereological analysis of ovarian tissue to identify similarities and differences in spawning frequency, fecundity, and spawning periodicity of fish sampled from the Gulf of Mexico and the Mediterranean Sea. Atlantic bluefin tuna sampled on eastern and western spawning areas exhibited the same spawning duration (three months), but that spawning in the northern Gulf of Mexico occurred one month earlier than in most of the Mediterranean Sea. Sampled BFT showed a lower spawning frequency in the Gulf of Mexico than in the Mediterranean Sea (<50% and 60%, respectively), while fecundity (59 eggs g^{-1}) was consistent with fish sampled in the Mediterranean Sea (48.22 eggs g^{-1}).

Heinisch *et al.* (submitted) used histological and endocrine analyses to investigate the sexual maturation status in 93 ABFT (134-292 cm curved fork length, CFL) sampled on NW Atlantic foraging grounds off New England and Nova Scotia and in seventeen young of the year (YOY) off Virginia. There was a lack of physiological differences among small andlarge BFT. Partially spent testes and lipid stage oocytes were found in BFT of all sizes >134 cm CFL, indicating that spawning during the previous or the next reproduction season was possible. The ratio of follicle stimulating hormone (FSH) over luteinizing hormone (LH) ratios detected in BFT >134 cm CFL (<0.4), are similar to Mediterranean spawners, indicating that western BFT considerably smaller than the current assumed size at first maturity (\geq 185 cm CFL), are likely mature. Heinisch *et al.* (submitted) also found further evidence for asynchronous reproduction behavior in "giant" females BFT (221–292 cm CFL) landed off Nova Scotia in September-October, where pituitary LH secretion could be the outcome of a recent spawning event. This is the first study to integrate endocrine and histological approaches to define maturity in western BFT sampled off the spawning grounds beyond the known spawning season. Combined results from endocrine analysis and histology results do not match the spawning schedules currently assumed for western BFT.

While it cannot be ruled out that additional spawning areas exist outside of those already identified in the Western Atlantic, catch at age data and electronic tracking data do not support the notion that the majority of the population of bluefin tuna spawn in the Gulf of Mexico before age 15. However, The results presented by Heinisch *et al.* (submitted), that indicated that fish as young as 5 yr old are sexually mature, suggest that these younger fish: 1) spawn in unknown areas outside the Gulf of Mexico, or 2) although they are sexually mature they do not spawn until reaching older ages.

Fecundity

For stock assessment purposes, having information on the average per capita number of eggs produced by each age class is of utmost importance. Ideally, this is estimated as the product of batch fecundity (average number of eggs produced when a fish spawns) and batch frequency (average number of times a fish spawns). If spawning frequency does not change with the age, then one can substitute percent of fish spawning at age for spawning frequency at age. Similarly, if batch fecundity is proportional to total weight, then one can substitute weight at age for batch fecundity at age. The product of percent of fish spawning and weight at age is then a measure of the *relative* per capita number of eggs produced by each age class, which when multiplied by the number of fish in each age class is usually referred to as the spawning biomass.

For the Eastern stock, Aranda et al. (2012) showed an exponential relationship between ovarian volume and length with a value for the parameter a = 0.0009 and an exponent value b = 2.9586 (which in turn corresponds to a linear relationship with weight) and they also concluded that ovarian volume and fecundity are linearly related (potential fecundity = 1920.4 x ovarian volume -0.59×10^{-6}). Aranda's *et al.* study (2012) was conducted with a relatively small sample size (n=49) collected over 3 years and not all the data seems to fit the relationship well. Medina et al. (2002), also for the Eastern stock, provided information on the number of oocytes per gram of body mass for different development stages and estimated batch fecundity for females spawning in the Balearics to be 92.8 oocytes per body gram. Extensive studies on fecundity and correlation between body weight and length and gonads were conducted in the past, over larger samples (Rodriguez Roda, 1967). For Western bluefin tuna, Baglin (1982) reported on estimates of number of eggs by (estimated) weight and by length but a fecundity function was not estimated from the data (see Table below). The Group recognized the importance of identifying proper fecundity functions to reduce assessment uncertainties and biases. Furthermore, the Group discussed that wrong assumptions on stock fecundity can have a higher impact on assessment results than underestimating/overestimating age of maturity by 1-2 years. The Group agreed that, given the current state of knowledge on fecundity, a linear relationship between fecundity and weight seems to be an appropriate assumption for stock assessment purposes. But, given the potential impact of using the wrong fecundity assumptions, the Group also recommended that more fecundity studies be conducted to confirm if a linear relationship between fecundity and weight (as it is currently assumed to be by SCRS) is a correct assumption or if new functions should be adopted for use in future stock assessments.

	Estimated	Dry	_	Estimated no. of eggs		
Body	body	weight	Gono-	>0.46 mm	>0.32 mm	
length	weight	of eggs	somatic	diameter	diameter	
(Cm)	(kg)	(9)	index (%)	(millions)	(millions)	
205	156	1,260	5.3	13.6	32.7	
222	'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	
22 9	217	1,481	2.8	33.9	64.4	
231	224	1,330	4.4	26.8	41.1	
236	'197	1,329	3.2	28.4	40.3	
236	'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	'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	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	272	1,488	2.6	31.4	42.3	
262	1324	2,593	4.5	57.6	81.6	
269	284	1,950	4.6	40.6	74.8	
X 243	255	1,734	3.7	34.2	60.3	
SE 2.78	8.37	102.79	0.18	2.15	4.04	

'Actual weight determined,

Length, weight, and gonadal data for 28 female western Atlantic bluefin tuna from the Gulf of Mexico and the Florida Straits collected during April, May, and June 1967, 1968, 1974, 1975, 1976, and 1978. The mean and standard error of the mean are given at the bottom of the columns. Table taken from Baglin (1982).

Sex ratios

Document SCRS/2013/083 reported on sex ratios estimated from data collected by BFT farms in the Mediterranean Sea that have been submitted to the Secretariat since 2008. This document showed that although there seems to be some variability on the sex ratio by size, the differences were non-significant and a 1:1 sex ratio can be assumed. The results presented seem to contradict those presented by Aranda *et al.* (2012) that showed significantly divergences from the 1:1 sex ratio at different size ranges. However, a closer examination of the results from both studies showed that document SCRS/2013/083 highlighted divergences, albeit non-significant, in the 1:1 sex ratio in size ranges that were very similar to those where Aranda *et al.* (2012) found their significant differences. For the western Atlantic stock information on sex ratios is not widely available. However, Beerkircher *et al.* (2009) reported that slightly more females (60%) than males were observed in the catches of spawning BFT by the U.S. pelagic longline fleet operating in the Northern Gulf of Mexico. Baglin (1982) also estimated some sex ratios by month and size categories and found some significant divergences from a 1:1 sex ratio. However, Baglin (1982) did not provide detailed information on the size ranges at which those discrepancies occurred.

3.4 Natural mortality

The WG examined the conclusion of document SCRS /2013/077 discussing the values of the natural mortality rate at age (M) that could be used in future BFT stock assessments. While natural mortality is clearly a parameter of paramount importance in most tuna stock assessments, it remains today one of the least well-estimated parameters in most tuna fishery models. In the case of Atlantic BFT, it can be noted concerning this parameter that the levels and trends of age specific natural mortality used by SCRS during recent years have been widely different in the Eastern & Western Atlantic, as shown by **Figure 22**.

It appears that there are little or no scientific justification to explain why such a migratory stock, that is showing very similar growth curves in the Eastern & Western Atlantic, would show such large differences in the natural mortality east & West of the quite artificial 45°W line. It was further noted by the WG that the assumption of constant M with age had long been regarded as biologically implausible, but was retained in assessments of the western stock to maintain a consistent basis for monitoring its recovery under the rebuilding plan.

It was concluded by the WG that future stock assessment analysis of BFT should be based on a common best vector of M at age used in the entire Atlantic. Earlier work suggested that the available tag and recovery data were insufficient to estimate the level of Mi, however additional data from recent conventional and electronic tagging studies may make this possible. This prospect of data analysis should be carefully studied.

Four indirect series of natural mortality at age (Mi) were examined and discussed by the WG (Figure 23):

- 1) SBT Mi, as the one presently assumed in the Eastern Atlantic (SCRS/1998/022)
- 2) Mi estimated by the Lorenzen 1996 method
- 3) Mi estimated by the Gislason et al. 2010 method
- 4) Mi estimated by the Watanabe method (Chen & Watanabe 1989)

The differences in the levels and trends of the Mi vectors estimated by the Gislason and Lorenzen or Watanabe methods are easily noticed, but the uncertainties in the results of each method appear to be quite limited under the presently accepted very similar growth curves accepted in the Western (Restrepo) and Eastern Atlantic (Cort).

All these vectors of Mi show a declining trend towards their lower asymptotic levels of natural M suffered by the adults at levels close to 0.075 (Lorenzen & Gislason) or 0.10 (SBT and Watanabe Mi). None of these 4 Mi displays an increasing trend after 1st spawning, as it has been often assumed various stock assessment of tropical tunas (yellowfin & bigeye). It should also be noted that, while the levels of natural mortality estimated for the adults are very similar for these 4 vectors of Mi, they are quite different for the juveniles. The estimates of M at age 0 to 2 by the Gislason method are much higher than the levels estimated by the 3 other sources. It can be noted that these high levels of M at age 0 estimated by the Gislason method are in agreement with the preliminary estimate of 1.6 for M0 that has been estimated by Japanese tagging on Pacific BFT. (Iwata *et al.* 2012).

The current stock assessment method VPA assumes a plus group of 10. However, recoveries of tagged bluefin have been observed after more than 10 years and there is no doubt that bluefin individuals can live to much older ages (e.g. Secor, SCRS/2008/084; Fromentin and Fonteneau 2001). As populations recover, the dynamics of the plus group will have an increasingly important effect on the assumed productivity of the stock, estimates of reference points and stock projections used in the Kobe advice framework. For example: do processes such as natural mortality at age increase Chen and Watanabe (1989), or slowly decrease with age (Lorenzen, 1996).

It was envisaged by the WG that the hypothesis of Natural mortality increasing for old bluefin, as in Chen & Watanabe 1989, for instance due to the large energy invested in spawning (per & post spawning migration, gonad maturation) and to a biological senescence of old fishes due to ageing and the cumulative negative factors faced by older bluefin (increased parasites, accidental hooks, accumulated injuries in fins due to fisheries, increased distances travelled in migrations, etc.).

It was recommended by the WG that this potential increase of natural mortality of older BFT should be studied in future GBYP work.

The basic uncertainties in the different M vectors investigated during the WG should be better analyzed before making a final choice to be used in the next stock assessment, for instance better taking into account the uncertainties in BFT growth and longevity.

3.5 Population structure and stock mixing: otolith microchemistry, genetics, tagging, stock-age key tables

Review of State of Knowledge

3.5.1 Mediterranean Population

Tagging and fisheries data support migratory and resident components in the Mediterranean Sea. The migratory group appears to principally originate from reproduction in the Western and Central portions of the Mediterranean. Spawners in the Eastern Mediterranean Sea likely constitute a separate sub-population that may have had connections to the historical Black Sea population.

3.5.1.1 Migratory Component

Young Migrants

Some age-0 and age-1 juveniles depart the Western Mediterranean Sea (e.g., Balearic region) and use waters off Morocco in winter and then move to North Atlantic nursery areas (e.g., Bay of Biscay) during summer.

Based on similar oceanography, environmental conditions, and production, the shelf waters off Morocco and Northeast Atlantic provide equivalent habitats for foraging age-0 and age-1 juveniles.

Older Migrants

From age 2, some minor fraction of migratory juveniles enters Western stock management units, but the dominant fraction occupies the Northeast Atlantic Ocean (Rooker *et al.* 2008; Busawon *et al.* 2013) and recent data obtained under the GBYP.

Adults (age 4+) are intercepted on spawning migrations from the North Atlantic to the Mediterranean Sea in historical trap fisheries. Very strong seasonal cycle of entrance (April to May) and departure (late June-July) from the Mediterranean are observed in the historical trap data and correspond to the period of known spawning. Trap data also shows strong cycles in abundance at both decadal and centennial scales (Ravier and Fromentin 2001).

Electronic tagging supports spawning migrations into the Mediterranean from regions throughout the North Atlantic. Adults of this migratory group principally occupy the Western Mediterranean Sea, presumably to spawn. Electronic tagging shows little evidence of this migratory component in the Eastern Mediterranean Sea.

Historical information (Norwegian hooks) indicate incidence of a North Atlantic migratory component in spawning areas of the Western and Central Mediterranean (Sella 1929; Genovese 1959). Natural tags (cookie cutter shark bites) also support incidence in this region by the migratory component.

Range

The migratory component occurs throughout North Atlantic, Canadian and US waters. There is no evidence of this component within the Gulf of Mexico. Historical analysis suggests that the Brazilian component was not connected with Mediterranean population (Fromentin *et al.* submitted).

3.5.1.2 Resident Components

Residency within the Mediterranean Sea

Genetics and electronic tagging support two dominant resident components in the Western-Central region and Eastern region of the Mediterranean Sea, but natal homing or spawning fidelity to specific spawning regions remains undocumented.

Resident behavior by Mediterranean bluefin tuna is supported by their incidence in small scale fisheries, such as the hand line fishery (Di Natale *et al.*, 2005), throughout the year.

Electronic tagging suggests seasonal homing to foraging areas that could underlay lifetime residency within the Mediterranean Sea.

Sub-populations within the Mediterranean Sea

Whether sub-population structure underlies residency in the Mediterranean Sea remains unknown.

Spawner size and spawn dates vary between Western, Central, and Eastern Mediterranean Sea but these do not show separation that would be consistent with sub-population differentiation. Spawner sizes are often mixed in the same spawning aggregation.

Age-0 and age-1 juveniles are distributed throughout the Mediterranean Sea, but show patchy distribution. The largest area of age-0 juvenile concentration occurs in the Central Mediterranean Sea; smaller concentrations occur elsewhere in Eastern and Western Mediterranean Sea. Age-0 concentrations show evidence of being discrete through genetics and otolith chemistry (Rooker *et al.* 2003).

Hypotheses specific to resident components in the Mediterranean Sea

Juveniles show discrete spatial ranges within the Mediterranean Sea, which underlay possible population structure.

Eastern Mediterranean Sea might have harbored the spawning habitat for the historical Black Sea population. Recolonization of the Black Sea would depend on bluefin tuna originating from the Eastern Mediterranean Sea.

The Black Sea may have supported reproduction and a separate sub-population (Mather *et al.* 1995). Adults have been captured during the last part of the spawning season in the Black and Azov Seas (McKenzie and Patrizio 2012), but conditions may be too cold for egg and larval survival.

3.5.2 Gulf of Mexico Population

Evidence for a separate western population of Atlantic bluefin include incidence of larvae, a size structure that indicates a very different age at maturation than the Mediterranean population, and conventional tagging (Fromentin and Powers 2005). Electronic tagging, otolith microchemistry, natural tracer studies, and genetics strongly support the premise of a Western Atlantic population, which is discrete from the Mediterranean population (Carlsson *et al.* 2007; Boustany *et al.* 2008; Rooker *et al.* 2008). However, similar to the Mediterranean population, the Gulf of Mexico population could include separate components with unique spawning and migration behaviors.

3.5.2.1 Separation from the Mediterranean population

Natural markers, genetics, and differing size structure of spawners are all consistent with view of separate spawning populations between Gulf of Mexico and Mediterranean Sea. Mediterranean and Gulf of Mexico spawners show very high levels of natal homing (>90%) to these broad centers of origin (Rooker *et al.* 2013; Secor *et al.* 2013a).

Tagging and fisheries data support the premise that the Gulf of Mexico is a unique spawning habitat. PSAT tags mostly show individual occupancy of ~ 2 mo., with bluefin occurring from November through June. Early winter entry by some fish could suggest a protracted spawning season or a separate migratory component (e.g. Eastern v. Western Gulf of Mexico contingents). Catch records also show incidence of Atlantic bluefin tuna during winter months.

The significance of early season spawning should be investigated further through larval surveys and habitat suitability modeling.

No electronically-tagged adult has visited both the Gulf of Mexico and the Mediterranean Sea.

3.5.2.2 Separate sub-populations:

Recently documented catches of bluefin tuna in the southwestern Gulf of Mexico include a greater proportion of small fish (110-180 cm CFL) than has been observed in the Northern Gulf of Mexico (Ramirez and Abad 2013). Further study is required, but this could suggest a component with unique migration and/or different spawning behaviors.

3.5.2.3 Range

In efforts to document movements of Gulf of Mexio-origin fish, individuals have been assigned to the Gulf of Mexico population based on whether they were tagged in the Gulf of Mexico or later visited the Gulf of Mexico after being tagged elsewhere (Block *et al.* 2005; Walli *et al.* 2009). Such fish move into Northwest, Central Atlantic, and Northeast Atlantic. The predominate destination for Gulf of Mexico fish is the Northwest Atlantic. A few fish from Northwest Atlantic (Canada) show evidence of moving seasonally towards the Northeast Atlantic.

Historical analysis of long-line and oceanographic data suggests that some contingents of fish could have migrated between Gulf of Mexico and Brazil and subsequently disappeared because of oceanographic change and possible overfishing (Fromentin *et al.*, submitted).

3.5.3 Other population Structures

Pacific bluefin tuna show an interesting population structure that could be considered an alternative population structure for Gulf of Mexico and Mediterranean populations. Pacific bluefin tuna spawn across latitudes (Taiwan to Sea of Japan) with small spawners showing increased propensity to use the Sea of Japan and larger ones using more southern spawning locations (Itoh 2006). Some have suggested that a similar structure could be applied in the Western Atlantic.

Concepts of Population Structure – Diagrams

Scientists have proposed a range of population structures for Atlantic bluefin tuna. The diagrams below show population structures that depend on self-reproducing entities (populations and sub-populations) and groups with similar lifetime migration behaviors, which do not necessarily depend on reproductive isolation (contingents). These population structures are not exhaustive: for instance, one could conceive of combinations of sub-populations and contingents within the same structure. The intent here is to provide principal population structures and challenge them with existing data.

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



Approaches for Evaluating Population Structure

Approaches that address population structure include molecular markers, otolith chemistry, contaminants, "natural tags," and electronic tags. Movements and mixing are most precisely evaluated through tagging data, but natural tags can also convey information on regional movements. Tracers of population structure, principally genetic and otolith chemistry approaches, vary substantially in how past spatial historypopulation structure is represented.

Molecular Approaches

In the past 15 years, several molecular techniques have been exploited in an effort to elucidate a more accurate depiction of Thunnus thynnus population structure and dynamics in line with the results developed by electronic tagging campaigns and traditional ecological knowledge. The sophistication and resolution of these techniques is evolving and recent results are showing great potential for adding clarity to this elusive issue that has interfered with the optimal management of the species (**Table 14**).

The earliest evidence of differentiation between Atlantic and Mediterranean populations came from Alvarado Bremer et al. (1999), who genotyped Atlantic bluefin tuna (ABFT) using the mitochondrial DNA control region (mtDNA CR); although, the effectiveness of this marker was called into question when a later study was unable to differentiate samples collected from multiple years (Ely et al. 2002). Subsequent studies utilizing allozyme analysis failed to distinguish populations (Ely et al. 2002; Pujolar 2003). Differentiation of populations within the Mediterranean was first revealed using molecular markers in 2004, when Carlsson et al. genotyped a collection of young-of-the-year ABFT using the mtDNA CR and microsatellites. Since then, various studies have both supported population differentiation of the Gulf of Mexico and the Mediterranean (Carlsson et al. 2005; Boustany et al. 2008) as well as within the Mediterranean (Carlsson et al. 2005; Riccioni et al. 2010); albeit with rather low FST values when compared to other marine species (Waples 1998). Conversely, other studies have failed to reveal the same population structuring using the same molecular techniques (Alvarado Bremer et al. 2005; Viñas et al. 2011). Albaina et al. (2013) are the first to characterize population structure between the western Atlantic and the East Atlantic/Mediterranean using single nucleotide polymorphisms (SNPs); a relatively novel marker showing much potential for efficiency, affordability and capacity. The 17 SNPs used in their study produced the most significant evidence for differentiation of populations to date. However, due to the limited number of samples used in their study it is necessary that its potential for population assignment is sufficiently validated before large scale applications are conducted. (See Appendix X for detailed records of all previous ABFT genetic analyses).

Currently, within the ICCAT-GBYP project a panel of SNPs is being developed via Reduced Representation Sequencing and Genotyping (RRSG) a Next Generation Sequencing (NGS) technology. The ultimate goal of this endeavor is to resolve population structure of ABFT and to develop a SNP panel capable of population assignment that can be utilized by the various qualified parties within ICCAT. This will have direct applicability to stock assessments as well as commercial traceability. In the future, individual SNPs could be assigned to genes associated with selective pressures, thereby highlighting functional differences between populations or contingents of ABFT. Thus SNPs derived from this project may also reveal information concerning the influence of environmental factors on survivalship of recruits within the same population.

The preliminary data analyses carried out in GBYP-Phase 3 on a total of 555 ABFT individuals, focused mainly on larvae and young-of-the-year samples from spawning sites, revealed a limited number high performance SNPs capable of identifying and differentiating at least three ABFT spawning populations (GOM, WMED, EMED), which are genetically clustered and temporally stable. Current GBYP genetics work is focused on completing the analysis of 1332 samples from throughout the species range already sequenced as well as validation of a reduced panel of SNPs (48-192 plex). Due to the complexity and quantity of the RRSG-generated genomic data obtained for the ABFT (i.e. a genomic data-poor non-model fish exhibiting a complex and partially unresolved ecology and biology), various additional analyses are required to fine tune SNP selection/validation for traceability and management purposes, in order to provide sound scientific findings to support ICCAT ABFT management actions in the near future. Within the GBYP framework, results from SNP panel genotyping and population structure analysis are expected during 2013 and 2014 calendar years. Therefore it is reasonable to expect that data developed during this large scale and comprehensive project will be available for stock assessment activities in 2015.

Otolith Stable Isotopes

Otolith stable isotope tracers represent physical environments experienced by young bluefin tuna. Stable differences occur between principal nursery systems for Atlantic bluefin tuna in measured isotopes, consistent differences reflected in >10 years of juvenile samples (Secor *et al.* 2013 b,c). Baseline samples of juvenile bluefin tuna from either nursery system show overlap but are sufficiently distinct to permit classification of unknown samples to nursery (natal) areas. An important assumption is that juveniles do not undertake transoceanic migrations during their first year of life. This approach has been developed in several peer-reviewed papers and cross-laboratory training to EU, Canadian, and U.S. scientists now allows production-level processing of otoliths to support stock structure analysis. The approach requires more labor (otolith removal and processing) and analytical costs on a per-sample basis than molecular approaches such as the use of SNPs, but is now in an application phase. It expected that prior to the 2015 assessment, mixing level estimates isotopes will be available for principal Atlantic tuna fisheries based on analysis of >4000 otoliths (see **Table 15**).

Contaminant tags

Contaminant tags function as a "diet tag" conveying information on recent trophic and growth history. Organochlorine ratios (trans-nonachlor/PCB 153, cis-nonachlor/PCB 187; Dickhut *et al.*, 2009) are a particularly effective way of utilizing regional differences in contaminant sources to evaluate movements, but the approach requires that regional baselines are established. Particularly large differences exist between the Western North Atlantic and Mediterranean organochlorine ratios to allow recent migrants to be detected between these two regions. For young fish movements or lack of movements (residency) have conformed to expectations of transoceanic migrations by age 2-3 fish (Dickhut *et al.*, 2009). Operationally, this is the most expensive of the reviewed approaches, but provides unique information related to recent (~ \leq 1 year) movement histories. Currently the approach can provide critical corroboration of results from other approaches such as genetics or otolith stable isotopes. Future developments could allow organochlorine ratios to be applied to age-specific movements between broad ocean regions, although regional signals are likely forced by seasonal and inter-annual climate and oceanographic forcing. *Electronic Tags*

Electronic tracking technologies (e.g. archival tags, acoustic tags, satellite tags) have been utilized within many studies (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) throughout the Eastern and Western Atlantic, Gulf of Mexico, and Mediterranean to examine bluefin temporal and spatial dynamics (Fromentin and Powers, 2005). Many of these findings have been enhanced through the integration of genetic analyses (Boustany et al., 2008), otolith microchemistry (Rooker et al. 2008), and fisheries data (Diaz et al. 2006) to infer population structure and to advance the development of spatially structured stock assessment models (Taylor et al. 2011). Electronic tracking with archival tags has revealed repeated migrations by multiple individuals to spawning habitats within the Gulf of Mexico and the Mediterranean Sea, indicating spawning fidelity (Block et al. 2005) and individual migrations into both regions have not been observed. The tracking data supports a multiple of population structure hypothesis in the Atlantic and adjacent seas, with distinct spawning populations within the Mediterranean Sea and the Gulf of Mexico. Genetics data from tagged fish also supports the multiple-population hypothesis (see Molecular Approaches above). Additional tagging data will further elucidate the 'border' between these populations. Recent Mediterranean Sea tracking data presented since 2009 and during this meeting by G. Quilez-Badia et al. and JM Fromentin indicate a high level of residency in the Western Basin, with some movement into the Central Basin (see also Medina et al. 2011; Tudela et al. 2010; Fromentin 2010, Quilez-Badia et al. 2013), but no connection (thus far from tracking data) to the Eastern Basin. . Unexpected movements in the central-eastern Atlantic during the spawning season have been also detected by GBYP tagging activities (Quilez-Badia et al. 2013). More tag deployments within specific regions of the Gulf of Mexico (NE, NW, SW areas) will further refine knowledge about intra-Gulf bluefin movements and behaviors and substantiate ongoing genetics research to elucidate population structure.

4. Incorporation of data collected and/or recovered into the ICCAT databases

The procedure to follow to incorporate new available information on fishery statistics to the ICCAT data bases is under item 2.1.

5. Recommendations

Research Recommendations

Task II and biological data

• The Group recommends to check and to validate all farms data as indicated in the report and then to introduce these data in the CAS of the Mediterranean BFT, so that this considerable source of information can be used in the 2015 stock assessment.

• In order to better understand the potential biases and uncertainty associated with the CAA, the group continues to recommend further analyses on the methodology used to compute CAA. A simulation framework including the sampling process and a range of alternative methods to convert CAS into CAA is suggested. This simulation framework can be integrated into the MSE framework in the future, and would allow better identifying and ranking the different sources of uncertainty (sampling vs. modeling) with respect to the management advice.

• The Group recommends continuing the analysis of VMS data to get a better estimates of the spatial and temporal variations in the fishing effort of the main fleets and to obtain an index of abundance of the Mediterranean PS fleet through state-space modeling. For that purpose, the Group also recommends that VMS data be provided at the highest temporal resolution (1 hour or less) possible. *Size conversions*

• The Group recommends using updated size conversion algorithms that are based on more recent and more extensive datasets for the 2015 stock assessment.

Age conversions: Recommendations for Future Work

• The Group noted that there are continuing problems in obtaining calcified structures and (especially otoliths) samples in certain markets, as there is resistance to physically damaging the valuable fish during the sampling process. One method to overcome this is to launch an education campaign among buyers and processers that promotes the concept that a sampled fish has contributed to science and conservation efforts. A program such as this was initiated for southern bluefin tuna, and has been successful (Anon. 2002). The Group also noted that after consideration of minimum sample sizes required for construction of age-length keys, the SCRS should consider requesting the Commission to include minimum sampling levels for hard parts in the next management recommendation that is adopted.

