

ICCAT WORKSHOP ON ENVIRONMENT AND TUNA RECRUITMENT

(Madrid, Spain - May 7 to 12, 2001)

1 Opening, adoption of agenda and meeting agenda

The Workshop took place at the ICCAT Secretariat. The meeting was opened by its Chairman, Dr. Jean Marc Fromentin. Dr. Fromentin and Dr. Joseph Powers, SCRS Chairman, welcomed the participants (see **Appendix 1**), who introduced themselves.

The Tentative Agenda (**Appendix 2**), which had been circulated previously, was modified and adopted. The following scientists served as rapporteurs of the various sections:

Items 1, 2, 7 and 8:	Victor R. Restrepo
Item 3:	José María Ortiz de Urbina
Item. 4.1:	Craig A. Brown
Item. 4.2:	Jean Marc Fromentin
Item 4.3:	Lawrence T. Kell and Jean Marc Fromentin
Item 5:	Joseph E. Powers
Item 6:	Joao Gil Pereira and Lidia de Gouveia

2 Presentation and discussion of the documents

A list of the documents presented at the meeting is provided in **Appendix 3**. Some of the documents presented were case studies of environment-recruitment relationships, while others were of a more general nature and dealt, at least partially, with advice on how to conduct this type of analysis. This section provides a brief summary of the discussions held in relation to the documents; readers are asked to consult the documents themselves for more detail about their content. **Appendix 4** summarizes a few guidelines of a general nature. Section 4.1 reports on alternative analyses carried out by the Workshop on the same data sets used in some of these documents.

SCRS/01/035 examined the correlation between Pacific bluefin tuna recruitment (estimated by VPA) and three environmental indices. Both recruitment and the environmental variable being examined were smoothed by means of a moving average, before computing the correlation coefficient. The study found that the highest correlation of Pacific bluefin recruitment was with the North Pacific Index (NPI, an index of the strength of the Aleutian Low), with no time lag. Participants noted that the area over which the NPI was computed generally did not coincide with the area of larval distribution for Pacific bluefin, which made it more difficult to hypothesize a direct relationship.

SCRS/01/037 examined the correlation between North Pacific albacore tuna recruitment (estimated by VPA) and three environmental indices. The correlation coefficients were computed before and after smoothing the variables with a moving average. The highest correlation found in the study was between recruitment and NPI, with a 3-4 year lag. Participants noted that the estimated correlation coefficients were generally higher for the smoothed series, as would be expected. Participants also recommended that, if smoothing were to be carried out, it would be useful to investigate alternative methods such as lowess or Kalman filtering. Participants also stressed the importance of defining the likely biological processes in the postulated relationship, which could, in turn, help define the treatment to be applied to the data.

SCRS/01/032 examined relationship between west Atlantic bluefin tuna recruitment (estimated by VPA and IPA) and (a) survival ratios (R/SSB, also estimated by VPA and IPA), and (b) the North Atlantic Oscillation (NAO) index. The document found a higher correlation between recruitment and SSB than between recruitment and NAO, and concluded that the best predictive power was obtained in using the former relationship taking autocorrelation into account. Participants noted that the nature of the recruitment time series (characterized by a high level with high variability in the first half and by a low level and low variability in the second half) made it difficult to interpret the results of correlation studies because the trend and variability in recruitment might be affected by changes in the quality of the data that goes into the stock assessment.

SCRS/01/033 updated to 1995 previous analyses of the relationship between recruitment of three stocks (east Atlantic bluefin, west Atlantic bluefin, north Atlantic albacore) estimated by VPA and the winter NAO index. The study found significant correlations between the NAO index and recruitment of east Atlantic bluefin (positive 1-year lag correlation explaining 49% of the variability) and north Atlantic albacore (negative 0-year lag correlation explaining 52% of the variability), but no significant relationship with west Atlantic bluefin.

SCRS/01/036 looked into the biological processes that would likely take place for a non-spurious relationship to exist between recruitment and NAO, and further studied the relationship between east Atlantic bluefin recruitment (from VPA) and NAO. The study found that the correlation between the two variables disappeared if the series were de-trended, which would indicate that there is no cause-effect relationship between the two on an annual basis. In addition, a non-parametric randomization test did not reveal any nonlinear connection between the two variables. The document suggested that the recruitment data might be inadequate for testing the relationship, if there was one. Participants agreed that the recruitment estimates, which were the end result of a series of averaging and back-calculation models, could be rendered inadequate for such a purpose. Participants also discussed the possibilities mentioned in the paper that NAO could be related to other variables such as catchability or the stock's spatial distribution. In this respect, it was stressed that it would be important to match the time/spatial scales of the variables being investigated before conducting correlation analyses.

SCRS/01/038 synthesized some of the work that has been conducted on the relationship between north Atlantic swordfish and NAO, discussing general aspects that should be considered in future studies. The document stressed the importance of understanding the fishery and environmental data being used before making any conclusions about the biological significance of correlations (or lack of correlations). The document also indicated that, while most studies have focused on recruitment, NAO could affect other variables such as the reproductive output of the stock. In addition, the document noted that most of the fishery data used are short in terms of the time scales typically involved with environmental cycles; as such, it is difficult to draw solid conclusions from studies that can only look at a relatively small window of data in the history of a stock. Participants agreed that it was of utmost importance to understand the fishery and environmental data being used in correlative studies. It was suggested that analysts should strive to define the indices to be used for a particular study so that both the response and explanatory variables match in space and time with the hypothesis being tested.

SCRS/01/034 explains how long-term cycles can sometimes be observed in stock variables such as SSB or carrying capacity, simply due to high-frequency ("white noise") variability in recruitment; the potential for such an effect increases with the number of age classes in the stock. Therefore, simple correlation studies may be unable to elucidate the influence of an environmental variable on these stock quantities. Participants noted that the same effect could take place due to changes in mortality.

SCRS/01/039 examined the possibility that Atlantic yellowfin tuna and their fisheries are affected by the NAO by using a biomass-dynamic model that allowed trends in the population and fleet dynamics to be estimated, hence allowing the catchabilities of various fleets to be related to NAO. The results suggested that there was no strong evidence for a NAO effect on catchability, at least on the time/spatial scale related to the fisheries as a whole (though perhaps there might be more localized influences on catchability).

Participants noted that some indices that relate to fisheries that occur at the margin of the species' distribution would be expected to show greater fluctuations over time, and that perhaps they would coincide with changes in NAO simply by chance.

3 General discussion on environmental effects on tuna recruitment

The introduction to the agenda item provided a general theory on several environmental factors affecting recruitment (i) before the critical period (e.g., condition of spawners), (ii) during the critical period (i.e., few days after larval yolk has been exhausted) such as food limitation, eggs and larval transport by wind and currents, effects of temperature, etc., and (iii) after the critical period such as food limitation, temperature, predation, cannibalism and competition, etc.

There was agreement that this general theory had been developed for small pelagic and demersal species. Hence, due to the behavior of large pelagic species, it could be of limited value when applied to large pelagic species, e.g., large migration patterns and rapid growth (it is likely that some of the 'traditional' biological processes are irrelevant for tunas, whereas specific ones probably occur). It was recognized however, that several factors might potentially explain recruitment variability in large pelagic species.

Some results were presented on the AGU conference on NAO and its association to oceanographic factors such as salinity, temperature, density, etc., which would contribute to the explanation of the hypothesis of "retention areas" and "appropriate habitat" affecting larval viability. A large number of oceanographic factors related to NAO (e.g., upwelling, turbulence, transport, wind stress, temperature, Gulf Stream Index) can affect recruitment levels due to changes in the spawning behavior of the adults and/or the mortality of pre-adults.

During the course of the discussions, it was agreed that large-scale environmental indices (NAO or others) are simply proxies, but they can provide an overall summary of the variability of certain atmospheric-oceanographic parameters. However, the effects of a large-scale event, such as the NAO, differs between geographical areas as do the main biological processes of a given species. In the context of large pelagic species, the biological characteristics of the different species and the spatial-temporal aspects of the oceanographic parameters that are suspected of affecting recruitment variability should be taken into account in order to characterize areas which can be considered as "appropriate habitat" or areas capable of leading the successful development of pre-recruits and/or spawning.

From the viewpoints of physical oceanography, it is usually recognized that NAO or NPI indicate large-scale phenomena such as meandering or the intensity of the westerlies. Therefore, we consider scales of long-term signals in order to compare with the physical environment such as NAO or NPI. In addition, time scales of the ocean processes are much larger than those of the atmosphere. These suggest that time series have to be smoothed by some low frequency filters. On the other hand, because one peak of recruitment time-series includes effects of somewhat local phenomena, time series do not have to be smoothed. In this way, the time series which we should use change by selecting different time or spatial scales.

The Workshop agreed that attempts to define and quantify suitable recruitment habitat for the various species of direct concern to ICCAT could be useful. Suitable habitat should be defined on the basis of readily available environmental variables (e.g. salinity, temperature, dissolved oxygen) on the basis of inferences from field observations and/or by direct experimentation. On the other hand, other oceanographic/meteorological variables (such as those mentioned above) should be taken into account in the study of environmental impacts on recruitment.

It was also proposed that the available environmental factors be analyzed within the spawning sites and the feeding areas for recruits and young juveniles. This could allow for the detection of, for instance, factors which display the highest variability and when and where did the main anomalies occur. This type analysis could thus provide some guidelines for the study of the environment-Atlantic tuna recruitment relationship.

Furthermore, some information dealing with the relationship between environmental factors and the behavior of reproductive bluefin tuna in the western Mediterranean was given. This information included observations on the variability in the period in which reproductive tuna passed the Atlantic traps near the Straits of Gibraltar, observations on spawning tuna being of considerably lesser weight than normal for a given length, observations on gonadosomatic indices in post spawning tunas being higher than observed in previous years as well as observations on fleets fishing spawners further south than previously. This could indicate that changes in condition factors related to an increase in SST. The Workshop recognized that condition is an important factor to explain variations in recruitment, therefore it was recommended to further investigate it. The Shepherd-Nicholson (1991) model is a general tool that can be used for testing hypothetical changes in conditions of spawners due to environmental causes, assuming that variations in condition factors can be detected through weight-at-age ($W_{a,t}$), or alternatively in weight-at-length. Using the framework of the Generalized Linear Models, one model could be:

$$W_{a,t} \sim f(\text{Age}, \text{Month}, \text{Year})$$

Age (or alternatively length) could be assumed as the ‘mean effect’ and Month as the ‘seasonal effect’. Year is the variable of main interest and represented ‘the year-to-year effect’, that could be related to environment. In the Shepherd and Nicholson (1991), there is also a ‘year class effect’ (i.e., the density-dependence term), that can be also added if the outputs of the VPA are trustworthy.

4 Computer and simulation work

4.1 Testing further the hypothesized relationship between NAO and tuna recruitment

Additional analyses were performed on the data presented in SCRS/01/32 (west Atlantic BFT), SCRS/01/33 (north Atlantic ALB), SCRS/01/35 (Pacific BFT), and SCRS/01/37 (north Pacific ALB). These further analyses on the relationship between climatic index (NAO or NPI) and tuna recruitment were conducted in order to: (i) take into account for statistical considerations (i.e., bias in significance levels due to autocorrelation in time series, see **Appendix 4**), (ii) compare relationship at different time scales, i.e., trend *versus* year-to-year fluctuations and (iii) test the impact of extreme events via the superposed epoch analysis (Prager and Hoenig 1989).

Two potential NAO comparisons could be made for a particular recruitment series: 1) to the NAO for a given year, which represented the conditions during the winter prior to spawning and presumably were related to conditions prevalent leading up to and during spawning, or 2) to the NAO for the subsequent year ($NAO_{\text{year}+1}$), which could reflect conditions experienced by young-of-the-year after hatching. Most of the analyses considered the first comparison, with NAO and recruitment.

The superposed epoch analysis (SEA) permits testing the impacts of extreme values of an extrinsic factor (e.g., NAO or NPI) on a given biological variable, without taking into account time contiguity. Here, the null hypothesis of SEA is: there is no association between extreme NAO or NPI values (low or high) and tuna year-class strength. The extreme events are defined as the years during which the values of the NAO/NPI index is higher (lower) than the average plus (minus) one standard deviation. Adjacent years are defined as the years before and/or after each key-event year. SEA consists, then, in comparing (through a *t-test*) the values of tuna recruitment of the key-event years with those of the adjacent years (the significance being estimated by a Monte Carlo randomisation procedure).

The NAO and recruitment series were detrended by first fitting a 3rd order polynomial to each series. The detrended series was calculated by subtracting the trend prediction from each observation, resulting in a new series that fluctuates around a mean of zero with no trend. The purpose of detrending each series was to enable the testing of year-to-year relationships without the influence of long-term trends.

4.1.a. Pacific Bluefin Tuna

Analyses for Pacific bluefin tuna were conducted using yearly values, rather than the moving average used in SCRS/01/35. This permitted comparisons with analyses done for other stocks, is more appropriate for statistical correlation testing, and addresses the concept of environmental influences on a year-to-year basis as opposed to long-term trends. The trends fitted to the NPI (**Figure 1a**) and Pacific BFT recruitment (**Figure 1b**) reflect low frequency long-term patterns. The fitted NPI trend exhibited a higher level in the 1950s and early 1960s and a lower level during late 1970s through the early 1990s. The fitted recruitment trend declined from a high in the early 1950s to a low in the mid-1990s. The detrended series of NPI and Pacific BFT recruitment are plotted in **Figure 1c**. The linear regression of the detrended series (**Figure 1d**) indicates that only about 9% of the year-to-year variability in recruitment is explained by NPI, although there is a significant relationship ($p=0.04$).

4.1.b. North Pacific Albacore

Analyses for north Pacific albacore tuna were also conducted using yearly values. The trend fitted to the NPI (**Figure 2a**) for the north Pacific Albacore covers a slightly different year range than the trend shown in **Figure 1a**, but the low frequency trend is nearly the same. The north Pacific ALB recruitment (**Figure 2b**) also follows a low frequency long-term pattern increasing from the 1950s to the mid-1960s, declining slightly through the 1970s, then continuing to increase from the early 1980s through the 1990s. The detrended recruitment series is shown in **Figure 2c**. The linear regression of the detrended series (**Figure 2d**) does not indicate a significant relationship ($p=0.41$).

4.1.c. North Atlantic Albacore

The trend fitted to the NAO (**Figure 3a**) for the north Atlantic Albacore also exhibits a low frequency fluctuation. The north Atlantic ALB recruitment fitted trend is shown in **Figure 3b**. The detrended series of ALB recruitment are plotted in **Figure 3c**. The linear regression of the detrended series (**Figure 3d**) indicates that there is a significant relationship ($p=0.015$), with about 21% of the year-to-year variability in recruitment explained by NAO. Recruitment declines with increasing NAO index values. These results are consistent with the results shown for north Atlantic ALB in SCRS/01/33, which reports a significant and negative relationship between long-term patterns of winter NAO and recruitment for this species.