• The Group discussed the importance of hard part reference collections. Such collections can be an invaluable tool for quality control and training purposes, and are routinely used by labs conducting age determinations (Jerald 1983, Kimura and Anderl 2005, Campana 2001). It was also noted that additional institutions have stated their intent to contribute age determinations, but they wish to ensure that their interpretations are consistent with those already developed by SCRS scientists. The Group recommends the provision of a common reference collection to assist institutions with such efforts.

• The Group recommends the development of conventions for production age determination. Examples include the number of agers involved with interpretations, birth date assumptions, use of fractional ages based on either month or multiple ages, use of precision thresholds for excluding interpretations.

• Given the observation that both otoliths and spines contribute useful information to age interpretations, the SCRS could develop an approach for age assignment using both otoliths and spines, possibly weighting the contribution of the two hard parts by the variance of the mean age at length, or by the readers' relative confidence in the age determination.

• In advance of the 2015 assessment, a compilation of available hard parts and age determinations (**Table 12**) should be circulated to labs participating in age and growth studies, with a request to review and update. A completed version of this table would be a useful aid to planning sampling efforts.

• Given the intent of the SCRS to develop assessment approaches that are more reliant on age-structured information, continued investment in biological sampling and age and growth remains a high priority.

• It is recommended that methods be developed for disaggregating eastern fish from the western catch at age.

• The Group recommends further analyses of tag-recovery data for estimating growth and variability in growth among individuals and through time.

• In preparation for the next stock assessment, the Group recommends an analysis of the tradeoffs between combining ALKs over several years to accommodate under-represented size classes (particularly larger fish) and annual ALKs (which better capture variations in year-class strength).

• In order to better understand the potential biases and uncertainty associated with the CAA used in stock assessment, the group recommends further analyses on the methodology used to compute CAA. A simulation framework including the sampling process and a range of alternative methods to convert CAS into CAA is suggested. This simulation framework can be integrated into the MSE framework in the future (e.g. as an observation error model) and would allow to better identify and rank the different sources of uncertainty (sampling vs. modeling) with respect to the management advice. It will also help specify processes in statistical catch-at-age models

Reproduction

• The Group recommends to revise the current maturity schedules assumed for stock assessment for both the eastern and western stocks, using the spawning ogives, and to determine a comprehensive maturity ogive for the western Atlantic.

• The Group recommends to conduct sampling for reproductive samples (e.g., histology, GSI, FSI, etc) and larval samples for western Atlantic bluefin across their range, especially in areas not well sampled, such as pelagic Atlantic (i.e., longline regions), from late Feb. through July in order to examine whether bluefin reproduction occurs in the Atlantic beyond the Gulf of Mexico.

• The Group recommends examining the utility of using data from other larval sampling programs (eg MARMAP) to test for the presence of larval bluefin tuna in areas outside the currently identified spawning areas.

• The Group recommends agreeing upon a set of standard histological and endocrine techniques to be used simultaneously for both stocks to facilitate the comparison of maturation schedules on both sides of the Atlantic and to develop methods (e.g., histological markers) that will allow the identification of past spawning activity.

• The Group recommends obtaining samples of E-BFT outside the Mediterranean during the spawning season to conduct maturity studies and to use size structured catch-curve approaches and CAS analyses to explore spawning schedules for different fisheries in the Mediterranean Sea.

• The Group recommends updating the Diaz (2011) estimate of the proportion of spawning fish in each age class in the Gulf of Mexico using the Japanese and Mexican longline catch data, and the Restrepo *et al.* (2011) western BFT growth curve.

• The Group recommends conducting more fecundity studies to confirm if a linear relationship between fecundity and weight is a correct assumption or if new functions should be adopted for use in future stock assessments. Attempt to secure the Medina *et al.* (2002, 2007) dataset to incorporate in this effort.

Natural Mortality

• The Group recommends using alternative natural mortality vectors for both the Eastern and Western stocks for the 2015 stock assessment. This vector should be the same for all Atlantic BFT stocks. Further investigations need to be made, according to incoming data (such as tagging). The M vector estimated from Lorenzen (1996)'s method is recommended as being the best working hypothesis, but estimates based on the Gislason *et al.* (2010)'s hypothesis should also be considered.

• Active and explicit biological investigations on BFT natural mortality should be recommended and preferably included in the GBYP in order to better estimate the BFT natural mortality at age (for instance analyzing the tagging/recovery data) or to study the potential ageing & senescence of BFT.

Population structure and mixing

• Given that a more complex population Structure than currently assumed is likely, the Group recommends to start to test the effects of such a structure on the scientific advice during the 2015 stock assessment.

• The 2015 assessment is planned to be a milestone for the SCRS, as it is anticipated that significant new information concerning stock mixing will be available, and new modeling approaches incorporating mixing will be undertaken. The Group highlighted data that will be available from molecular and otolith stable isotopes (**Tables 14** and **15**). However efforts to assemble similar information on electronic and conventional tags was far more complex due the greater number of investigators involved, the lead role of academic and NGO groups have played, and diverse objectives for these studies. To help inform the process, the Group recommends that once the modeling requirements for the 2015 assessment are established, that a call for electronic and conventional tagging data be issued to all parties conducting such research on Atlantic bluefin tuna. In the case of electronic tagging, and to avoid concerns that sharing such data might compromise publication possibilities, the Call should identify that the data requested include:

- 1) the date, location, and size of all tags released during the study
- 2) the date, location, and size (or age) of all recoveries during the study
- 3) where applicable, the duration of time spent within a X by X degree square
- 4) where applicable, the stock of origin as deduced by genetics or otolith microchemistry

6. Other matters

6.1 Revision of other available data (e.g., VMS)

The ICCAT VMS system for the Eastern bluefin tuna fleet has been fully operational since 2008. A preliminary analysis of the 2010-2011 VMS information concluded that it is possible to estimate a probability of effective fishing effort given an identification of the main gear-fleet by vessel (SCRS/2012/125). The analyses and review of the VMS data indicated that given the main gear, there are identifiable differences in the variables of vessel speed, time at sea and overall fishing trips and estimate effective fishing effort. It has been recommended that validation be done with auxiliary information such logbooks or reports from observers at board. Furthermore, it has been recommended, in the case of bluefin tuna to link individual vessel operations with the bluefin catch documentation (BCD) files to associate individual fishing effort and the associated catch and size distribution of the catch.

6.2 Proposal for the development of an operating model for use in MSE

The GBYP Steering Committee (SC) reviewed in its 2013 December meeting a multi-year workplan, including objectives, time lines and deliverables, for the modeling work. As part of this work plan the SC recommended that a group be formed under the SCRS to help develop an operating model. This group should work in advance to this meeting and should present the results at a 3 day GBYP meeting to be held after this meeting with the objective of developing specifications for the operating model.

For different reasons the preparatory work was not made in advance to the meeting and consequently the three days meeting will be used to conduct the preparatory work. Hence, the work on the Operating Model design would now be conducted in advance of the Boston BFT SCRS meeting with the participation of BFT SCRS scientists.

7. Adoption of the report and closure

The report was adopted.

The Chairman thanked the participants for their hard work.

The meeting was adjourned.

References

- 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 and T. alalunga*. Marine Biology 143: 613-621.
- Quílez-Badia G., Cermeño 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). Spatiotemporal 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 America107: 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.
- Rodiguez-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., Rodriguez-Marin, 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. Col. 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, Gordoa 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 thunnus*) 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
RAPPORT DE LA REUNION DE 2013 CONCERNANT L'EXAMEN DES PARAMETRES BIOLOGIQUES DU THON ROUGE

(Tenerife, Espagne –7-13 mai 2013)

1. Ouverture, adoption de l'ordre du jour et organisation des sessions

La réunion a été tenue au "Centro Oceanografico de Canarias » de l'« Instituto Español de Oceanografía (IEO) », à Ténérife, du 7 au 13 mai 2013. Dr. Josu Santiago, le Président du SCRS, a ouvert la réunion et a souhaité la bienvenue aux participants.

Les Drs. Clay Porch (Etats-Unis) et Jean-Marc Fromentin (UE-France), les Rapporteurs du thon rouge pour le thon ouest et est, respectivement, ont co-présidé la réunion. Les Drs. Porch et Fromentin ont souhaité la bienvenue aux participants ("le Groupe") et ont procédé à l'examen de l'Ordre du jour, qui a été adopté sans aucune modification (**Appendice 1**).

La Liste des participants est jointe en tant qu'**Appendice 2** et la Liste des documents présentés à la réunion est incluse à l'**Appendice 3**.

Les participants suivants ont assumé la tâche de Rapporteurs pour les divers points du rapport:

Point	Rapporteurs
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 des données biologiques utilisées pour l'évaluation du thon rouge de l'Atlantique

2.1 Révision des données de Tâche II récupérées par le GBYP de 2010 à 2012: contrôles et analyses de la qualité

Le programme de recherche sur le thon rouge englobant tout l'Atlantique (GBYP) visait entre autres à identifier et à récupérer toute éventuelle source de données qui n'était pas encore incluse dans le catalogue de données sur le thon rouge de l'ICCAT. De nombreux jeux de données historiques et récents concernant la plupart des engins et de nombreux lieux de pêche ont été récupérés au cours des trois premières phases du programme GBYP. Le document SCRS/2013/073 comporte une présentation générale des divers jeux de données récupérés. Depuis 2011, le SCRS a été régulièrement informé des activités menées dans le cadre du GBYP, et notamment de la récupération des données (**Tableau 1**).

Les **Tableaux 2 - 5** présentent le catalogue des données existantes sur le thon rouge figurant dans les bases de données de l'ICCAT ainsi que le catalogue actualisé des données récupérées dans le cadre du GBYP pour le thon rouge de l'Atlantique est et de la Méditerranée, en spécifiant le type de données récupérées par pavillon, engin et année.

Validation des données

Un contrôle de qualité adéquat pour l'inclusion des données dans la base de données de l'ICCAT a été réalisé en vérifiant par recoupement toutes les données, dans un premier temps, par rapport aux jeux de données existants dans la base de données de l'ICCAT sur le thon rouge afin de détecter toute duplication éventuelle ou toute valeur atypique.

Le Secrétariat a réalisé un examen détaillé de toutes les données récupérées ainsi qu'une comparaison-validation des données de taille récupérées dans le cadre du programme de recherche du GBYP. Les résultats détaillés sont exposés dans le document SCRS/2012/116. En résumé, l'approche de validation consistait à comparer les données de taille de l'ICCAT et les données de taille du GBYP en incluant un facteur *Source du jeu de données* (ICCAT, GBYP) dans un modèle GLM qui prévoyait la taille moyenne des échantillons de fréquences de taille. Ce modèle GLM incluait également les facteurs année, saison, engin et pavillon. L'idée sous-jacente à la méthode était que la taille moyenne est essentiellement déterminée par l'engin, la saison et le pavillon, la source de données n'ayant qu'un effet négligeable. Les résultats de ce modèle GLM sont présentés aux tableaux 4 et 5 du document SCRS/2012/116. Même si le facteur *Source des données* était important d'un point de vue statistique, surtout en raison du grand nombre d'observations, les graphiques d'influence montraient que ce facteur n'avait qu'une influence minime, voire aucune, sur le modèle prévu par rapport à d'autres facteurs, tels que la *saison* et l'*année*.

Autres analyses et problèmes éventuels

Afin d'analyser de façon plus exhaustive de nouvelles séries de données soumises par le GBYP, trois principales composantes ont été identifiées: i) les données de taille des fermes soumises par les CPC, le Programme d'observateurs régionaux du thon rouge de l'ICCAT; ii) les données de taille de Tâche II et iii) les données de prise et d'effort de Tâche II.

Données de taille provenant des fermes

Les données de taille collectées dans les fermes italiennes et maltaises de 2003 à 2007 ont été récupérées dans le cadre du GBYP. Ces données ont été analysées conjointement avec d'autres données de taille de fermes issues de sources différentes (cf. point 2.2).

Données de taille de Tâche II

Le **Tableau 3** présente les données de taille récupérées dans le cadre du GBYP. Les données récupérées ont été validées par le Secrétariat.

Données de prise et d'effort de Tâche II

Le **Tableau 3** présente les données de prise et d'effort récupérées dans le cadre du GBYP. Le **Tableau 6** inclut des informations plus détaillées sur les données de Tâche II récupérées dans le cadre du GBYP. Les principaux problèmes identifiés étaient les suivants : divergences dans les unités d'effort de pêche entre les séries récupérées et les séries figurant actuellement dans la base de données de l'ICCAT ; chevauchement entre les nouvelles séries soumises dans le cadre du GBYP et chevauchement entre les nouvelles séries soumises par le GBYP et celles figurant déjà dans la base de données de l'ICCAT.

Actions et calendrier

Pour les données de taille de Tâche II, le Groupe a estimé que les méthodes utilisées aux fins de la validation de ces données étaient appropriées et il a convenu d'intégrer ces données aux bases de données de l'ICCAT.

En ce qui concerne les séries de prise et d'effort de Tâche II qui comblent les données manquantes dans la base de données actuelle de l'ICCAT, une fois les contrôles de qualité réalisés, ces données seront intégrées dans la base de données de l'ICCAT.

S'agissant des séries de prise et d'effort de Tâche II récupérées dans le cadre du GBYP et qui entraînent un chevauchement (cf. **Tableau 5**), les scientifiques des CPC concernées travailleront en étroite collaboration avec le Secrétariat afin de résoudre ce problème. Ces corrections seront soumises à la prochaine réunion du Groupe d'espèces du thon rouge aux fins d'approbation par le SCRS.

En ce qui concerne les séries de prise et d'effort de Tâche II qui se superposent à celles figurant déjà dans la base de données de l'ICCAT, les scientifiques des CPC concernées travailleront en étroite collaboration avec le Secrétariat afin de résoudre ce problème. Ces corrections seront soumises à la prochaine réunion du Groupe d'espèces du thon rouge aux fins d'approbation par le SCRS.

2.2 Aperçu général d'autres nouvelles informations concernant la biologie du thon rouge recueillies par d'autres programmes, dont les données d'élevage, les données commerciales et les données des ventes à la criée

Les données collectées par les observateurs présents dans les fermes depuis 2003 n'ont, jusqu'ici, pas été utilisées par le SCRS pour établir la prise par taille du thon rouge capturé par les senneurs de la Méditerranée car les coefficients de conversion sont difficiles à estimer en raison de la croissance dans les fermes (ICCAT 2007, 2009). Toutefois, lorsque les carnets de pêche des senneurs français ont été largement utilisés pour estimer la prise par taille des senneurs, les résultats se sont avérés très douteux, comme le concluait Dr Fromentin en 2004: "L'information soumise par les carnets de pêche européens reste trop imprécise et manque de validation pour permettre le calcul d'un tableau de fréquence de tailles».

En revanche, il semblerait que, depuis 2003, un grand nombre de thons rouges ait été mesuré convenablement par les observateurs scientifiques et les techniciens nationaux présents dans les fermes depuis 2003, avec un bon potentiel d'estimation d'une prise par taille bien plus réaliste. Ces travaux peuvent être menés indépendamment des changements du coefficient de condition dans les fermes et en se basant uniquement sur la mesure des tailles de thon rouge échantillonnées lors de la mise à mort dans les fermes. Deux documents (SCRS/2013/076 et SCRS/2013/083) ont analysé ces données de tailles provenant des fermes.

Le nombre d'échantillons de tailles annuelles désormais disponibles pour estimer la prise par taille est inclus au **Tableau 7** (la plupart des échantillons de 2012 n'est pas encore disponible). Ce tableau illustre bien l'importance de l'échantillonnage des tailles réalisé dans les fermes au cours de ces 10 dernières années, avec plus de 140.000 thonidés échantillonnés aux fins d'obtention de la taille dans les fermes durant cette période (mesurés en longueur droite à la fourche, longueur courbée à la fourche ou longueur droite de la première nageoire dorsale). Compte tenu des prises totales de thon rouge des senneurs, utilisées dans la dernière évaluation, une moyenne de 16% des prises des senneurs a été échantillonnée dans les fermes: un faible pourcentage (toutefois significatif) inférieur à 10% entre 2003 et 2006 et un taux de couverture très élevé entre 10 et 40% de la prise échantillonnée dans la période 2007-2012.

Le temps passé dans les cages est connu avec exactitude pour certains poissons, pour lesquels la taille à la capture peut être estimée en postulant qu'ils ont suivi un schéma de croissance type (par exemple la courbe de croissance de Cort 1991) dans les fermes. Cette hypothèse de travail est probablement réaliste: lorsque la croissance en poids semble être très rapide dans les fermes, la croissance en taille ne devrait pas être très différente de la croissance de base, au moins dans les fermes où les thonidés sont gardés moins d'un an. Pour nombre de ces poissons, la date de pêche est probablement disponible dans les bases de données et devrait pouvoir être récupérée. A l'heure actuelle, les dates de pêche restent inconnues pour un grand nombre de thonidés mis à mort, au moins dans les fichiers disponibles actuellement. Cependant, si les dates de pêche ne peuvent pas être identifiées, elles peuvent facilement être estimées, en postulat simplement que ces thonidés ont été capturés à une date de pêche moyenne aux alentours du 1^{er} juin. Ce postulat serait tout à fait acceptable depuis 2009, étant donné que la saison de pêche a été limitée à une période d'un mois entre le 15 mai et le 15 juin. Cette date moyenne sera plus sujette à controverse avant 2007 car la saison de pêche était plus étendue (mi-mai à mi-juillet) et les prises ne devaient pas être obligatoirement consignées avec leur origine ; dans ce cas, la période moyenne de capture devrait être estimée en se basant sur les dates de pêche des autres thonidés mis à mort dans chaque ferme au cours de la saison de pêche.

Les tailles moyennes échantillonnées dans les fermes ces dernières années sont illustrées à la Figure 1.

L'estimation des tailles à la capture nécessiterait des calculs détaillés et complexes, tels que ceux envisagés dans le document SCRS/2013/076. Pour résoudre la première inconnue relative aux tailles correspondantes des thons rouges aux dates de pêche, il a été postulé que tous les thonidés échantillonnés avaient été gardés dans les cages des fermes pendant une durée moyenne de 5 mois (période moyenne souvent observée dans les fermes, hormis dans les fermes croates qui gardent leurs petits thons rouges pendant des périodes bien plus longues).

La **Figure 2** présente la comparaison des distributions de tailles moyennes à la mise à mort et le moment de capture estimé dans le cadre de cette hypothèse et la prise par taille moyenne des senneurs actuellement postulée pour la période 2003-2012. Cette figure montre que les profils de ces 2 vecteurs de la prise par taille sont très différents: alors que la structure bimodale des tailles échantillonnées chaque année dans les fermes semble être assez réaliste et habituelle pour les tailles de thons rouges capturés en Méditerranée, la forme et le profil de la prise par taille utilisée par le SCRS semble être très douteuse pour une moyenne de prise par taille sur plusieurs années. Il convient, en outre, de noter que le poids moyen estimé d'après les échantillons des fermes aux dates de

pêche s'élève à 123 kg, soit un poids bien plus élevé que les 63 kg obtenus par la prise par taille actuellement utilisée. Ceci pourrait être dû au fait que les prises des senneurs français ne sont pas représentatives de la senne de la Méditerranée, ou à d'autres facteurs (par exemple, la méthode employée pour estimer la prise par taille ou/et à un biais dans les tailles estimées dans les carnets de pêche français).

Le Groupe a également observé que la prise par taille historique échantillonnée pour la senne par Arena dans les années 80 est très similaire à la prise par taille échantillonnée actuellement dans les fermes (cf. **Figure 3**): elles présentent la même prise par taille bimodale, en proportion égale dans les deux modes alors que ces dernières années les prises de thons rouges de grande taille sont bien plus faibles (tout du moins dans l'analyse préliminaire actuelle).

Sur la base de ces résultats, le Groupe a conclu qu'il est possible que les tailles des thons rouges échantillonnés dans les fermes soient bien plus réalistes que la prise par taille estimée précédemment par le SCRS ; toutefois, ces résultats actuels demeurent très provisoires et ne sont donnés qu'à titre indicatif.

Le Groupe a également noté que ces résultats pourraient ne pas concorder avec les prises totales annuelles de thonidés issus des fermes, déclarées par les pays de pêche (sans connaissance réelle du poids réel de ces captures). Il est recommandé d'extrapoler les tailles des thons rouges échantillonnés dans les fermes, après correction par rapport aux dates de pêche, de deux différentes façons:

- (1) par rapport à la période antérieure aux prises annuelles estimées et déclarées de chaque pays;
- (2) mais en se basant aussi sur le nombre total de thons rouges identifiés dans les certificats de l'ICCAT et dans les données commerciales (importations du Japon). Cette extrapolation de la taille échantillonnée dans la ferme au nombre total de spécimens vendus sur les marchés internationaux (Japon et autres) devrait permettre d'estimer d'autres chiffres, potentiellement plus réalistes, des prises annuelles de thon rouge de la Méditerranée. Ces travaux devraient être menés en étroite collaboration avec l'équipe d'experts se consacrant à l'analyse des données commerciales du thon rouge. Ces travaux devront pouvoir également accéder intégralement aux fichiers d'importations japonaises de thon rouge (données du commerce et du marché du thon rouge) qui seront totalement validés par l'ICCAT et le GBYP.

Le Groupe a recommandé que le GBYP réalise, bien avant sa prochaine évaluation totale du stock de thon rouge, une validation, analyse et extrapolation complètes des échantillons issus des fermes. Ces travaux sont indispensables afin d'estimer les prises totales ainsi que la prise par taille totale des pêcheries de senneurs de la Méditerranée. Ces travaux sont décrits à l'**Appendice 4**. Il a été estimé que ces recherches devraient être menées par un expert en pêcheries et bases de données, pour un travail à temps plein d'une durée de trois mois, lequel travaillera en étroite coopération avec le secrétariat de l'ICCAT et les scientifiques du thon rouge.

En se fondant sur cette présentation de la prise par taille actuellement utilisée par le SCRS et d'une prise par taille alternative basée sur l'échantillonnage des fermes, le Groupe a tiré les conclusions ci-après:

- (1) Les prises par taille des senneurs estimées par le SCRS et utilisées dans les dernières évaluations ne sont pas totalement adéquates, en l'absence d'échantillons sur le terrain, et devraient être abandonnées par le SCRS.
- (2) Les données de taille collectées dans les fermes depuis 2003 (ou 2005 étant donné que l'échantillonnage de taille en 2003 et 2004 est relativement faible et limité géographiquement) représentent une bonne façon d'estimer une prise par taille réaliste des thons rouges capturés par les senneurs de la Méditerranée. Les données de tailles issues des fermes montrent déjà que la prise par taille utilisée par le SCRS sont des prises de thon rouge de taille moyenne se situant dans une gamme de tailles entre 70 et 110 cm (soit moins de 30 kg), et celles-ci auraient pu être surestimées alors que les prises de grands thons rouges de plus de 2 mètres (plus de 150 kg) auraient pu être sous-estimées dans une large mesure.
- (3) Les données de taille collectées par les observateurs à la mise à mort dans les fermes devraient être traitées et extrapolées avec attention afin d'estimer une prise par taille plus réaliste des thons rouges provenant des fermes. L'extrapolation devrait être réalisée par rapport aux estimations les plus réalistes des prises totales annuelles en nombre (cf. **Annexe 1**).

- (4) Ce nouveau traitement des données pourrait permettre d'estimer de nouvelles séries de prises totales annuelles, qui pourraient différer des données actuelles de Tâche I et être probablement plus élevées en terme de poids que les prises actuelles, en raison du poids moyen plus élevé de ces prises moyennes.
- (5) Il est incontestable que cette nouvelle prise par taille qui sera estimée pour la période 2003-2013 ne coïncidera pas avec la prise par taille estimée actuellement pour les années antérieures. Cette divergence dans les deux prises par taille avant et après 2003 posera de graves problèmes dans l'évaluation des stocks étant donné qu'aucun des modèles d'évaluation des stocks ne s'adaptera au changement majeur du tableau de la prise par taille et de la prise par âge après 2002. Cet éventuel problème devrait être étudié exhaustivement par le SCRS, l'amenant éventuellement à une révision de la prise par taille pour les années antérieures à 2003 (en postulant par exemple une prise par taille améliorée correspondant aux tailles issues des fermes depuis 2003). Ces travaux devraient être réalisés en étroite collaboration avec l'équipe d'experts se consacrant à l'analyse des données commerciales du thon rouge.

Données commerciales

Plusieurs documents ont été présentés à la réunion d'évaluation du stock de thon rouge de 2012, lesquels portaient sur l'utilisation des statistiques commerciales du thon rouge de l'est et de la documentation de l'ICCAT afin de rétro-calculer les prises et la distribution des tailles des captures. L'information utilisée dans certains documents a été soumise au Secrétariat aux fins d'utilisation par le SCRS. Cette information contenait des statistiques individuelles sur le commerce du thon rouge pour la période 2001-2012. Le Groupe a identifié divers problèmes potentiels dans les méthodes employées dans les estimations, lesquels devraient être résolus avant que ces données ne soient utilisées par le SCRS. Le Groupe a considéré que le SCRS devait se doter d'une équipe d'experts qui procèdera aux études pertinentes concernant les méthodes d'obtention d'estimations non biaisées des prises et de la prise par taille.

Ces travaux seront menés dans le cadre d'un contrat spécifique de la Phase 4 du GBYP.

Le Groupe a reconnu qu'il convenait d'intégrer les données récupérées dans le cadre du GBYP, et provenant d'autres sources, aux bases de données de l'ICCAT afin qu'elles soient disponibles pour les futures analyses du stock de thon rouge de l'Atlantique est et de la Méditerranée. Le Groupe a convenu que les décisions finales devraient être prises par le Groupe d'espèces du thon rouge, au cours de sa réunion de 2013, puis soumises au Sous-comité des Statistiques et au SCRS aux fins d'approbation.

3. Révision des principaux paramètres biologiques utilisés pour l'évaluation du thon rouge de l'Atlantique

3.1 Conversions de la taille: taille en poids, longueur courbée à la fourche en longueur à la fourche

Les relations d'origine de taille-poids pour le thon rouge de l'est (Rey et Cort, *non publié*; Arena 1980) et de l'ouest (Parrack and Phares 1979) n'ont pas été actualisées depuis de nombreuses années. Depuis la détermination de ces relations d'origine, de nombreuses nouvelles informations ont été soumises aux fins de la réévaluation de ces relations. De nouvelles relations de rapports taille-poids ont été estimées par Rodrigues-Marin *et al* (2013), d'après une vaste compilation de données récentes sur la taille-poids. En outre, le programme GBYP a obtenu des milliers de registres historiques qui devraient permettre de réévaluer ces relations, avec un jeu exhaustif de mesures de taille-poids et de covariables associées (engin, mois, zone, etc.).

Une approche de modèle mixte a été utilisée, tenant compte de la variabilité de certains facteurs, tels que l'engin, l'année et la technique de traitement du navire, de telle sorte que ces facteurs puissent être pris en compte dans le modèle sans biaiser la relation globale. Nous avons minimisé la fausse influence potentille de ces variables nuisibles en les estimant comme effets aléatoires et en les intégrant au modèle global. Alors que la condition des poissons pourrait varier dans le temps, ou même entre différents types d'engins ou d'unités de traitement, dans le cadre de ce document, nous nous sommes intéressés exclusivement à la relation longueur-poids moyenne tout en prenant en considération les covariables les plus importantes. Le principal objectif de cette analyse visait à soumettre des relations longueur-poids actualisées, utiles aux fins de la modélisation de l'évaluation des stocks. Ces travaux sont un compromis entre la représentation de la réalité biologique de la variabilité saisonnière et spatiale de la condition (et donc avoir de nombreuses relations longueur-poids) et la practicalité de modélisation (où le fait d'avoir de multiples relations longueur-poids complique dans une grande mesure la modélisation).