4.1.d. West Atlantic Bluefin

The data for west Atlantic BFT were re-analyzed considering separate early (1960-1973) and late (1974-1996) time periods. Although the results presented in SCRS/01/32 indicate a linear relationship between spawning stock biomass (SSB) and recruits for west Atlantic BFT (separate analyses of this relationship for early and late periods each show a weaker relationship than when the data are pooled together (**Figure 4a**)). About 26% of the variability in recruits is explained by SSB for the period 1960-1973, a period for which recruitment and SSB estimates tend to be higher, and about 20% of the variability in recruits is explained by SSB for the period 1974-1996. Similarly, the apparent relationship between NAO and recruits (**Figure 4b**) disappears completely when the two time periods are analyzed separately (1960-1973 and 1974-1996). This would suggest that all of the apparent relationship between NAO and recruits is the result of changes over the long-term trend. In fact this can be seen when the detrended NAO and recruitment series (**Figure 4c**) are analyzed. The linear regression of the detrended series (**Figure 4d**) indicates that none of the year-to-year variability in recruitment can be explained by NAO.

4.1.e. Superposed epoch analysis

The SEA comparison of extreme NAO events to recruitment levels was conducted for each of these stocks (Pacific BFT, north Pacific ALB, west Atlantic BFT, and north Atlantic ALB) and was attempted for north Atlantic swordfish. However, the CPUE time series for swordfish was already smooth and did not provide sufficient contrast to permit an analysis.

No significant relationships were found with extreme high NAO events. It was noted that the extreme high NAO events occurred toward the end of the time series. For north Atlantic ALB, this corresponded with a period in which the variability in recruitment estimates is low and for which there are concerns about the accuracy of these recruitment estimates (see 2000 ALB detailed report). These factors may have inhibited the ability to detect relationships between ALB recruitment and the high NAO events. Only two significant relationships were found with low NAO events (those for west Atlantic BFT and for north Atlantic ALB). However, for west Atlantic BFT, there were factors that may call into question the conclusion of significance. The majority of the key event years fell adjacent to each other early in the time period. Therefore, the key event years in some cases were also components of the adjacent year sample, a situation which likely diminishes the robustness of the SEA. Additionally, a significant relationship was only found when the key event years were compared to adjacent prior years. Analyses for west Atlantic BFT incorporating adjacent years following the key events did not show significance. In contrast, the results for north Atlantic ALB showed significance in all cases.

4.1.f. Survival ratio

It was suggested during discussion that, if an underlying relationship between SSB and egg production is assumed, then a better measure (rather than nominal recruitment levels) of potential effects of environmental factors might be the survival ratio, recruits/SSB. Under this hypothesis, a greater or lesser proportion of the spawn would survive to recruitment due to the environmental influence.

In this case, the comparisons were made between west Atlantic BFT and the NAO_{year+1} values, as this was the NAO indexing the first winter for the juveniles prior to recruitment to the fishery. The winter NAO_{year+1} values explained about 13% of the variability in the recruitment (**Figure 5a**), but the detrended series did not show a relationship (**Figure 5b**). These analyses were repeated using recruits/SSB instead of recruits. NAO_{year+1} was not significantly related to the survival ratio (**Figure 5c**). There was a relationship between the detrended NAO_{year+1} and survival ratio series (**Figure 5d**), but it only explains about 5% of the variability in the detrended survival ratio.

4.2 Patterns of recruitment variability in Atlantic tuna stocks from an investigation of the catches and/or CPUE time series

As planned in the tentative agenda, the Workshop made a first attempt to investigate the patterns of recruitment variability by computing and comparing the coefficient of variation (CV) and autocorrelation of the catches at ages 0, 1 and 2. The interest of such an approach is to compare various stocks, gears and areas (an exercise that is rarely done), but it must be stressed that catches-at-age (for ages 0, 1 and 2) always integrate two kinds of information: one coming from fishing activity (variations in fishing strategy, such as changes in targeting, fishing effort, discard practices and underreporting) and one from population dynamics (variations in year-class strength). Therefore, this analysis must be seen as a preliminary approach.

A selection of the species/gears/area was done on the basis of the knowledge of the fishery biologists present at the Workshop. Finally, six stocks were retained for analysis: ALB from the Spanish bait boat (BB) and trolls (TR) operating in the Bay of Biscay; BFT from the French and Spanish BB operating in the Bay of Biscay; SWO from the Spanish and US long liners (LL) operating in the North Atlantic; and, YFT, BET and SKJ from the purse seiners (PS). Juvenile catches predominantly come from the Gulf of Guinea for YFT and BET, and from the tropical Atlantic for SKJ. The Workshop performed the analyses on both raw and detrended data (considering that a linear increase in catches could be primarily attributed to changes in effort). For PS, only the 1980-1998 period was considered in order to avoid inconsistencies in the data base before and after 1980.

Figure 6 shows the CV of the different catch-at-age series of the six stocks. On both raw and de-trended data, YFT, BET, ALB and SWO display rather low CVs (between 40% and 60%) compared to SKJ and BFT (CVs of 80% to 140%). Considering seasonal catches of YFT and SKJ leads to the same conclusion: the CV of SKJ is about double that for YFT (**Figure 7**). It is further interesting to note that the CVs of a given species are consistent over the 4 quarters (except for YFT age 0 in quarters 1 and 2, but these CVs

must be interpreted with caution, since these fishes are poorly recruited in the fisheries). Further investigation is needed to interpret these differences in CVs between species, beginning with a more careful selection and validation of the data and a more extensive dataset. It was also suggested to combine, within a single analysis or model, the stocks for which exploitation is suspected to be related to each other. This could allow to test whether changes in targeting from one species to another could be environmentally driven. A related remark made at the Workshop also pointed out that the highest catches of age1 ALB in the Bay of Biscay after 1983 seem to match recruitment of anchovy with one year lag.

The autocorrelation (AR) of BET and, secondarily that of YFT, reflects cyclic variations as does the AR of total PS effort (**Figure 8**). In light of the dynamics of these fisheries, it is very likely that both be related. AR of SKJ, ALB and French BFT BB mainly display white noise, while the last two (BFT Spanish BB and SWO Spanish LL) show some autocorrelation at different lags. However, this pattern disappears with the detrended times series. Finally, it appears that most of the AR patterns display white noise, when what is suspected to be related to effort (i.e., the linear increase in the catches) is removed. If these time series of catches of ages 0, 1 and 2 can capture some of the dynamics of the recruitment, these results would indicate that variations in recruitment are not autocorrelated. However, this also needs further investigation (which could be done within an informal meeting gathering a few scientists,; see Section 5).

4.3 Investigating, through simulation modelling, the effects of variable recruitment on stock size and yields as well as its possible implications on a standard stock assessment procedure

A simulation model, based on North Atlantic albacore, was constructed during the meeting to investigate whether standard stock assessment methods could recover environmentally driven patterns in recruitment.

The model was based upon the North Atlantic albacore model developed by Kell et al (in press) and consisted of two main components.

- 1 *True system*: Simulated population in which the population parameters are known.
- 2 *Perceived system*: Stock assessment that provides estimates of the population parameters.

Total catch at age and catch and effort data are sampled from the simulated population and used within a tuned virtual population analysis to provide estimates of numbers and fishing mortality at age.

In the true system the biological parameters (natural mortality, maturity and weights at age) were deterministic and the true values were known to the stock assessment. The fishery was modeled by four fishing fleets (bait boat, long line, troll and other) with constant selection patterns, these fleets were also used for tuning the VPA. Catch was generated by assuming that the effort exerted by a fleet in any particular year did not vary. Therefore, catch varied depending on year class strength.

The model was based upon the classical population model used in much of fisheries science

$$N_{age+1} = N_{age-1,t} e^{-M-F}$$

Catch-at-age is derived from the catch equation:

$$Catch_{fleet,age,year} = N_{age,year} \frac{F_{fleet,age,year}}{F_{age,year} + M_{age,year}} (1 - \exp(-F_{age,year} - M_{age,year}))$$

However to admit uncertainty in the dynamic process, an additional term H was included:

$$N_{age+1} = N_{age-1,t} e^{-M-F+H}$$

where $H \sim N(0, j^2)$ corresponds to unspecified stochastic processes (examples of which are variations in natural mortality, stock mixing and or non-systematic error in recording of catch; $\phi = 0.2$).

The stock recruitment relationship was modeled by the Beverton and Holt functional form i.e.

$$R_t = \frac{1}{a + \frac{b}{SSB_{t-RecruitAge}}}$$

Stochastic recruitment was admitted as a log normal random variable ,

$$R_t = \frac{1}{a + \frac{b}{SSB_{t-RecruitAge}}} e^v$$

where

$$v \sim N(0, f^2) \quad \text{for purely random recruitment, and}$$

$$v \sim N\left(0, \left(\frac{f}{2}\right)^2\right) + e \quad \text{for NAO-driven recruitment.}$$

(ϵ is a time series that corresponds to the NAO $\times -1$ adjusted to have a CV of. 15%). The variation in recruitment is therefore 30% in both cases, however, in the latter case the variation of recruitment in any year is only 15%.

H and $\mathbf{V}$ were modeled as random variables (i.e. variables that assume different values in identical experiments) and their values were obtained via Monte Carlo simulation. In this way, confidence distributions can be obtained for statistics of interest.

The catch and effort series generated in the simulated system were then used in the stock assessment within a virtual population analysis to reconstruct the stock history.

The simulation was run with two factors with two levels each, comprising 4 experiments in total: Recruitment was either driven by the NAO or not, and the NAO was either used to tune the VPA or not. This experimental design tests the benefit of including the NAO index in the assessment process even when its relationship to recruitment is spurious.

When no noise is introduced in Z or in the expected recruitment, and the time series of recruits is given by the NAO, then the VPA is able to recreate the stock history, as can be seen in **Figure 9** (the true and estimated time series coincide and cannot be distinguished from each other), since the catch at age and natural mortality are known perfectly. This is regardless of whether the VPA is tuned or not to the NAO. The only difference between the true population and the perception gained via VPA is in the most recent period where the VPA has not yet converged.

Since the stock assessment can estimate the actual recruitment, then the correlation between the NAO and NAO-driven recruitment is almost perfect. **Figure 10** shows, for a deterministic run of the model recruitment, detrended recruitment and the ratio of recruitment to SSB plotted against the NAO.

When noise is introduced into the model in the form of stochastic mortality (e.g. error in the catch, stock mixing or changes in predation) and recruitment variability, then the stock assessment is no longer able to recreate the stock history perfectly. **Figure 11** shows one stochastic realization of the model. For this example, the level of biomass is underestimated and, while the estimated recruitment no longer exactly matches the true recruitment, there is still a significant correlation between the two. It is worth noting that the true and the estimated stock recruitment relationships are quite different. The true and estimated stock recruitment relationships were both of the Beverton and Holt functional form. Since the range of recruitment and SSB do not allow for the estimation of the decline in recruitment as SSB declines, the perceived form of the stock recruitment relationship equates to the geometric mean. This has implications for estimates of both short term and long-term recruitments, and hence the productivity of the stock. It can be seen from **Figure 12** that the correlation between recruitment and the NAO (when the NAO is driving recruitment) is maintained.

The simulations are summarized in **Figure 13**. It can be seen that the assessment is able to get the mean level right but there is considerable uncertainty in the estimates; this is the case whether recruitment is driven by the NAO and whether it is included in the assessment (spuriously or not). It appears that including the NAO in the assessment does not improve our ability to estimate biomass but neither does it negatively affect it. The second column contrasts the distribution of the ratio of the perceived SSB to BMSY against the same quantity for the true value. It can be seen that the ratio of current SSB to BMSY is more variable than is the true case and that the depletion of the stock is overestimated. The main difference between the true population and the perception is in the estimation of the stock recruitment relationship. Since the stock-recruit pairs estimated by the assessment do not allow the curvature in the stock recruitment relationship to be estimated, then the productivity of the stock is underestimated. The third column shows the distribution of the CVs of both actual and perceived recruitment (over the entire time series). While the true recruitment had a CV of 30%, the perception of uncertainty in recruitment is much higher. This is because of the high uncertainty in the recruitment, a result of the accumulation of errors as the VPA back-calculates a cohort's history.

The fourth column shows the correlation between the estimated recruitment and the NAO for the raw recruitment, the detrended recruitment and the ratio of recruitment to SSB. This shows that, where recruitment is driven by the NAO, the stock assessment is able to capture it. Also, when recruitment is not driven by the NAO, then spurious correlations were not found.

In this study, the effect of including information about the NAO in the VPA appears to be neutral in our perception of the stock history. However, it might be expected that, by including a recruitment index, the precision of our estimates of recruitment for the most recent year-classes (i.e. those in the unconverged part of the VPA) might be improved. This would have implications for short-term projections and hence setting of quotas. Including the NAO only improved estimates of the recent year classes if the NAO was given equal weighting to the other indices. The NAO index for the recruiting age class had a higher variance than the other indices (since the recruit estimates include the error at the older ages in the cohorts due to the backward VPA calculations) and so inverse-variance weighting effectively means that information about recent recruitments are discarded. By giving the NAO an increased weight in the VPA tuning this might be corrected, but more work needs to be done to evaluate the consequences.

The Workshop recognized that these results are very dependent on the assumptions behind the model and that more detailed investigations should be undertaken before any general conclusions can be drawn. For example it is likely that the life-history type of the stock and the lengths of time series available for analysis will have an influence on our ability to understand the dynamics. Nevertheless, the Workshop thought that simulation studies are a useful tool to allow the dynamics of stocks and our ability to understand them to be explored.

From these simulations it can be concluded that if there is no noise in the catch data or the stock dynamics then the standard assessment process is able to capture the dynamics. If recruitment is driven by the environment, then our historical perception of the stock is not changed by including information about recruitment in the VPA. There might be some advantage in the short-term to include such information but

the biggest uncertainty is in our perception of the expected level of future recruitment, and not in the deviation about this level.

5 General Discussion of the Implementation of Environmental Considerations within ICCAT Stock Assessment Procedures

The discussion under this item proceeded on two levels: 1) suggestions on how to develop scientific investigations about biological relationships with environmental factors; and how to utilize environmental data in the assessments, themselves; and 2) how SCRS activities might be organized such that (1) could be facilitated.

Typically, environmental factors impact an assessment through environmental effects on the stock, itself, through recruitment, migration, reproductive behavior and other biological parameters. Environmental factors also affect our *perception* of the status of the stock due to environmental effects on our measurements (usually modulated through CPUE measurements). Additionally, the assessment results (and the affect of environmental factors on those results) are utilized for two basic purposes: to provide an historical perspective on the dynamics and productivity of the stock; and to provide a basis for future implications, such as future production, TACs or other management activities. In developing scientific investigations, one should be aware of the juxtaposition of environmental factors with these four criteria.

When developing methods to integrate environmental factors into an assessment, a first step might be to identify potential factors for each species (e.g. temperature affects, wind stress) and the hypothesized relationships that these factors have with biological characteristics of the species. Then one should note the possible biases that might arise if these factors are not integrated into an assessment and, conversely, what biases might arise if they *are* included. Both aspects are important. Indeed, in this meeting, an initial analysis of this was made for northern albacore and the NAO (see Section 4.3). One needs to look at the consequences of the bias, as well, in terms of both the estimation of stock dynamics and of the management advice. To do the latter, it may be required to integrate the assessment model into the evaluation of the environmental data, such as in SCRS/01/39.

Additionally, one should be aware of the basic data collection and how they are affected by fisheries regulations and, thus, affect correlations of stock assessment variables with environmental indices. Examples are implementation of minimum sizes and allowable catch quotas.