3.1.1 Bases de données et méthodes utilisées dans l'analyse

Pour les deux stocks, de nombreuses bases de données étaient disponibles. Le Groupe a décidé de n'utiliser que les tailles et poids qui étaient vraiment des valeurs mesurées et non estimées. Les tailles ont été soumises en différents formats mais le principal format utilisé pour l'est était la Longueur droite à la fourche (SFL) et pour l'ouest la Longueur courbée à la fourche (CFL). Pour l'est, seules les mesures de SFL ont été utilisées. Pour l'ouest, les CFL ont été converties en SFL à l'aide des méthodes décrites ci-après. Les poids ont été consignés en poids vif (RWT), en poids éviscéré et sans branchie (GGWT), en poids éviscéré (GWT) ou en poids éviscéré, sans branchie et sans queue (GGTW). Les poids éviscérés étaient extrêmement rares et ces mesures ont été supprimées. Aux fins de modélisation, les poids RWT, GGWT ou GGTW ont été utilisés et un terme du modèle a été estimé en fonction de quelle unité de poids était la mesure d'origine.

3.1.1.1 Stock de l'est

Pour le stock de l'est, les bases de données suivantes étaient disponibles pour la réunion.

Données du GBYP

Le GBYP a récupéré un grand nombre de jeux de données historiques et récentes aux fins d'utilisation dans les analyses et rapports biométriques pour la plupart des engins et des lieux de pêche. Les données récupérées, couvrant la période de 1903 à 2010, et de 1512 à 2009 pour les madragues de thonidés, ont été utilisées pour l'actualisation de la régression taille-poids du thon rouge. D'importantes données issues du GBYP ont été soumises à cette réunion après avoir été vérifiées par rapport à la base de données sur le thon rouge de l'ICCAT et soumises individuellement à un contrôle de qualité. Les valeurs atypiques ont été exclues. Le document SCRS/2013/073, présenté lors de cette réunion, présentait les divers jeux de données disponibles provenant du GBYP.

Données tunisiennes et maltaises

Un jeu de données sur la taille et le poids d'un total de 170 thons rouges sauvages capturés par les senneurs au cours de l'été 2012 a aussi été utilisé dans l'analyse, conjointement avec les données de taille-poids transmises par Malte pour les poissons capturés par les palangriers maltais pendant la période de reproduction de cette espèce (mai-juillet) en 2005, 2006, 2007 et 2012. Au total, 1.970 registres de taille-poids de la pêcherie palangrière maltaise ciblant cette espèce ont été soumis. Des informations supplémentaires sur les palangriers maltais ont aussi été mises à la disposition de la réunion pour les années 2008-2011, issues des travaux menés par Rodriguez-Marin et al (2013), visés au point 3.1.1.5.

Palangre japonaise

Les données de taille (longueur droite à la fourche) et de poids (vif et manipulé) collectées par les observateurs scientifiques par le biais du programme d'observateurs du Japon entre 2000 et 2011 ont également été incluses dans l'analyse de régression de taille-poids. Les travaux menés en vue de la collecte de cette information ont été présentés dans le document SCRS/2013/075. Au total, 13.121 registres de taille-poids émanant de cette pêcherie ont été soumis aux fins de l'analyse du stock de l'est.

Madragues marocaines

Les données des madragues marocaines ont aussi été soumises au Groupe aux fins d'inclusion. Ces mesures portaient sur 178 poissons mesurés en longueur courbée à la fourche.

Rodriguez-Marin et al.

Un jeu de données de taille-poids couvrant de vastes zones géographiques et franges saisonnières dans l'Atlantique Nord-est et la Méditerranée, d'après un échantillonnage extensif de plusieurs pêcheries de thon rouge de l'Atlantique sur 14 années, a également été utilisé. Ce jeu de donnée comportait 54.549 registres de taille-poids par zone géographique et mois. Les travaux menés en vue de la collecte de ces données ont été présentés dans le document SCRS/2013/079.

Arena et al. (1980)

Les relations longueur-poids actuelles pour la Méditerranée de l'est et de l'ouest se basent sur la fonction de taille-poids de Arena (non publié), qui est utilisée dans les évaluations des stocks du thon rouge de l'Atlantique Est et de la Méditerranée pour les spécimens supérieurs à 100 cm SFL (ICCAT 2012). Pour la première fois, la publication de Arena *et al.* (1980) a été soumise à la réunion, fournissant ainsi le jeu de données brutes de taille-poids avec lequel travailler. Les données de taille-poids de Arena *et al.* ont été collectées pendant la saison de reproduction (mai-juillet) pendant 20 ans dans les lieux de pêche de la Mer Tyrrhénienne du sud des senneurs et d'une seule madrague. Les données individuelles de taille/poids n'étaient pas disponibles (probablement égarées), mais les tailles (SFL) et poids (poids vif) moyens pourraient avoir été récupérés de Arena *et al.* (1980) et ont été utilisés aux fins de comparaison mais non dans l'ajustement du modèle.

3.1.1.2 Stock de l'ouest

Pour le stock de l'ouest, plusieurs bases de données étaient disponibles à la réunion. Par manque de temps, certaines bases de données n'ont pas pu être obtenues lors de la réunion et des efforts seront déployés en vue d'obtenir des données supplémentaires à l'issue de la réunion, lesquelles pourraient être utilisées dans les régressions.

Données canadiennes

Les données collectées à bord et sur le littoral de la pêcherie canadienne ont été obtenues. Un jeu de données comprenant 7.855 observations de taille-poids a été soumis. Les tailles ont été mesurées en tant que longueur courbée à la fourche mais des préoccupations ont été exprimées quant à certaines valeurs atypiques.

Données des observateurs de la palangre japonaise

Le jeu de données décrit ci-dessus pour la palangre japonaise a été soumis pour la zone à l'ouest de 45°W.

Données des observateurs de la palangre mexicaine

Les données collectées par les observateurs à bord de palangriers mexicains ont été soumises d'après les méthodes décrites dans le document SCRS/2012/193. Ces données comportaient 755 registres. Lors de la réunion, il n'a pas été possible de déterminer quelle mesure de taille et de poids avait été utilisée et les données n'ont donc pas pu être incluses dans le jeu de données principal.

Données du programme d'observateurs de la palangre des Etats-Unis

Un jeu de données incluant 521 observations de taille-poids a été soumis. 509 tailles ont été mesurées en tant que longueur courbée à la fourche et 12 tailles en tant que longueur droite à la fourche. Ces données ont été collectées par les observateurs embarqués à bord des palangriers pélagiques américains ou lorsque les poissons ont été débarqués.

Données soumises par Golet et Lutcavage provenant de la pêcherie des Etats-Unis

Ces données collectées provenaient de la pêcherie commerciale et récréative des Etats-Unis.

Données historiques des Etats-Unis

Les données utilisées dans le jeu de données d'origine de Parrack et Phares (1979) provenaient apparemment de 3.545 poissons collectés par les scientifiques nationaux des Etats-Unis entre 1974 et 1977. Le jeu de données original pourrait être obtenu mais il serait nécessaire de mener de nouvelles recherches à cet effet, à l'issue de la réunion.

Registres des revendeurs des Etats-Unis

Il se peut que des données existent dans les registres des revendeurs américains. Par manque de temps à la réunion, il n'a pas été possible d'obtenir ces données et celles-ci seront disponibles ultérieurement.

Base de données de marquage de l'ICCAT

Les poissons marqués figurant dans la base de données de marquage de l'ICCAT ont été examinés aux fins d'utilisation pour les données de taille-poids. Toutefois, le faible nombre de registres dans lesquels la taille et le poids avaient été mesurés (~547) et le degré de variabilité de la mesure des tailles rendent ces données peu utiles en termes d'observations de taille-poids.

3.1.1.3 Données exclues

Certaines données disponibles ont été exclues car elles ne répondaient pas aux critères de qualité définies par le Groupe. Les données ci-après ont été exclues:

- ✓ Les données provenant des madragues du Détroit de Sicile ont été exclues pour les années 1994 et 1995.
- ✓ Les mesures de taille pour lesquelles le type de longueur n'a pas été enregistré (804 poissons).
- ✓ Les éventuelles valeurs atypiques potentiellement issues de l'ajustement du modèle. Les valeurs atypiques ont été identifiées à l'aide du facteur de condition de l'état du poisson de Fulton (Figure 4). Ce facteur de condition est calculé comme suit:

$K = 100^{*}(wt(grammes)/longueur^{3})$

✓ Les valeurs inférieures à 1 et supérieures à 2,8 (Figure 5) en suivant la logique de Cort *et al* (sous presse) mais permettant un large éventail d'observations. Pour cette analyse, tous les poids ont été convertis en poids vif (RWT) en utilisant la relation suivante entre le poids éviscéré, sans branchie, sans queue (GGTW) et le poids éviscéré (GWT):

RWT=1,13 x GWT; surtout pour le Détroit de Sicile d'après les coefficients de conversion de l'ICCAT pour la Méditerranée

RWT=1,16 x GGTW ; (SCRS/2013/075)

Ces conversions initiales ont été réalisées de telle façon que des valeurs K similaires ont été obtenues pour exclure les valeurs atypiques mais toute la modélisation a été réalisée avec le type de mesure d'origine.

La segmentation spatiale des données a été initialement laissée à la résolution la plus fine des jeux de données et se composait de zones. La segmentation temporelle des données a tout d'abord été réalisée par mois. Des analyses exploratoires plus approfondies ont été menées pour condenser les zones spatio-temporelles.

3.1.1.4 Conversion de CFL en SFL pour les données de l'ouest

Etant donné que la plupart des données de l'ouest ont été collectées en tant que CFL mais que les données de la palangre japonaise couvrant des zones spatiales essentielles ont été collectées en SFL, il a été décidé de convertir les mesures CFL en SFL à l'aide de l'équation établie par Parrack *et al.* (1979) dans l'Atlantique Ouest:

SFL = 0,955 CFL (Parrack *et al.*, 1979)

Cette équation est similaire à l'équation de la Méditerranée centrale présentée dans le document SCRS/2013/065, (SFL = 0,968 CFL). Il est à noter que les équations estimées par Salz *et al* (2007, SFL = 0,9728 CFL) pourraient également être prises en considération.

3.1.1.5 Création d'un jeu de données central

Il est capital, pour cet exercice, d'élaborer un jeu de données central avec des facteurs communs aux fins de l'analyse. Les champs de données de ce jeu de données principal sont présentés à l'**Appendice 5** et des exemples de lignes de données sont inclus à l'**Appendice 6**. Initialement tous les champs de données ont été saisis à l'échelle de résolution la plus fine disponible, c'est-à-dire que si le code du navire, la zone et l'échantillonneur étaient disponibles ces valeurs étaient des valeurs d'entrée. Lorsque ces valeurs n'étaient pas disponibles, un champ de données a été codifié en tant que 'NA'.

3.1.2 Modélisation

3.1.2.1 Analyse exploratoire

Des analyses exploratoires ont été réalisées en réalisant une PCA sur les paramètres de la relation poids=a*longueur^b du mois et de la zone pour déterminer si le mois et la zone avaient un effet sur les coefficients du modèle. Quatre zones initiales ont été explorées dans la PCA: Atlantique (ATL), Méditerranée occidentale (WMED), Méditerranée centrale (CMED) et Méditerranée orientale (EMED).

Une analyse similaire a été effectuée dans le modèle mixte, estimé initialement avec 14 zones distinctes et 12 mois. Les estimations des paramètres du modèle ont été étudiées pour déterminer si les zones ou les mois pourraient être condensés en groupes homogènes. Les zones pour lesquelles les 95% de centiles des estimations des paramètres se chevauchaient ont été condensées afin de fournir un jeu d'équations de régression plus parcimonieux.

3.1.2.2 Elaboration et coefficients du modèle

Compte tenu de la variabilité entre les personnes chargées du traitement des données en ce qui concerne le mode de traitement du poisson pour obtenir des poids éviscéré ou sans branchie, éviscéré et sans queue, une autre variable a été élaborée pour déterminer la variabilité du traitement. Cette nouvelle variable dénommée 'unité de traitement' représentait le navire individuel pour les jeux de données de la palangre japonaise et pour les autres jeux de données une seule valeur a été attribuée à toutes les observations (64), dans lesquelles un poisson était débarqué en poids éviscéré. Les autres observations ont été mesurées en poids vif et ont été attribuées à une autre catégorie d'unité de traitement.

Les méthodes de modélisation de régression suivaient l'approche de modélisation mixte présentée dans le document SCRS/2013/075 et utilisaient le programme MCMCglmm (Hadfield, 2010) R 2.15.3. L'ajustement du modèle, le choix du modèle et les méthodes d'éclaircie « thinning » de MCMC étaient semblables à ceux présentés dans le document SCRS/2013/075. Un critère d'information de déviance (DIC) a été utilisé pour les décisions du choix du modèle, sauf indication contraire.

Les modèles initiaux évalués sont les suivants:

Modèle A (même *b*, intercepts différents)

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

Facteurs fixes: month,area,wcode(0:poids vif,2:gilled,gutted,and tailed,3:gilled weight)

Facteurs aléatoires (*rnd*) : paste(*year*, *gear*, *processing unit*); de telle sorte que le facteur aléatoire est la combinaison de l'année, de l'engin et de l'unité de traitement.

Condensé en seulement deux zones et trois saisons:

Modèle B (condensé, même *b*, intercepts différents)

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)

Modèle C (condensé pas de saison, même b, intercepts différents)

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

Après avoir condensé le modèle en seulement deux zones et trois saisons, des interactions ont été testées (estimant des paramètres a et b distincts) avec un modèle sous forme de:

Modèle D (condensé, a et b distincts)

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

Modèle E (Atlantique, séparé, a et b distincts, pas d'effet de saison)

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

Modèle F (Med, a et b distincts, pas d'effet de saison)

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

3.1.3 Résultats

3.1.3.1 Filtrage et exclusion des données

Les jeux de données initiaux soumis au Groupe se composaient de 117.536 observations de taille-poids pour l'est et de 22.129 observations pour l'ouest (**Tableaux 8** et **9**). Après avoir attentivement étudié le jeu de données de l'ouest, le Groupe a décidé de ne pas procéder à la modélisation des données tant que des jeux de données essentiels ne seront pas obtenus et qu'un grand nombre de valeurs atypiques ne seront pas vérifiées aux fins d'erreur par les scientifiques nationaux.

Après avoir appliqué les exclusions basées sur le coefficient de condition de l'état du poisson (- 218 observations), utilisé uniquement les observations de SFL (-3695 observations) et supprimé les données de poids à la taille moyen de Arena (-1658), il restait un total de 110.498 paires de taille-poids (**Tableau 10**).

3.1.3.2 Analyses exploratoires

Des analyses exploratoires ont été menées en utilisant l'analyse des composantes principales afin d'évaluer les facteurs ayant la plus forte influence sur les paramètres estimés. La PCA indiquait que le mois et la zone covariaient par rapport à la même composante, ce qui donnait à penser que le mois et la zone servaient d'indices approchants similaires pour la taille au poids mais que la zone segmentait la plus grande variabilité des relations longueur-poids (**Figure 6**). Ceci indique que les effets les plus forts sur les paramètres a et b seraient vraisemblablement dus à la zone et que l'effet mensuel, même s'il existe bel et bien, ne serait pas aussi fort que l'effet de la zone. Les **Figures 7** et **8** illustrent les relations longueur-poids par mois et par an.

3.1.3.3 Résultats du modèle

Ajustement du modèle initial

Les estimations des paramètres initiaux pour le mois, issues du Modèle A, indiquaient qu'il existait des différences dans la condition par mois. La valeur la plus haute (ligne verte) et la plus basse (lignes rouges) représentent 95 centiles des estimations de MCMC pour les paramètres. La ligne bleue et les barres d'erreur représentent la médiane +/- 1 unité d'erreur standard. Les estimations donnent à penser qu'il existe trois saisons potentiellement distinctes (**Figure 9**): une « saison de pré-ponte » (février-juin) ; une saison post-ponte (juillet-août) et une saison de grossissement (septembre-décembre) afin de déterminer la principale variation temporelle dans la relation longueur-poids.

Les estimations des paramètres initiaux pour la zone, issues du Modèle A, indiquaient que les nouveaux modèles pourraient condenser les zones homogènes (Figure 10).

En se basant sur les intervalles de confiance des paramètres de chevauchement, deux zones ont tout d'abord été prises en considération: l'Atlantique et la Méditerranée occidentale (ATL_WMED) et la Méditerranée orientale et centrale (ECMED). Ceci condenserait ATL_ATL, ATL_BB, ATL_Portugal, CATL_CATL, WMED et WMED_Sardaigne dans ATL_WMED et CMED_IO, CMED_Sud Med, CMED_SS (Sicile), CMED_TY, EMED_Antalya, EMED_Levant, EMED_N Egée dans ECMED. Par la suite, les zones ont été révisées d'après les connaissances des experts pour l'Atlantique seulement et la Méditerranée seulement, impliquant le déplacement des échantillons de la Méditerranée occidentale au groupe de la Méditerranée.

Modèles condensés

Le critère d'information de déviance (DIC) a été comparé entre le modèle condensé saisonnier et non saisonnier (Modèle B par rapport à Modèle C). Alors que l'effet de saison était important, les intervalles de confiance pour les modèles saisonniers se chevauchaient (**Figure 11**), ce qui indique qu'il y avait une très légère différence statistique entre les saisons. Il existait, par ailleurs, une différence négligeable du poids à l'âge entre les saisons. Pour la plus grande taille de poissons observée (300 cm SFL), le poids à la taille serait de 439, 447 et 457 kg à la saison de post-ponte, à la saison de base et à la saison de grossissement, respectivement, soit une différence de +/-2% par rapport à la saison de base. Dans la gamme des nombreuses données, la différence absolue était encore moindre mais le pourcentage se situait environ à 2% entre la saison de post-ponte et celle de grossissement. Ces différences représentent donc une valeur très mineure et il a été décidé de retirer la saison des autres modèles.

Interactions

Afin d'estimer des paramètres *a* et *b* séparés, il a été nécessaire d'estimer une interaction entre la zone et la SLF (Modèle D). Ce modèle donnait lieu à une nette amélioration de l'ajustement par rapport au modèle pourvu d'un seul *b* et intercepts différents, ce qui indique que des paramètres *a* et *b* devraient être estimés. Une difficulté supplémentaire s'est posée lorsque des estimations très divergentes (de ATL_WMED) et des estimations non-sensibles pour la Méditerranée orientale et centrale (ECMED) ont été obtenues, en raison de nombreux codes de navires manquants dans les effets aléatoires. Pour résoudre ce problème de façon opportune, le Groupe a décidé de partager les données en deux zones et d'estimer des modèles séparés.

Modèles finaux et performance de l'estimation des paramètres

Des modèles finaux ont été élaborés pour l'Atlantique (ATL) et la Méditerranée (MED) séparément, sans les facteurs de saison (**Tableau 11**). La performance de l'estimation des paramètres a été évaluée en examinant les graphiques des six paramètres estimés pour les modèles finaux (**Figure 12**). Ces paramètres estimés étaient les suivants: intercept (a), log(taille) ou le coefficient b et deux paramètres définis pour le poids. Les graphiques et histogrammes indiquaient que la plupart des paramètres convergeaient vers une distribution relativement symétrique et ajustée à une valeur moyenne.

Les modèles finaux, dénués des effets des saisons, mais dotés de l'effet de zone ne montraient pas de différence entre l'Atlantique Est et la Méditerranée, mais ils laissaient apparaître certaines différences avec les relations historiques utilisées par le SCRS (**Figure 13**).

3.1.4 Discussion

Le Groupe a actualisé les relations longueur-poids pour le thon rouge de l'Atlantique Est et de la Méditerranée et il a développé une méthodologie de modélisation pour l'actualisation des relations longueur-poids pour l'ouest à utiliser lorsque les informations seront disponibles. Pour le thon rouge de l'est, le Groupe a estimé deux régressions distinctes: une pour l'Atlantique (ATL) et l'autre pour la Méditerranée (MED). Néanmoins, les relations et les estimations des paramètres étaient si similaires qu'il pourrait être souhaitable de n'avoir qu'une unique relation.

Les résultats de cette analyse devraient être considérés comme préliminaires, étant donné que la similitude entre les modèles de l'Atlantique et de la Méditerranée pose la question de leur combinaison en un unique modèle. Compte tenu du temps imparti pour la réunion et du traitement des données considérable requis, cette nouvelle sortie du modèle n'a pas pu être effectuée lors de la réunion et elle pourrait être présentée en tant que document de Groupe de travail à la réunion du Groupe d'espèces de 2013. En outre, il est probable que les données soient prochainement disponibles pour le stock ouest, ce qui permettrait de développer des relations longueur-poids pour ce stock.

Ces relations longueur-poids devraient être applicables aux poissons sauvages au moment de la capture car on a pris soin d'exclure les poissons d'élevage de l'analyse. Les modèles à deux zones représentent la principale source de variabilité identifiée dans la régression de taille-poids, bien qu'elle soit faible et peut-être mineure, tout en prenant en considération la variabilité aléatoire du temps, de l'engin et de la méthode de traitement. Même si la saison était un facteur significatif dans les modèles, nous avons décidé de ne pas recommander les modèles saisonniers car les différences saisonnières étaient très mineures après avoir pris en considération les zones. Si un chercheur désire de plus amples détails spatio-temporels, Rodriguez-Marin et al (2013) soumet un ensemble de modèles spatio-temporels séparés, avec un examen plus détaillé des schémas spatio-temporels.

Par rapport à d'autres modèles de taille-poids pour le thon rouge de l'est, les modèles de l'Atlantique et de la Méditerranée sont très similaires aux modèles comparables de Rodriguez-Marin *et al.* (2013) et de Rey et Cort (non publié) (**Figures 13** et **14**). Ces deux modèles sont très différents des modèles de l'Atlantique ouest de Arena (1980) et de Parrack et Phares (1979), lesquels indiquent un poids à la taille bien supérieur. Ces différences sont importantes mais pourraient s'expliquer par les échantillons relativement plus petits et plus localisés utilisés dans Arena et Parrack et Phares (1979). Etant donné que l'analyse actuelle ainsi que celle de Rodriguez-Marin et al (2013) comporte de nouvelles informations importantes ainsi que des données plus exhaustives d'un point de vue spatio-temporel et que ces deux analyses estiment des relations longueur-poids similaires, il est probable que ces estimations représentent mieux les relations longueur-poids de la population.

3.2 Conversions de l'âge: courbe de croissance, données de détermination de l'âge, tableaux de la clef d'âgetaille

Situation actuelle des programmes de détermination directe de l'âge

L'estimation de l'âge et de la croissance d'une espèce est un paramètre clef de la description de son cycle vital et est un élément essentiel pour son évaluation. Il existe plusieurs approches d'estimation de la croissance, la plus fréquente étant l'observation directe ou le marquage, l'analyse des données de fréquences de tailles et l'interprétation des structures calcifiées. La croissance du thon rouge de l'Atlantique a été obtenue par ces trois méthodes, mais les courbes de croissance actuellement utilisées dans l'évaluation de l'ICCAT de cette espèce se basent sur une combinaison de ces deux dernières méthodes, les analyses de fréquence de tailles et la détermination directe de l'âge (Cort, 1991; Restrepo *et al.* 2010). La méthode de marquage est l'une des approches les plus fiables pour obtenir les données d'âge et de croissance, compte tenu des informations satisfaisantes sur la taille au marquage-récupération, mais jusqu'à présent ces données n'ont pas été prises en considération pour cette espèce étant donné que le faible nombre de grands spécimens ne permet pas l'estimation d'une taille asymptotique fiable. Toutefois, les documents SCRS/2013/093 et SCRS/2013/078 estiment que les données de marquage actuelles pourraient faire l'objet d'un examen approfondi et étayer de nouvelles études sur la croissance. Le Groupe a fait part de ses préoccupations relatives au nombre et à la fiabilité des données de recapture de poissons de grandes tailles.

La détermination directe de l'âge des captures à l'aide de clefs d'identification âge-longueur (ALK) est une méthode commune, généralement utilisée par de nombreuses organisations régionales de gestion des pêcheries d'espèces pélagiques et de fond. En revanche, dans les évaluations de l'ICCAT les courbes de croissance annuelles moyennes sont utilisées pour convertir la prise par taille en matrices de prise par âge (CAA) au lieu d'appliquer des ALK. Les raisons de cette procédure s'expliquent essentiellement par la difficulté à échantillonner cette espèce, le temps consacré au développement d'ALK annuelles et la nécessité d'une détermination directe de l'âge validée. Le SCRS et les scientifiques nationaux ont toutefois consacré de considérables ressources en termes de détermination directe de l'âge, tant pour le stock est qu'ouest. Les résultats actuels et les futures priorités de travail sont récapitulés ci-après.

Diverses structures calcifiées ont été utilisées pour l'estimation de l'âge du thon rouge de l'Atlantique, dont les écailles, les vertèbres, les otolithes et les épines de la nageoire dorsale (Rooker *et al.*, 2007). Parmi toutes ces structures, les deux dernières ont fourni les résultats les plus fiables (Rodriguez-Marin *et al.*, 2007). Pour la détermination directe de l'âge du thon rouge de l'Atlantique, les otolithes représentent un avantage par rapport aux épines de la nageoire car tous les âges peuvent être interprétés en l'absence de vascularisation du noyau ; en

revanche, les épines de la nageoire dorsale (dénommmées épines ci-après) sont plus faciles à collecter et à préparer que les otolithes (Rodriguez-Marin *et al.*, 2007). Parmi ces deux structures, seule la détermination de l'âge d'après les otolithes a été validée jusqu'à présent (Neilson et Campana, 2008), et les validations n'ont été réalisées que pour la catégorie de taille la plus grande. Le Groupe a également fait remarquer que l'interprétation de l'âge d'après les otolithes au cours des 5-6 premières années de vie est souvent problématique mais comparativement plus facile dans les épines. Par ailleurs, après l'âge 7, le comptage des anneaux des otolithes peut être réalisé avec précision. Le Groupe a noté que les déterminations les plus robustes des âges pourraient être réalisées en combinant les âges déterminés par ces deux pièces dures.

Si l'on compare les méthodes novatrices de détermination directe de l'âge à l'est et à l'ouest, il est à noter qu'il existe des protocoles bien établis pour la détermination de l'âge par les épines, utilisés depuis de nombreuses années (Rodriguez-Marin *et al.*, 2012; Luque *et al.*, documents soumis). En revanche, la détermination de l'âge basée sur les otolithes, réalisée par les laboratoires de l'ouest, n'est pas aussi avancée et les chercheurs établissent actuellement des collectes de référence, des échanges d'otolithes et achèvent les protocoles. Cependant, de grands progrès sont accomplis et, tel que signalé dans le document SCRS/2013/084, les participants à un récent atelier, dotés d'expérience dans les procédures de contrôle de la qualité dans de grands laboratoires de détermination de l'âge, indiquaient qu'une erreur moyenne de pourcentage de 10% était généralement mise en œuvre pour des espèces, telles que le thon rouge de l'Atlantique (thazard par exemple) dont l'âge est parfois assez difficile à déterminer. Grâce à une standardisation accrue et une plus grande expérience, les participants à l'atelier ont estimé qu'une erreur moyenne de pourcentage de <5% pouvait être atteinte, niveau suggéré par Campana (2001) comme étant le seuil habituel pour les laboratoires de détermination de l'âge.

En ce qui concerne la situation de ces collectes pour l'ouest, une collecte est en cours de développement par l'UMCES (SCRS/2013/084) et des partenaires internationaux. A l'est, l'IEO joue un rôle clef dans le développement de collectes de référence pour les épines et les vertèbres. Ces outils devraient être achevés et partagés avec d'autres laboratoires souhaitant contribuer à ces travaux.

La détermination directe de l'âge réalisée par le GBYP inclut plus de 1.050 structures calcifiées dont l'âge a été déterminé (SCRS/2013/080). Ce document présente les résultats de la détermination directe de l'âge du thon rouge de l'Atlantique, basée sur des otolithes et des épines des nageoires échantillonnés dans l'Atlantique nordest et en Méditerranée dans le but d'estimer l'âge de la capture du stock est de cette espèce. Les tailles asymptotiques et les coefficients de croissance obtenus d'après les ALK issus de ces deux structures n'ont pas présenté de différences significatives et la précision entre les lecteurs au sein de chaque structure s'est avérée élevée.

Un autre document (SCRS/2013/081) basé sur des structures paires de ces mêmes spécimens, provenant du GBYP et d'autres programmes de recherche espagnols, canadiens et américains, a été présenté.

Ce document étudiait la valeur potentielle du carbone radioactif pour la validation de l'interprétation de l'âge dans des échantillons d'épines disponibles de thon rouge de l'Atlantique depuis 1984 et des estimations de l'âge d'après des structures paires ont été comparés pour examiner le biais relatif des lectures des épines par rapport à celles des otolithes. Les épines contenaient du carbone radioactif à des concentrations conformes aux attentes. La comparaison des interprétations de l'âge d'après les otolithes et les épines provenant du même spécimen montrait un bon ajustement à un rapport linéaire entre les deux estimations de l'âge jusqu'à 10 ans. A partir de cet âge, il est noté que les interprétations de l'âge d'après les épines sont plus faibles que celles réalisées d'après les otolithes. Les auteurs ont toutefois reconnu que ces résultats étaient préliminaires, étant donné que la taille de l'échantillon pour l'essai du carbone radioactif était réduite et que la préparation des otolithes et le critère d'interprétation de l'âge faisaient encore l'objet d'études. Il a été suggéré de combiner la lecture des otolithes et des épines pour le même spécimen afin de réaliser une expérience complémentaire et corroborative.

Le **Tableau 12** inclut un catalogue des pièces dures pour la période 2010-2013, correspondant à la période d'échantillonnages biologiques accrus dans le cadre du GBYP dans l'Atlantique est et la Méditerranée et de programmes nationaux d'échantillonnage complémentaires développés par UE-Espagne dans l'Atlantique est et les Etats-Unis et le Canada dans l'Atlantique ouest. Les données présentées dans ce tableau sont tirées des documents SCRS/2013/094, SCRS/2013/050, SCRS/2013/080 et d'autres informations transmises par les scientifiques nationaux. Il existe également des collectes historiques d'otolithes bien échantillonnées dans plusieurs instituts de recherche, tels que celles de la NOAA (Etats-Unis) depuis le milieu des années 70, du FOC (Canada) de 1970 à 1990 et des collectes d'épines de l'IEO (UE-Espagne) de 1975 à 1990.

Clefs d'identification âge-longueur disponibles et comparaisons de la prise par âge résultante avec l'évaluation précédente

Le Groupe a élaboré des clefs d'identification âge-longueur (ALK) à l'aide des données issues du GBYP (c'està-dire épines et otolithes de thon rouge de l'Atlantique est) et des paires âge-longueur d'otolithes de thon rouge de l'Atlantique ouest. Même si des échantillons étaient disponibles de 2009 à 2013, la plupart des échantillons provenaient de 2010 et 2011. Aux fins de cette analyse, toutes les années ont été combinées pour développer des ALK pour le thon rouge de l'Atlantique est et ouest. La composition par âge a été estimée à l'aide de ces ALK empiriques pour déterminer l'influence de l'utilisation de ces ALK pour développer la composition par âge plutôt que le protocole de découpage des âges utilisé pour élaborer les entrées de la VPA pour les cas de base des modèles de 2012.

Pour le thon rouge de l'Atlantique ouest, deux ALK ont été élaborées. Une clef utilisait uniquement les observations des otolithes de thon rouge capturé par les pêcheries du nord-est de l'Atlantique ouest des Etats-Unis et de Caroline du nord (**Figure 15**). La deuxième utilisait toutes les paires de longueur-âge disponibles de l'Atlantique est et ouest (**Figure 16**).

Les **Figures 17** et **18** comparent la prise par taille extrapolée aux échantillons d'otolithes et d'épines, respectivement, pour le thon rouge de l'Atlantique est. Dans ces deux figures, les premiers panneaux représentent la distribution de fréquences de tailles de la population, le second les nombres à chaque âge (représentés par différentes couleurs) pour chaque groupe de taille et le troisième panneau les proportions par âge. Les **Figures 17** et **18** permettent de comparer l'intensité d'échantillonnage des pièces dures parmi la distribution des fréquences de taille de la capture.

Les **Figures 19** et **20** représentent les nombres échantillonnés à chaque âge en tant que « courbe de croissance » pour les otolithes et les épines, respectivement. Les **Figures 19** et **20** permettent de comparer les chevauchements par taille des classes d'âges: plus le chevauchement est important, plus grandes seront les incertitudes liées aux estimations de l'âge.

La **Figure 21** compare les estimations des nombres à l'âge avec un "découpage des âges" et en utilisant une clef d'identification âge-longueur basée sur les otolithes et les épines. La **Figure 21** compare les estimations des proportions par âge. Ces résultats sont préliminaires et visent à constituer un point de départ pour la comparaison de l'évaluation actuelle basée sur la VPA, utilisant le découpage des âges et les modèles statistiques de prise par âge, plutôt que de permettre de tirer toute conclusion quantitative.

Le Groupe a noté des différences dans la reconstruction de la prise par âge calculée d'après les clefs d'identification âge-longueur préliminaires développées pour les stocks est et ouest. Des âges manquants pour les âges les plus jeunes posaient des problèmes pour l'ouest et des valeurs manquantes pour les âges les plus avancés causaient des difficultés pour l'est. L'utilisation de techniques de modélisation, telles que la synthèse des stocks, pourraient prendre en considération les clefs d'identification âge-longueur incomplètes. Il a toutefois été signalé que les clefs d'identification âge-longueur soumises ici étaient préliminaires, surtout pour l'ouest. Au fur et à mesure de la disponibilité des âges et de l'exhaustivité accrue des clefs d'identification âge-longueur, des prises par âge plus fiables devraient être obtenues. Il a été constaté qu'avec des données supplémentaires sur les âges les plus avancés, les problèmes liés au groupe plus pourraient devenir moindres.

Echelle appropriée pour l'agrégation des données d'âge-taille

Afin de déterminer l'échelle appropriée pour l'élaboration de clefs d'identification âge-longueur, il est important de comprendre les facteurs susceptibles d'influencer la croissance du thon rouge et d'étudier de façon approfondie les documents portant sur la croissance des thonidés. A titre d'exemple, il est avéré que le taux de croissance est une caractéristique de dimorphisme sexuel pour plusieurs espèces (thon rouge de l'Atlantique, thon rouge du sud et thon obèse du Pacifique) même si la sexualité à croissance rapide est différente. Les différences du taux de croissance régional ont été décrites et sont parfois importantes entre les diverses unités de gestion (pour le germon par exemple). Il a été démontré que certains facteurs environnementaux ont une influence sur le taux de croissance (voir, par exemple, la réponse du thon obèse du Pacifique à El Niño ou à La Niña). Compte tenu de la variation temporelle, il n'existe que peu d'information sur la variation interannuelle, même si Rodriguez-Marin *et al.* (2009) a considéré qu'il est plus facile de détecter et de suivre des cohortes de thon rouge lorsque des clefs d'identification annuelles âge-longueur sont utilisées. On a également estimé que les taux de croissance changent à une échelle décennale (thon rouge du sud, Polacheck *et al.* 2004) et pourraient être une réponse dépendant de la densité à une diminution de la taille de la population.

Des études de simulation peuvent permettre d'évaluer la sensibilité des clefs d'identification âge-longueur à d'éventuelles sources de biais et de déterminer les niveaux d'échantillonnage requis pour atteindre certains niveaux de précision.

Comparaisons entre les courbes de croissance

Le Groupe s'est penché sur les données utilisées afin de calculer les courbes de croissance actuellement adoptées pour les stocks de thon rouge de l'Atlantique est et ouest (Cort, 1991 et Restrepo *et al.*, 2010). Il a été convenu d'inclure une description détaillée du délai et des données utilisés pour ces deux courbes. Ces deux courbes se basent essentiellement sur la fréquence des tailles et les structures calcifiées échantillonnées dans les années 70 et 80. La courbe de croissance actualisée du thon rouge de l'Atlantique ouest d'après Restrepo *et al.* (2010) se base sur des données sur l'âge basée sur les otolithes et les distributions de fréquence de tailles des petits spécimens (âges 1–3) capturés par les senneurs dans les années 1970. Les otolithes utilisés dans cette fonction de croissance actualisée du l'Atlantique a surtout été collectée dans les années 1990 et 2000 mais la catégorie de thons rouges géants de l'Atlantique a surtout été collectée dans les années 70 et 80. Les deux extrêmes de la fonction de croissance de l'ouest actualisée se basent sur des échantillons collectés il y a de nombreuses décennies. Le même problème potentiel est constaté pour la courbe de croissance de l'est (Cort, 1991); cette courbe est également basée sur deux types de données: la lecture de l'âge basée sur les deux types de données: la lecture de l'âge basée sur les distributions de fréquence des tailles collectés il y a de nombreuses décennies. Le même problème potentiel est constaté pour la courbe de croissance de l'est (Cort, 1991); cette courbe est également basée sur deux types de données: la lecture de l'âge basée sur les épines de thonidés capturés par les madragues en 1984 et les distributions de fréquences des tailles de thonidés juvéniles (âges 1-5) capturés par les canneurs de 1975 à 1984.

L'approche méthodologique d'ajustement de la courbe de croissance de l'est de Cort (1991) a également été décrite. Cet auteur ajustait les données au modèle de croissance de von Bertalanffy en appliquant la méthode de Ford&Walford. Les paramètres de croissance obtenus différaient légèrement des paramètres recalculés, obtenus lors de la réunion du Groupe de travail d'après les données de référence (longueurs à l'âge moyennes) en réduisant la somme des carrés des valeurs résiduelles (**Tableau 13**).

Les courbes de croissance actuellement adoptées pour les stocks de thon rouge de l'Atlantique est et ouest ont été comparées aux courbes calculées d'après les jeux de données disponibles sur les structures calcifiées du test du rapport des vraisemblances de Kimura (1980) (**Tableau 13**). Ce test a été effectué en utilisant des gammes d'âges équivalentes, tel que recommandé par Haddon (2001). Les paramètres correspondants, nouvellement estimés, ont été testés avec ceux d'autres auteurs, qui ont été recalculés d'après les données de référence (longueurs à l'âge moyennes) en réduisant la somme des carrés des valeurs résiduelles. Les jeux de données des otolithes du stock ouest n'ont pas été inclus dans l'analyse car ces estimations de l'âge étaient préliminaires et qu'il y avait relativement peu d'âge disponible en l'absence d'échantillonnage dans les deux extrêmes de la gamme d'âges. Il a été fait observer que les procédures statistiques utilisées ici comparaient les tailles moyennes à l'âge mais une utilisation plus appropriée pourrait consister à traiter les observations à titre individuel.

Les résultats du **Tableau 13** montraient que les estimations des paramètres de croissance et que l'importance de ces comparaisons sont sensibles aux facteurs suivants: la gamme d'âge comparée, l'utilisation d'âges fractionnaires et le nombre d'échantillons et d'années utilisés dans l'analyse. En règle générale, l'utilisation de jeux de données sur les âges fractionnaires et les structures calcifiés avec de nombreuses estimations de l'âge par âge et couvrant de vastes gammes d'âges donne lieu à des courbes de croissance qui n'était pas très différentes de celles actuellement adoptées par l'ICCAT.

Le Groupe a estimé que les comparaisons présentées étaient utiles et intéressantes. Il a été noté que les estimations de $L_{infinity}$ comparativement élevées, issues du jeu de données du GBYP, se rapprochaient des estimations précédemment publiées, étant donné que de nouvelles années d'informations avaient été rajoutées, ce qui reflète probablement l'ajout de poissons plus grands et plus âgés, qui sont en nombre relativement restreint dans les échantillons actuels.

3.3 Reproduction: sex ratio, maturité, fécondité et frai

3.3.1 Age à maturité

Le Groupe a convenu d'adopter les définitions ci-après:

Maturité – statut histologique des gonades et/ou expression des ratios du niveau hormonal qui indiquent un changement par rapport à ceux exprimés chez les juvéniles.

Frai – expression des œufs ou du sperme dans la colonne d'eau aux fins de reproduction.

Age à la première reproduction/au premier frai – âge le plus jeune auquel les spécimens sont en état de frai.

Age à maturité le plus jeune – âge le plus jeune auquel les spécimens de la population présentent le développement de gonades et/ou expression des ratios du niveau hormonal qui indiquent un changement par rapport à ceux exprimés chez les juvéniles.

Age à maturité (50% des poissons) – classe d'âge à laquelle la majorité des poissons de la population présente le développement de gonades et/ou expression des ratios du niveau hormonal qui indiquent un changement par rapport à ceux exprimés chez les juvéniles.

Age au frai (50% des poissons) – classe d'âge pour laquelle 50% des poissons de la population sont en état de frai.

Age au frai (100% des poissons) – classe d'âge à laquelle tous les poissons de la population sont en état de frai.

Le Groupe a débattu des avantages et des inconvénients de certaines techniques actuellement utilisées dans les études de maturité. Les techniques histologiques sont utiles pour identifier les poissons en état de frai. Toutefois, elles ne peuvent pas identifier les poissons matures lorsqu'ils sont en dehors de leur cycle de reproduction. En revanche, les études endocrines peuvent identifier sans ambigüité les poissons qui sont matures sexuellement, mais elles ne peuvent pas identifier si un poisson mature a frayé ou procèdera au frai pendant la saison en cours (Heinisch *et al.* document soumis). Dans l'idéal, la combinaison de ces deux techniques, conjointement avec les indices gonado-somatiques, devrait être utilisée aux fins des études de maturité/frai. Le Groupe a également recommandé de convenir d'un jeu de techniques standard devant être utilisées simultanément pour les deux stocks en vue de faciliter la comparaison des résultats des deux côtés de l'Atlantique (Knapp *et al.* soumis). Le Groupe a recommandé, en outre, de poursuivre les études visant au développement de techniques (marqueurs histologiques par exemple) qui permettraient d'identifier les activités de frai antérieures.

Le Groupe a discuté de l'état actuel des connaissances et des facteurs qui pourraient avoir une influence sur l'estimation de la maturité et du frai à l'âge pour les deux stocks. Parmi les plus importantes, d'un point de vue historique, les échantillons collectés pour estimer la maturité ont été obtenus uniquement des zones de ponte (c'est-à-dire Golfe du Mexique et Mer Méditerranée). Comme précédemment discuté par le SCRS, les échantillons visant à estimer la maturité devraient être collectés de toutes les portions de la population et ne pas se limiter aux zones de ponte. Certaines études de maturité ont été réalisées pour le stock ouest à l'aide d'échantillons obtenus en dehors du Golfe du Mexique (par exemple Goldstein *et al.* 2007). Cependant, ceci n'est pas le cas pour le stock de l'Atlantique Est et de la Méditerranée ces dernières années/décennies et par conséquent, le Groupe a recommandé d'obtenir des échantillons de thon rouge de l'est en dehors de la Méditerranée, au cours de la saison de reproduction, pour réaliser des études sur la maturité.

Stock de l'Atlantique et de la Méditerranée

Dans le cas du stock de l'Atlantique et de la Méditerranée, le Groupe a identifié d'autres sources de biais potentiels pouvant avoir une influence sur l'estimation de la maturité à l'âge. A titre d'exemple, les scientifiques du thon rouge ont soumis l'hypothèse, sur la base du marquage électronique, que la Méditerranée pourrait avoir une population "résidente"² composée à la fois de poissons matures et immatures en plus d'une population transitoire de poissons matures qui migrent de l'Atlantique à la Méditerranée aux fins de frai. Lorsque l'on échantillonne uniquement les zones de ponte au cours de la saison de reproduction, les échantillons de poissons matures et immatures sont combinés. Ceci peut produire une estimation biaisée de l'âge à maturité (c'est-à-dire une augmentation de la population).

L'indice gonado-somatique (GSI) peut évoluer très rapidement en Méditerranée. Les scientifiques de l'IEO (UE-Espagne) ont constaté que des femelles gardées dans des madragues peuvent donner des valeurs de GSI très faibles à très élevées en deux semaines ou moins. De la même façon, la transition de valeurs GSI élevées à faibles peut également survenir rapidement (Medina *et al.* 2002, Goldstein *et al.* 2007). Cette caractéristique

² L'interprétation de thons rouges "résidents" de la Méditerranée (thonidés résidant plus d'une année en Méditerranée) provient de Di Natale *et al.*, 2005 – Pêcheries de ligneurs de thon rouge (*Thunnus thynnus* L.) dans les mers italiennes. Données anciennes et récentes. ICCAT Coll. Vol. Sci. Pap., 58(4), 2005: 1285-1295.

particulière est un défi complexe à relever pour les études sur la reproduction. Etant donné qu'une forte proportion d'échantillons collectés pour les études de maturité a été obtenue au cours de la saison de pêche à la senne ou à la madrague, la durée de la saison de pêche peut influencer les résultats des études. La durée de la saison de pêche a changé au cours de ces dernières années et est actuellement limitée à un mois. De nombreux événements liés au frai se produisant en dehors de la zone et saison de pêche à la senne et à la madrague sont donc manquants ou ne sont pas détectés. Cette difficulté est exacerbée par la rapide évolution de GSI expliqué ci-dessus, les poissons pouvant avoir frayé ou être prêts à frayer mais les phases physiologiques ne sont pas détectées.

Une autre source de biais discutée par le Groupe est l'absence ou le faible nombre d'échantillons provenant de certaines zones de ponte connues en Méditerranée. Les zones de ponte des eaux de la Méditerranée de l'Afrique du nord/ de l'est ont notamment été sous-échantillonnées aux fins des études de maturité, surtout ces dernières années. Les scientifiques de l'IEO (UE-Espagne) ont analysé un petit échantillon (n=21) de thons rouges femelles capturés par les madragues des eaux libyennes. Toutes les femelles analysées étaient d'âge 3 et 4 et étaient totalement matures (Tawill *et al.* 2002). Cependant, ce programme d'échantillonnage fait également l'objet de biais potentiels, évoqués ci-dessus, survenant lorsque l'on n'échantillonne que les zones de ponte durant la saison du frai.

Actuellement, pour l'évaluation du stock est, le SCRS part du postulat que 50% de la population frave à l'âge 4 et 100% à l'âge 5 et à un âge plus avancé. Ce postulat se base sur un grand nombre de documents qui indiquent que des poisons matures d'âge 3 peuvent être présents en Méditerranée et que des poissons échantillonnés dans une vaste gamme de zones de ponte étaient matures à 100% à l'âge 4 (par exemple, Mather et al. 1995, Piccinetti et al. 2012). Néanmoins, compte tenu des biais potentiels décrits ci-dessus, les postulats actuels utilisés par le SCRS pourraient être révisés étant donné notamment que la proportion de poissons de la population totale qui frayent à chaque âge reste incertaine. Le Groupe a estimé que les données de prise par taille de certaines pêcheries pourraient être étudiées comme indice approchant pour la proportion de poissons de chaque classe d'âge qui frayent. Néanmoins, il pourrait exister de multiples évolutions de la maturité en fonction de la structure de la population. Ceci implique, par ailleurs, que toutes les zones de ponte sont connues, alors que de Buen, 1925 et 1926 et Mather et al., 1995 ont suggéré d'autres zones de ponte potentielles. Profitant des caractéristiques particulières de la pêcherie de madrague dans la zone du Détroit de Gibraltar (qui vise à capturer des géniteurs migratoires à l'aide d'engin non-sélectif), les scientifiques de l'IEO (UE-Espagne) ont mené une analyse préliminaire pour estimer la reproduction (50% des poissons) en utilisant une approche d'analyse de courbe de capture structurée par taille. Les échantillons ont été collectés en mai par la madrague de Barbate (près du Détroit de Gibraltar, le long de la côte atlantique espagnole), juste avant la saison du frai. Les résultats préliminaires plaçaient l'âge de la reproduction (50% des poissons) aux alentours de l'âge 6 après avoir estimé l'âge d'après la longueur à l'aide de la courbe de croissance développée par Cort (1991) pour cette composante migratoire du stock de l'Atlantique est. Même si l'approche utilisée était simple et se fondait sur plusieurs postulats, les résultats obtenus étaient considérés plausibles et étayaient les préoccupations exprimées quant à la sous-estimation de l'âge de la reproduction (50% des poissons) du stock de l'est. Certains participants ont signalé la divergence entre ce récent échantillonnage et celui obtenu par Rodriguez Roda (1967) dans la même madrague sur plusieurs années et ont fait part de leurs inquiétudes quant au fait que l'âge actuel de maturité (50% des poissons) pour le stock de l'Atlantique est et de la Méditerranée pourrait être remis en question d'après ces résultats. Le Groupe a recommandé de réaliser des analyses de courbes de captures structurées par taille ou des analyses de prise par taille sur d'autres concentrations de reproducteurs au sein de la Méditerranée en tant qu'outil pour mieux estimer la proportion de poissons en état de frai par âge.

Stock de l'Atlantique ouest

Les zones de ponte connues pour le thon rouge de l'Atlantique ouest comprennent le Golfe du Mexique, le Détroit de Floride et la Mer des Caraïbes du nord (Mather *et al.* 1995; McGowan et Richards 1989, Muhling *et al.*, données non publiées). Contrairement à la Méditerranée, les thons rouges ne sont pas présents dans les zones de ponte de l'ouest tout au long de l'année (Mather *et al.* 1995). Les données de la pêche palangrière pélagique et les données de suivi électronique indiquent la présence de thon rouge dans le Golfe du Mexique de novembre à juin, avec un pic de résidence de mars à mai (Block *et al.* 2005, Galuardi *et al.*, 2006). A l'heure actuelle et à des fins d'évaluation de stock, le SCRS se base sur le postulat que l'âge de reproduction (100% des poissons) pour le thon rouge de l'Atlantique ouest se situe à l'âge 9, d'après les conclusions de Baglin (1982) et la courbe de croissance développée par Restrepo *et al.* (2010).

Schirripa (2011) a révisé les documents disponibles sur les calendriers de maturité des stocks est et ouest et les explications potentielles des différences entre les deux. Les études portant sur des preuves directes (c'est-à-dire histologie) et indirectes (calculées d'après les statistiques de capture) du frai ont été incluses. Sur la base de l'histologie, les estimations de maturité pour le stock est étaient très vastes, d'une maturité (50% des poissons) à

97,5 cm FL et d'une maturité (100% des poissons) à 130 cm FL jusqu'à une maturité (50% des poissons) à 140 cm et une maturité (100% des poissons) à >150 cm. De la même façon, les estimations de la maturité pour le stock de l'ouest variaient dans une large mesure de 95,5 cm FL à l'âge 10. Les critiques exprimées quant à ces études ont également été discutées. Le document évoquait aussi les recherches qui ont trouvé des éléments de preuves hormonales de maturité pour des poissons de l'est de petite taille (110 cm FL). Deux études qui utilisaient des statistiques de capture dans la zone de ponte du Golfe du Mexique pour évaluer l'âge de reproduction du thon rouge de l'ouest ont également été révisées. L'auteur a conclu que les différences notées entre les calendriers de maturité de l'est et de l'ouest sont plausibles, en raison de la séparation géographique, environnementale et génétique des deux stocks.

Une analyse de la distribution par taille des poissons capturés par les palangriers pélagiques dans le Golfe du Mexique ainsi que les taux de déplacements de poissons porteurs de marques électroniques a été utilisée pour estimer la proportion de poissons de chaque classe d'âge qui migre dans le Golfe du Mexique probablement à des fins de frai. Un consensus général s'est dégagé au sein du Groupe, selon lequel tous les poissons présents dans le Golfe du Mexique s'y sont déplacés à des fins de frai et pourraient donc être considérés comme des poissons adultes en état de frai.

En étudiant la distribution de la prise par âge des palangriers américains et japonais dans le Golfe du Mexique, Diaz et Turner (2007) ont estimé la proportion de thon rouge en état de frai dans chaque classe d'âge, en se fondant sur le postulat qu'il n'existe pas de frai important en dehors des zones de ponte connues. Diaz (2011) a actualisé l'analyse précédente pour les données de capture de la palangre pélagique américaine uniquement en utilisant la courbe de croissance actualisée pour le thon rouge de l'ouest, élaborée par Restrepo et al. (2010). Il a conclu que moins de 1% des poissons de l'échantillon prélevé dans le Golfe du Mexique avait moins de 8 ans et que l'âge auquel la majorité des poissons de la population frayait était 15,8 ans. Il a été noté que les données de la palangre japonaise avant 1980 incluaient un plus grand nombre de poissons plus petits (Diaz et Turner 2007) que le jeu de données de la palangre américaine utilisé par Diaz (2011). Une explication possible est que la flottille palangrière américaine fait l'objet de certaines restrictions de pêche dans les eaux territoriales mexicaines où des thons rouges plus petits ont été observés dans la capture des palangriers mexicains ciblant l'albacore (Ramirez-Lopez et Abad, 2012). Si la ségrégation par taille existe au sein du Golfe du Mexique, la flottille palangrière japonaise, qui n'a pas été exclue de la ZEE mexicaine, pourrait avoir rencontré des poissons plus petits que la flottille américaine. Le Groupe a recommandé d'actualiser les estimations de la proportion de poissons en état de frai de chaque classe d'âge à l'aide des données de pêche palangrière japonaises et mexicaines et de la courbe de croissance développée par Restrepo et al. (2010). En effet, le recours aux données de capture américaines uniquement pourrait sous-estimer la proportion de thons rouges en état de frai dans les classes d'âge les plus jeunes. Il a également été fait observer que la palangre est un engin sélectif pour les tailles plus grandes.

Les données de marquage électronique de Block et al. (SCRS/2013/091) ont aussi été utilisées pour calculer le nombre de poissons marqués par classe d'âge, situés dans le Golfe du Mexique ou en dehors. L'âge a été attribué au moment du marquage sur la base de la longueur (Restrepo et al. 2010) et l'âge des poissons a été ajusté en fonction du temps en liberté. Selon le modèle de croissance pour le thon rouge de l'ouest développé par Restrepo et al. (2010), le poisson le plus jeune dont la présence a été observée dans le Golfe du Mexique était d'âge 10 (Block et al. 2005, Teo et al. 2007). Les graphiques mensuels montraient que le mois de mai était le mois enregistrant le plus grand nombre de thons rouges marqués présents dans le Golfe du Mexique. La distribution totale de tous les poissons marqués révélait qu'un petit pourcentage de poissons d'âge 10 était présent dans le Golfe (0% pour novembre-avril, 2,5% en mai et 6% en juin). Pour le mois de mai, les âges auxquels la majorité des poissons étaient présents dans le Golfe étaient des âges >16 (66% pour les âges 17 et 19, 80% pour l'âge 18 et 100% pour les âges 20-23). Lorsque l'on se penche sur les pourcentages de poissons marqués présents dans le Golfe du Mexique sur tous les mois, l'âge le plus jeune pour lequel plus de 50% de poissons marqués ont été observés dans le Golfe du Mexique était l'âge 15 (55%) et l'âge le plus jeune pour lequel tous les poissons ont été observés dans le Golfe du Mexique correspondait à l'âge 22. Même si ce jeu de données était bien plus restreint, les résultats obtenus des données de marquage correspondaient bien à ceux communiqués par Diaz (2011) pour les registres de capture du Golfe du Mexique.