When evaluating environmental effects it is important to note the difference between random variation and trends in environmental variability and how they affect an assessment. Random variation in an environmental index may affect the precision of the assessment, but not necessarily the accuracy. Whereas, trends (or shifts) in the index may affect accuracy, as well as precision, and this often has more important management implications. To improve the ability to detect trends and shift, one should continually attempt to incorporate long-term data bases as much as possible. Indeed, the subject of the Methods Working Group is to develop methods to allow longer term data to be used.

While the above suggestions for scientific investigations are useful, it is recognized that it is difficult to integrate all of these activities into the way assessments are conducted within the SCRS structure. There usually is not enough time to conduct these kind of exploratory analyses within an assessment working group meeting. Additionally, not all of the expertise needed to fully explore environmental data sets lies within the scientists normally attending SCRS and its working groups. Opportunities to bring in multidisciplinary expertise and encourage investigation of environmental data sets should be explored. Several suggestions to achieve this goal are listed below:

- a) have Rapporteurs of Species Working Groups define important environmental analyses which can be done prior to the assessment in their Work Plan. These analyses could be useful in determining potential biases, the importance of those biases and caveats in the management advice; these results should be included in detailed reports of a Species Working Group;

- b) encourage the collaboration of scientists through informal meetings to conduct the analyses in a) through establishing space at the Secretariat for Visiting Scientists;
- c) develop biostatistical data bases *prior* to analyses for use by the informal collaborators. This will require additional assistance of the Secretariat;
- d) consider periodic intersessional meetings of the Sub-Committee on the Environment with much shorter (and focused) plenary meetings of the Sub-Committee;
- e) encourage communication with other multidisciplinary scientists and their organizations to facilitate implementation of new data sets and new ideas; and
- f) hold a Symposium on environmental effects as previously suggested, but to delay it until 2004 or later to allow more fully-developed scientific investigations.

These suggestions may improve the ability of the SCRS to integrate environmental factors into the assessments and to improve the usefulness of the assessments, themselves.

6 Other matters

The Workshop recognized the difficulty to have deep discussions during the SCRS plenary sessions of the Sub-Committee on the Environment on the documents dealing with environment subjects. It would be easier to work in a smaller group; the technical and detailed discussions should take place during working groups.

Periodically, working groups should be established for discussing specific subjects in inter-sessional meetings. Because of the great number of assessment meetings in 2002, the next Working group of Sub-Committee on Environment could meet in 2003 and an international Symposium should be organized subsequently (in 2004 or 2005).

A working group could meet during the SCRS, but outside of the plenary, to prepare a general report to be presented to the SCRS plenary and to define the topics to be discussed at the following intersessional meeting of the Sub-Committee on Environment. The presentation of scientific papers during the Sub Committee meetings at the SCRS should be replaced by a summary, prepared by the Convener of the papers related primarily with environment subjects.

There was a general agreement on the need of the presence of experts on other disciplines (oceanography, environment,) during the meetings, but the Workshop recognized the difficulty of such participation of non-ICCAT scientists. However, due the importance of environmental data for the work of the Sub Committee, oceanographic data should be defined by the species working groups, prepared in advance of the meetings and presented in a format accessible for non-specialists in order to be integrated with fisheries data.

Some concerns were expressed about the very low catches of various tuna species in Azores and Madeira since a few years ago. This situation could be related with environmental conditions (e.g. global warming) or with over-fishing. Some changes in the geographical distribution of several tuna species in the North Atlantic have also been noticed. This topic was considered as a relevant starting point to define a case study for the next working group on Environment, since it concerns several species of chief interest to ICCAT. This could be analyzed through a detailed study of the environmental conditions and the tuna fisheries in the NE Atlantic archipelagos (Canary Islands, Madeira and Azores) where important changes in the availability of tunas and in the catch composition have been observed in recent years. One advantage of these island fisheries is that they constitute a fixed point of observation where the tuna fleets have a restricted range of operation and are very dependent on the local environmental conditions and the availability of tuna in the area.

7 Recommendations

- 1 - Scientific sampling programs that collect larvae should also collect *in situ* environmental observations.
- 2 - Scientists should attempt to define and quantify suitable recruitment habitat for the various species of direct concern to ICCAT.
- 3 - Studies of trends and anomalies of environmental time series should be conducted for the areas in which larvae are found.
- 4 - For stocks having multiple distinct spawning areas, comparative analyses of environmental time series in the various areas should be carried out.
- 5 - Changes in the capacity of spawning due to variability in condition factors should be examined.
- 6 - Define environmental analyses that can be done prior to the assessments in the Work Plans for the various species groups.
- 7 - Establish space at the Secretariat to host visiting scientists.
- 8 - Develop biostatistical data bases prior to analyses for use by the informal collaborators.
- 9 - Consider periodic intersessional meetings of the Sub-Committee on the Environment with shorter and more focused plenary meetings of the Sub-Committee;
- 10 - Encourage communication with other multidisciplinary scientists and their organizations.
- 11 - Hold the next inter-sessional working group of the Sub-Committee on Environment in 2003, followed by an international symposium 1 or 2 years later.

8 Adoption of the report and closure of the meeting

The Workshop adopted the report and asked the Secretariat that it be translated and made available as early as possible. The meeting chairman thanked all participants for their hard work, and the participants thanked the chairman for his efficient chairmanship. The meeting was adjourned.

References

- Bartlett. 1946. On the theoretical specification of sampling properties of autocorrelated time series. J. R. Stat. Soc. Suppl. 8; pp. 24-411.
- Kell L.T., D.J. Die, V.R. Restrepo, J.M. Fromentin, V. Ortiz de Zarate and P. Pallares. 2001. An Evaluation Of Management Strategies For Atlantic Tuna Stocks. Ciencia Marina.
- Legendre and Legendre. 1998. Numerical ecology. S.E. Elsevier. Amsterdam.
- Myers, R.A., G. Mertz and C.A. Bishop. 1993. Cod spawning in relation to physical and biological cycles of the northern North-west Atlantic. Fish. Oceanogr. 2:3/4; pp. 154-165.
- Peres-Neto, P.R. 1999. How many statistical tests are too many? The problem of conducting multiple ecological inferences revisited. Marine Ecology Progress Series. 176; pp. 303-306.
- Prager, M. and J. Hoenig. 1989. Superposed epoch analysis: a randomization test of environmental effects on recruitment with application to Chub Mackerel. Trans. Am. Fish. Soc. 118; pp. 608-618.
- Shepherd J.G. and Nicholson D. 1991. Multiplicative modeling of catch-at-age data and its application to catch forecasts. ICES J. Mar. Sci., 47: 284-294.

ATELIER ICCAT SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE RECRUTEMENT DES THONIDÉS

(Madrid, Espagne, 7-12 mai 2001)

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

L'atelier s'est déroulé au Secrétariat de l'ICCAT. Les débats ont été ouverts par le président, le D^r Jean-Marc Fromentin. Le D^r Fromentin et le D^r Joseph E. Powers, président du SCRS, ont souhaité la bienvenue aux participants (voir l'**Appendice 1**) qui se sont présentés eux-mêmes.

L'ordre du jour provisoire (**Appendice 2**) qui avait été diffusé à l'avance a été modifié, puis adopté. Les scientifiques suivants ont assuré la rédaction des différents chapitres du rapport:

Points 1, 2, 7 et 8	Victor R. Restrepo
Point 3	José Ortiz de Urbina
Point 4.1	Craig A. Brown
Point 4.2	Jean-Marc Fromentin
Point 4.3	Laurence T. Kell et Jean-Marc Fromentin
Point 5	Joseph E. Powers
Point 6	João Gil Pereira et Maria Lidia de Gouveia

2 Présentation et discussion des travaux

La liste des travaux remis à la réunion figure en **Appendice 3**. Certains des travaux présentés étaient des études de cas sur la relation entre l'environnement et le recrutement, alors que d'autres avaient une portée plus générale et traitaient, du moins en partie, des avis sur la façon de mener ce type d'analyse. Le présent chapitre résume brièvement les délibérations qui se sont déroulées sur les travaux; les lecteurs sont priés de consulter les travaux proprement dits pour plus de détails sur leur contenu. L'**Appendice 4** récapitule quelques directives de caractère général. Le chapitre 4.1 aborde d'autres analyses effectuées lors de l'atelier sur les mêmes jeux de données qui avaient servi dans quelques-uns de ces travaux.

Le document SCRS/01/035 examinait la corrélation entre le recrutement du thon rouge du Pacifique (estimé par VPA) et trois indices de l'environnement. Le recrutement et la variable environnementale étudiés avaient tous deux été lissés au moyen d'une moyenne mobile, avant de calculer le coefficient de corrélation. L'étude a permis d'observer que la plus forte corrélation du recrutement du thon rouge du Pacifique était avec l'indice nord-pacifique (North Pacific Index, NPI, qui est un indice de la Dépression des Aléoutiennes), sans décalage. Les participants ont commenté qu'en général la zone couverte par le calcul du NPI ne coïncidait pas avec celle de la distribution larvaire du thon rouge du Pacifique, ce qui rendait plus ardue la formulation d'une hypothèse quant à une relation directe.

Le document SCRS/01/037 examinait la corrélation entre le recrutement du germon du Pacifique nord (estimé par VPA) et trois indices de l'environnement. Les coefficients de corrélation avaient été calculés avant et après le lissage des variables par une moyenne mobile. La plus forte corrélation décelée dans l'étude était entre le recrutement et le NPI, avec un décalage de 3-4 ans. Les participants ont noté que les coefficients de corrélation estimés étaient généralement plus élevés pour les séries lissées, comme on s'y serait attendu. Les participants ont recommandé par ailleurs, qu'en cas de lissage, il serait utile de rechercher

des méthodes alternatives, telles que la méthode “lowess” ou le filtrage de Kalman. Ils ont également souligné l’importance de définir les processus biologiques probables dans la relation postulée, ce qui pourrait à son tour aider à définir le traitement à appliquer aux données.

Le document SCRS/01/032 examinait la relation entre le recrutement du thon rouge de l’Atlantique ouest (estimé par VPA) et: a) le taux de survie (R/SSB, également estimé par VPA et IPA); b) l’indice de l’oscillation nord-atlantique (North Atlantic Oscillation, NAO). Le document trouvait une corrélation plus forte entre le recrutement et la SSB qu’entre le recrutement et le NAO, et en concluait que l’on arrivait à la meilleure puissance de prédiction en utilisant la première relation tout en tenant compte de l’auto-corrélation. Les participants ont noté que la nature même des séries temporelles de recrutement (caractérisées par un niveau élevé avec une variabilité forte pendant la première moitié, et faible pendant la seconde moitié) rendait ardue l’interprétation des résultats des études de corrélation du fait que la tendance et la variabilité du recrutement pourraient être affectées par les changements de la qualité des données qui sont entrées dans les évaluations de stock.

Le document SCRS/01/033 actualisait les analyses antérieures de 1995 sur la relation entre le recrutement de trois stocks (thon rouge est-atlantique, thon rouge ouest-atlantique, germon nord-atlantique) estimé par VPA et l’indice NAO d’hiver. L’étude trouvait des corrélations significatives entre l’indice NAO et le recrutement du thon rouge est-atlantique (corrélation positive avec décalage de 1an expliquant 49% de la variabilité) et du germon nord-atlantique (corrélation négative avec décalage de 0 an expliquant 52 % de la variabilité), mais aucune relation significative chez le thon rouge ouest-atlantique.

Le document SCRS/01/036 recherchait les processus biologiques qui surviendraient probablement pour qu’il y ait une relation non-spécieuse entre le recrutement et la NAO, et étudiait ensuite la relation entre le recrutement du thon rouge est-atlantique (d’après la VPA) et la NAO). L’étude a détecté que la corrélation entre les deux variables disparaissait si les séries étaient détendancialisées, ce qui indiquerait qu’il n’y aurait pas de rapport de cause à effet entre les deux sur une base annuelle. Par ailleurs, un test non-paramétrique de randomisation n’a révélé aucune connexion non-linéaire entre les deux variables. Le document avance que les données sur le recrutement seraient peut-être inadéquates pour tester la relation, si celle-ci existe. Les participants ont admis que les estimations du recrutement, qui découlaient d’une série de moyennes et de calculs régressifs, pouvaient devenir inadéquates à cette fin. Les participants ont également abordé l’éventualité, mentionnée dans le document, de ce que le NAO puisse être lié à d’autres variables, telles que la capturabilité ou la distribution spatiale du stock. Il a été souligné à cet égard qu’il serait important de faire coïncider les échelles temporelles et spatiales des variables sous étude avant d’effectuer des analyses de corrélation.

Le document SCRS/01/038 faisait la synthèse d’une partie du travail effectué sur la relation entre l’espadon nord-atlantique et le NAO, en abordant des aspects généraux qu’il conviendrait de prendre en compte dans les études futures. Le document insistait sur l’importance de bien appréhender les données sur la pêche et sur l’environnement qui sont utilisées avant de tirer des conclusions sur la significativité biologique des corrélations (ou de leur absence). Le document signale également que, bien que la plupart des études aient mis l’accent sur le recrutement, le NAO pourrait affecter d’autres variables, telles que le produit de la reproduction du stock. Il fait remarquer par ailleurs que la plupart des données sur la pêche qui sont utilisées sont limitées en termes des échelles temporelles qui sont typiquement en jeu dans les cycles environnementaux; ainsi, il est malaisé de tirer des conclusions solides d’études qui ne contemplent qu’une fenêtre relativement petite de données sur l’histoire d’un stock. Les participants ont décidé qu’il était de la plus haute importance de bien appréhender les données sur la pêche et sur l’environnement qui sont utilisées dans les études de corrélation. Il a été suggéré que ceux qui mènent les analyses tentent de définir les indices à utiliser dans chaque étude particulière, de façon à ce que la réaction obtenue et les variables explicatives coïncident dans l’espace et dans le temps avec l’hypothèse qui est testée.

Le document SCRS/01/034 expliquait comment on peut parfois observer dans les variables du stock, telles que la SSB ou la capacité de pêche, des cycles à long terme qui sont simplement dûs à une variabilité à haute fréquence (“bruit blanc”) dans le recrutement; ces effets s’accroissent potentiellement avec le nombre de classes d’âge dans le stock. Par conséquent, de simples études de corrélation peuvent s’avérer

incapables d'élucider l'incidence d'une variable environnementale sur des stocks aussi volumineux. Les participants ont noté que le même effet pourrait être produit par une modification de la mortalité.

Le document SCRS/01/039 examinait la possibilité de ce que l'albacore atlantique et ses pêcheries puissent être affectés par le NAO, en utilisant un modèle dynamique de la biomasse qui permettait d'estimer les tendances de la populations et la dynamique des flottilles, et partant d'associer la capturabilité de diverses flottilles au NAO. Les résultats laissaient entrevoir qu'il n'y avait pas de preuves solides d'une incidence du NAO sur la capturabilité, du moins à l'échelle spatio-temporelle associée aux pêcheries dans leur ensemble (bien qu'il ait peut-être une influence plus localisée sur la capturabilité). Les participants ont noté que l'on s'attendrait à ce que certains indices associés à des pêcheries qui se déroulent en bordure la distribution de l'espèce montrent de plus fortes fluctuations dans le temps, et qu'ils coïncideraient par pur hasard avec les changements du NAO.