D'après d'autres études de marquage à l'aide de marques PSAT sur des thons rouges adultes remis à l'eau dans le Golfe du Maine et au sud-ouest de la Nouvelle Ecosse, au Canada, en 2001-2010, (par exemple, Wilson *et al.* 2005, Sibert *et al.* 2006, Galuardi *et al.* 2010), moins de la moitié des spécimens > 185 cm CFL conservant les marques au cours de la période de ponte présumée dans le nord du Golfe du Mexique avait pénétré dans le Golfe. Les spécimens l'ayant fait (n= 22) y ont pénétré en novembre (1), décembre-janvier (6), février-mars (12), avriljuin (3) (Lutcavage *et al.*, SCRS/2012/157).

Le Groupe a également discuté de la possibilité d'une omission de la fraye par les poissons matures. Même si la taille de l'échantillon était limitée, à l'aide des données de marquage, Teo *et al.* (2007) et Block *et al.* (2005) n'ont pas trouvé d'élément probant de l'omission de la fraye par des thons rouges de l'Atlantique ouest. Bien que le Groupe ait convenu que les résultats de ces études ne pouvaient pas être considérés comme des preuves définitives de la non-omission de la fraye, un consensus général s'est dégagé quant au fait que l'omission de la fraye pourrait être plus commune chez les classes d'âges plus jeunes (Rideout *et al.*, 2006; Goldstein *et al.*, 2007). Sur la base des conditions somatiques des grands thons rouges (par exemple 185 cm CFL) quittant les zones trophiques de l'Atlantique nord-ouest (par exemple Estrada *et al.* 2005, Goldstein *et al.* 2007, Golet *et al.* 2007), des profils de reproduction d'autres thonidés (Schaeffer *et al.*) et de la modélisation du cycle vital du thon rouge (Chapman *et al.* 2011), l'omission de la fraye semble moins probable chez les plus grands poissons, tout du moins sur la base de leur état énergétique (Heinisch *et al.* document soumis).

Des éléments de preuves de schémas de dispersion de thons rouges porteurs de marques PSAT, remis à l'eau dans les zones de fourrage de Nouvelle Angleterre et du Canada (n=126, 150-185 cm CFL), avec PSAT montraient que la plupart des spécimens conservant les marques jusqu'en avril-juin (20/36) n'avaient pas pénétré dans le Golfe du Mexique. Conformément aux observations historiques (par exemple, Mather *et al.*, 1995) et aux données spatiales et environnementales, les auteurs prévoyaient que certains thons rouges pourraient frayer ailleurs, possiblement à la fin de l'hiver ou au printemps, près du Gulf Stream (Lutcavage *et al.*, (SCRS/12/157; en préparation). Les schémas de dispersion présentés par des thons rouges sexuellement matures sont conformes aux modèles du cycle vital qui prévoient que les poissons plus petits/jeunes se reproduisent dans des zones plus proches des zones de fourrage que les spécimens plus grands (Chapman *et al.* 2011), ce qui est similaire aux schémas documentés pour le thon rouge du Pacifique (Itoh *et al.* 2006).

Knapp *et al.* (document soumis) utilisait une analyse stéréologique du tissu ovarien pour identifier les similitudes et les différences en ce qui concerne la fréquence de la reproduction, la fécondité et la périodicité de reproduction du poisson échantillonné dans le Golfe du Mexique et en Méditerranée. Le thon rouge de l'Atlantique échantillonné dans les zones de ponte de l'est et de l'ouest présentait la même durée de reproduction (trois mois) mais la reproduction dans le nord du Golfe du Mexique survenait un mois plus tôt que dans la plupart de la Méditerranée. Le thon rouge échantillonné présentait une fréquence de reproduction plus faible dans le Golfe du Mexique qu'en Méditerranée (<50% et 60%, respectivement), alors que la fécondité (59 œufs g⁻¹) coïncidait avec celle des poissons échantillonnés en Méditerranée (48,22 œufs g⁻¹).

Heinisch et al. (document soumis) utilisait des analyses histologiques et endocrines pour déterminer l'état de maturation sexuelle de 93 thons rouges de l'Atlantique (134-292 cm longueur courbée à la fourche, CFL) échantillonnés dans des zones de fourrage de l'Atlantique nord-ouest au large de la Nouvelle Angleterre et de la Nouvelle Ecosse et chez dix-sept jeunes de l'année (YOY) au large de la Virginie. Il n'y avait pas de différence physiologique entre les petits et les grands thons rouges. Des contenus testiculaires partiellement épuisés ainsi qu'un contenu lipidique des ovocytes étaient présents chez les thons rouges de toutes les tailles >134 cm CFL, ce qui indique que le frai était possible au cours de la saison précédente ou suivante. Les ratios d'hormone de stimulation folliculaire (FSH) par rapport aux ratios d'hormone lutéinisante (LH), détectés chez des thons rouges >134 cm CFL (<0,4), étaient similaires à ceux des géniteurs de la Méditerranée, ce qui indique que des thons rouges de l'ouest de taille bien inférieure à la taille à la première maturité actuellement postulée (\geq 185 cm CFL) pourraient bien être matures. Heinisch et al. (document soumis) a également conclu à des preuves de comportement de reproduction asynchrone chez des thons rouges femelles « géantes » (221-292 cm CFL) débarquées au large de la Nouvelle Ecosse en septembre-octobre, chez lesquelles une sécrétion LH pituitaire pourrait résulter d'une récente reproduction. Il s'agit de la première étude intégrant des approches endocrines et histologiques pour définir la maturité du thon rouge de l'ouest échantillonné en dehors de zones de ponte et de saison de reproduction connues. Les résultats combinés de l'analyse endocrine et des résultats histologiques ne correspondent pas aux calendriers de maturité actuellement postulés pour le thon rouge de l'ouest.

Même si on ne peut pas écarter le fait que des zones de ponte additionnelles existent en dehors de celles déjà identifiées dans l'Atlantique Ouest, les données de prise par âge et de marquage électronique n'étayent pas la notion que la majorité de la population de thon rouge fraye dans le Golfe du Mexique avant l'âge 15. Toutefois, les résultats présentés par Heinisch *et al.* (document soumis), qui indiquaient que de jeunes poissons, de 5 ans, sont matures sexuellement donnent à penser que ces jeunes poissons: 1) frayent dans des zones inconnues en dehors du Golfe du Mexique ou 2) même s'ils sont matures sexuellement ils ne frayent pas tant qu'ils n'ont pas atteint un âge plus avancé.

Fécondité

Aux fins de l'évaluation du stock, la connaissance du nombre moyen d'œufs produit par spécimen de chaque classe d'âge est d'une importance capitale. Dans l'idéal, ceci est estimé comme le produit de la fécondité par fraction de ponte (nombre moyen d'œufs produit lorsque le poisson fraye) et fréquence de fraction de ponte (nombre moyen d'œufs produit lorsque le poisson fraye) et fréquence de fraction de ponte (nombre moyen de fois qu'un poisson fraye). Si la fréquence du frai ne change pas avec l'âge, on peut alors remplacer le pourcentage de poissons frayant à l'âge par la fréquence de reproduction à l'âge. De la même manière, si la fécondité par fraction de ponte est proportionnelle au poids total, on peut alors remplacer le poids par âge par la fécondité par fraction de ponte à l'âge. Le produit du pourcentage de poisson en état de frai et le poids à l'âge est alors une mesure du nombre relatif d'œufs produit par spécimen de chaque classe d'âge, qui, multiplié par le nombre de poissons dans chaque classe d'âge est généralement désigné comme étant la biomasse reproductrice.

Pour le stock de l'est, Aranda et al. (2012) montrait un rapport exponentiel entre le volume ovarien et la taille avec une valeur pour le paramètre a = 0,0009 et une valeur d'exposant b = 2,9586 (qui à son tour correspond à un rapport linéaire avec le poids) et il concluait que le volume ovarien et la fécondité sont reliés de façon linéaire (fécondité potentielle = 1920,4 x volume ovarien - 0,59 X10⁻⁶). L'étude d'Aranda et al. (2012) a été réalisée avec une taille d'échantillons relativement restreinte (n=49), collectés sur trois ans et toutes les données ne semblaient pas s'adapter correctement à ce rapport. Medina et al. (2002), également pour le stock est, a soumis des informations sur le nombre d'ovocytes par gramme de masse corporelle pour différentes phases du développement et il a estimé la fécondité par fraction de ponte pour les femelles frayant aux Baléares à 92,8 ovocytes par gramme corporelle. Des études approfondies sur la fécondité et la corrélation entre le poids et la taille du corps et les gonades ont été menées dans le passé, sur de plus grands échantillons (Rodriguez Roda, 1967). Pour le thon rouge de l'ouest, Baglin (1982) a élaboré un rapport sur les estimations du nombre d'œufs par poids (estimé) et par taille mais une fonction de fécondité n'a pas été estimée d'après ces données (voir Tableau ci-dessous). Le Groupe a reconnu qu'il était important d'identifier des fonctions de fécondité pertinentes afin de réduire les incertitudes et les biais de l'évaluation. De surcroît, le Groupe a discuté du fait que des postulats erronés sur la fécondité du stock pourraient avoir un plus grand impact sur les résultats de l'évaluation que la sous-estimation/surestimation de l'âge de maturité par 1-2 ans. Le Groupe a convenu que, compte tenu de l'état actuel des connaissances sur la fécondité, un rapport linéaire entre la fécondité et le poids semble être un postulat pertinent aux fins de l'évaluation. Mais, en raison de l'impact potentiel de l'utilisation de postulats erronés sur la fécondité, le Groupe a également recommandé de mener davantage d'études sur la fécondité pour confirmer si un rapport linéaire entre la fécondité et le poids (ce qui est actuellement postulé par le SCRS) est un postulat adéquat ou si de nouvelles fonctions devraient être adoptées à des fins d'utilisation dans les futures évaluations du stock.

	Estimated Dry			Estimated no. of eggs	
Body	body	weight	Gono-	>0.46 mm	>0.32 mm
length	weight	of eggs	somatic	diameter	diameter
(Cm)	<u>(kg)</u>	(9)	index (%)	(millions)	(millions)
205	156	1,260	5.3	13.6	32.7
222	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	197	1,329	3.2	28.4	40.3
236	'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	'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	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	272	1,488	2.6	31.4	42.3
262	324	2,593	4.5	57.6	81.6
269	284	1,950	4.6	40.6	74.8
X 243	255	1,734	3.7	34.2	60.3
SE 2.78	8.37	102.79	0.18	2.15	4.04

'Actual weight determined.

Longueur, poids et données gonadales pour 28 thons rouges femelles de l'Atlantique ouest du Golfe du Mexique et du Détroit de Floride en avril, mai et juin 1967, 1968, 1974, 1975, 1976 et 1978. La moyenne et l'erreur standard de la moyenne sont indiquées en bas des colonnes. Tableau tiré de Baglin (1982).

Sex ratios

Le document SCRS/2013/083 faisait état des sex ratios estimés d'après les données collectées des fermes de thon rouge en Méditerranée, soumises au Secrétariat depuis 2008. Ce document montrait que, bien qu'il semble y avoir une certaine variabilité du sex ratio par taille, les différences n'étaient pas significatives et un sex ratio de 1:1 peut être postulé. Les résultats présentés semblent être en contradiction avec ceux présentés par Aranda *et al.* (2012) qui montraient d'importantes divergences par rapport au sex ratio de 1:1 à différentes gammes de tailles. Cependant, un examen approfondi des résultats de ces deux études montrait que le document SCRS/2013/083 soulignait des divergences, même si légères, dans le sex ratio 1:1 dans des gammes de tailles similaires à celles pour lesquelles Aranda *et al.* (2012) concluaient à d'importances différences. Pour le stock de l'Atlantique ouest, l'information sur les sex ratios n'est pas généralisée. Toutefois, Beerkircher *et al.* (2009) a indiqué que légèrement plus de femelles (60%) que de mâles étaient observées dans les prises de thon rouge en état de frai de la flottille palangrière pélagique américaine opérant dans le nord du Golfe du Mexique. Baglin (1982) a également estimé certains sex ratios par mois et catégorie de taille et a conclu à certaines divergences importantes par rapport au sex ratio 1:1. Néanmoins, Baglin (1982) ne soumettait pas d'informations détaillées sur les gammes de taille auxquelles ces divergences se produisaient.

3.4 Mortalité naturelle

Le Groupe a examiné les conclusions du document SCRS/2013/077 qui faisait état des valeurs du taux de mortalité naturelle par âge (M) susceptibles d'être utilisées dans les prochaines évaluations de stock de thon rouge. Alors que la mortalité naturelle est de toute évidence un paramètre de la plus haute importance dans la plupart des évaluations de stocks de thonidés, elle reste aujourd'hui un des paramètres les moins bien estimés dans la plupart des modèles de pêcheries de thonidés. Dans le cas du thon rouge de l'Atlantique, il est à noter que pour ce paramètre les niveaux et tendances de la mortalité naturelle spécifiques à l'âge utilisés par le SCRS ces dernières années sont très différents dans l'Atlantique est et ouest, comme indiqué à la **Figure 22**.

Il y a très peu, voire aucune, justification scientifique qui explique qu'un tel stock migratoire qui présente des courbes de croissance très semblables dans l'Atlantique est et ouest fait apparaître de telles différences en termes de mortalité naturelle à l'est et à l'ouest de la ligne située à 45° W, qui est assez artificielle. Le Groupe a aussi noté que le postulat d'une M constante avec l'âge a longtemps été considéré comme peu plausible biologiquement mais qu'il a été retenu dans les évaluations du stock ouest afin de maintenir une base cohérente pour le suivi de son rétablissement dans le cadre du programme de rétablissement.

Le Groupe a conclu que la future analyse d'évaluation du stock de thon rouge devrait se baser sur un meilleur vecteur commun de M à l'âge utilisé pour tout l'Atlantique. Des travaux précédents donnaient à penser que les données de marquage-recapture disponibles étaient insuffisantes pour estimer le niveau de mortalité naturelle à l'âge (Mi) mais de nouvelles données issues d'études récentes de marquage conventionnel et électronique permettent une analyse de ce type. Cette perspective d'analyse des données devrait être étudiée avec le plus grand soin.

Quatre séries indirectes de Mi ont été étudiées et discutées par le Groupe (Figure 23):

- 1) Mi du thon rouge du sud, telle qu'actuellement postulée dans l'Atlantique est (SCRS/1998/022)
- 2) Mi estimée par la méthode de 1996 de Lorenzen
- 3) Mi estimée par la méthode de 2010 de Gislason *et al*
- 4) Mi estimée par la méthode de Watanabe (Chen & Watanabe 1989)

Les différences dans les niveaux et tendances des vecteurs Mi estimés par les méthodes de Gislason et Lorenzen ou Watanabe sont facilement identifiables mais les incertitudes quant aux résultats de chaque méthode semblent être assez limitées dans le cadre des courbes de croissance très similaires, actuellement acceptées pour l'Atlantique ouest (Restrepo) et est (Cort). Tous ces vecteurs de Mi présentent une tendance à la baisse vers leurs niveaux asymptotiques inférieurs de M naturelle subie par les adultes à des niveaux proches de 0,075 (Lorenzen & Gislason) ou 0,10 (Mi du thon rouge du sud et de Watanabe). Aucune de ces quatre Mi ne présente de tendance ascendante après le premier frai, comme cela a souvent été postulé dans diverses évaluations de stocks de thonidés tropicaux (albacore et thon obèse). Il convient de noter qu'alors que les niveaux de mortalité naturelle estimés pour les adultes sont très analogues pour ces quatre vecteurs de Mi, ceux-ci sont assez différents pour les juvéniles. Les estimations de M à l'âge 0 à 2 d'après la méthode de Gislason sont bien plus élevées que les niveaux estimés par les trois autres sources. Il est à noter que certains niveaux élevés de M à l'âge 0 estimés par la méthode de Gislason correspondent à l'estimation préliminaire de 1,6 pour M0 estimée par le marquage japonais sur le thon rouge du Pacifique (Iwata *et al* 2012).

La méthode de VPA de l'évaluation du stock postule un groupe plus de 10. Toutefois, les récupérations de thon rouge marqué ont été observées plus de dix ans plus tard et il est indéniable que des spécimens de thon rouge peuvent vivre à des âges plus avancés (par exemple, Secor, SCRS/2008/084; Fromentin et Fonteneau 2001). Au fur et à mesure du rétablissement de la population, la dynamique du groupe plus aura un effet de plus en plus important sur la productivité postulée du stock, les estimations des points de référence et les projections des stocks utilisées dans le cadre de l'avis de Kobe. A titre d'exemple, des processus tels que la mortalité naturelle à l'âge augmentent (Chen et Watanabe, 1989), ou diminuent lentement avec l'âge (Lorenzen, 1996).

Le Groupe a envisagé que l'hypothèse de l'augmentation de la mortalité naturelle des vieux thons rouges (Chen & Watanabe 1989) est par exemple due à la grande énergie employée dans le frai (migration pré et post frai et maturation des gonades) et à une sénescence biologique des poissons âgés en raison de l'âge et des facteurs négatifs cumulés subis par des thons rouges plus âgés (augmentation des parasites, hameçons accidentels, lésions accumulées sur les épines dues aux pêcheries, distances accrues parcourues lors des migrations, etc.).

Le Groupe a recommandé d'étudier de façon plus approfondie cette potentielle augmentation de la mortalité naturelle des thons rouges plus âgés dans le cadre des futurs travaux du GBYP.

Les incertitudes de base liées aux divers vecteurs de M durant la réunion du Groupe devraient être mieux analysées avant de faire un choix final à utiliser dans la prochaine évaluation du stock, par exemple en prenant davantage en considération les incertitudes associées à la croissance et longévité du thon rouge.

3.5 Structure de la population et mélange des stocks: microchimie des otolithes, génétique, marquage, tableaux clefs stock-âge

Examen de l'état des connaissances

3.5.1 Population de la Méditerranée

Les données de marquage et des pêcheries étayent l'idée de composantes migratoires et résidentes en Méditerranée. Le groupe migratoire semble provenir principalement de la reproduction des portions occidentales et centrales de la Méditerranée. Les géniteurs de la Méditerranée orientale constituent probablement une sous-population distincte qui pourrait avoir des liens avec la population historique de la Mer Noire.

3.5.1.1 Composante migratoire

Jeunes migrants

Certains juvéniles d'âge 0 et 1 quittent la Méditerranée occidentale (Baléares par exemple) et utilisent les eaux du Maroc en hiver et se déplacent vers les zones de nourricerie de l'Atlantique nord (Golfe de Gascogne par exemple) en été.

Sur la base de conditions océanographiques, environnementales et de production similaires, les eaux littorales du Maroc et de l'Atlantique nord-est constituent des habitats équivalents pour les juvéniles d'âge 0 et 1 qui recherchent de la nourriture.

Vieux migrants

A partir de l'âge 2, une fraction mineure de juvéniles migratoires pénètre dans les unités de gestion du stock de l'ouest mais la fraction dominante occupe l'Atlantique nord-est (Rooker *et al.* 2008; Busawon *et al.* 2013) et données récentes obtenues dans le cadre du GBYP).

Les adultes (âge 4+) sont interceptés lors de migrations de reproduction de l'Atlantique nord vers la Méditerranée par les pêcheries historiques de madragues. Le cycle de pénétration saisonnière très marqué (avril à mai) et de départ (fin juin-juillet) de la Méditerranée est observé dans les données historiques des madragues et correspond à la période de reproduction connue. Les données des madragues montrent aussi de forts cycles de l'abondance à une échelle décennale et centennale (Ravier et Fromentin 2001).

Le marquage électronique étaye l'hypothèse de migrations reproductrices en Méditerranée en provenance de régions de l'Atlantique nord. Les adultes de ce groupe migratoire occupent surtout la Méditerranée occidentale, sans doute à des fins de frai. Le marquage électronique ne montre que peu de preuve de cette composante migratoire dans la Méditerranée orientale.

Les données historiques (hameçons norvégiens) indiquent une influence de la composante migratoire de l'Atlantique nord dans les zones de ponte de la Méditerranée occidentale et centrale (Sella 1929; Genovese 1959). Les marques naturelles (morçures de squalelets féroces) vont également dans le sens de cette influence dans cette région de la composante migratoire.

Portée

La composante migratoire est présente dans les eaux de l'Atlantique nord, du Canada et des Etats-Unis. Il n'y a pas d'élément de preuve de la présence de cette composante dans le Golfe du Mexique. L'analyse historique suggère que la composante brésilienne n'a pas été mise en relation avec la population de la Méditerranée (Fromentin *et al.* document soumis).

3.5.1.2 Composante de résidents

Résidence au sein de la Méditerranée

La génétique et le marquage électronique étayent l'hypothèse de deux composantes dominantes de résidents dans la région occidentale-centrale et est de la Méditerranée mais le retour vers les frayères natales (ou « homing ») ou la fidélité à certaines zones de ponte restent non documentés.

Le comportement de résidence du thon rouge de la Méditerranée est étayé par son influence dans les petites pêcheries, telles que la pêcherie de ligne à main tout au long de l'année (Di Natale *et al.*, 2005).

Le marquage électronique suggère un homing saisonnier vers les zones trophiques, ce qui pourrait sous-tendre une résidence à vie en Méditerranée.

Sous-populations au sein de la Méditerranée

Le fait que la structure de sous-populations dépende de la résidence en Méditerranée demeure inconnu.

La taille des géniteurs et les dates de frai varient entre la Méditerranée occidentale, centrale et de l'est mais ne montrent pas de séparation cohérente avec une différentiation de sous-populations. La taille des géniteurs est souvent mélangée dans la même concentration de reproduction.

Les juvéniles d'âge 0 et 1 se répartissent dans toute la Méditerranée mais présentent une répartition fragmentée. La plus grande zone de concentration de juvéniles d'âge 0 se trouve dans la Méditerranée centrale, de plus petites concentrations se produisent en Méditerranée orientale et occidentale. Les concentrations d'âge 0 semblent être individuelles, d'après la génétique et la chimie des otolithes (Rooker *et al.* 2003).

Hypothèses spécifiques aux composantes de résidents de la Méditerranée

Les juvéniles présentent des gammes spatiales individuelles en Méditerranée, ce qui pourrait sous-tendre une possible structure de la population.

La Méditerranée orientale pourrait être le centre de l'habitat de frai de la population historique de la Mer Noire.

La recolonisation de la Mer Noire pourrait dépendre des thons rouges provenant de la Méditerranée orientale.

La Mer Noire pourrait faire l'objet d'une reproduction et d'une sous-population distincte (Mather *et al.* 1995). Des adultes ont été capturés au cours de la dernière partie de la saison du frai dans la Mer Noire et la Mer d'Azov (McKenzie et Patrizio 2012) mais les conditions pourraient être trop froides aux fins de la survie des œufs et des larves.

3.5.2 Population du Golfe du Mexique

Des éléments de preuve de l'existence d'une population occidentale de thon rouge de l'Atlantique distincte incluent l'influence des larves, une structure de taille qui indique un âge à la maturité très différent de celui de la population de la Méditerranée et le marquage conventionnel (Fromentin et Powers 2005). Le marquage électronique, la microchimie des otolithes, les études des traceurs naturels et la génétique étayent fortement la prémisse d'une population de l'Atlantique ouest qui est distincte de celle de la Méditerranée (Carlsson *et al.* 2007; Boustany *et al.* 2008; Rooker *et al.* 2008). Cependant, tout comme la population de la Méditerranée, la population du Golfe du Mexique pourrait inclure des composantes différentes avec des comportements uniques de reproduction et de migration.

3.5.2.1 Séparation de la population de la Méditerranée

Les marqueurs naturels, la génétique et la structure différente de la taille des géniteurs concordent avec l'idée de populations de reproducteurs différentes entre le Golfe du Mexique et la Méditerranée. Les géniteurs de la Méditerranée et du Golfe du Mexique présentent de très forts niveaux de « homing » naturel (>90%) à ces vastes centres d'origine (Rooker *et al.* 2013; Secor *et al.* 2013a).

Les données de marquage et des pêcheries étayent la prémisse que le Golfe du Mexique est un habitat de reproduction unique. Les marques PSAT montrent une occupation individuelle de ~2 mois, avec la présence de thons rouges de novembre à juin. L'apparition de certains poissons au début de l'hiver pourrait donner à penser à une saison du frai prolongée ou à une composante migratoire distincte (par exemple contingents du Golfe du Mexique de l'est par opposition à celui de l'ouest). Les registres de captures indiquent aussi une influence du thon rouge de l'Atlantique pendant les mois d'hiver.

L'importance d'une saison de reproduction précoce devrait faire l'objet de recherches par le biais de prospections larvaires et de modélisation d'adaptabilité de l'habitat.

Aucun adulte porteur de marque électronique n'a pénétré dans les deux zones : à la fois le Golfe du Mexique et la Méditerranée.

3.5.2.2 Sous-populations distinctes

Les prises de thon rouge récemment documentées dans le sud-ouest du Golfe du Mexique incluent une plus forte proportion de petits poissons (110-180 cm CFL) que celles observées dans le nord du Golfe du Mexique (Ramirez et Abad 2013). De nouvelles études sont requises mais ceci pourrait donner à penser à une composante avec une unique migration et / ou des comportements de reproduction différents.

3.5.2.3 Gamme

Dans le cadre des efforts visant à documenter les déplacements des poissons provenant du Golfe du Mexique, des spécimens ont été attribués à la population du Golfe du Mexique, selon s'ils avaient été marqués dans le Golfe du Mexique ou s'ils avaient pénétré dernièrement le Golfe du Mexique après avoir été marqués ailleurs (Block *et al.* 2005; Walli *et al.* 2009). Ces poissons se sont déplacés dans l'Atlantique nord-ouest, centre et nordest. La destination prédominante pour les poissons du Golfe du Mexique était l'Atlantique nord-ouest. Quelques poissons de l'Atlantique nord-ouest (Canada) montraient un déplacement saisonnier vers l'Atlantique nord-est. L'analyse historique des données palangrières et océanographiques suggère que certains contingents de poissons pourraient avoir migré entre le Golfe du Mexique et le Brésil et auraient disparu par la suite en raison du changement océanographique et d'une possible surpêche (Fromentin *et al.*, document soumis).

3.5.3 Autres structures de population

Le thon rouge du Pacifique présente une structure de population intéressante qui pourrait être envisagée comme structure de population alternative pour les populations du Golfe du Mexique et de la Méditerranée. Le thon rouge du Pacifique fraye sous plusieurs latitudes (du Taïpei chinois à la Mer du Japon), les petits géniteurs montrant une propension croissante à utiliser la Mer du Japon et les plus grands utilisant davantage les zones de ponte plus au sud (Itoh 2006). Il a été suggéré qu'une structure similaire pourrait être appliquée dans l'Atlantique ouest.

Concepts de la structure de la population-Diagrammes

Les scientifiques ont proposé toute une gamme de structures de la population pour le thon rouge de l'Atlantique. Les diagrammes ci-après représentent des structures de population qui dépendent d'entités se reproduisant ellesmêmes (populations et sous-populations) et de groupes ayant des comportements migratoires similaires du cycle vital, ce qui ne dépend pas forcément d'un isolement de la reproduction (contingents). Ces structures de populations ne sont pas exhaustives : par exemple, on pourrait concevoir des combinaisons de sous-populations et de contingents au sein de la même structure. Ceci vise à créer des structures de populations principales et de les confronter aux données existantes.





Two Population Model with Contingents



Metapopulation Model



Panmictic Population with Some Patchiness



Extended W. Atl. Two Population Model w Contingents



Approches d'évaluation de la structure de la population

Les approches qui traitent de la structure de la population incluent des marqueurs moléculaires, la microchimie des otolithes, des contaminants, des marques « naturelles » et électroniques. Les déplacements et le mélange des stocks sont plus précisément évalués par le biais des données de marquage mais les marques naturelles peuvent également comporter des informations sur les déplacements régionaux. Les traceurs de la structure de la population, essentiellement des approches génétiques et de la chimie des otolithes, varient considérablement en fonction du mode de représentation de la structure spatiale historique de la population.

Approches moléculaires

Ces 15 dernières années, plusieurs techniques moléculaires ont été exploitées afin d'élucider une description plus précise de la structure de population et de la dynamique du thon rouge conformes aux résultats développés par les campagnes de marquage électronique et des connaissances écologiques traditionnelles. La sophistication et la résolution de ces techniques évoluent et les résultats récents montrent un grand potentiel d'éclaircissement de cette question évasive qui a des conséquences sur la gestion de cette espèce (**Tableau 14**).

La preuve la plus lointaine de la différentiation entre les populations de l'Atlantique et de la Méditerranée provient d'Alvarado Bremer et al. (1999), qui a procédé au génotypage du thon rouge de l'Atlantique à l'aide de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial (mtDNA CR), même si l'efficacité de ce marqueur a été remise en question lorsqu'une étude ultérieure n'a pas été en mesure de différencier des échantillons collectés de plusieurs années (Ely et al. 2002). Des études ultérieures utilisant une analyse des allozymes ne sont pas parvenues à établir une distinction entre les populations (Ely et al. 2002; Pujolar 2003). La différentiation des populations au sein de la Méditerranée a tout d'abord été révélée à l'aide des marqueurs moléculaires en 2004, lorsque Carlsson et al. ont procédé au génotypage d'une collecte de jeunes de l'année de thons rouges de l'Atlantique à l'aide de mtDNA CR et de microsatellites. Depuis, plusieurs études ont appuyé la thèse d'une différentiation de la population du Golfe du Mexique et de la Méditerranée (Carlsson et al. 2005; Boustany et al. 2008) ainsi qu'au sein de la Méditerranée (Carlsson et al. 2005; Riccioni et al. 2010), même avec de faibles valeurs de FST par rapport aux autres espèces marines (Waples 1998). En revanche, d'autres études n'ont pas réussi à révéler la même structure de la population en utilisant les mêmes techniques moléculaires (Alvarado Bremer et al. 2005; Viñas et al. 2011). Albaina et al. (2013) est le premier à avoir caractérisé la structure de la population entre l'Atlantique ouest et l'Atlantique est/Méditerranée en utilisant le polymorphisme du nucléotide simple (SNP), marqueur relativement récent avec un grand potentiel d'efficacité, d'accessibilité et de capacité. Les 17 SNP utilisés dans cette étude donnent les éléments de preuves les plus importants de la différentiation des populations jusqu'à ce jour. Toutefois, compte tenu du nombre limité d'échantillons utilisés dans cette étude, il est nécessaire que son potentiel d'attribution des populations soit suffisamment validé avant de réaliser des applications à grande échelle. (Cf. Appendice X pour plus de détails sur toutes les analyses génétiques précédentes du thon rouge de l'Atlantique).

A l'heure actuelle, dans le cadre du projet ICCAT-GBYP un ensemble de SNP est en cours de développement via une représentation réduite du séquençage et du génotypage (RRSG), technologie de séquençage de nouvelle génération (NGS). L'objectif ultime de cette recherche vise à résoudre la structure de la population de thon rouge de l'Atlantique et à développer un ensemble de SNP, à même de donner lieu à une attribution de la population pouvant être utilisée par les diverses parties qualifiées de l'ICCAT. Ceci pourra avoir une applicabilité directe sur les évaluations des stocks et une traçabilité commerciale. A l'avenir, des SNP individuels pourraient être attribués aux gènes associés aux pressions de sélection, soulignant ainsi les différences de fonctionnement entre les populations ou les contingents de thon rouge de l'Atlantique. Par conséquent, les SNP issus de ce projet pourraient également révéler des informations concernant l'influence de facteurs environnementaux sur la survie des recrues au sein de la même population.

Les analyses préliminaires des données réalisées lors la Phase 3 du GBYP sur un total de 555 spécimens de thon rouge de l'Atlantique, dirigées essentiellement sur des échantillons larvaires et de jeunes de l'année issus de zones de ponte, n'ont révélé qu'un nombre limité de SNP très performants pour l'identification et la différentiation de trois populations, au moins, de thons rouges de l'Atlantique en état de frai (GOM, WMED, EMED), qui sont génétiquement regroupées et temporairement stables. Les travaux génétiques réalisés actuellement dans le cadre du GBYP se concentrent sur l'analyse de 1.332 échantillons provenant de toute la gamme de l'espèce déjà séquencée ainsi que sur la validation d'un ensemble réduit de SNP (48-192 plex). En raison de la complexité et de la quantité de données génomiques générées par RRSG et obtenues pour le thon rouge de l'Atlantique (données génomiques insuffisantes avec des poissons qui ne s'ajustent pas au modèle du fait qu'ils présentent une écologie et une biologie complexes et partiellement non résolues). Diverses analyses

supplémentaires sont requises pour perfectionner la sélection/validation des SNP à des fins de traçabilité et de gestion, et fournir des conclusions scientifiques solides visant à appuyer les mesures de gestion de l'ICCAT sur le thon rouge de l'Atlantique dans un proche avenir. Dans le cadre du GBYP, les résultats des analyses de la structure de population et du génotypage de l'ensemble des SNP sont attendus pour 2013 et 2014. Il est donc raisonnable de prévoir que les données développées au cours de ce projet exhaustif et à grande échelle seront disponibles pour les activités d'évaluation du stock de 2015.

Isotopes stables des otolithes

Les traceurs des isotopes stables des otolithes représentent l'environnement physique rencontré par les jeunes thons rouges. Des différences stables surviennent dans les isotopes mesurés entre les principales nourriceries de thon rouge de l'Atlantique, différences reflétées dans les échantillons de juvéniles prélevés durant plus de 10 ans (Secor *et al.* 2013 b,c). Les lignes de référence (limites) établies pour les échantillons originaires de chaque zone de nourricerie présentent un chevauchement mais sont suffisamment distinctes pour permettre d'assigner les échantillons inconnus à des nourriceries (zones natales). Un postulat important est que les juvéniles n'entreprennent pas de migrations transocéaniques au cours de leur première année de vie. Cette approche a été développée dans plusieurs documents ayant fait l'objet d'examens par des pairs et à travers la formation réciproque de scientifiques dans des laboratoires de l'Union européenne, du Canada et des Etats-Unis, ce qui permet actuellement que le traitement intensif des otolithes étaye l'analyse de la structure du stock. Cette approche nécessite davantage de travail (retrait et traitement des otolithes) et plus de coûts analytiques par échantillon que les approches moléculaires, telles que l'utilisation de SNP, mais elle se trouve actuellement en phase d'application. On prévoit qu'avant l'évaluation de 2015, les estimations du niveau de mélange basées sur des isotopes seront disponibles pour les principales pêcheries de thon rouge de l'Atlantique sur la base de l'analyse de >4.000 otolithes (cf. **Tableau 15**).

Marques polluantes

Les marques polluantes fonctionnent comme une « marque de régime » comportant des informations sur l'historique de croissance et le comportement trophique récent. Des ratios d'organochlorés (transnonachlore/PCB 153, cis-nonachlore/PCB 187; Dickhut *et al.*, 2009) sont un moyen particulièrement efficace d'utiliser les différences régionales dans les sources de polluants pour évaluer les déplacements mais cette approche implique l'établissement de distributions de référence régionale. Des différences particulièrement importantes existent entre les ratios d'organochlorés de l'Atlantique nord-ouest et de la Méditerranée pour pouvoir détecter des migrants récents entre ces deux régions. En ce qui concerne les juvéniles, les déplacements ou l'absence de déplacement des poissons (résidence) sont conformes aux attentes de migrations transocéaniques par les poissons d'âge 2-3 (Dickhut *et al.*, 2009). D'un point de vue opérationnel, il s'agit de l'approche la plus onéreuse parmi toutes celles étudiées mais elle fournit des informations capitales liées à l'historique migratoire récent (~≤1 an). A l'heure actuelle, cette approche peut fournir une corroboration critique des résultats d'autres approches telles que la génétique ou l'analyse des otolithes au moyen d'isotopes stables. Les futurs travaux pourraient permettre d'appliquer des ratios d'organochlorés aux déplacements spécifiques de l'âge entre de vastes régions océaniques même si des signaux régionaux sont vraisemblablement causés par le climat saisonnier, interannuel et les conditions océanographiques.

Marques électroniques

Les technologies de marquage électronique (par exemple, marques archives, marques acoustiques et marques satellite) ont été utilisées dans de nombreuses études (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) dans l'Atlantique est et ouest, le Golfe du Mexique et la Méditerranée pour étudier la dynamique spatiotemporelle du thon rouge (Fromentin et Powers, 2005). Nombre de ces conclusions ont été enrichies par l'intégration d'analyses génétiques (Boustany et al., 2008), la microchimie des otolithes (Rooker et al. 2008), et les données des pêcheries (Diaz et al. 2006) pour déduire la structure de la population et procéder au développement de modèles d'évaluation des stocks structurés spatialement (Taylor et al. 2011). Le marquage électronique à l'aide de marques archives a révélé des migrations répétées aux habitats de frai dans le Golfe du Mexique et en Méditerranée, ce qui indique une fidélité à la zone de reproduction (Block et al. 2005) et des migrations individuelles vers ces deux régions n'ont pas été observées. Les données de marquage étayent l'hypothèse d'une structure de population multiple dans l'Atlantique et ses mers adjacentes avec des populations reproductrices distinctes en Méditerranée et dans le Golfe du Mexique. Les données génétiques de poissons porteurs de marques étayent également l'hypothèse d'une population multiple (cf. Approches moléculaires cidessus). Des données de marquage supplémentaires élucideront davantage la « frontière » entre ces populations. Les récentes données de marquage en Méditerranée, présentées depuis 2009 et au cours de cette réunion par G. Quilez-Badia *et al.* et JM Fromentin, indiquent un fort niveau de résidence dans le bassin occidental avec certains déplacements au bassin central (cf. également Medina *et al.* 2011; Tudela *et al.* 2010; Fromentin 2010, Quilez-Badia *et al.* 2013), mais aucune connexion vers le bassin oriental n'a été détectée (jusqu'à ce jour à partir des données de suivi). Des déplacements inattendus dans l'Atlantique centre-est au cours de la saison du frai ont aussi été détectés par les activités de marquage du GBYP (Quilez-Badia *et al.* 2013). Le déploiement de marques additionnelles dans des régions spécifiques au sein du Golfe du Mexique (zones NE, NW, SW) améliorera les connaissances sur les déplacements et comportements du thon rouge dans le Golfe et renforcera la recherche génétique en cours pour élucider la structure de la population.

4. Incorporation des données recueillies et/ou récupérées dans la base de données de l'ICCAT

La procédure à suivre pour inclure les nouvelles informations disponibles sur les statistiques de pêche dans les bases de données de l'ICCAT est décrite au point 2.1.

5. Recommandations

Recommandations de recherche

Données biologiques et de Tâche II

• Le Groupe a recommandé de vérifier et valider toutes les données provenant des fermes, tel qu'indiqué dans le rapport, et d'inclure ces données dans la prise par taille du thon rouge de la Méditerranée afin que cette considérable source d'informations puisse être utilisée dans l'évaluation de stock de 2015.

• Le Groupe a recommandé de poursuivre les analyses des données de VMS pour obtenir de meilleures estimations des variations spatio-temporelles de l'effort de pêche des principales flottilles ainsi qu'un indice d'abondance de la flottille de senneurs de la Méditerranée par une modélisation état-espace. A cet effet, le Groupe a recommandé également que les données de VMS soient transmises à la résolution temporelle la plus élevée possible (1 heure ou moins).

Conversions des tailles

• Le Groupe a recommandé d'utiliser des algorithmes de conversion de taille actualisés, basés sur les jeux de données plus récents et exhaustifs, pour l'évaluation du stock de 2015.

Conversions des âges : Recommandations pour les travaux à venir

• Le Groupe a noté qu'il existe des problèmes continus pour l'obtention d'échantillons de structures calcifiées, notamment d'otolithes sur certains marchés, face à une certaine résistance à endommager physiquement le poisson précieux au cours du processus d'échantillonnage. Une méthode pour contourner ce problème consiste à lancer une campagne de sensibilisation auprès des acheteurs et des personnes procédant au traitement, visant à promouvoir le concept qu'un poisson échantillonné contribue aux efforts scientifiques et de conservation. Un programme de ce type a été lancé pour le thon rouge du sud et s'est avéré fructueux (Anon. 2002). Le Groupe a également constaté qu'après avoir étudié les tailles minimales d'échantillon requises pour l'élaboration de clefs d'identification taille-âge, le SCRS devrait envisager de demander à la Commission d'inclure des niveaux d'échantillonnage minimum pour les pièces dures dans la prochaine recommandation de gestion qui sera adoptée.

• Le Groupe a discuté de l'importance des collectes des pièces dures de référence. Ces collectes pourraient être un outil inestimable à des fins de formation et de contrôle de la qualité et sont régulièrement utilisées par les laboratoires procédant à la détermination de l'âge (Jerald 1983, Kimura et Anderl 2005, Campana 2001). Il a été fait remarquer que d'autres instituts avaient manifesté leur intention de contribuer à la détermination de l'âge mais qu'ils souhaitaient s'assurer que leurs interprétations étaient conformes à celles développées par les scientifiques du SCRS. Le Groupe a recommandé que soit organisée une collecte de référence commune pour aider les instituts dans ces efforts.

• Le Groupe a recommandé le développement de conventions pour réaliser la détermination de l'âge. Les exemples incluent le nombre d'âges impliqués dans les interprétations, les postulats sur la date de naissance, l'utilisation d'âges fractionnaires basés sur des âges par mois ou des âges multiples, l'utilisation de seuils de précision pour l'exclusion des interprétations.

• Etant donné que les otolithes et les épines constituent des informations utiles pour les interprétations de l'âge, le SCRS pourrait développer une approche d'attribution de l'âge en utilisant les otolithes et les épines, en pondérant possiblement la contribution de ces deux pièces dures à la variance de l'âge moyen par taille, ou la confiance relative des lecteurs envers la détermination de l'âge.

• Avant l'évaluation de 2015, une compilation des pièces dures et des déterminations des âges disponibles (**Tableau 12**) devrait être diffusée auprès des laboratoires participant aux études sur l'âge et la croissance aux fins d'examen et actualisation. Une version complète de ce tableau serait une aide précieuse pour la planification des efforts d'échantillonnage.

• Compte tenu de la volonté du SCRS de développer des approches d'évaluation s'appuyant davantage sur des informations structurées par âge, des investissements prolongés en matière d'échantillonnage biologique et d'âge et de croissance restent une haute priorité.

• Il est recommandé de développer des méthodes visant à séparer les poissons de l'est de la prise par âge des poissons de l'ouest.

• Le Groupe a recommandé de nouvelles analyses des données de marquage-recapture pour l'estimation de la croissance et de la variabilité de la croissance entre les spécimens et dans le temps.

• En vue de la prochaine évaluation de stock, le Groupe a recommandé une analyse des variations entre les clefs d'identification longueur-âge combinées sur plusieurs années pour intégrer les classes de tailles sous-représentées (en particulier les plus grands poissons) et les clefs d'identification longueur-âge annuelles (qui détectent mieux les variations de la force de la classe d'âge).

• Afin de mieux comprendre les biais potentiels et l'incertitude associée à la prise par âge utilisée dans l'évaluation du stock, le Groupe a recommandé de nouvelles analyses sur la méthodologie employée pour calculer la prise par âge. Il est suggéré de faire appel à une approche de simulation incluant le processus d'échantillonnage et une gamme de méthodes alternatives pour convertir la prise par taille en prise par âge. Cette approche de simulation peut être intégrée à l'approche de MSE à l'avenir (par exemple, en tant que modèle d'erreur d'observation) et permettrait de mieux identifier et classifier les différentes sources d'incertitude (échantillonnage par opposition à modélisation) par rapport à l'avis de gestion. Elle permettra également de spécifier les processus des modèles statistiques de prise par âge.

Reproduction

• Le Groupe a recommandé de réviser les calendriers de maturité actuellement postulés pour l'évaluation du stock aussi bien pour le stock de l'est que de l'ouest, à l'aide d'ogives de reproduction, et de déterminer une ogive de maturité exhaustive pour l'Atlantique ouest.

• Le Groupe a recommandé de réaliser un échantillonnage afin d'obtenir des échantillons de reproduction (e.g., histologie, GSI, FSI, etc.) et des prospections larvaires pour le thon rouge de l'Atlantique ouest dans toute sa gamme, surtout dans des zones qui ne sont pas très bien échantillonnées, comme l'Atlantique pélagique (c'est-àdire les régions palangrières), de la fin février jusqu'en juillet afin d'examiner si la reproduction du thon rouge se produit dans l'Atlantique en dehors du Golfe du Mexique.

• Le Groupe a recommandé d'examiner l'utilité d'employer les données d'autres programmes de prospection larvaire (par exemple, MARMAP) pour tester la présence de larves de thon rouge en dehors des zones de pontes actuellement identifiées.

• Le Groupe a recommandé de convenir d'un jeu de techniques standard histologiques et endocrines à utiliser simultanément pour les deux stocks pour faciliter la comparaison des calendriers de maturité des deux côtés de l'Atlantique et développer des méthodes (marqueurs histologiques par exemple) qui permettront d'identifier les activités de reproduction passées.

• Le Groupe a recommandé d'obtenir des échantillons de thon rouge de l'est en dehors de la Méditerranée au cours de la saison de reproduction pour réaliser des études de maturité et utiliser des approches de courbes de captures structurées par taille et des analyses de prise par taille pour étudier les calendriers de reproduction pour différentes pêcheries de la Méditerranée.

• Le Groupe a recommandé d'actualiser l'estimation réalisée par Diaz (2011) de la proportion de poissons en état de frai dans chaque classe d'âge dans le Golfe du Mexique en utilisant les données de la prise palangrière japonaise et mexicaine ainsi que la courbe de croissance du thon rouge de l'ouest réalisée par Restrepo *et al.* (2011).

• Le Groupe a recommandé de mener davantage d'études sur la fécondité pour confirmer si un rapport linéaire entre la fécondité et le poids est un postulat correct ou si de nouvelles fonctions devraient être adoptées aux fins d'utilisation dans les futures évaluations de stock. Il convient de s'assurer que le jeu de données de Medina *et al.* (2002, 2007) soit inclus dans cet effort.

Mortalité naturelle

• Le Groupe a recommandé d'utiliser d'autre vecteurs de mortalité naturelle pour le stock est et ouest pour l'évaluation du stock de 2015. Ce vecteur devrait être identique pour tous les stocks de thon rouge de l'Atlantique. De nouvelles recherches devraient être effectuées, en fonction des nouvelles données disponibles (telles que les données de marquage). Le vecteur M estimé dans la méthode de Lorenzen (1996) est recommandé comme étant la meilleure hypothèse de travail mais les estimations basées sur les hypothèses de Gislason *et al.* (2010) devraient aussi être prises en considération.

• Des recherches biologiques actives et explicites portant sur la mortalité naturelle du thon rouge devraient être recommandées et incluses, de préférence, dans le GBYP afin de mieux estimer la mortalité naturelle par âge du thon rouge (en analysant par exemple les données de marquage/recapture) ou d'étudier l'âgeage et la sénescence potentielle du thon rouge.

Structure et mélange de la population

• Etant donné qu'il se pourrait qu'il existe une structure de la population plus complexe que celle actuellement postulée, le Groupe a recommandé de commencer à tester les conséquences d'une telle structure sur l'avis scientifique à l'évaluation de stock de 2015.

• L'évaluation de stock de 2015 devrait être une étape essentielle pour le SCRS car l'on prévoit que de nouvelles informations capitales sur le mélange des stocks seront disponibles et que de nouvelles approches de modélisation incluant le mélange seront entreprises. Le Groupe a souligné les données qui seront disponibles des isotopes stables des otolithes et des molécules (**Tableaux 14** et **15**). Cependant, les efforts déployés pour réunir des informations similaires sur les marques électroniques et conventionnelles ont été bien plus complexes en raison du grand nombre de chercheurs concernés, du rôle prépondérant joué par les groupes académiques et les ONG et des divers objectifs de ces études. Pour mieux contribuer à ce processus et une fois que les exigences en matière de modélisation seront établies pour l'évaluation de 2015, le Groupe a recommandé de solliciter toutes les parties menant ce type de recherches sur le thon rouge de l'Atlantique pour obtenir les données du marquage électronique et conventionnel. Dans le cas du marquage électronique et pour éviter les préoccupations quant à savoir si ces données pourraient remettre en question les possibilités de publication, la requête devrait identifier l'inclusion des données suivantes requises:

- 1) date, localisation et taille de tous les spécimens marqués lors de l'étude
- 2) date, localisation et taille (ou âge) de tous les spécimens récupérés lors de l'étude
- 3) le cas échéant, durée du temps passé par carré de X par X degré
- 4) le cas échéant, stock d'origine, déduit par la génétique ou la microchimie des otolithes

6. Autres questions

6.1 Révision d'autres données disponibles (à savoir VMS)

Le système de VMS de l'ICCAT pour la flottille de thon rouge de l'est est totalement opérationnel depuis 2008. Une analyse préliminaire des données de VMS de 2010-2011 a conclu qu'il est possible d'estimer une

probabilité de l'effort de pêche effectif compte tenu de l'identification de l'engin-flottille principal par navire (SCRS/2012/125). L'analyse et examen des données de VMS indiquaient que compte tenu de l'engin principal, il existe des différences identifiables dans les variables de vitesse du navire, temps en mer et comportement de pêche général entre les flottilles de palangriers, de pêche et estimer l'effort de pêche effectif. Il a été recommandé de réaliser la validation à l'aide de données auxiliaires telles que les carnets de bord, ou les rapports des observateurs à bord. En outre, il a été recommandé, pour le thon rouge, de relier les opérations des navires individuels aux fichiers de documentation des captures de thon rouge (BCD) afin d'associer l'effort de pêche individuel à la prise associée et à la distribution par taille de la capture.

6.2 Proposition concernant le développement d'un modèle opérationnel aux fins de son utilisation dans l'évaluation des stratégies de gestion (MSE)

Le Comité de direction du GBYP (SC) a examiné à sa réunion de décembre 2012 un programme de travail pluriannuel, incluant des objectifs, des délais et des résultats à atteindre pour les travaux de modélisation. Dans le cadre de ce programme de travail, le SC a recommandé de mettre en place un groupe, au sein du SCRS, pour contribuer au développement d'un modèle opérationnel. Ce groupe devrait travailler avant cette réunion et présenter ses résultats à une réunion de trois jours du GBYP, devant se tenir à l'issue de cette réunion en vue de développer des spécifications pour le modèle opérationnel.

Pour diverses raisons, les travaux préparatoires n'ont pas été réalisés avant la réunion et la réunion de trois jours a donc été utilisée pour mener les travaux préparatoires. Par conséquent, les travaux sur la conception du modèle opérationnel seront donc réalisés avant la réunion du thon rouge du SCRS à Boston avec la participation des scientifiques du thon rouge du SCRS.

7. Adoption du rapport et clôture

Le rapport a été adopté.

Le Président a remercié les participants pour tous les travaux réalisés.

La réunion a été levée.

Références

- 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 and T. alalunga*. Marine Biology 143: 613-621.
- Quílez-Badia G., Cermeño 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). Spatiotemporal 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 America107: 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.
- Rodiguez-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., Rodriguez-Marin, 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. Col. 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, Gordoa 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 thunnus*) 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

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:

Sección	Relatores
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 comparaciónvalidación 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 presentaran 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 presentaran 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 muestrado 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 incoporarse 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 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:

$$K = 100*(wt(gramos)/talla^3)$$

✓ 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.

RWT=1,16 x GGTW; (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.

SFL = 0,955 CFL (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 wt=a*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 desvianza (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)

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

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)

 $\label{eq:MCMCglmm} MCMCglmm(log(weight) \sim log(SFL) + as.factor(CondensedArea) + as.factor(wcode) + log(SFL) * as.factor(CondensedArea), random= \sim rnd, family="gaussian", ",nitt=15000, burnin=5000, thin=10, data=yfin)$

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 desvianza (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 +/-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**).

3.1.4 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.

3.3 Conversiones de edad: curva de crecimiento, datos de determinación de la edad, tablas de la clave edadtalla (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 la 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 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 espinas 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 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 $L_{infinity}$ 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 esperma 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, lo científicos de atún rojo plantearon la hipótesis, basada en el marcado electrónico, de que el mar Mediterráneo cuenta con una población "residente"³ 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. 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

³ 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.

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 estructurada por talla. Las muestras se recogieron en mayo, en las almadrabas 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 almadraba 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 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 norocidental 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 x volumen ovárico 0.59×10^{-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.

				······	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	Estimated	Dry		Estimated no. of eggs	
Body	body	weight	Gono-	>0.46 mm	>0.32 mm
length	weight	of eggs	somatic	diameter	diameter
(cm)	(kg)	(9)	index (%)	(millions)	(millions)
205	156	1,260	5.3	13.6	32.7
222	'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
22 9	217	1,481	2.8	33.9	64.4
231	224	1,330	4.4	26.8	41.1
236	'197	1,329	3.2	26.4	40.3
236	'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	247	1,560	3.9	33.0	44.0
244	263	1,750	3.6	25.2	58.7
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	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	272	1,488	2.6	31.4	42.3
262	324	2,593	4.5	57.6	81.6
269	284	1,950	4.6	40.6	74.8
X 243	255	1,734	3.7	34.2	60.3
SE 2.78	8.37	102.79	0.18	2.15	4.04

'Actual 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 constatarse 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 (Mi), 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 (Mi) (Figura 23).

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

Las diferencias en los niveles y tendencias de los vectores Mi 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 Mi 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 Mi 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 Mi, 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 M0 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 autoreproductivas (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 sofistificación y resolución de estas técnicas están evolucionando y los resultados recientes muestran un gran potencial a la hora de aclarar esta cuestión esquiva 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 julio 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 FST 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 Unido, 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 (~ \leq 1 año). Actualmente, el enfoque puede proporcionar una corroboración clave de los resultados de otros enfoques como genética o isotopos 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 histiológicos) 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 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, 200) 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 isotopos 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 de 2015, se envié 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 lengthweight 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) 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 1.) 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 thynus). 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-Badia G., Cermeño 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 Morrocco 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) Spatiotemporal 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 America107: 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.
- Rodiguez-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., Rodriguez-Marin, 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, Gordoa 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 thunnus) 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

TABLEAUX

Tableau 1. Documents du SCRS concernant les données du GBYP (Inventory.xlsx, dans Sharepoint).

Tableau 2. Catalogue de données existantes sur le thon rouge de l'Atlantique Est dans les bases de données de l'ICCAT.