3 Débat général sur les effets de l'environnement sur le recrutement des thons

L'exposé sur ce point de l'ordre du jour apportait une théorie générale sur plusieurs facteurs environnementaux qui affectent le recrutement: i) avant la période critique (par exemple, la condition des géniteurs); ii) pendant la période critique (c'est-à-dire quelques jours après épuisement du vitellus), tels qu'une nourriture limitée, la dispersion d'oeufs et de larves par les vents et les courants, l'incidence de la température, etc.; et iii) après la période critique, tels qu'une nourriture limitée, la température, la prédation, le cannibalisme et la rivalité pour la survie.

Il a été admis que cette théorie générique avait été élaborée pour les petites espèces pélagiques et démersales. De ce fait, vu le comportement des grands pélagiques, elle pouvait s'avérer d'un intérêt limité pour celles-ci, par exemple du fait des amples circuits migratoires et de la croissance rapide de ces espèces (il est probable que certains des processus biologiques "traditionnels" ne soient pas pertinents chez les thons, lesquels présentent probablement des processus spécifiques). Il a été admis, toutefois, que plusieurs facteurs pourraient peut-être expliquer la variabilité du recrutement chez les grands pélagiques.

Quelques résultats ont été présentés sur la conférence AGU sur le NAO et ses associations avec des facteurs océanographiques tels que la salinité, la température, la densité, etc. qui contribueraient à justifier l'hypothèse de l'existence de "zones de rétention" et d'"habitats adéquats" affectant la variabilité larvaire. Nombre de facteurs océanographiques liés au NAO (par exemple, l'upwelling, la turbulence, le transport, la force du vent, la température, l'indice du Gulf Stream) peuvent affecter le niveau de recrutement du fait de changements du comportement reproducteur des adultes et/ou de la mortalité des pré-adultes.

Il a été admis, pendant les délibérations, que les indices environnementaux à grande échelle (NAO ou autres) ne constituent que de simples indices approchants, mais qu'ils peuvent permettre une vue d'ensemble de la variabilité de certains paramètres atmosphériques-océanographiques. Cependant, l'incidence d'un phénomène à grande échelle tel que la NAO diffère selon les zones géographiques, comme le font les principaux processus biologiques d'une espèce donnée. Dans le contexte des grands pélagiques, il faudrait prendre en compte les caractéristiques biologiques des différentes espèces et les aspects spatio-temporels des paramètres océanographiques dont on suppose qu'ils affectent la variabilité du recrutement, de façon à définir les zones qui peuvent être considérées comme des "habitats adéquats" ou des zones susceptibles de permettre aux pré-recrues et/ou au frai de se développer avec succès.

Du point de vue de l'océanographie physique, il est généralement admis que les indices NAO ou NPI signalent des phénomènes à grande échelle, tels que les courants ou l'intensité des vents d'ouest. Nous considérons donc l'échelle des signes à long terme de façon à effectuer une comparaison avec l'environnement physique, comme par exemple le NAO ou le NPI. En outre, les échelles temporelles des processus océaniques sont bien plus amples que celles de l'atmosphère. Ceci suggère qu'il faut lisser les séries temporelles au moyen de quelque filtre à basse fréquence. Par ailleurs, il n'est pas nécessaire de lisser une série temporelle du fait qu'elle montre un pic du recrutement qui comprend les effets de phénomènes plus ou moins locaux. De cette façon, les séries temporelles que nous devrions utiliser changent du fait de retenir différentes échelles temporelles ou spatiales.

Les participants ont décidé qu'il serait peut-être utile de tenter de définir et de quantifier les exigences en termes d'un habitat adéquat des divers espèces qui intéressent directement l'ICCAT. Il faudrait définir l'habitat adéquat d'après les variables environnementales facilement accessibles (par exemple, la salinité, la température, l'oxygène dissous) selon les déductions tirées des observations sur le terrain et/ou de l'expérience directe. Par ailleurs, il faudrait tenir compte d'autres variables océanographiques-météorologiques (comme celles qui sont mentionnées ci-dessus) dans l'étude de l'impact de l'environnement sur le recrutement.

Il a également été proposé d'analyser les facteurs environnementaux disponibles dans le cadre des zones de frai et des zones trophiques des recrues et des petits juvéniles. Ceci permettrait de détecter, par exemple, les facteurs qui montrent la plus forte variabilité, et aussi où et quand se produisent les principales anomalies. Ce type d'analyse pourrait ainsi fournir quelque orientation pour l'étude de la relation entre l'environnement atlantique et le recrutement des thons.

En outre, quelques informations ont été avancées sur la relation entre les facteurs environnementaux et le comportement du thon rouge reproducteur dans l'ouest de la Méditerranée. Cette information comprenait des observations sur la variabilité pendant le passage des thons géniteurs devant les madragues atlantiques à proximité du Déroit de Gibraltar, le fait que les thons qui frayaient pesaient considérablement moins que ce qui est normal à une taille donnée, le fait que l'indice gonado-somatique des thons ayant déjà frayé (de retour) était plus élevé que ce qui avait été observé les années antérieures, ainsi que le fait que les flottilles pêchaient les géniteurs plus au sud qu'auparavant. Ceci pourrait indiquer que les modifications des facteurs de condition de l'état du poisson étaient liées à une augmentation de la SST. Les participants ont admis que la condition du poisson est un facteur important pour expliquer les variations du recrutement, et il a donc été recommandé de poursuivre les recherches à ce sujet. Le modèle de Shepherd-Nicholson (1991) est un outil générique qui peut servir à tester les changements hypothétiques de la condition des géniteurs du fait de causes environnementales, en supposant que les variations des facteurs de condition de l'état du poisson peuvent être détectées d'après le poids à l'âge ($W_{a,t}$), ou bien le poids à la taille. Selon la formule du modèle linéaire généralisé, un modèle pourrait être comme suit:

$$W_{a,t} \sim f(\text{Age, Month, Year})$$

L'âge (ou la taille) pourrait être considéré comme l'"effet moyen" et le mois comme l'"effet saisonnier". L'année est la variable la plus intéressante et illustre l'"effet inter-annuel", peut-être lié à l'environnement. Shepherd & Nicholson (1991) contemplent également un "effet classe annuelle" (c'est-à-dire un terme de fonction de la densité) qui peut aussi être ajouté si les données de sorties de la VPA sont dignes de confiance.

4 Travail d'informatique et de simulation

4.1 Poursuite des tests sur la relation hypothétique entre le NAO et le recrutement des thons

Des analyses supplémentaires ont été effectuées sur les données présentées dans les documents SCRS/01/032 (BFT ouest-atlantique), SCRS/01/033 (ALB nord-atlantique), SCRS/01/035 (BFT Pacifique) et SCRS/01/037 (ALB Pacifique nord). Ces autres analyses sur la relation entre un indice climatique (NAO ou NPE) et le recrutement des thons ont été effectuées de façon à: i) tenir compte de considérations d'ordre statistique (c'est-à-dire de biais dans les degrés de significativité dûs à une auto-corrélation dans les séries temporelles, voir l'**Appendice 4**); ii) comparer la relation à différentes échelles temporelles, c'est-à-dire la tendance *versus* les fluctuations inter-annuelles; et iii) tester l'impact des phénomènes extrêmes par le biais de l'analyse des époques superposées (Prager & Honing 1989).

Deux comparaisons potentielles du NAO peuvent être faites pour une série particulière de recrutement: 1) avec le NAO d'une année donnée, qui illustre les conditions hivernales avant la ponte et est vraisemblablement lié aux conditions en vigueur jusqu'à et pendant le frai; ou 2) avec le NAO de l'année suivante ($NAO_{\text{year}+1}$) qui pourrait refléter les conditions subies par les jeunes nés dans l'année après leur éclosion. La plupart des analyses on envisagé la première comparaison, avec le NAO et le recrutement.

L'analyse des époques superposées (SEA) permet de tester l'impact des valeurs extrêmes d'un facteur extrinsèque (par exemple, le NAO ou le NPI) sur une variable biologique donnée, sans tenir compte de la contiguïté dans le temps. L'hypothèse 0 de la SEA est ici la suivante: il n'y a pas d'association entre les valeurs extrêmes (faibles ou élevées) du NAO et du NPI et l'importance des classes annuelles de thon. Les événements marquants sont définis comme des années pendant lesquelles les valeurs de l'indice NAO/NPI sont plus élevées (faibles) que la moyenne plus (moins) une déviation standard. Les années adjacentes sont définies comme les années avant et/ou après chaque année à phénomène marquant. La SEA consiste donc en une comparaison (à travers un *t-test*) des valeurs du recrutement du thon des années à phénomène marquant avec celles des années adjacentes (la significativité étant estimée par un processus Monte-Carlo de randomisation).

Les séries du NAO et du recrutement ont été détendancialisées en ajustant tout d'abord un polynôme d'ordre 3 pour chaque série. La série détendancialisée a été calculée en soustrayant la tendance prévue de chaque observation, donnant ainsi une nouvelle série qui fluctue autour d'une moyenne de 0 sans tendance. La raison d'être de la détendancialisation de chaque série était de permettre de tester les relations inter-annuelles en-dehors de l'influence des tendances à long terme.

4.1.a Thon rouge du Pacifique

Les analyses sur le thon rouge du Pacifique ont été menées en utilisant des valeurs annuelles, plutôt que la moyenne mobile employée dans le document SCRS/01/035. Ceci a permis des comparaisons avec des analyses effectuées pour d'autres stocks, se prête mieux aux tests de corrélation statistique, et aborde le concept des influences environnementales sur une base inter-annuelle, plutôt que selon les tendances à long terme. Les tendances ajustées au NPI (**Figure 1a**) et au recrutement du thon rouge du Pacifique (**Figure 1b**) reflètent les modes de basse fréquence à long terme. La tendance du NPI ajusté se situait à un niveau plus élevé pendant les années 1950 et au début des années 1970, et plus faible de la fin des années 1970 au début des années 1990. La tendance du recrutement ajusté était en baisse, d'un niveau élevé au début des années 1950 à un niveau médiocre au milieu des années 1990. Les séries détendancialisées du NPI et du recrutement du thon rouge du Pacifique sont illustrées à la **Figure 1c**. La régression linéaire des séries détendancialisées (**Figure 1d**) indique qu'environ 9% seulement de la variabilité inter-annuelle du recrutement est justifiée par le NPI, bien qu'il y ait une relation significative ($p=0.04$).

4.1.b Germon du Pacifique nord

Les analyses du germon du Pacifique nord ont également été effectuées avec des valeurs annuelles. La tendance ajustée au NPI (**Figure 2a**) du germon nord-pacifique couvre une période qui diffère légèrement de celle de la tendance illustrée à la **Figure 1a**, mais la tendance à basse fréquence est presque identique. Le recrutement du germon nord-pacifique (**Figure 2b**) suit également un mode à long terme à basse fréquence qui s'est accru des années 1950 au milieu des années 1960, a légèrement diminué pendant les années 1970, puis s'est mis à remonter à partir du début des années 1980 et pendant toutes les années 1990. La série détendancialisée de recrutement est indiquée à la **Figure 2c**. La régression linéaire des séries détendancialisées (**Figure 2d**) ne signale pas de relation significative ($p=0.41$).

4.1.c Germon de l'Atlantique nord

La tendance ajustée au NAO (**Figure 3a**) pour le germon nord-atlantique montre aussi une fluctuation de basse fréquence. La tendance ajustée du recrutement du germon nord-atlantique est illustrée à la **Figure 3b**. Les séries détendancialisées du recrutement du germon sont portées sur la **Figure 3c**. La régression linéaire des séries détendancialisées (**Figure 3d**) montre qu'il existe une relation significative ($p=0.015$), le NAO expliquant 21% environ de la variabilité inter-annuelle du recrutement. Le recrutement décroît si les valeurs de l'indice NAO augmentent. Ces résultats sont cohérents avec ceux qui sont donnés pour le germon nord-atlantique dans le document SCRS/01/033, qui fait part pour cette espèce d'une relation négative significative entre les modes à long terme du NAO d'hiver et du recrutement.

4.1.d Thon rouge de l'Atlantique ouest

Les données sur le thon rouge ouest-atlantique ont été analysées de nouveau en considérant des périodes distinctes, ancienne (1960-1973) et récente (1974-1996). Bien que les résultats présentés dans le document SCRS/01/032 montrent une relation linéaire entre la biomasse du stock reproducteur (SSB) et les recrues chez le thon rouge ouest-atlantique, l'analyse de cette relation pour chacune des périodes, ancienne et récente, montre une relation plus faible que lorsque les données sont regroupées (**Figure 4a**). Durant la période 1960-1973, période pour laquelle les estimations du recrutement et de la SSB ont tendance à être plus élevées, la SSB justifie environ 26% de la variabilité des recrues; en 1974-1996, elle explique 20% environ de la variabilité des recrues. De même, la relation apparente entre le NAO et les recrues (**Figure 4b**) disparaît totalement lorsque l'on analyse séparément les deux périodes (1960-1973 et 1974-1996). Ceci suggérerait que la relation apparente entre le NAO et les recrues serait entièrement due à des changements de la tendance à long terme. La régression linéaire des séries détendancialisées (**Figure 4d**) signale que le NAO n'explique en rien la variabilité inter-annuelle du recrutement.

4.1.e Analyse d'époques superposées

Une comparaison SEA des phénomènes marquants de la NAO et du niveau de recrutement a été faite pour chacun des stocks suivants: thon rouge du Pacifique, germon du Pacifique nord, germon de l'Atlantique nord et thon rouge de l'Atlantique ouest. Elle a également été tentée pour l'espadon de l'Atlantique nord, mais la série temporelle de CPUE de cette espèce était déjà lissée et n'offrait pas suffisamment de contrastes pour permettre l'analyse.

Aucune relation significative n'a été décelée avec les phénomènes NAO extrêmement marquants. Il a été noté que ces derniers apparaissaient vers la fin de la série temporelle. Chez le germon nord-atlantique, ceci correspond à une période qui montre une faible variabilité du recrutement, et qui suscite des inquiétudes quant à la précision de ces estimations du recrutement (voir le Rapport détaillé 2000 sur le Germon). Ces facteurs auraient inhibé la possibilité de détecter les relations entre le recrutement du germon et les phénomènes NAO marquants. Seules deux relations significatives ont été observées avec un indice NAO peu actif (celle du thon rouge ouest-atlantique et celle du germon nord-atlantique). Toutefois, pour le thon rouge ouest-atlantique, certains facteurs peuvent mettre en doute la significativité des conclusions. La plupart des années à phénomène marquant se sont suivies de façon consécutive au début de la période. Par conséquent, dans certains cas, les phénomènes marquants de certaines années étaient également des composantes de l'échantillon des années adjacentes, ce qui diminue la robustesse de la SEA. En outre, on n'a décelé une relation significative qu'en comparant les années à phénomène marquant avec celles qui les précédaient immédiatement. L'analyse du thon rouge ouest-atlantique en incorporant les années consécutives à des années à phénomène marquant n'a pas été significative. En revanche, les résultats du germon nord-atlantique ont été significatifs dans tous les cas.

4.1.f Taux de survie

Il a été suggéré pendant les débats que, si l'on postule une relation sous-jacente entre la SSB et la production d'oeufs, le taux de survie, recrues/SSB, constituerait une meilleure mesure (plutôt que le niveau nominal de recrutement) des effets potentiels des facteurs environnementaux. Dans cette hypothèse, selon l'incidence de l'environnement, une proportion plus ou moins importante du frai survivrait jusqu'au recrutement.

Dans ce cas, des comparaisons ont été faites entre le thon rouge ouest-atlantique et les valeurs du NAO_{year+1} , celui-ci étant l'indice NAO du premier hiver passé par les juvéniles avant leur recrutement dans la pêcherie. Les valeurs du NAO_{year+1} d'hiver expliquaient environ 13% de la variabilité du recrutement (**Figure 5a**), mais les séries détendancialisées ne montraient pas de relation (**Figure 5b**). Ces analyses ont été répétées en utilisant recrues/SSB au lieu des recrues. Le NAO_{year+1} n'était pas associé de façon significative au taux de survie (**Figure 5c**). Il existait une relation entre le NAO_{year+1} détendancialisé et les séries du taux de survie (**Figure 5d**), mais ceci n'expliquait qu'à peu près 5% de la variabilité du taux détendancialisé de survie.

4.2 Modes de la variabilité du recrutement des stocks atlantiques de thon d'après l'examen des séries temporelles de capture et/ou de CPUE

Comme il était prévu dans l'ordre du jour provisoire, les participants ont fait une première tentative de recherche des modes de la variabilité du recrutement, en calculant et en comparant le coefficient de variation (CV) et l'auto-corrélation des prises aux âges 0, 1 et 2. L'intérêt de cette approche est qu'elle permet de comparer divers stocks, engins et zones (un exercice qui n'est pas souvent tenté), mais il faut insister sur le fait que les prises à l'âge (pour les âges 0, 1 et 2) comprennent toujours deux sortes d'information: l'une qui provient de l'activité de pêche (les variations des stratégies de pêche, comme les changements d'espèce-cible, l'effort, les pratiques de rejet et la sous-déclaration), et l'autre de la dynamique des populations (variations de l'importance de la classe annuelle). Cette analyse doit donc être considérée comme une première ébauche.

Les espèces/engins/zones ont été retenus d'après les connaissances des halieutes qui assistaient à l'atelier. Six stocks ont finalement été retenus pour analyse: germon (ALB), canneurs (BB) et ligneurs (TR) espagnols, golfe de Gascogne; thon rouge (BFT), canneurs (BB) français et espagnols, golfe de Gascogne; espadon (SWO), palangriers (LL) espagnols et américains, Atlantique nord; et albacore (YFT), thon obèse (BET) et listao (SKJ), senneurs (PS). Les prises de juvéniles provenaient pour la plupart du golfe de Guinée pour l'albacore et le thon obèse, et de l'Atlantique tropical pour le listao. Les participants ont effectué les analyses sur les données brutes comme les données détendancialisées (en considérant qu'une augmentation linéaire des captures pouvait être attribuée en premier lieu à des changements de l'effort). Pour les senneurs, seule la période 1980-1998 a été considérée, de façon à éviter le manque de correspondance des données pour les années avant et après 1980.

La **Figure 6** montre le CV des différentes séries de prise par âge des six stocks. Avec les données brutes comme les données détendancialisées, YFT, BET, ALB et SWO montrent des CV assez faibles (40% à 60%) par rapport à ceux de SKJ et BFT (80% à 140%). L'examen des prises saisonnières de YFT et SKJ mène à la même conclusion: le CV de SKJ est à peu près le double de celui de YFT (**Figure 7**). Il est également intéressant de noter que les CV d'une espèce donnée sont cohérents pour les quatre trimestres (à l'exception du YFT d'âge 0 pendant les premier et deuxième trimestres, mais il faut interpréter ces CV avec prudence, du fait que ces poissons sont recrutés de façon médiocre dans les pêcheries). Il faut poursuivre les recherches pour interpréter ces différences entre les CV des différentes espèces, en commençant par une sélection et une validation plus attentives des données et un jeu de données plus volumineux. Il a aussi été suggéré de combiner, dans une même analyse ou modèle, les stocks dont on suppose qu'il sont inter-associés du point de vue de l'exploitation. Ceci permettrait de tester si les changements de ciblage d'une espèce à l'autre sont influencés par l'environnement. Une remarque pertinente formulée pendant l'atelier mentionnait également que les plus fortes prises de ALB d'âge 1 dans le golfe de Gascogne semblent coïncider avec le recrutement des anchois avec un décalage d'un an.

L'auto-corrélation (AR) de BET, et de façon secondaire celle de YFT, reflètent les variations cycliques comme le fait l'AR de l'effort PS total. Vu la dynamique de ces pêcheries, il est très probable qu'ils soient associés. L'AR de SKJ, ALB et BFT/BB français montrent surtout du "bruit blanc", alors que les deux derniers (BFT/BB espagnols et SWO/LL espagnols) montrent quelque corrélation avec différents décalages. Toutefois, ce mode s'estompe dans les séries détendancialisées. Enfin, il semble que la plupart des modes AR montrent du "bruit blanc" lorsque l'on retire l'effort auquel on pense qu'il serait associé (c'est-à-dire l'augmentation linéaire des prises). Si ces séries temporelles des prises des âges 0, 1 et 2 peuvent capter une partie de la dynamique du recrutement, ces résultats indiqueraient que les variations du recrutement ne sont pas auto-corrélées. Toutefois, ceci demande aussi des recherches plus poussées (qui pourraient être menées à l'occasion d'une réunion informelle réunissant quelques scientifiques; voir le chapitre 5).

4.3 Recherche, au moyen de modèles de simulation, sur l'incidence d'un recrutement variable sur la taille du stock et la production, ainsi que ses implications éventuelles pour un processus standard d'évaluation des stocks

Un modèle de simulation basé sur le germon nord-atlantique a été élaboré pendant la réunion pour déterminer si les méthodes standards d'évaluation des stocks pouvaient déceler les modes du recrutement qui sont influencés par l'environnement.

Le modèle se fondait sur le modèle du germon nord-atlantique créé par Kell *et al.* (sous presse), et comprenait deux principaux éléments:

- 1 Système "vrai": Population simulée dont les paramètres sont connus.
- 2 Système "perçu". Evaluation de stock fournissant des estimations des paramètres de la population.

Les données sur la prise totale à l'âge et la prise et effort sont échantillonnées sur la population simulée, et sont utilisées dans le cadre d'une analyse calibrée des populations virtuelles pour obtenir des estimations du nombre et de la mortalité de pêche à l'âge.

Selon le système "vrai", les paramètres biologiques (mortalité naturelle, maturité et poids à l'âge) s'avèrent déterministes, et l'évaluation du stock connaît les valeurs réelles. La pêcherie a été modélisée pour quatre flottilles de pêche (canneurs, palangriers, ligneurs et autres) avec des modes de sélection constants, et ces pêcheries ont également servi à calibrer la VPA. La prise a été créée en supposant que l'effort déployé par une flottille pendant une année donnée ne variait pas. La capture variait donc en fonction de l'importance de la classe annuelle.

Le modèle s'appuyait sur le modèle classique des populations qui est abondamment utilisé en halieutique:

$$N_{age,t+1} = N_{age-1,t} e^{-M-F}$$

La prise par âge découle de l'équation de capture:

$$Catch_{fleet,age,year} = N_{age,year} \frac{F_{fleet,age,year}}{F_{age,year} + M_{age,year}} (1 - \exp(-F_{age,year} - M_{age,year}))$$

Toutefois, un terme supplémentaire H a été inclus pour admettre les incertitudes du processus dynamique:

$$N_{age,t+1} = N_{age-1,t} e^{-M-F+H}$$

dans lequel:

$$H \sim N(0, j^2)$$

correspond à des processus stochastiques non précisés (dont des exemples sont les variations de la mortalité naturelle, les échanges entre stocks et/ou une erreur non-systématique dans l'enregistrement de la capture, $\phi = 0.2$).

La relation stock-recrutement a été modélisée selon la formule de la fonction de Beverton-Holt, c'est-à-dire:

$$R_t = \frac{1}{a + \frac{b}{SSB_{t-RecruitAge}}}$$

Le recrutement stochastique a été admis en tant que variable aléatoire de type log-normal:

$$R_t = \frac{1}{a + \frac{b}{SSB_{t-RecruitAge}}} e^v$$

dans laquelle:

$$v \sim N(0, f^2)$$

pour le recrutement purement aléatoire, et

$$v \sim N\left(0, \left(\frac{f}{2}\right)^2\right) + e$$

pour le recrutement induit par le NAO,

(ε est une série temporelle qui correspond à NAO $\times -1$ ajusté pour avoir un CV de 15%). La variation du recrutement est donc 30% dans les deux cas; toutefois, dans le dernier cas, la variation du recrutement de toute année n'est que de 15%.

H et V ont été modélisés en tant que variables aléatoires (c'est-à-dire des variables qui postulent des valeurs différentes pour des exercices identiques), et leurs valeurs ont été obtenues par la simulation Monte-Carlo. Ceci permet d'obtenir les intervalles de confiance des statistiques sous étude.

Les séries de capture et d'effort créées par le processus de simulation ont ensuite servi à évaluer le stock dans le cadre d'une analyse des populations virtuelles de façon à reconstituer son histoire.

La simulation a été exécutée avec deux facteurs comprenant chacun deux stades, soit 4 exercices en tout: le recrutement était influencé ou non par le NAO, et ce dernier était utilisé ou non pour calibrer la VPA. Un exercice ainsi structuré teste l'intérêt ou non d'inclure l'indice NAO dans le processus d'évaluation même lorsque sa relation avec le recrutement est spéculative.

Si aucun bruit n'est introduit dans Z , ou dans le recrutement escompté, et si la série des recrues est fournie par le NAO, la VPA peut alors reconstituer l'histoire du stock, comme l'illustre la **Figure 9** (les séries temporelles réelles et estimées coïncident, et ne peuvent pas être distinguées), du fait que l'on connaît parfaitement la prise par âge et la mortalité naturelle. Ceci est indépendant du fait que la VPA soit calibrée ou non par le NAO. La seule différence entre la population réelle et la perception acquise à travers la VPA se trouve dans la période la plus récente où la VPA n'a pas encore convergé.

Du fait que l'évaluation du stock peut estimer le recrutement réel, la corrélation entre le NAO et le recrutement qu'il influence est presque parfaite. Pour un passage déterministe du modèle de recrutement, la **Figure 10** montre le recrutement détendancialisé et le ratio du recrutement et du SSB par rapport au NAO.

Lorsque l'on introduit du bruitage dans le modèle sous forme de mortalité stochastique (par exemple, erreur dans la capture, échanges entre stocks ou changements de la prédation) et de variabilité du recrutement, l'évaluation du stock n'est plus en mesure de reconstituer parfaitement l'histoire de celui-ci. La **Figure 11** illustre une exécution stochastique du modèle. Dans cet exemple, le niveau de la biomasse est sous-estimé, et, bien que recrutement estimé ne coïncide plus exactement avec le recrutement, il existe

encore une corrélation significative entre eux. Il convient de noter que les relations réelle et estimée entre le stock et le recrutement sont tout à fait différentes. Les relations stock-recrutement réelle et estimée suivaient toutes deux la forme de la fonction de Beverton-Holt. Du fait que la gamme du recrutement et la SSB ne permettent pas d'estimer le déclin du recrutement au fur et à mesure de celui de la SSB, la forme perçue de la relation stock-recrutement est égale à la moyenne géométrique. Ceci comporte des implications pour les estimations à long terme et à court terme du recrutement, et partant de la productivité du stock. On peut observer sur la **Figure 12** que la corrélation entre le recrutement et le NAO (lorsque celui-ci influence le recrutement) se maintient.

Les simulations sont récapitulées à la **Figure 13**. On peut observer que l'évaluation peut obtenir correctement le niveau moyen, mais que les estimations comportent de nombreuses incertitudes; ceci est le cas, que le recrutement soit influencé par le NAO, ou qu'il soit inclus dans l'évaluation (de façon spéieuse ou non). Il semblerait que le fait d'inclure le NAO dans l'évaluation n'améliore pas notre capacité d'estimer la biomasse, mais il ne l'affecte pas non plus de façon négative. La deuxième colonne montre le contraste entre la distribution du ratio de la SSB perçue et de B_{PME} par rapport à la même quantité pour la valeur réelle. On peut observer que le ratio de la SSB actuelle et de B_{PME} est plus variable que dans le cas réel, et que l'amoindrissement du stock est surestimé. La principale différence entre la population réelle et la perception concerne l'estimation de la relation stock-recrutement. Du fait que les paires stock-recrues estimées par l'évaluation ne permettent pas d'estimer la courbe de la relation stock-recrutement, la productivité du stock s'en trouve sous-estimée. La troisième colonne montre la distribution des CV du recrutement réel et perçu (sur l'ensemble de la série temporelle). Alors que le CV du "vrai" recrutement est de 30%, la perception des incertitudes du recrutement est bien plus importante. Ceci est dû aux grandes incertitudes du recrutement du fait de l'accumulation d'erreurs lorsque la VPA rétro-calculé l'histoire d'une cohorte.

La quatrième colonne montre la corrélation entre le recrutement estimé et le NAO du recrutement brut, le recrutement détendancialisé et le ratio du recrutement et de la SSB. Ceci montre que, lorsque le recrutement est influencé par le NAO, on ne détecte pas de corrélations spéieuses.

Dans cette étude, le fait d'inclure l'information sur le NAO dans la VPA semble être un élément neutre en ce qui concerne notre perception de l'histoire du stock. Toutefois, on pourrait s'attendre à ce que l'incorporation d'un indice du recrutement améliore la précision de nos estimations du recrutement pour les classes annuelles les plus récentes (c'est-à-dire celles qui se trouvent dans la partie non-convergente de la VPA). Ceci aurait des implications pour les projections à court terme, et partant la définition de quotas. Le fait d'inclure le NAO n'améliore les estimations des classes annuelles récentes que si la pondération du NAO est la même que celle des autres indices. L'indice NAO de la classe d'âge recrutée présentait une variance plus accusée que les autres indices (puisque les estimations des recrues comprennent l'erreur des âges plus avancés dans les cohortes du fait des rétro-calculs de la VPA), ce qui fait que la pondération à l'inverse de la variance signifie en fait que des informations sur le recrutement récent sont rejetées. Ceci pourrait être corrigé en accordant au NAO une pondération plus importante dans la calibration de la VPA, mais il faut approfondir la question pour en évaluer les conséquences.

Les participants ont reconnu que ces résultats dépendaient de façon importante des postulats qui étayaient le modèle, et qu'il fallait poursuivre les recherches avant de pouvoir tirer quelque conclusion définitive. Par exemple, il est probable que le type de cycle vital du stock et la longueur des séries temporelles disponibles pour analyse auront une influence sur notre capacité d'appréhender la dynamique. Les participants pensaient, cependant, que les études de simulation constituaient un moyen utile d'accroître notre capacité d'appréhender la dynamique des stocks.