Tableau 3. Catalogue de données sur le thon rouge de l'Atlantique Est récupérées dans le cadre du GBYP (F: opération de pêche (capture uniquement); CE: prise et effort; S: taille; F + S : prise+ taille); CE + S : CE + taille.

Tableau 4. Catalogue de données existantes sur le thon rouge de la Méditerranée dans les bases de données de l'ICCAT.

Tableau 5. Catalogue de données sur le thon rouge de la Méditerranée récupérées dans le cadre du GBYP (F: opération de pêche (capture uniquement); CE: prise et effort; S: taille; F + S : prise+ taille); CE + S : CE + taille.

Tableau 6. Nombre d'opérations de pêche récupérées dans le cadre du GBYP par pavillon, engin et lieu de pêche.

Tableau 7. Nombre annuel de thon rouge mesuré à la mise à mort dans les fermes, poids total estimé de cet échantillon à la capture (en postulant une durée d'engraissement de 5 mois pour tous les thonidés) et poids moyen correspondant estimé à la capture.

Tableau 8. Données de longueur-poids pour l'Atlantique est.

Tableau 9. Données de longueur-poids pour l'Atlantique oust.

Tableau 10. Exclusions des données.

Tableau 11. Estimations finales des paramètres pour les modèles de longueur-poids.

Tableau 12. Catalogue des pièces dures sur la période récente 2010-2013.

Tableau 13. Paramètres estimés du modèle de croissance de von Bertalanffy et comparaisons de la courbe de croissance. Test du ratio de vraisemblance, n. s.: non significatif, * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001.

Tableau 14. Résumé de l'approche génétique novatrice de l'ICCAT.

Tableau 15. Analyse complète ou en cours sur l'attribution de la population de thon rouge de l'Atlantique basée sur les isotopes stables des otolithes. Les périodes de collecte sont divisées entre période récente (2009-2014) et historique (<2008). L'estimation de l'âge indique la fraction de l'échantillon d'otolithe dont l'âge a été déterminé; yes=100% de l'échantillon a été utilisé aux fins des estimations de l'âge.

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; sí =100% de la muestra se utilizó para las estimaciones de edad.

FIGURES

Figure 1. Fréquence annuelle de tailles de thon rouge échantillonnées à la mise à mort par les observateurs dans les fermes de 2003 à 2012 (SCRS/2013/083).

Figure 2. Tailles moyennes échantillonnées à la mise à mort et estimées aux dates de pêche, par rapport à la prise moyenne par taille utilisée par le SCRS, période 2003-2011.

Figure 3. Prise par taille moyenne échantillonnée par Arena de 1982 à 1989 (1560 thonidés échantillonnés) et dans les fermes de 2005 à 2011.

Figure 4. Résultats de l'application des valeurs de K de Fulton entre 1 et 2,8 (K=100*wt(grammes)/SFL³) au jeu de données d'observations de longueur-poids.

Figure 5. Graphique des données par sources après application du filtre K.

Figure 6. Analyse de PCA des estimations initiales des paramètres *a* et *b* de la relation longueur-poids indiquant que les différences spatiales tendent à être plus importantes que les différences temporelles.

Figure 7. Graphique des données de longueur-poids pour l'est par an et mois.

Figure 8. Données de longueur-poids pour l'est par mois et zone.

Figure 9. Estimations des paramètres initiaux par mois indiquant des différences dans la condition par mois. Les lignes du haut (lignes vertes) et du bas (lignes rouges) représentent 95 percentiles des estimations de MCMC pour les paramètres. La ligne bleue et les barres d'erreur représentent la médiane +/- 1 unité d'erreur standard. Ces estimations montrent l'existence de trois « saisons » potentiellement différentes.

Figure 10. Coefficients (+/- 1SE) pour l'effet zone du modèle initial (A) pour évaluer la condensation des zones homogènes dans les modèles.

Figure 11. Relations de longueur-poids estimées du modèle pour 3 saisons condensées présentant de très légères différences. Les estimations saisonnières correspondent au CI d'autres estimations du modèle.

Figure 12. Estimations des paramètres et examen des convergences pour les modèles finaux; a) Atlantique par le Modèle E, et b) Méditerranée par le Modèle F.

Figure 13. Modèles finaux de cette analyse superposés aux données brutes avec d'autres modèles de longueurpoids et poids moyen à la longueur du document de Arena (1980) et des relations de Rey et Cort.

Figure 14. Comparaison des modèles de longueur-poids pour le stock de thon rouge de l'Atlantique est et de la Méditerranée.

Figure 15. Comparaison de la proportion estimée à l'âge de thon rouge de l'Atlantique ouest en utilisant la routine de découpage des âges (carrés rouges) appliquée au modèle de base de la VPA et de la clef d'identification âge-longueur préliminaire (ALK) développée pour le GBYP (losanges bleus). Aux fins de cette comparaison, seuls les échantillons d'âge-longueur disponibles de l'Atlantique ouest ont été utilisés pour créer l'ALK.

Figure 16. Comparaison de la proportion estimée à l'âge de thon rouge de l'Atlantique ouest en utilisant la routine de découpage des âges (carrés rouges) appliquée au modèle de base de la VPA et de la clef d'identification âge-longueur préliminaire (ALK) développée pour le GBYP (losanges bleus). Aux fins de cette comparaison, tous les échantillons d'âge-longueur disponibles ont été combinés pour créer une unique ALK (cad E-ATL otolithes, E-ATL épines et W-ATL otolithes).

Figure 17. Comparaison de la prise par taille extrapolée aux échantillons d'otolithes. Le premier panneau montre la distribution de fréquences de tailles de la population, le second les nombres à chaque âge (représentés par les différentes couleurs) pour chaque groupe de tailles et le troisième les proportions à l'âge.

Figure 18. Comparaison de la prise par taille extrapolée aux échantillons d'épines. Le premier panneau montre la distribution de fréquences de tailles de la population, le second les nombres à chaque âge (représentés par les différentes couleurs) pour chaque groupe de tailles et le troisième les proportions à l'âge.

Figure 19. Nombres échantillonnés à chaque âge comme "courbe de croissance" pour les otolithes.

Figure 20. Nombres échantillonnés à chaque âge comme "courbe de croissance" pour les épines.

Figure 21. Comparaison des estimations des nombres à l'âge pour le "découpage des âges" en utilisant la clef d'identification âge-longueur sur la base des otolithes et des épines.

Figure 22. Mortalité naturelle actuellement postulée pour le thon rouge de l'Atlantique est et ouest.

Figure 23. Mortalité naturelle potentielle à l'âge qui pourrait être utilisée pour la future évaluation du stock de thon rouge de l'Atlantique: Mi du thon rouge du sud (MiEst), et Mi estimée par la méthode de Gislason 2010

(Gis) et Lorenzen 2000 (Lor) pour la courbe de croissance de Cort 1991 (Cort) et de Restrepo 2010 (VR), et par la méthode de Chen & Watanabe 1989.

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)/SFL³) 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 (+/- 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.

APPENDICES

Appendice 1. Ordre du jour.

Appendice 2. Liste des participants.

Appendice 3. Liste des documents.

Appendice 4. Traitement et extrapolation des données sur les tailles de thonidés échantillonnés dans les fermes.

Appendice 5. Description des variables pour la création de jeux de données centraux.

Appendice 6. Exemple de champs des jeux de données centraux.

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.

Table 1. SCRS documents relating GBYP data.

DocN	Subject
SCRS/2011/015	Trap fisheries
SCRS/2011/036	Tap fisheries iconography
SCRS/2011/037	Trap fisheries
SCRS/2011/038	Trap fisheries
SCRS/2011/039	Trap fisheries data
SCRS/2011/110	Population structure
SCRS/2011/152	Historical distribution, arctic ocean
SCRS/2011/166	GBYP coordination
SCRS/2012/029	Catch curve analysis
SCRS/2012/030	Length based indicator
SCRS/2012/038	Historical growth data
SCRS/2012/116	Size frequency samples
SCRS/2012/125	VMS, effort
SCRS/2012/139	GBYP coordination
SCRS/2012/140	Aerial survey
SCRS/2012/141	Catch, size, historical data
SCRS/2012/142	South Atlantic
SCRS/2012/143	Pop-up tagging
SCRS/2012/149	Reproduction
SCRS/2012/186	Projections
SCRS/2013/073	Catch, size, historical data
SCRS/2012/083	Catch, size, historical data

Table 2. Eastern Atlantic bluefin catalog of data existing in the ICCAT data bases.





Table 3. Eastern Atlantic bluefin catalog of data recovered under GBYP (F: Fishing operation (only catch); CE: Catch and effort; S: Size; F + S : catch + size; CE + size.

 CE + S: CE + size.



Table 4. Mediterranean bluefin catalog of data existing in the ICCAT data bases.



Table 5. Mediterranean bluefin catalog of data recovered under GBYP (F: Fishing operation (only catch); CE:Catch and effort; S: Size; F + S: catch + size;CE + S: CE + size.

FlagVess	Gear	FishingGroundg	006T	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
MAR	HL	Gibraltar Strait										341	1551	
EU.ESP	66	Bay of Biscay					17	23224	12022	4473	653	305		
		Senegal												3
	BB&TR	Bay of Biscay				11364	15466	6760	5942	1716	1100			
	TR	Bay of Biscay	9	10	96	155	140							
eu.ita	GN	Tyrrhenian Sea										119	409	
	HL	Tyrrhenian Sea										66	24	
	HP	Tyrrhenian Sea								22	- 38	76	44	
	Ш	lonian sea											3	
		Strait of Sicily										204	998	233
		Tyrrhenian Sea										2	7	
	PS	Strait of Sicily											55	
		Tyrrhenian Sea										68	119	

Table 6. Number of fishing operations recovered under the GBYP by flag, gear and fishing ground.

Table 7. Yearly numbers of BFT measured at killing in the farms, estimated total weight of this sample at catching (assuming for all tunas a farming duration of 5 months) and corresponding average weight estimated at catching.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total
Total number of tunas											
sampled for size in											
farms	630	2156	5132	7841	37864	32483	26555	13898	16465	698	143722
Weight of sampled											
catches (at fishing											
date)	81	335	976	1405	3600	2988	3179	1357	1760	75	15756
Average Weight of											
sampled catches in kg											
(at fishing dates)	129	156	190	179	95	92	120	98	107	108	110
% of PS catches											
weight sampled	0,5	1,8	4,3	7,0	15,7	23,6	27,9	27,2	40,8		16,0

Table 8. Eastern Atlantic L-W data.

	SFL	CFL
GBYP	42658	0
Tunisia and Malta	170	6849
Japan LL	13121	0
Moroccan Trap	0	178
Rodriguez-Marin et al. 2013	54549	11
New Malta	0	1969
Arena	1658*	0
Grand totals	110498	7038

* not used in model fitting

Table 9. Western Atlantic L-W data.

Dataset	1: straight fork length	2: curved fork length	Total
CAN_marifs		7855	7855
US GOLET and Lutcavage		488	488
USPLLOBS	509	12	521
CAN_GSL		8288	8777
Mexico LL			755
ICCAT Tagging			547
JLL	3186		3186
US dealer			*
Grand Total	3695	16643	22129

* identified as existing but not available for the meeting.

	Number of outliers (for SFL data)	Exclusions	Totals
GBYP	48		48
Tunisia and Malta	0		0
Japan LL	93		93
Moroccan Trap	0		0
Rodriguez-Marin et al. 2013	77		77
New Malta	0		0
Arena		1658*	1658
Grand totals	218	1658	110498

Table 10. Data exclusions

* not used in model fitting

Table 11. Final parameter estimates for L-W models

	intercept	slope
MED	-10.162271	2.857753
ATL	-10.139701	2.855380

West							Sanpled		
Stock	Country	Year Agency	Area Sampled	# Fish sampled	Contact	Otoliths	Spines	Vertebrae	Size range (CFL,cm)
West Atl.	USA	2010 NOAA	West Atlantic	160	R. Allman	26	149	18	
West Atl.	USA	2011 NOAA	West Atlantic	262	R. Allman	75	196	65	
West Atl.	USA	2010 NOAA	West Atlantic	32	R. Allman	13	29	27	
West Atl.	USA	2011 NOAA	West Atlantic	234	R. Allman	218	217	212	
West Atl.	USA	2012 NOAA	West Atlantic	235	R. Allman	220	206	185	
West Atl.	USA	2011 UMCES	West Atlantic	135	D. Secor	135			
West Atl.	USA	2012 UMCES	West Atlantic	157	D. Secor	157			
West Atl.	USA	2013 UMCES	West Atlantic	114	D. Secor	114			
West Atl.	USA	2010 GMRI	West Atlantic	412	W. Golet	337	213		
West Atl.	USA	2011 GMRI	West Atlantic	494	W. Golet	459	165		
West Atl.	USA	2012 GMRI	West Atlantic	582	W. Golet	558	199		
West Atl.	Canada	2010 DFO	Newfoundland	8	D. Busawon	8			251-302
West Atl.	Canada	2010 DFO	Maritimes	72	D. Busawon	72			180-305
West Atl.	Canada	2011 DFO	Maritimes	119	D. Busawon	119	8		127-300
West Atl.	Canada	2011 DFO	Gulf of St. Law	190	D. Busawon	190			186-309
West Atl.	Canada	2012 DFO	Gulf of St. Law	187	D. Busawon	187	6		174-308
West Atl.	Canada	2012 DFO	Maritimes	107	D. Busawon	107	13		127-285
East						Sam	oled and/or a	ged	_
Stock	Country	Year Agency	Area Sampled	# Fish sampled	Contact	Otolith	Spine	Vertebrae	Size range (SFL, cm)
		_							
E. Atl + Med	EC-Spain	2010 IEO	Bay Biscay, Str. Gibralt. W Med	319	E. Rguez-Marin	62	319	23	27-257
E. Atl + Med	Consortium	2011 GBYP	NE Atl & Mediterranean	1900*	GBYP coordinator	426	468		21-284
E. Atl + Med	EC-Spain	2011 IEO	Bay Biscay, Str. Gibralt. W Med	137	E. Rguez-Marin	24	232	30	27-215
E. Atl + Med	Consortium	2012 GBYP	NE Atl & Mediterranean	2800*	GBYP coordinator	99	65		60-263
E. Atl + Med	EC-Spain	2012 IEO	Bay Biscay, Str. Gibralt. W Med	75	E. Rguez-Marin	25	50		102-205
* Samples fro	om GBYP were	e use for stock s	tructure and direct ageing analysis						

Table 12. Ctalog of hard parts over the recent period 2010-2013.

Table 13. Estimated parameters of the von Bertalanffy	growth model and growth curve comparisons.	Likelihood ratio test, n. s.: not signific	ant, * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p
< 0.001.			

Age range	Data source	I ~	12	to	Likelih	ood Rat	tio test	A go motoriol	Data	Voore	Fraction.
compared	Data source	$\Gamma\infty$	ĸ	10	$L\infty p$	k <i>p</i>	to p	Age material	Data	Tears	ages
1 15	Restrepo et al. (2010)	314.7	0.089	-1.13	ماد ماد ماد	na	ng	L distrib. & otoliths	Estim L at	1970-2000s	no
1-13	Cort (1991). Recalculated	334.3	0.084	-1.17	***	11.5.	11.5.	L distrib. & spines	Obs. L at Age	1975-1986	no
0.13	GBYP Otoliths ALK (Rguez-Marin et al., 2013)	392.5	0.06	-1.65	ne	ne	*	Otoliths	Obs. L at Age	2011-12	no
0-15	GBYP Spines ALK (Rguez-Marin et al., 2013)	380.2	0.07	-1.18	11.5.	11.5.	ጥ	Spines	Obs. L at Age	2011-12	no
0_13	GBYP Otoliths ALK (Rguez-Marin et al., 2013)	387.7	0.07	-1.53	ne	ne	¥	Otoliths	Obs. L at Age	2011-12	yes
0-15	GBYP Spines ALK (Rguez-Marin et al., 2013)	370.9	0.08	-1.02	11.5.	11.5.	ጥ	Spines	Obs. L at Age	2011-12	yes
0_13	GBYP Otoliths ALK (Rguez-Marin et al., 2013)	392.5	0.065	-1.65	**	**	**	Otoliths	Obs. L at Age	2011-12	no
0 15	Restrepo et al. (2010)	314.6	0.089	-1.13	4.4.		-11-	L distrib. & otoliths	Estim L at	1970-2000s	no
0-13	GBYP Otoliths ALK (Rguez-Marin et al., 2013)	387.7	0.066	-1.53	**	*	*	Otoliths	Obs. L at Age	2011-12	yes
0 15	Restrepo et al. (2010)	314.6	0.089	-1.13	4.4.		.1.	L distrib. & otoliths	Estim L at	1970-2000s	no
0_13	GBYP Otoliths & 2010 IEO Traps	397.4	0.064	-1.56	**	**	*	Otoliths	Obs. L at Age	2010-12	yes
0 15	Restrepo et al. (2010)	314.6	0.089	-1.13	4.4.		.1.	L distrib. & otoliths	Estim L at	1970-2000s	no
0-13	GBYP Spines ALK (Rguez-Marin et al., 2013)	370.9	0.078	-1.02	*	ns	ns	Spines	Obs. L at Age	2011-12	yes
0 15	Restrepo et al. (2010)	314.6	0.089	-1.13		11.5.	11.5.	L distrib. & otoliths	Estim L at	1970-2000s	no
0-13	GBYP Spines & 2010 IEO Traps	383.7	0.074	-1.07	**	ns	ns	Spines	Obs. L at Age	2010-12	yes
	Restrepo et al. (2010)	314.6	0.089	-1.13		11.5.	n. 5.	L distrib. & otoliths	Estim L at	1970-2000s	no
0-17	GBYP Spines & 1990-2010 IEO All gears	328.7	0.096	-0.85	ns	ns	*	Spines	Obs. L at Age	1990-2012	yes
	Restrepo et al. (2010)	314.7	0.089	-1.13	11.5.	11.5.		L distrib. & otoliths	Estim L at	1970-2000s	no
1-13	GBYP Spines ALK (Rguez-Marin et al., 2013)	376.6	0.076	-1.09	ns	ns	ns	Spines	Obs. L at Age	2011-12	yes
1 15	Cort (1991). Recalculated	336.2	0.083	-1.19	11.5.	11.5.	11.5.	L distrib. & spines	Obs. L at Age	1975-1986	no
1-13	GBYP Spines & 2010 IEO Traps	393.6	0.07	-1.17	ns	ns	ns	Spines	Obs. L at Age	2010-12	yes
1 15	Cort (1991). Recalculated	336.2	0.083	-1.19	11.5.	11.5.	II.5.	L distrib. & spines	Obs. L at Age	1975-1986	no
1-15	GBYP Spines & 1990-2010 IEO All gears	335.6	0.093	-0.86	ns	ns	ns	Spines	Obs. L at Age	1990-2012	yes
1 15	Cort (1991). Recalculated	334.3	0.084	-1.17	11.5.	11.5.	11.5.	L distrib. & spines	Obs. L at Age	1975-1986	no

 Table 14. ICCAT State-of-the-Art Genetic Summary.

Year	Marker	Sample size	Result	Reference
1999	mtDNA CR	Mediterranean Sea and western Atlantic Ocean (Total n=140) Sardinia (18) Ionian (36) Turkey (12)	Allele frequency revealed no differentiation within Mediterranean (P=0.3721). Allele frequencies revealed differentiation of pooled MED and W. Atlantic (P=0.0428)	Alvarado-Bremer JR, Naseri I, Ely B (1999) A provisional study of northern bluefin tuna populations. Collect Vol Sci Pap ICCAT 49:127–129
2002	mtDNA CR	MED 1990 (31) MED 1992 (32) MED 1993 (37) MED 1998 (38) Atlantic Large 1994 (34) Atlantic Small 1994 (38)	No differentiation	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.
2002	<i>ldhA</i> nuclear gene	MED 1990 (31) MED 1992 (32) MED 1993 (37) MED 1998 (38) Atlantic Large 1994 (34) Atlantic Small 1994 (38)	Differentiation of MED 1998 and all other strata No other differentiation of other strata combinations	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.
2003	37 allozyme loci	NW Atlantic 1996 (39) NE Atlantic 1994 (49) WMED (601) CMED (133)	No differentiation within MED No differentiation of E Atlantic and MED Significant allele frequency differences for <i>SOD-1</i> enzyme between pooled E Atlantic/MED and pooled W Atlantic	Pujolar JM, Roldán MI and Pla C (2003) Genetic analysis of tuna populations, <i>Thunnus thynnus thynnus</i> and <i>T.</i> <i>alalunga</i> . Marine Biology 143: 613-621.
2004	9 microsatellites	Young of the Year only Balearic 1998 (74) Balearic 1999 (60) Tyrrhenian 1998 (28) Tyrrhenian 1999 (33) Tyrrhenian 2002 (63) Ionian 1998 (9) Ionian 1999 (16)	No temporal differentiation within WMED ($F_{SC} = -0.0013$, $P = 0.735$) No differentiation within Balearic and Tyrrhenian ($F_{CT} = 0.0013$, $P = 0.196$) No temporal differentiation within Baleriac, Tyrrhenian and Ionian ($F_{SC} = -0.0020$, $P = 0.883$) Differentiation of Balearic, Tyrrhenian and Ionian Sea ($F_{CT} = 0.0032$, $P = 0.019$) No differentiation of temporally pooled Balearic and Tyrrhenian ($F_{ST}=0.0007$, $P=0.226$) No differentiation of temporally pooled Balearic and Ionian ($F_{ST}=0.0046$, $P = 0.103$) Differentiation of temporally pooled Ionian and	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 (<i>Thunnus thynnus thynnus</i>) population structure in the Mediterranean Sea. Molecular Ecology 13: 3345-3356.

			Tyrrhenian (F_{ST} =0.0087, P =0.015)	
			Differentiation of temporally pooled Balearic, Ionian and Tyrrhenian (F_{ST} =0.0023, P = 0.038).	
2004	mtDNA CR (868bp)	Young of the Year only Balearic (24) Ionian (23) Tyrrhenian (22)	Differentiation of Ionian, Balearic and Tyrrhenian (Φ_{ST} = 0.0239, $P = 0.0314$) No differentiation of Balearic and Ionian Seas (Φ_{ST} =0.0085, P =0.250) No differentiation of Balearic and Tyrrhenian Seas (Φ_{ST} = 0.0270, P =0.053) Differentiation of Ionian and Tyrrhenian Seas (Φ_{ST} =0.0366, P = 0.030)	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 (<i>Thunnus thynnus thynnus</i>) population structure in the Mediterranean Sea. Molecular Ecology 13: 3345-3356.
2005	mtDNA CR (450bp)	n=607 W Atlantic (50) E Atlantic (24) Mediterranean (Gulf of Mersin, Aegean Sea, Ionian Sea, Libyan coast, Tyrrhenian Sea, Tunisian coast, Ligurian Sea, Gulf of Valencia) (323) *Augmented by samples from Ely <i>et al.</i> (2002)	No differentiation of Atlantic and MED ($\Phi_{ST} = 0.002, P = 0.245$)	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.
2006	8 microsatellites	n = 800 Iceland EEZ	Differentiation of pooled early season (1999+2002) and pooled late season ABFT (1999+2002) (F_{cl} =0.00154, P = 0.000) No differentiation between alternative temporal or spatial combinations	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
2007	8 microsatellites	Gulf of Mexico Larvae 2003 (40) WMED YOY 1998-2002 (255) EMED YOY 1998-2002 (25)	Global differentiation (F_{ST} = 0.0059, P = 0.0005) Differentiation of WMED and GOM (F_{ST} = 0.0048, P = 0.0260) Differentiation of WMED and EMED (F_{ST} = 0.0067, P = 0.0279) Differentiation of GOM and EMED (F_{ST} = 0.0117, P = 0.0236)	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.
2007	mtDNA CR	Gulf of Mexico Larvae 2003 (40)	Global differentiation ($\Phi_{ST} = 0.0129, P = 0.0139$)	Carlsson J, McDowell JR, Carlsson, J.E

		WMED YOY 1998-2002 (255) EMED YOY 1998-2002 (25)	Differentiation of WMED and GOM ($\Phi_{ST} = 0.0104, P = 0.0359$) Differentiation of WMED and EMED ($\Phi_{ST} = 0.0174, P = 0.0482$)	and Graves JE (2007) Genetic identity of YOY bluefin tuna from the eastern and western Atlantic spawning areas. Journal
			No difference of GOM and EMED ($\Phi_{ST} = 0.0134, P = 0.1105$)	of fielduly 98. 23-28.
2008	mtDNA CR	n=170 Gulf of Mexico 1995-2005 (61) WMED 1997-2004 (47) EMED 1997-2003 (62) Range of size classes	Differentiation of GOM and MED $(\Phi_{ST} = 0.01116, P = 0.03029)$ No significant differentiation of GOM and WMED ($\Phi_{ST} = 0.01223, P = 0.06554$) No significant differentiation of GOM and EMED ($\Phi_{ST} = 0.00699, P = 0.12019$) No significant differentiation of WMED and EMED ($\Phi_{ST} = -0.00419, P = 0.6504$)	Boustany AM, Reeb CA and Block BA (2008). Mitochondrial DNA and electronic tracking reveal population structure of Atlantic bluefin tuna (<i>Thunnus thynnus</i>). Marine Biology 156: 13-24.
2010	8 microsatellites	Adriatic 2003-2005 (73) S. Tyrrhenian 2007 (39) Ligurian 1999-2000 (36) SW Sardinia 2005 (29) Algeria 2006 (39) Alboran 2005 (40) Historical Adriatic 1926-1927 (69) Historical Tyrrhenian 1911 (39)	Global F_{ST} contemporary ($F_{ST} = 0.014$, $P < 0.0001$) Differentiation of historical samples ($F_{ST} = 0.020$, $P < 0.0001$) Differentiation among all pairwise comparisons except contemporary populations of Algeria and S Tyrrhenian, Ligurian and SW Sardinia, and Adriatic and Ligurian.	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 theNational Academy of Sciences of the United States of America 107: 2102–2107.
2011	7 microsatellites	EMED - Turkey 2008 (48) WMED - Balearics 2008 (48)	No differentiation of EMED and WMED ($F_{ST} = 0.002, P = 0.2$)	Viñas J, Gordoa A, Fernández-Cebrián R, Pla C, Vahdet Ü and Araguas RM (2011) Facts and uncertainties about the genetic population structure of Atlantic bluefin tuna (<i>Thunnus thynnus</i>) in the Mediterranean. Implications for fishery management. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 21: 527-541.
2011	mtDNA CR	EMED - Turkey 2008 (48) WMED - Balearics 2008 (48) *Augmented by samples from Ely <u>et al. (2002) and Bremmer et al.</u> (2005) Total MED of known origin = 516 (1990-2010)	No global differentiation ($\Phi_{ST} = -0.004$, $P = 0.618$) No differentiation of EMED and WMED (n = 426) ($\Phi_{ST} = 0.002$, $P = 0.135$) No temporal differentiation across all 516 samples ($\Phi_{ST} = 0.004$, P =0.111)	Viñas J, Gordoa A, Fernández-Cebrián R, Pla C, Vahdet Ü and Araguas RM (2011) Facts and uncertainties about the genetic population structure of Atlantic bluefin tuna (<i>Thunnus thynnus</i>) in the Mediterranean. Implications for fishery management. Reviews in Fish Biology

and Fisheries, 21: 527-541.