Ces simulations permettent de conclure qu'en l'absence de bruit dans les données de capture ou la dynamique du stock, le processus standard d'évaluation est alors en mesure de capter la dynamique. Si le recrutement est influencé par l'environnement, notre perception historique du stock n'est pas modifiée du fait d'incorporer une information sur le recrutement dans la VPA. Il pourrait y avoir quelque avantage à court terme du fait d'inclure cette information, mais les incertitudes les plus graves concernent notre perception du niveau de recrutement attendu à l'avenir, et non la déviation par rapport à ce niveau.

5 Débat général sur l'intégration de considérations environnementales dans le processus d'évaluation des stocks de l'ICCAT

Les délibérations sur ce point se sont déroulées sur deux plans: 1) des suggestions sur la façon d'intensifier la recherche scientifique sur la relation entre la biologie et les facteurs environnementaux, et sur la façon d'utiliser les données environnementales proprement dites dans les évaluations; et 2) une organisation du SCRS permettant au mieux la réalisation de 1).

Typiquement, les facteurs environnementaux ont un impact sur l'évaluation du fait de l'incidence de l'environnement sur le stock, à travers les processus de recrutement, migration, comportement reproductif et autres paramètres biologiques. Les facteurs environnementaux affectent également notre perception de l'état du stock du fait de l'incidence de l'environnement sur nos mesures (généralement modulées par les mesures de la CPUE). En outre, les résultats de l'évaluation (et l'effet des facteurs environnementaux sur ces résultats) sont utilisés à deux fins principales: pour avoir une perspective historique de la dynamique et de la productivité du stock; et pour disposer à l'avenir d'une base concernant les implications pour, par exemple, la production future, les TAC ou autres activités de gestion. Lorsqu'il s'agit de structurer la recherche scientifique, il faut être conscient de la juxtaposition des facteurs environnementaux avec ces quatre critères.

Au moment d'élaborer des méthodes qui permettent d'intégrer les facteurs environnementaux dans l'évaluation, la première démarche pourrait être de définir les facteurs potentiels pour chaque espèce (par exemple, l'incidence de la température, de la force du vent) et la relation hypothétique de ces facteurs avec les caractéristiques biologiques de l'espèce. Il faudrait ensuite prendre note des biais éventuels qui peuvent surgir si ces facteurs ne sont pas intégrés dans l'évaluation, et, vice-versa, ceux qui pourraient survenir s'ils ne sont pas inclus. Ces deux facettes sont importantes. En fait, durant la réunion, une première analyse a été faite à cet égard pour le germon du nord et le NAO (voir le chapitre 4.3). Il faut également considérer les conséquences du biais, en termes de l'estimation de la dynamique du stock comme des avis de gestion. A cette dernière fin, il faudrait peut-être intégrer le modèle d'évaluation dans l'évaluation des données environnementales, comme le fait le document SCRS/01/039.

De plus, il faut garder à l'esprit le processus de collecte des données à la base, et la façon dont il est affecté par la réglementation des pêcheries, affectant ainsi la corrélation des variables de l'évaluation du stock et des indices environnementaux. Des exemples en sont la mise en place des tailles minimales et celle de quotas de prises permises.

Au moment d'évaluer les effets de l'environnement, il est important de noter la différence entre la variation aléatoire et la tendance de la variabilité environnementale, et la façon dont elles affectent une évaluation. La variation aléatoire d'un indice environnemental peut affecter la précision d'une évaluation, mais pas forcément son exactitude. Par ailleurs, les tendances (ou déplacements) de l'indice peuvent affecter l'exactitude, ainsi que la précision, et ceci a souvent une plus grande portée pour la gestion. Pour améliorer la capacité de détection des tendances et déplacements, il faudrait tenter continuellement d'intégrer dans la mesure du possible les bases de données à long terme. En fait, la raison d'être du Groupe de travail sur les Méthodes d'évaluation est de rechercher des méthodes permettant d'utiliser des données à plus long terme.

Bien que les suggestions ci-dessus soient utiles pour la recherche scientifique, il est admis qu'il est malaisé d'intégrer l'ensemble de ces activités dans le processus d'évaluation tel qu'il se déroule dans le cadre du SCRS. Il n'y a généralement pas suffisamment de temps pour effectuer ce genre d'analyse exploratoire au sein d'un groupe d'évaluation. En outre, l'expertise nécessaire pour examiner les jeux de données environnementales de façon exhaustive n'est pas exclusivement du ressort des scientifiques qui assistent régulièrement aux sessions du SCRS et de ses groupes de travail. Il faut rechercher l'occasion d'incorporer une expertise pluridisciplinaire et encourager la recherche sur les jeux de données environnementales. Ci-après quelques suggestions pour atteindre cet objectif:

- a Faire en sorte que les rapporteurs des Groupes d'espèce définissent dans leur Plan de travail quelles sont les analyses importantes sur l'environnement qui peuvent être effectuées avant l'évaluation.
- b Encourager les scientifiques à collaborer par le biais de réunions informelles pour la réalisation des analyses prévues au point a) en prévoyant au Secrétariat des locaux pour les scientifiques de passage.
- c Elaborer, avant les analyses, des bases de données statistiques que puissent utiliser les collaborateurs éventuels.
- d Envisager de tenir périodiquement des réunions inter-sessions du Sous-comité de l'Environnement, dont les séances plénières seraient plus courtes et plus centrées.
- e Encourager les échanges avec d'autres scientifiques pluridisciplinaires et leurs organisations pour faciliter l'implantation de nouveaux jeux de données et de nouveaux concepts; et
- f Tenir un Symposium sur les effets de l'environnement, comme il a déjà été suggéré, mais le repousser jusqu'à 2004 ou plus tard pour permettre à la recherche d'être mieux développée.

Ces suggestions peuvent accroître la capacité du SCRS d'intégrer les facteurs environnementaux dans les évaluations, et de rendre ces évaluations plus utiles.

6 Autres questions

Les participants ont constaté qu'il était malaisé d'avoir des débats approfondis dans le cadre des séances plénières du Sous-comité de l'Environnement sur les travaux qui traitent de questions environnementales. Il serait plus facile de travailler en petit groupe; les considérations techniques et les détails seraient débattus dans le cadre de groupes de travail.

Des ateliers devraient avoir lieu périodiquement pour aborder des thèmes spécifiques pendant la période inter-sessions. Vu le grand nombre de réunions d'évaluation prévues en 2002, le prochain atelier du Sous-comité de l'Environnement pourrait se réunir en 2003, un Symposium international étant organisé par la suite (en 2004 ou 2005).

Un atelier pourrait se tenir pendant les sessions du SCRS, mais en-dehors des séances plénières, pour rédiger un rapport général à présenter en séance plénière du SCRS, et pour définir les thèmes à aborder à la prochaine réunion inter-sessions du Sous-comité de l'Environnement. La présentation de travaux scientifiques au Sous-comité pendant les sessions du SCRS pourrait être remplacée par celle de résumés préparés par la personne qui a réuni les documents traitant essentiellement de thèmes environnementaux.

Il a généralement été admis qu'il fallait pourvoir compter sur la présence d'experts dans d'autres disciplines (océanographie, environnement) pendant les réunions, mais les participants ont constaté qu'il était difficile de s'assurer le concours de scientifiques ne faisant pas partie de l'ICCAT. Toutefois, vu l'importance des données environnementales pour les travaux du Sous-comité, il faudrait que les Groupes d'espèce définissent les données océanographiques, les préparent à temps pour les réunions et les soumettent sous un format accessible aux non-spécialistes, afin de les intégrer dans les données sur la pêche.

Quelques inquiétudes ont été formulées sur les prises très médiocres de diverses espèces de thons aux Açores et à Madère depuis quelques années. La situation pourrait être liée à des conditions environnementales (par exemple, le réchauffement de la planète) ou avec une surpêche. Quelques changements ont également été observés en ce qui concerne l'aire de répartition géographique de plusieurs espèces de thons dans l'Atlantique nord. Cette question a été jugée pertinente comme point de départ pour définir un cas d'étude pour le prochain atelier sur l'Environnement, du fait qu'elle concerne plusieurs espèces qui intéressent l'ICCAT au premier titre. Ceci pourrait être analysé au moyen d'une étude détaillée des conditions environnementales et des pêcheries thonières des archipels de l'Atlantique nord-est (Canaries,

Madère et Açores) où d'importants changements ont été observés ces dernières années en ce qui concerne la disponibilité des thons et la composition de leurs captures. Un avantage de ces pêcheries îliennes est le fait qu'elles constituent un point fixe d'observation où les flottilles thonières ont une marge restreinte d'opération et dépendent en grande mesure des conditions environnementales et de la disponibilité des thons dans leurs eaux.

7 Recommandations

- 1 Les programmes d'échantillonnage scientifiques qui recueillent des larves devraient aussi rassembler sur place des observations environnementales.
- 2 Les scientifiques devraient tenter de définir et de quantifier l'habitat adéquat des diverses espèces qui intéressent directement l'ICCAT.
- 3 Etudier les tendances et les anomalies des séries temporelles sur l'environnement en ce qui concerne les zones à larves.
- 4 Effectuer l'analyse comparative des séries temporelles sur l'environnement dans les diverses zones, pour les stocks qui ont plusieurs zones de frai.
- 5 Examiner les modifications de la capacité de frai dues à la variabilité des facteurs de condition.
- 6 Définir quelles sont les analyses environnementales mentionnées dans les Plans de travail des divers Groupes d'espèce qui peuvent être effectuées avant les évaluations
- 7 Prévoir au Secrétariat des locaux pour les scientifiques de passage.
- 8 Elaborer, avant les analyses, des bases de données biostatistiques que puissent utiliser les collaborateurs éventuels.
- 9 Envisager de tenir périodiquement des réunions inter-sessions du Sous-comité de l'Environnement, dont les séances plénières seraient plus courtes et plus centrées.
- 10 Encourager les échanges avec d'autres scientifiques pluridisciplinaires et leurs organisations.
- 11 Tenir en 2003 la prochaine réunion inter-sessions du Sous-comité de l'Environnement, suivie d'un Symposium international un ou deux ans plus tard.

8 Adoption du rapport et clôture

Les participants ont adopté le rapport en demandant au Secrétariat de le faire traduire et de le mettre à disposition le plus tôt possible. Le président a remercié les participants de leur travail, et ceux-ci ont à leur tour félicité le président de sa direction des débats. Les débats ont été levés.

Références

- Bartlett. 1946. On the theoretical specification of sampling properties of autocorrelated time series. J. R. Stat. Soc. Suppl. 8; pp. 24-411.
- Kell L.T., D.J. Die, V.R. Restrepo, J.M. Fromentin, V. Ortiz de Zarate et P. Pallares. 2001. An Evaluation Of Management Strategies For Atlantic Tuna Stocks. Ciencia Marina.
- Legendre et Legendre. 1998. Numerical ecology. S.E. Elsevier. Amsterdam.
- Myers, R.A., G. Mertz et C.A. Bishop. 1993. Cod spawning in relation to physical and biological cycles of the northern North-west Atlantic. Fish. Oceanogr. 2:3/4; pp. 154-165.

- Peres-Neto, P.R. 1999. How many statistical tests are too many? The problem of conducting multiple ecological inferences revisited. *Marine Ecology Progress Series*. 176; pp. 303-306.
- Prager, M. et J. Hoenig. 1989. Superposed epoch analysis: a randomization test of environmental effects on recruitment with application to Chub Mackerel. *Trans. Am. Fish. Soc.* 118; pp. 608-618.
- Shepherd J.G. et D. Nicholson. 1991. Multiplicative modeling of catch-at-age data and its application to catch forecasts.. *ICES J. Mar. Sci.*, 47: 284-294.

**JORNADAS DE TRABAJO ICCAT SOBRE MEDIO AMBIENTE
Y RECLUTAMIENTO DE TÚNIDOS**
(Madrid, España, 7 a 12 de mayo, 2001)

1 Apertura, adopción de la agenda y disposiciones para la reunión

Las Jornadas de Trabajo se celebraron en la Secretaría de ICCAT. El Presidente, Dr. J.M. Fromentin, abrió la reunión. El Dr. Fromentin, y el Dr. J. Powers, Presidente del SCRS, dieron la bienvenida a los participantes (**Apéndice 1**), que se presentaron ellos mismos.

La Agenda Provisional (**Apéndice 2**), que se había distribuido previamente, fue modificada y adoptada. Los siguientes científicos actuaron como relatores de las diversas secciones:

Puntos 1, 2, 7 y 8	V. R. Restrepo
Punto 3	J. Ortiz de Urbina
Punto 4.1	C. A. Brown
Punto 4.2	J. M. Fromentin
Punto 4.3	L. T. Kell y J. M. Fromentin
Punto 5	J. E. Powers
Punto 6	J. Gil Pereira y L. de Gouveia

2 Presentación y discusión de los documentos

En el **Apéndice 3** se facilita una lista de los documentos presentados en la reunión. Algunos de los documentos presentados eran estudios caso de relaciones medio ambiente-reclutamiento, y otros eran de naturaleza más general y exponían, al menos parcialmente, asesoramiento sobre cómo llevar a cabo este tipo de análisis. Esta sección proporciona un breve resumen de las discusiones mantenidas respecto a los documentos; se solicita a los lectores que consulten los documentos si desean conocer más detalles sobre su contenido. El **Apéndice 4** resume algunas directrices de naturaleza general. El punto 4.1 presenta análisis alternativos llevados a cabo en las Jornadas sobre los mismos conjuntos de datos utilizados en algunos de estos documentos.

El SCRS/01/035 examinaba la correlación entre el reclutamiento del atún rojo del Pacífico (estimado mediante VPA) y tres índices medioambientales. Tanto el reclutamiento como la variable medioambiental examinada fueron alisados por medio de una media móvil antes de calcular el coeficiente de correlación. El estudio descubrió que la mayor correlación de reclutamiento del atún rojo del Pacífico se producía con el Índice del Pacífico Norte (NPI, un índice de la fuerza de la Depresión de las Aleutianas), sin desfase temporal. Los participantes señalaron que la zona sobre la que se calculó el NPI, por lo general no coincidía con la zona de distribución larval del atún rojo del Pacífico, lo que hacía más difícil formular una hipótesis sobre una relación directa.

El SCRS/01/037 estudiaba la correlación entre el reclutamiento del atún blanco del Pacífico norte (estimado mediante VPA) y tres índices medioambientales. Los coeficientes de correlación se calcularon antes y después de alisar las variables con una media móvil. La mayor correlación encontrada en el estudio fue entre el reclutamiento y NPI, con un desfase de 3-4 años. Los participantes señalaron que los coeficientes estimados de correlación eran generalmente mayores para las series alisadas, tal y como era de esperar. Además, los participantes recomendaron que, si se lleva

a cabo el alisamiento, sería útil investigar métodos alternativos como lowess o filtración Kalman. Asimismo, los participantes recalcaron la importancia de definir los probables procesos biológicos en la relación postulada, lo que podría, a su vez, ayudar a definir el tratamiento a aplicar a los datos.