2013	17 SNPs	n=107	Differentiation of NW Atlantic, Bay of Biscay and	Albaina A, Iriondo M, Velado I,
		Bay of Biscay (46)	Mediterranean Sea	Laconcha U, Zarraonaindia I,
		Balearic Sea (46)	$F_{ST} = 0.029 \pm 0.024, P < 0.05$	Arrizabalaga H, Pardo MA, Lutcavage M,
		NW Atlantic (Virginia) (15)	$H_e = 0.272 \pm 0.178$	Grant WS and Estonba A (2013) Single
			$F_{IS} = 0.096 \pm 0.133$	nucleotide polymorphism discovery in
			BB–NWA: $F_{ST} = 0.120 \pm 0.091$, P < 0.01	albacore and Atlantic bluefin tuna
			MED–NWA: <i>F_{ST}</i> =0.116±0.078, P < 0.01	provides insights into worldwide
			BB-MED: $F_{ST} = 0.004 \pm 0.007$, P>0.01	population structure. Animal Genetics.
				doi: 10.1111/age.12051

Table 15. Completed or ongoing analysis on Atlantic bluefin tuna population assignment based on otolith stable isotopes. Periods of collection are separated between recent (2009-2014) and historical (<2008). Age estimate indicates the fraction of the otolith sample aged; yes=100% of the sample was used for age estimates.

Collection years	Region	Otolith Analyses (N)	FL/CFL range (cm)	Age Estimate	Pls/Group	
Completed Analyses						
Recent						
2011-2012	Gulf St. Lawrence	191	186-313 CFL	yes	J. Neilson/DFO	
2011-2012	Canadian Maritimes	151	127-300	yes	J. Neilson/DFO	
2011-2012	St. Margaret's Bay	17	175-277	yes	J. Neilson/DFO	
2010-2011	US Atlantic-MD_MA	247	70-160	yes	NMFS/D. Secor	
2010-2011	US Atlantic-MA	74	175-275	yes	NMFS	
2011-2012	US Atlantic-NC	218	120-220	yes	D. Secor	
1999-2011	Gulf of Mexico	183	>180	yes	NMFS	
2010-2011	Central North Atlantic	177	121-236 FL	0%	TAMU/AZTI (GBYP)	
2011	Morocco	32	207-257	0%	TAMU/AZTI (GBYP)	
2009-2011	Bay of Biscay	262	55-182	24%	TAMU/AZTI (GBYP)	
2011	Strait of Gibraltar	190	161-278	94%	TAMU/AZTI (GBYP)	
2011	Balearics	39	82-305	59%	TAMU/AZTI (GBYP)	
2011	Malta	82	112-261	34%	TAMU/AZTI (GBYP)	
2011	Sardinia	20	123-247	70%	TAMU/AZTI (GBYP)	
2011	Adriatic Sea	47	105-127	23%	TAMU/AZTI (GBYP)	
2011	Levantine Sea	48	174-282	27%	TAMU/AZTI (GBYP)	
Subtotal		1978				
Historical						
1975-1977	Gulf of St. Lawrence	10	247-297	yes	J. Neilson/DFO	
1975-2007	Gulf of St. Lawrence	269	>180	yes	J. Neilson/DFO	
1978	Gulf of Mexico	60	>180	yes	NMFS	
2003-2007	Mediterranean Sea	131	School/Med/Large	yes	J. Rooker/D. Secor	
1996-2002	US Atlantic	225	School/Med/Large	yes	J. Rooker/D. Secor	
Subtotal		695				
Ongoing Analyses						
Recent						
2013	US Atlantic-NC	115	Med/large	in progress	D. Secor	
2012-2013	US Atlantic-MD-MA	300	School/Med	in progress	NMFS	
2012-2013	US Atlantic-MA	50	Large/Giant	in progress	NMFS	
2013	Gulf of St. Lawrence	100	Large/Giant	in progress	DFO	
2013	Canadian Maritimes	100	Large/Giant	in progress	DFO	
2012-2013	Central North Atlantic	100	Large	no	TAMU/AZTI (GBYP)	
2012-2013	Morocco	100	Large	no	TAMU/AZTI (GBYP)	

2012-2013	Bay of Biscay	100	Juvenile	no	TAMU/AZTI (GBYP)
2010	Newfoundland	8	251-302	in progress	J. Neilson/DFO
2010	Canadian Maritimes	72	180-305	in progress	J. Neilson/DFO
2011	Canadian Maritimes	119	127-300	in progress	J. Neilson/DFO
2011	Gulf of St. Lawrence	190	186-309	in progress	J. Neilson/DFO
2012	Gulf of St. Lawrence	187	174-308	in progress	J. Neilson/DFO
2012	Canadian Maritimes	107	127-285	in progress	J. Neilson/DFO
2010	Gulf of Maine and Georges Bank	337	112-284	completed	W. Golet/Umaine/ GMRI; M. Lutcavage/ Umass Amherst LPRC- NMFS
2011	Gulf of Maine and Georges Bank	459	83-293	in progress	W. Golet/Umaine/ GMRI; M. Lutcavage/ Umass Amherst LPRC- NMFS
2012	Gulf of Maine and Georges Bank	558	91-307	in progress	W. Golet/Umaine/ GMRI; M. Lutcavage/ Umass Amherst LPRC- NMFS
Subtotal		3002			
Historical					
1974-1978	US Atlantic	100	Large/Giant	in progress	D. Secor
1974-1978	US Atlantic	100	School/Med	in progress	D. Secor
1974-1978	Gulf of Mexico	100	Large/Giant	in progress	D. Secor
1995-2001	US Atlantic	50	School/Med	in progress	D. Secor
1995-2001	US Atlantic	39	Large/Giant	in progress	D. Secor
Subtotal		389			



Figure 1. Yearly frequency of BFT sizes sampled at harvesting by observers in the farms during the period 2003-2012 (SCRS/2013/083).



Figure 2. Average sizes sampled at harvesting and estimated at the fishing dates, compared to average Catch at size used by SCRS, period 2003-2011.



Figure 3. Average catch at size sampled by Arena during the 1982-1989 period (1560 tunas sampled) and in farms period 2005-2011.



Figure 4. Results of applying Fulton's K factor values between 1 and 2.8 ($K=100*wt(grams)/SFL^3$) to the dataset of length-weight observations.



Figure 5. Plot of data by sources after applying the K filter.



Figure 6. PCA analysis of initial estimates of a and b parameters from L-W relationship indicating that the spatial differences tend to be more important than temporal differences.



Figure 7. Plot of the Eastern LW data by year and month.



Figure 8. Eastern L-W data by month and area.



Figure 9. Initial parameter estimates for month indicating that there are poten. Upper (green line) and lower (red lines) represent 95 percentiles of the MCMC estimates for the parameters. The blue line and the error bars represent the median +/- 1 standard error. The estimates show evidence of three potentially distinct 'seasons'.



Figure 10. Coefficients (+/- 1SE) for the area effect from the initial model (A) to evaluate condensing the models to homogenous areas.



Figure 11. Model-estimated L-W relationships for condensed (3) seasons showing very small differences. Seasonal estimates fall within the CI of other estimates from Model.
a) Atlantic by Model E



Figure 12. Parameter estimates and convergence considerations for the final models; a) Atlantic by Model E, and b) Med by Model F.



Figure 12. continued.



Figure 13. Final models from this analysis overlaid on raw data with other LW models and the average weight at length from the Arena (1980) paper and Rey and Cort relationships.



Figure 14. Comparison of LW models existing for the Eastern Atlantic and Mediterranean Bluefin tuna stock.



Figure 15. Comparison of the estimated proportion at age of W-ATL BFT using the age-slicing routine (red squares) applied to the VPA base model, and the PRELIMINARY age-length key (ALK) developed for GBYP (blue diamonds). For this comparison, only available age-length samples from the W-ATL were used to produce the ALK



Figure 16. Comparison of the estimated proportion at age of W-ATL BFT using the age-slicing routine (red squares) applied to the VPA base model, and the PRELIMINARY age-length key (ALK) developed for GBYP (blue diamonds). For this comparison, all available age-length samples were combined to produce a single ALK (i.e. E-ATL otoliths, E-ATL spines and W-ATL otoliths).



Figure 17. A comparison of the raised catch-at-size with otolith samples. The first panels show the length frequency distribution of the population, the second the numbers at each age (represented by the different colors) for each length group and the third panel the proportions at age.



Figure 18. A comparison of the raised catch-at-size with spine samples. The first panels show the length frequency distribution of the population, the second the numbers at each age (represented by the different colors) for each length group and the third panel the proportions at age.



Figure 19. Numbers sampled at each age as a "growth curve" for otoliths.



Figure 20. Numbers sampled at each age as a "growth curve" for spines.



Figure 21. A comparison of estimates of numbers at age for "age-slicing" and using an age-length-key based on otoliths and spin.



Figure 22. Natural mortality presently assumed for the eastern and western Atlantic Bluefin.



Figure 23. Potential Natural mortality at age that could be used for future stock assessment of BFT in the Atlantic: SBT Mi (MiEast), and Mi estimated by the Gislason 2010 (Gis) and by the Lorenzen 2000 (Lor) method for the Cort growth (cort) and the Restrepo 2009 growth (VR), and by the Chen & Watanabe 1989 method.

AGENDA

- 1. Opening
- 2. Revision of biological data used for Atlantic bluefin tuna assessment
 - 2.1 Revision of the Task II data recovered by GBYP from 2010 to 2012: quality controls and analyses
 - 2.2 Overview of other new information on bluefin tuna biology collected from other programmes, including farming data, market and auction data
- 3. Revision of main biological parameters used for Atlantic bluefin tuna assessment
 - 3.1 Size conversions: length to weight, curved fork-length to fork-length, etc.
 - 3.2 Age conversions: growth curve, ageing data, ALK tables.
 - 3.3 Reproduction: sex ratio, maturity, fecundity and spawning
 - 3.4 Natural mortality
 - 3.5 Population structure and stock mixing: otolith microchemistry, genetics, tagging, stock-age key tables
- 4. Incorporation of data collected and/or recovered into the ICCAT databases
- 5. Recommendations
- 6. Other matters
 - 6.1 Revision of other available data (e.g., VMS)
 - 6.2 Proposal for the development of an operating model for use in MSE
- 7. Adoption of the report and closure.

Appendix 2

LIST OF PARTICIPANTS

SCRS CHAIRMAN

Santiago Burrutxaga, Josu SCRS Chairman - Head of Tuna Research Area, AZTI-Tecnalia, Txatxarramendi z/g, 48395 Sukarrieta (Bizkaia), Spain Tel: +34 94 6574000 (Ext. 497); 664303631, Fax: +34 94 6572555, E-Mail: jsantiago@azti.es; flarrauri@azti.es

CONTRACTING PARTIES

ALGERIA

Labidi, Naciba Ministère de la Pêches et des Ressources Halieutiques, Rue des Quatre Canons, 1600 Alger Tel: +213 21 43 3033, Fax: +213 21 43 3048, E-Mail: sdvd@mpeche.gov.dz; naciba.labidi@gmail.com

CANADA

Neilson, John D.

Head, Large Pelagic and Pollock Projects, Population Ecology Section, Fisheries and Oceans Canada, St. Andrews Biological Station, 531 Brandy Cove Road, St. Andrews New Brunswick E5B 2L9 Tel: +1 506 529 5913, Fax: +1 506 529 5862, E-Mail: john.neilson@dfo-mpo.gc.ca

EUROPEAN UNION

Arrizabalaga, Haritz

AZTI - Tecnalia /Itsas Ikerketa Saila, Herrera Kaia Portualde z/g, 20110 Pasaia Gipuzkoa, Spain Tel: +34 94 657 40 00, Fax: +34 94 300 48 01, E-Mail: harri@azti.es

Bonhommeau, Sylvain

IFREMER - Dept. Recherche Halieutique, B.P. 171 - Bd. Jean Monnet, 34200 Séte, France Tel: +33 4 9957 3266, Fax: +33 4 9957 3295, E-Mail: sylvain.bonhommeau@ifremer.fr

Fonteneau, Alain

9, Bd Porée, 35400 Saint Malo, France

Tel: +33 4 99 57 3200, Fax: +33 4 99 57 32 95, E-Mail: alain.fonteneau@ird.fr

Fromentin, Jean Marc

IFREMER - Dept. Recherche Halieutique, , BP 171 - Bd. Jean Monnet, 34203 Sète Cedex , France Tel: +33 4 99 57 32 32, Fax: +33 4 99 57 32 95, E-Mail: jean.marc.fromentin@ifremer.fr

Macías, Ángel David

Ministerio de Economía y Competitividad, Instituto Español de Oceanografía, C.O. de Málaga, Puerto pesquero s/n, 29640 Fuengirola Málaga, Spain

Tel: +34 952 197 124, Fax: +34 952 463 808, E-Mail: david.macias@ma.ieo.es

Ortiz de Urbina, Jose María

Ministerio de Economía y Competitividad, Instituto Español de Oceanografía, C.O de Málaga, Puerto Pesquero s/n, 29640 Fuengirola Málaga, Spain Tel: +34 952 197 124, Fax: +34 952 463 808, E-Mail: urbina@ma.ieo.es

Puncher, Gregory Neils

Laboratory of Genetics & Genomics of Marine Resources and Environment, Dept. Biological, Geological & Environmental Sciences, University of Bologna, Via S. Alberto 163, 48123 Ravenna, Italy Tel: +39(0)544/937311, Fax: +39(0)544937411, E-mail: Gregory Neils Puncher <gregoryneil.puncher2@unibo.it>

Rodríguez-Marín, Enrique

Ministerio de Economía y Competitividad, Instituto Español de Oceanografía, C.O. de Santander, Promontorio de San Martín s/n, 39004 Santander Cantabria, Spain

Tel: +34 942 291 716, Fax: +34 942 27 50 72, E-Mail: rodriguez.marin@st.ieo.es

JAPAN

Itoh, Tomoyuki Chief, Temperate Tuna Group, National Research Institute of Far Seas Fisheries, 5-7-1 Orido Shimizu-ku, Shizuoka-City, Shizuoka 424-8633

Tel: +81 543 36 6036, Fax: +81 543 35 9642, E-Mail: itou@fra.affrc.go.jp

Kimoto, Ai

Researcher, Temperate Tuna Group, National Research Institute of Far Seas Fisheries, 5-7-1 Orido Shimizu-ku, Shizuoka-City, Shizuoka 424-8633 Tel: +81 543 36 6036, Fax: +81 543 35 9642, E-Mail: aikimoto@affrc.go.jp

MOROCCO

Baibat, Sid Ahmed Centre de Recherche Halieutique de Laayoune

TUNISIA

Zarrad, Rafik Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, BP 138 Mahdia 5199 Tel: +216 73688604, Fax: +216 73688602, E-Mail: rafik.zarrad@instm.rnrt.tn

UNITED STATES

Boustany, Andre M.

Duke University, Nicholas School of the Environment Box 90328, Durham, North Carolina 27708 Tel: +1 831 402 1364, E-Mail: andre.boustany@duke.edu

Cass-Calay, Shannon

NOAA Fisheries, Southeast Fisheries Center, Sustainable Fisheries Division, 75 Virginia Beach Drive, Miami, Florida 33149 Tel: +1 305 361 4231, Fax: +1 305 361 4562, E-Mail: shannon.calay@noaa.gov

Díaz. Guillermo

NOAA-Fisheries, Southeast Fisheries Science Center, 1315 East-West Highway # 13562, Silver Spring, Maryland 20910 Tel: +1 301 713 2363, Fax: +1 301 713 1875, E-Mail: guillermo.diaz@noaa.gov

Lutcavage, Molly

Director, Large Pelagics Research Center, University of Massachusetts, 108 East Main Street, Gloucester, Massachusetts 01930

Tel: +1978 283 0368, Fax: +1 978 283 0297, E-Mail: mlutcavage@eco.umass.edu

Porch, Clarence E.

Chief, Sustainable Fisheries Division, Southeast Fisheries Science Center, National Marine Fisheries Service, 75 Virginia Beach Drive, Miami, Florida 33149 Tel: +1 305 361 4232, Fax: +1 305 361 4219, E-Mail: clay.porch@noaa.gov

Secor, David

University of Maryland Center for Environmental Science, P.O. Box 38, Solomons, Maryland 20688 Tel: +1410 326 7229, Fax: +1 410 326 7210, E-Mail: secor@cbl.umces.edu

Walter, John

NOAA Fisheries, Southeast Fisheries Center, Sustainable Fisheries Division, 75 Virginia Beach Drive, Miami, Florida 33149 Tel: +305 365 4114, Fax: +1 305 361 4562, E-Mail: john.f.walter@noaa.gov

Wozniak, Andrew

Virginia Institute of Marine Science, College of William and Mary, P.O. Box 1346, Gloucester Point, Virginia 23062, Tel: +1 757 683 3996, E-Mail: wozniak@vims.edu

OBSERVERS - Non-governmental Organizations

Pew Environment Group

Miller, Shana Pew Charitable Trusts, 901 E Street, NW, Washington, DC 20004 Tel: +1 631 671 1530, E-Mail: smiller-consultant@pewtrusts.org

WWF Mediterranean Programme Office

Quílez Badia, Gemma WWF Mediterranean Programme Office, c/ Carrer Canuda, 37 3er, 08002 Barcelona, Spain Tel: +34 93 305 6252, Fax: +34 93 278 8030, E-Mail: gquilez@atw-wwf.org

ICCAT SECRETARIAT

C/ Corazón de María, 8 - 6 Planta, 28002 Madrid, Spain Tel: + 34 91 416 5600, Fax: +34 91 415 2612, E-Mail: info@iccat.int

> Pallarés, Pilar Kell, Laurence Ortiz, Mauricio Di Natale, Antonio Idrissi, M'Hamed

Appendix 3

LIST OF DOCUMENTS

- SCRS/2013/050 Evaluation of Canadian Sampling Program for bluefin tuna, assessment of lengthweight conversions, and results of natal origin studies 2011-2012. Busawon, D.B., Neilson, J.D., Andrushchenko, I., Hanke, A., Secor, D.H. and Melvin, G.
- SCRS/2013/051 Relación entre los índices de abundancia estandarizados de las almadrabas y la oscilación del atlántico norte (NAO). Báez, J.C., Ortiz de Urbina, J.M., de la Serna, J.M. and Macías, D.
- SCRS/2013/065 Biometric relations of wild and fattened *Thunnus thynnus* (L. 1758) caught offshore Tunisia (Ionian Sea, central Mediterranean) in 2012. Zarrad, R.
- SCRS/2013/071 Estimation de l'age des specimens de thon rouge (*Thunnus thynnus*) pêchés sur les côtes algeriennes. Neghli, N. et Nouar, A.
- SCRS/2013/073 Bluefin catch and size historical data recovered under the Atlantic-wide Research Programme for Bluefin Tuna (ICCAT-GBYP Phases 1-3). Di Natale, A., Idrissi, M., Justel Rubio, A.
- SCRS/2013/074 ICCAT-GBYP activities for improving knowledge on bluefin tuna biological and behavioural aspects. Di Natale, A., Idrissi, M., Justel Rubio, A.
- SCRS/2013/075 Length-weight relationship of Atlantic bluefin tuna caught by Japanese longline fisheries, based upon Japan's scientific observer program data, 2000-2011. Kimoto, A. and Itoh, T.
- SCRS/2013/076 On the potential use of size measurements by observers in the farm for the estimation of Mediterranean BFT catch at size. Fonteneau, A.
- SCRS/2013/077 On the natural mortality of eastern and western Atlantic bluefin tuna. Fonteneau, A. and Maguire, J.J.
- SCRS/2013/078 Preliminary review of ICCAT bluefin tuna conventional tagging database. Justel-Rubio, A., Ortiz, M., Parrilla, A., Idrissi, M., Di Natale, A.
- SCRS/2013/079 Biometric relationships and condition of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) from the North-East Atlantic and Mediterranean Sea. Rodriguez-Marin, E., Ortiz de urbina, J.M., Quello, P., Santon, M.N., Abid, N., Alot, E., Deguara, Sl, de la Serna, J.M., Gómez, M.J., Karakulak, S., Labidi, N., Macias, D., Rioja, P., Ruis, M. and Saber, S.
- SCRS/2013/080 Age determination analyses of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) within the Biological and Genetic Sampling and Analysis Contract (GBYP). Rodriguez-Marin, e., Luque, P.L., Quelle, P., Ruiz, M. and Perez, B.
- SCRS/2013/081 An attempt of validation of the Atlantic bluefin tuna age using dorsal fin spines. Rodriguez-Marin, E., Luque, P.L., Busawon, D., Campana, S., Golet, W., Koob, E., Neilson, J., Quelle, P. and Ruiz, M.
- SCRS/2013/082 Size structure estimation of bluefin tunas catches from Moroccan traps and artisanal fisheries for the year 2012. Abid, N., Baibbat, S.A., Benchoucha, S., El Arraf, S. and El Fanichi, C.
- SCRS/2013/083 Review and preliminary analyses of farm harvested size frequency samples of eastern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). Ortiz, M., Justel Rubio, A. and Gallego, J.L.

SCRS/2013/084	Standardization of otolith-based ageing protocols for Atlantic bluefin tuna. Secor, D.H., Allman, R., Busawon, D., Gahagan, B., Golet, W., Koob, E., Lastra, Luque, P. and Siskey, M.
SCRS/2013/085	Conversion factors for Atlantic bluefin tuna fork length from measures of snout length and otolith mass. Secor, D.H., Busawon, D., Gahagan, B., Golet, W., Koob, E., Neilson, J. and Siskey, M.
SCRS/2013/086	Contribution of Gulf of Mexico population to U.S. Atlantic bluefin tuna fisheries, 2010-2011. Secor, D.H., Barnett, B., Allman, R. and Rooker, J.
SCRS/2013/087	Natal homing by Gulf of Mexico adult Atlantic bluefin tuna, 1976-2012. Secor ,D.H., Rooker, J. and Allman, R.
SCRS/2013/088	Atlantic bluefin tuna stock mixing within the U.S. North Carolina recreational fishery, 2011-2012. Secor, D.H., Gahagan, B. and Rooker, J.
SCRS/2013/089	Origin of Atlantic bluefin tuna in the Atlantic Ocean and Mediterranean Sea using d13C and d18O in otoliths. Rooker, J., Fraile, I., Arrizabalaga, H., Kimoto, A., Sakai, O., Abid, N., Neves, M., Karakulak, S., Macías, D., Addis, P., Deguara, S. and Tinti, F.
SCRS/2013/090	First Results on reproduction of East Atlantic bluefin tuna out of GBYP-MUBI Phase 3 Project. Macías, D., Murua, H., Gómez-Vives, M.J., Saber, S., Fraile, I., Addis, P., Medina, A., Rodríguez-Marín, E. and Arrizabalaga, H.
SCRS/2013/091	Using electronic tags to inform temporal and spatial information on spawning biology of Atlantic bluefin tuna in the Gulf of Mexico. Block, B.A., Boustany, A., Wilson, S., Castleton, M. and Shillinger, G.
SCRS/2013/092	Transatlantic movements of juvenile Atlantic bluefin tuna inferred from analyses of organochlorine tracers. Graves, J.E., Wozniak, A.S., Arrizabalaga, H. and Goñi, N.
SCRS/2013/093	Growth of Atlantic bluefin tuna determined from the ICCAT tagging database: A reconsideration of methods. Ailloud, L.E., Lauretta, M.V., Hoenig, J.M. and Walter, J.F.
SCRS/2013/094	Bluefin Tuna Biological Sampling Program: Commercial and Recreational fisheries.
SCRS/2013/096	Feasibility study to assess the utilization of stereo-video systems during transfer of Atlantic bluefin tunas (<i>Thunnus thynnus</i>) to evaluate their number and size. Mariani, A., Dell'Aquila, M., Scardi, M. and Costa, C.

DATA PROCESSING & EXTRAPOLATION OF TUNA SIZES SAMPLED IN THE FARMS

This data processing should necessarily incorporate the following elements:

- Full use of all size sampling data collected in Mediterranean farms since 2003, independently of their sources: National, GBYP samples or MRAG sampling since 2010. The work should simply try to eliminate all duplicate samples.
- All sizes data that have been obtained in predorsal and in round length should be used and converted to straight FL; the round length conversion should be done on a revised conversion parameter, as the today 5% of decreasing size appears to be much too low for large & fat tunas from the farms.
- 3) GBYP should ASAP obtain this improved conversion factor between round and straight length at killing in the farms (for medium and large BFT).
- 4) Fishing dates of all measured fishes should be recovered as much as possible: this basic information has not been identified in recent sampling files, but it should be recovered when possible, for instance with connection various sources of information and files.
- 5) Sizes at fishing dates should be estimated assuming that each fish has been growing following the typical growth curve proposed by Cort. This calculation is trivial for all tunas killed & fished at known dates. When fishing dates are missing, they will be assumed, based on the average fishing dates of the year (using external information, for instance ICCAT certificates) or simply assuming a fishing date on 1 June.
- 6) Catch at size should necessarily be extrapolated with a geographical stratification of the farms and of the fishing location of the fished tunas, for instance the eastern and western Mediterranean and Croatian farms. These Croatian farms should be treated separately because of their peculiar sizes and durations in the farming process.
- 7) The sizes at fishing dates of the BFT sampled in the farms should be extrapolated to their total CAS in 2 different ways: (1) as before to the yearly catches of Mediterranean PS declared by each country, and (2) also based on the total numbers of BFT that have been identified in the ICCAT certificates and in the commercial data (bluefin tuna trade and market data).

Appendix 5

DESCRIPTION OF VARIABLES FOR CREATION OF MASTER DATASETS

DATA SETTING: year, month, gear, area, vescode, port, sampler, length, lcode, weight, wcode, ew ###gear code, enter name of gear code, i.e., enter "HL", "PS" or "LL"

1:BB 2:BB&TR 3:GN 4:HL 5:HP 6:LL 7:PS 8:TP 9:TR

#area, enter name of fishing area at finest level of detail (NAFO unit, US area, etc)

1:Central Atlantic 2:Emed_Ionian 3:Tunisia etc, ...

#port (enter name of landing port, - when not available code as NA

1:on board 2:

#vescode (often not available - when not available code as NA)

#some identifier for a unique vessel

#sampler (enter name of sampler- when not available code as NA)

1: scientific observer number

#length in cm

1:straight fork length 2:curved fork length 3:dressed length

#weight in kg
0:round weight
1:gilled and gutted
2:gilled, gutted and tailed
3:gutted wt

#ew e=east of 45W, w=west of 45W 1:east 2:west

#dataset (US dealer, Malta, Japan longline, GBYP, etc.)

Appendix 6

Year	Month	Gear	Area	Vescode	Port	Sampler	Length	lcode	Weight	wcode	ew	Dataset
2004	4	LL	GOM	NA	NA	NA	252	1	241.76	1	2	USPLLOBS
2004	4	LL	GOM	NA	NA	NA	271	1	280.32	1	2	USPLLOBS
2006	4	LL	MAB	NA	NA	NA	241	1	202.76	1	2	USPLLOBS
2006	4	LL	GOM	NA	NA	NA	258	1	289.85	1	2	USPLLOBS
1960_1980	567	TRAP_PS	CMED	NA	NA	1	45	1	1.60	0	1	Arena
1960_1981	567	TRAP_PS	CMED	NA	NA	1	46	1	1.80	0	1	Arena
1960_1987	567	TRAP_PS	CMED	NA	NA	1	49	1	2.20	0	1	Arena
1960_1988	567	TRAP_PS	CMED	NA	NA	1	50	1	2.50	0	1	Arena
2005	5	LL	CMED	NA	NA	1	158	2	66.00	1	1	Malta
2005	5	LL	CMED	NA	NA	1	195	2	187.00	1	1	Malta
2005	5	LL	CMED	NA	NA	1	210	2	158.00	1	1	Malta

EXAMPLE OF MASTER DATASET FIELDS