El documento SCRS/01/032 examinaba la relación entre el reclutamiento del atún rojo del Atlántico oeste (estimado mediante VPA e IPA) y (a) proporciones de supervivencia (R/SSB estimada también mediante VPA e IPA) y (b) el índice de Oscilación del Atlántico Norte (NAO). El documento descubrió una mayor correlación entre reclutamiento y SSB que entre reclutamiento y NAO, y concluyó que el mejor poder de predicción se obtenía utilizando la relación anterior teniendo en cuenta la autocorrelación. Los participantes observaron que la naturaleza de las series temporales de reclutamiento (caracterizadas por un elevado nivel con alta variabilidad en la primera parte y bajo nivel y baja variabilidad en la segunda parte) hacía difícil la interpretación de los resultados de los estudios de correlación porque la tendencia y la variabilidad del reclutamiento podrían estar afectadas por cambios en la calidad de los datos que se utilizan en la evaluación de stock.

El SCRS/01/033 actualizaba hasta 1995 análisis previos de la relación entre reclutamiento de tres stocks (atún rojo del Atlántico este, atún rojo del Atlántico oeste y atún blanco del Atlántico norte) estimados mediante VPA, y el índice NAO invernal. El estudio descubrió correlaciones (estadísticamente) significativas entre el índice NAO y el reclutamiento del atún rojo del Atlántico este (correlación positiva con 1 año de desfase que explica el 49% de la variabilidad) y el atún blanco del Atlántico norte (correlación negativa con 0 años de desfase que explica el 52% de la variabilidad), pero no encontró una relación significativa con el atún rojo del Atlántico oeste.

El documento SCRS/01/036 investigaba los procesos biológicos que probablemente tendrían lugar para que existiera una relación no-falsa entre reclutamiento y NAO, y además estudiaba la relación entre el reclutamiento del atún rojo del Atlántico este (a partir de VPA) y el NAO. El estudio descubrió que la correlación entre las dos variables desaparecía si se eliminaban las tendencias de las series, lo que indicaría que no existe una relación causa-efecto anual entre las dos. Además, una prueba de aleatorización no paramétrica no reveló ninguna conexión no lineal entre las dos variables. El documento sugería que los datos de reclutamiento podrían ser inadecuados para probar la relación, si es que esta existía. Los participantes estuvieron de acuerdo en que las estimaciones de reclutamiento, que eran el resultado final de una serie de modelos de promedio y modelos de retro-cálculo, podrían ser inadecuadas para este propósito. Los participantes discutieron también las posibilidades mencionadas en el documento acerca de la posible relación del NAO con otras variables como capturabilidad o distribución espacial del stock. A este respecto, se destacó la importancia de igualar las escalas espacio-temporales de las variables investigadas antes de llevar a cabo análisis de correlación.

El SCRS/01/038 sintetizaba parte del trabajo realizado sobre la relación entre el pez espada del Atlántico norte y el NAO, tratando temas generales que deberían ser considerados en futuros estudios. El documento destacaba la importancia de comprender los datos de medio ambiente y pesquerías que se están utilizando antes de enunciar ninguna conclusión sobre la significación (estadística) biológica de las correlaciones (o falta de correlaciones). El documento indicaba además que, aunque la mayoría de los estudios se han centrado en el reclutamiento, el NAO podría afectar a otras variables como la producción reproductiva del stock. Además, el documento señalaba que la mayoría de los datos de pesquería utilizados se quedan cortos en términos de las escalas temporales típicamente implicadas en los ciclos medioambientales; por lo tanto es difícil deducir conclusiones sólidas a partir de estudios que sólo contemplan una parte relativamente pequeña de los datos de la historia de un stock. Los participantes estuvieron de acuerdo en que era de la máxima importancia comprender los datos medioambientales y de la pesquería que se utilizan en los estudios correlativos. Se sugirió que los analistas deberían esforzarse para definir los índices a utilizar en un estudio en particular, para que tanto las variables de respuesta como las explicativas coincidan en el espacio y en el tiempo con la hipótesis que se está probando.

El documento SCRS/01/034 explica que a veces pueden observarse ciclos a largo plazo en variables de stock como la SSB o la capacidad de transporte, debido simplemente a la variabilidad de alta frecuencia (ruido blanco) en el reclutamiento; el potencial de tal efecto aumenta con el número de clases de edad del stock. Por lo tanto, los estudios de correlación simple podrían no aclarar la influencia de una variable medioambiental sobre estas cantidades de stock. Los participantes señalaron que este mismo efecto podría tener lugar debido a cambios en la mortalidad.

El SCRS/01/039 examinaba la posibilidad de que el rabil del Atlántico y sus pesquerías estén afectados por el NAO utilizando un modelo dinámico de biomasa que permite estimar tendencias en la dinámica de la población y de la flota, permitiendo así relacionar las capturabilidades de varias flotas con el NAO. Los resultados sugerían que no había pruebas sólidas del efecto del NAO sobre la capturabilidad, al menos a escala espacio-temporal relacionada con las pesquerías en su conjunto (aunque tal vez podría haber influencias más localizadas sobre la capturabilidad). Los participantes señalaron que algunos índices relacionados con las pesquerías que tienen lugar en el borde del límite de distribución de las especies podrían ser susceptibles de mostrar mayores fluctuaciones en el tiempo y que tal vez coincidirían con los cambios en el NAO simplemente por casualidad.

3 Discusión general respecto a efectos medioambientales sobre el reclutamiento de túnidos

La introducción a este punto de la Agenda proporcionaba una teoría general sobre diversos factores medioambientales que afectan al reclutamiento, (i) antes del periodo crítico (por ejemplo, estado de los reproductores), (ii) durante el periodo crítico (es decir, unos días después de que la yema larval haya sido agotada), como limitación de alimento, transporte de larvas y huevos por el viento y las corrientes, efectos de la temperatura, etc., y (iii) después del periodo crítico, como limitación de alimento, temperatura, predación, canibalismo y competición, etc.

Los participantes se mostraron de acuerdo en que esta teoría había sido desarrollada para pequeños pelágicos y especies demersales. Por lo tanto, debido al comportamiento de las grandes especies pelágicas, podría tener un valor limitado al aplicarla a las grandes especies pelágicas, por ejemplo, los amplios patrones de migración y el rápido crecimiento (es probable que algunos de los procesos biológicos “tradicionales” sean irrelevantes para los túnidos, mientras que probablemente algunos específicos sí tienen lugar). Sin embargo, se reconoció que varios factores podrían explicar potencialmente la variabilidad en el reclutamiento en las grandes especies pelágicas.

Algunos resultados se presentaron en la conferencia AGU sobre el NAO y su asociación con factores oceanográficos como salinidad, temperatura, densidad, etc., que contribuirían a explicar la hipótesis de “áreas de retención” y “hábitat apropiado” que afecta a la viabilidad de las larvas. Un gran número de factores oceanográficos relacionados con el NAO (por ejemplo, afloramiento, turbulencia, transporte, presión del viento, temperatura, Índice de la Corriente del Golfo, etc.) pueden afectar a los niveles de reclutamiento debido a cambios en la conducta reproductiva de los adultos y/o a la mortalidad de los preadultos.

Durante las discusiones, se acordó que los índices medioambientales a gran escala (NAO u otros) son simplemente aproximaciones, pero pueden proporcionar un resumen global de la variabilidad de ciertos parámetros atmosféricos-oceanográficos. Sin embargo, los efectos de un fenómeno a gran escala, como el NAO, difieren entre zonas geográficas como lo hacen los principales procesos biológicos de una especie dada. En el contexto de las grandes especies pelágicas, las características biológicas de las diferentes especies y los aspectos espacio-temporales de los parámetros oceanográficos que se sospecha afectan a la variabilidad del reclutamiento deberían ser tenidos en cuenta para definir zonas que puedan ser consideradas como “hábitat apropiado” o zonas capaces de conducir al próspero desarrollo de los pre-reclutas y/o reproductores.

Desde el punto de vista de la oceanografía física, es generalmente reconocido que el NAO o NPI indican fenómenos a gran escala como corrientes, o la intensidad de los vientos del oeste. Por lo tanto,

consideramos las escalas de señales a largo plazo con el fin de compararlas con el medio ambiente físico como el NAO o el NPI. Además, las escalas temporales de los procesos oceánicos son mayores que las de la atmósfera. Esto sugiere que las series temporales deben ser alisadas por algunos filtros de baja frecuencia. Por otra parte, dado que un pico de series temporales de reclutamiento incluye efectos de fenómenos locales, las series temporales no tienen que ser alisadas. De esta forma, las series temporales que deberíamos utilizar cambian al seleccionar diferentes escalas espaciales o temporales.

El grupo estuvo de acuerdo en que podría ser útil intentar definir y cuantificar el hábitat de reclutamiento adecuado para las diversas especies ICCAT. El hábitat adecuado debe definirse sobre la base de las variables medioambientales fácilmente disponibles (por ejemplo, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto) y según las deducciones de las observaciones de campo y/o experimentación directa. Por otra parte, a la hora de estudiar los impactos medioambientales en el reclutamiento, deben tenerse en cuenta otras variables oceanográficas-meteorológicas (como las mencionadas anteriormente).

Se propuso también que fueran analizados los factores medioambientales disponibles dentro de las zonas de desove y las zonas de alimentación para los reclutas y los juveniles jóvenes. Esto podría tener en cuenta la detección de, por ejemplo, factores que muestran la mayor variabilidad y cuándo y dónde tuvieron lugar las principales anomalías. Por lo tanto, este tipo de análisis podría proporcionar algunas directrices para el estudio de la relación medio ambiente-reclutamiento de túnidos en el Atlántico.

Además, se facilitó información respecto a la relación entre los factores medioambientales y el comportamiento de los atunes rojos reproductores en el Mediterráneo oeste. Esta información incluía observaciones sobre la variabilidad en el periodo en el que los atunes reproductores pasaban por las almadrabas del Atlántico cercanas al Estrecho de Gibraltar, observaciones sobre reproductores de peso considerablemente menor de lo normal para una determinada talla, observaciones sobre índices gonado-somáticos en atunes post-reproductores más elevados que los observados en años anteriores, así como observaciones sobre flotas que pescan reproductores más al sur que anteriormente. Esto podría indicar que los cambios en los factores de condición están relacionados con un aumento en SST. El grupo reconoció que la condición es un factor importante para explicar variaciones en el reclutamiento, y por lo tanto se recomendó investigarlo más a fondo. El modelo Shepherd-Nicholson (1991) es una herramienta general que puede utilizarse para probar los cambios hipotéticos en las condiciones de los reproductores debidos a causas medioambientales, asumiendo que las variaciones en los factores de condición pueden ser detectadas a través del peso por edad (W_a, t) o bien peso por talla. Utilizando el marco de los Modelos Lineales Generalizados, un modelo podría ser:

$$W_{a,t} \sim f(\text{Edad}, \text{Mes}, \text{Año})$$

La Edad (o bien la talla) podría asumirse como “efecto medio” y el Mes como “efecto estacional”. Año es la variable de mayor interés y representa al “efecto interanual” que podría estar relacionado con el medio ambiente. En el modelo Shepherd y Nicholson (1991) también existe el “efecto clase anual” (es decir, el término densidad-dependencia), que puede añadirse si los resultados del VPA son fiables.

4 Trabajo informático y de simulación

4.1 Pruebas sobre la relación hipotética entre el NAO y el reclutamiento de túnidos

Se llevaron a cabo análisis adicionales sobre los datos presentados en el documento SCRS/01/032 (atún rojo del Atlántico oeste), SCRS/01/033 (atún blanco del Atlántico norte), SCRS/01/035 (atún rojo del Pacífico) y SCRS/01/037 (atún blanco del Pacífico norte). Estos análisis adicionales sobre la relación entre el índice climático (NAO o NPI) y el reclutamiento de túnidos se realizaron para: (i)

tenerlos en cuenta para consideraciones estadísticas (es decir, sesgos en los niveles de significación debido a autocorrelación en series temporales, ver **Apéndice 4**), (ii) comparar la relación en diferentes escalas temporales, es decir tendencia *versus* fluctuaciones interanuales y (iii) probar el impacto de fenómenos extremos a través de análisis de épocas superpuestas (Prager y Hoenig, 1989).

Para una serie en particular de reclutamiento podrían realizarse dos comparaciones potenciales del NAO: 1) con el NAO para un año concreto, que representaba las condiciones durante el invierno anterior al desove y presumiblemente estuviera relacionado con las condiciones imperantes que preceden y ocurren durante el desove, o 2) con el NAO para el año siguiente ($NAO_{año+1}$), que podría reflejar las condiciones experimentadas por los juveniles del año después la eclosión. La mayoría de los análisis consideraban la primera comparación, con el NAO y el reclutamiento.

El análisis de épocas superpuestas (SEA) permite probar los impactos de valores extremos de un factor extrínseco (por ejemplo NAO o NPI) sobre una variable biológica dada, sin tener en cuenta la contigüidad temporal. Aquí, la hipótesis nula de SEA es: no existe asociación entre valores extremos del NAO o del NPI (bajos o altos) y el tamaño de la clase anual de túnidos. Los fenómenos extremos son definidos como los años durante los cuales los valores del índice NAO/NPI son mayores (menores) que la media más (menos) una desviación estándar. Los años contiguos se definen como los años anteriores y/o posteriores a cada año de fenómeno clave. Por lo tanto, el SEA consiste en comparar (mediante un *test-t*) los valores de reclutamiento de túnidos de los años de fenómenos clave con los de los años contiguos (la significación se estima mediante un procedimiento de aleatorización Monte Carlo).

Se eliminaron las tendencias del NAO y las series de reclutamiento ajustando, en primer lugar, un polinomio de tercer orden a cada serie. La serie sin tendencias fue calculada restando la predicción de tendencia de cada observación, dando como resultado una nueva serie que fluctúa alrededor de una media de cero sin tendencias. El propósito de eliminar las tendencias de cada serie era permitir la prueba de las relaciones interanuales sin la influencia de las tendencias a largo plazo.

4.1.a Atún rojo del Pacífico

Los análisis para el atún rojo del Pacífico se llevaron a cabo utilizando valores anuales en lugar de la media móvil utilizada en el documento SCRS/01/035. Esto permitía comparaciones con análisis realizados para otros stocks, es más apropiado para probar la correlación estadística y aborda el concepto de influencias medioambientales interanuales en oposición a tendencias a largo plazo. Las tendencias ajustadas al NPI (**Figura 1a**) y al reclutamiento del atún rojo del Pacífico (**Figura 1b**) reflejan patrones de baja frecuencia a largo plazo. La tendencia ajustada del NPI presentaba mayor nivel en los 50 y a comienzos de los 60 y menor nivel durante finales de los 70 hasta comienzos de los 90. La tendencia ajustada de reclutamiento descendió desde un máximo a principios de los 50 hasta un mínimo a mediados de los 90. Las series sin tendencias de NPI y reclutamiento del atún rojo del Pacífico se presentan en la **Figura 1c**. La regresión lineal de las series sin tendencias (**Figura 1d**) indica que sólo cerca del 9% de la variabilidad interanual en el reclutamiento se explica por el NPI, aunque existe una relación (estadística) significativa ($p=0,04$).

4.1.b Atún blanco del Pacífico norte

Los análisis para el atún blanco del Pacífico norte se llevaron a cabo utilizando también valores anuales. La tendencia ajustada al NPI (**Figura 2a**) para el atún blanco del Pacífico norte cubre un rango anual ligeramente diferente a la tendencia mostrada en la **Figura 1a**, pero la tendencia de baja frecuencia es prácticamente la misma. El reclutamiento del atún blanco del Pacífico norte (**Figura 2b**) presenta también un patrón de baja frecuencia a largo plazo que va aumentando desde los 50 hasta mediados de los 60, descendiendo ligeramente durante los 70, y luego continúa aumentando desde comienzos de los 80 hasta los 90. La serie de reclutamiento sin tendencias se presenta en la **Figura 2c**. La regresión lineal de la serie sin tendencias (**Figura 2d**) no indica una relación (estadística) significativa ($p=0,41$).

4.1.c Atún blanco del Atlántico norte

La tendencia ajustada al NAO (**Figura 3a**) para el atún blanco del Atlántico norte presenta también una fluctuación de baja frecuencia. La tendencia ajustada del reclutamiento del atún blanco del Atlántico norte se muestra en la **Figura 3b**. Las series sin tendencias del reclutamiento del atún blanco aparecen en la **Figura 3c**. La regresión lineal de las series sin tendencias (**Figura 3d**) indica que existe una relación (estadística) significativa ($p=0,015$), con cerca de un 21% de la variabilidad interanual en el reclutamiento explicada por el NAO. El reclutamiento desciende con valores crecientes del índice NAO. Estos resultados son coherentes con los resultados que se muestran para el atún blanco del Atlántico norte en el documento SCRS/01/033, que revela una relación (estadística) significativa y negativa para esta especie entre los patrones a largo plazo del NAO invernal y el reclutamiento.

4.1.d Atún rojo del Atlántico oeste

Los datos para el atún rojo del Atlántico oeste fueron reanalizados considerando por separado periodos temporales iniciales (1960-1973) y finales (1974-1996). Aunque los resultados presentados en el SCRS/01/032 indican una relación lineal entre la biomasa del stock reproductor (SSB) y los reclutas para el atún rojo del Atlántico oeste (análisis separados de esta relación para periodos iniciales y finales muestran cada uno una relación menor cuando los datos se agrupan) (**Figura 4a**). Cerca del 26% de la variabilidad en los reclutas se explica por la SSB para el periodo 1960-1973, un periodo en el que las estimaciones de reclutamiento y SSB tienden a ser más elevadas y cerca de un 20% de la variabilidad en los reclutas se explica por la SSB para el periodo 1974-1996. Asimismo, la aparente relación entre el NAO y los reclutas (**Figura 4b**) desaparece completamente cuando se analizan los dos periodos temporales por separado (1960-1973 y 1974-1996). Esto sugeriría que la aparente relación entre el NAO y los reclutas es el resultado de cambios en la tendencia a largo plazo. De hecho, esto se puede advertir cuando se analizan las series de NAO y reclutamiento sin tendencias (**Figura 4c**). La regresión lineal de las series sin tendencias (**Figura 4d**) indica que el NAO no explica nada de la variabilidad interanual en el reclutamiento.

4.1.e Análisis de épocas superpuestas

La comparación SEA de fenómenos extremos NAO con niveles de reclutamiento se llevó a cabo para cada uno de estos stocks (atún rojo del Pacífico, atún blanco del Pacífico norte, atún rojo del Atlántico oeste y atún blanco del Atlántico norte) y se intentó con el pez espada del Atlántico norte. Sin embargo, la serie temporal de CPUE para el pez espada estaba ya alisada y no proporcionaba suficiente contraste para permitir un análisis.

No se descubrieron relaciones (estadísticas) significativas con fenómenos NAO extremos elevados. Se observó que los fenómenos NAO extremos elevados tenían lugar hacia el final de la serie temporal. Para el atún blanco del Atlántico norte esto correspondía con un periodo en el que la variabilidad en las estimaciones de reclutamiento era baja y sobre el que existía inquietud respecto a la precisión de estas estimaciones de reclutamiento (ver Informe Detallado ALB 2000). Estos factores podrían haber inhibido la capacidad para detectar relaciones entre el reclutamiento del atún blanco y los fenómenos NAO elevados. Sólo se descubrieron dos relaciones (estadísticas) significativas con fenómenos NAO bajos (para el atún rojo del Atlántico oeste y para el atún blanco del Atlántico norte). Sin embargo, para el atún rojo del Atlántico oeste, existían factores que podrían cuestionar la conclusión significación (estadística). La mayoría de los años de acontecimientos clave eran contiguos en el periodo temporal. Por lo tanto, los años de fenómenos clave, en algunos casos, eran también componentes de la muestra de años contiguos, una situación que probablemente disminuye la robustez del SEA. Además, sólo se descubrió una relación (estadística) significativa cuando los años de fenómenos clave se comparaban con los años anteriores contiguos. Los análisis para el atún rojo del Atlántico oeste que incorporaban años contiguos a continuación de los fenómenos clave no mostraban

significación (estadística). Por el contrario, los resultados para el atún blanco del Atlántico norte presentaban relaciones (estadísticas) significativas en todos los casos.

4.1.f Proporción de supervivencia

Durante la discusión se sugirió que, asumiendo una relación subyacente entre SSB y la producción de huevos, una medida mejor (en lugar de niveles nominales de reclutamiento) de los efectos potenciales de los factores medioambientales podría ser la proporción de supervivencia, reclutas / SSB. Según esta hipótesis, una mayor o menor proporción de reproductores sobrevivirían al reclutamiento debido a la influencia medioambiental.

En este caso, se realizaron comparaciones entre el atún rojo del Atlántico oeste y los valores de NAO $\text{año}+1$, ya que este era el índice NAO durante el primer invierno de los juveniles antes de su reclutamiento para la pesquería. Los valores invernales de NAO $\text{año}+1$ explicaban aproximadamente el 13% de la variabilidad en el reclutamiento (**Figura 5a**), pero la serie sin tendencias no mostraba ninguna relación (**Figura 5b**). Estos análisis se repitieron utilizando reclutas/SSB en lugar de reclutas. El NAO $\text{año}+1$ no estaba relacionado de forma significativa con la proporción de supervivencia (**Figura 5c**), pero explica sólo cerca de un 5% de la variabilidad en la proporción de supervivencia sin tendencias.

4.2 Patrones de variabilidad del reclutamiento en stocks de túnidos del Atlántico a partir de una investigación de las capturas y/o series temporales de CPUE

Como indicaba la agenda provisional, el grupo realizó un primer intento de investigar los patrones de variabilidad del reclutamiento calculando y comparando el coeficiente de variación (CV) y la autocorrelación de las capturas por edades 0, 1 y 2. El interés de este enfoque es comparar diversos stocks, artes y áreas (un ejercicio rara vez realizado), pero debe recalcarse que las capturas por edad (para edades 0, 1 y 2) siempre integran dos clases de información: una procedente de la actividad pesquera (variaciones en la estrategia pesquera, como por ejemplo cambios en la especie objetivo, esfuerzo pesquero, prácticas de descartar e infracomunicación), y otra procedente de la dinámica de población (variaciones en el tamaño de la clase anual). Por lo tanto, este análisis debe considerarse un enfoque preliminar.

Se realizó una selección de especies/artes/área según el conocimiento que tenían los biólogos presentes en las Jornadas. Por último, se mantuvieron seis stocks para el análisis: atún blanco (ALB) de la flota de cebo vivo (BB) y de curricán (TR) española que opera en el Golfo de Vizcaya; atún rojo (BFT) de las flotas de BB española y francesa que opera en el Golfo de Vizcaya; pez espada (SWO) de la flota de palangre (LL) española y estadounidense que opera en el Atlántico norte; y rabil (YFT), patudo (BET) y listado (SKJ) de la flota de cerco (PS). Las capturas de juveniles proceden principalmente del Golfo de Guinea para YFT y BET y del Atlántico tropical para SKJ. El grupo realizó los análisis sobre datos en bruto y sin tendencias (considerando que un aumento lineal en las capturas podría ser atribuido principalmente a cambios en el esfuerzo). Para PS, sólo se consideró el periodo 1980-1998 para evitar inconsistencias en la base de datos antes y después de 1980.

La **Figura 6** muestra el CV de las diferentes series de captura por edad de los seis stocks. Tanto en los datos en bruto como en los que no tenían tendencias, el YFT, BET, ALB y SWO muestran CV bastante bajos (entre 40% y 60%) en comparación con SKJ y BFT (CV de 80% a 140%). Considerando las capturas de temporada de YFT y SKJ se llega a la misma conclusión: el CV del SKJ es casi el doble del CV del YFT (**Figura 7**). Además, es interesante señalar que los CV de una especie dada son coherentes a lo largo de los 4 trimestres (excepto para el YFT de edad 0 en los trimestres 1 y 2, pero estos CV deben interpretarse con precaución, ya que estos peces son pobremente reclutados en las pesquerías). Es necesaria más investigación para interpretar estas diferencias de los CV entre las especies, empezando con una selección y validación de los datos más cuidadosa y un conjunto de datos más amplio. Se sugirió también combinar, en un único análisis o modelo, los stocks de los que se sospecha que están relacionados desde el punto de vista de la explotación. Esto podría permitir

probar si los cambios de objetivo, de una especie a otra, podrían estar inducidos por el medio ambiente. Una observación relacionada realizada durante las Jornadas señalaba también que las mayores capturas de ALB de edad 1 en el Golfo de Vizcaya después de 1983 parecen coincidir con el reclutamiento de la anchoa con un año de desfase.

La autocorrelación (AR) de BET y, de forma secundaria la de YFT, reflejan variaciones cíclicas como lo hace la AR del esfuerzo total de PS (**Figura 8**). En vista de la dinámica de estas pesquerías, es muy probable que ambas estén relacionadas. La AR de SKJ, ALB y BFT del BB francés presentan principalmente ruido blanco, mientras que las dos últimas (BFT de BB española y SWO de LL español) muestran alguna correlación en diferentes desfases. Sin embargo, este patrón desaparece con la serie temporal sin tendencias. Por último, parece que la mayoría de los patrones de AR presentan ruido blanco cuando se elimina lo que se sospecha está relacionado con el esfuerzo (es decir, el aumento lineal en las capturas). Si estas series temporales de capturas de edades 0, 1 y 2 pueden captar parte de la dinámica del reclutamiento, estos resultados indicarían que las variaciones en el reclutamiento no están autocorrelacionadas. Sin embargo, es necesaria más investigación sobre este tema (lo que podría realizarse en una reunión informal que reúna a unos pocos científicos; ver el punto 5).

4.3 Investigación, mediante modelos de simulación, de los efectos del reclutamiento variable sobre el tamaño del stock y la producción, así como posibles implicaciones en un procedimiento estándar de evaluación de stock.

Durante la reunión se construyó un modelo de simulación basado en el atún blanco del Atlántico norte para investigar si los métodos estándar de evaluación de stock podrían recuperar patrones en el reclutamiento inducidos por el medio ambiente.

El modelo se basó en el modelo para el atún blanco del Atlántico norte desarrollado por Kell et al. (en prensa) y constaba de dos componentes principales:

1. *Sistema verdadero*: Población simulada en la que los parámetros de población son conocidos.
2. *Sistema percibido*: Evaluación de stock que proporciona estimaciones de los parámetros de población.

Los datos totales de captura por edad y captura y esfuerzo son muestreados a partir de la población simulada y se utilizan en un análisis calibrado de población virtual para proporcionar estimaciones de números y mortalidad por pesca por edad.

En el sistema verdadero los parámetros biológicos (mortalidad anual, madurez y peso por edad) eran deterministas y los valores verdaderos eran conocidos para la evaluación de stock. La pesquería fue modelada por cuatro flotas pesqueras (cebo, palangre, curricán y otra) con patrones constantes de selección; estas flotas se utilizaron también para calibrar el VPA. La captura fue generada asumiendo que el esfuerzo ejercido por una flota en un año en particular no varía. Por lo tanto, la captura variaba dependiendo del tamaño de la clase anual.

El modelo se basaba en el modelo clásico de población utilizado en gran parte de la ciencia de pesquerías

$$N_{age,t+1} = N_{age-1,t} e^{-M-F}$$

La captura por edad se deriva de la ecuación de captura:

$$Catch_{fleet,age,year} = N_{age,year} \frac{F_{fleet,age,year}}{F_{age,year} + M_{age,year}} (1 - \exp(-F_{age,year} - M_{age,year}))$$

Sin embargo, para admitir la incertidumbre en el proceso dinámico, se incluyó el término adicional H :

$$N_{age,t+1} = N_{age-1,t} e^{-M-F+H}$$

donde $H \sim N(0, \phi^2)$ corresponde a procesos estocásticos sin identificar (por ejemplo variaciones en la mortalidad natural, mezcla del stock y/o errores no sistemáticos en el registro de captura; $\phi = 0,2$).

La relación stock-reclutamiento se modeló mediante la forma funcional Beverton y Holt, es decir:

$$R_t = \frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{SSB_{t-RecruitAge}}}$$

El reclutamiento estocástico se admitió como una variable aleatoria log normal,

$$R_t = \frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{SSB_{t-RecruitAge}}} e^{\varpi}$$

donde

$\varpi \sim N(0, \phi^2)$ para el reclutamiento puramente aleatorio, y

$\varpi \sim N(0, \left(\frac{\phi}{2}\right)^2) + \varepsilon$ para el reclutamiento inducido por el NAO.

(ε es una serie temporal que corresponde al NAO $\times -1$ ajustado para tener un CV del 15%). Por lo tanto, la variación en el reclutamiento es del 30% en ambos casos, sin embargo, en el último caso, la variación del reclutamiento en cualquier año es sólo del 15%.

H y ϖ fueron modeladas como variables aleatorias (es decir, variables que asumen diferentes valores en experimentos idénticos) y sus valores se obtuvieron mediante la simulación Monte Carlo. De esta forma, pueden obtenerse distribuciones de confianza para estadísticas de interés.

Las series de captura y esfuerzo generadas en el sistema simulado se utilizaron entonces en la evaluación de stock dentro de un análisis de población virtual para reconstruir la historia del stock.

La simulación se ensayó con dos factores con dos niveles cada uno, que comprenden 4 experimentos en total: el reclutamiento estaba inducido por el NAO o no, y el NAO se utilizaba para calibrar el VPA o no. Este diseño experimental sirve para probar el beneficio de incluir el índice NAO en el proceso de evaluación incluso cuando su relación con el reclutamiento es falsa.

Cuando no se introduce ruido en Z o en el reclutamiento esperado, y la serie temporal de reclutas viene dada por el NAO, entonces el VPA es capaz de recrear la historia del stock, como puede verse en la **Figura 9** (las series temporales verdaderas y estimadas coinciden y no se distinguen una de otra), ya que la captura por edad y la mortalidad natural se conocen perfectamente. Esto es independiente de si el VPA está calibrado o no al NAO. La única diferencia entre la población verdadera y la percepción conseguida mediante VPA se encuentra en el periodo más reciente, donde el VPA todavía no ha convergido.

Dado que la evaluación de stock puede estimar el reclutamiento real, la correlación entre el NAO y el reclutamiento inducido por el NAO es casi perfecta. La **Figura 10** muestra, para un ensayo determinista del modelo de reclutamiento, el reclutamiento sin tendencias y la proporción de SSB trazada contra el NAO.

Cuando se introduce ruido en el modelo en forma de mortalidad estocástica (por ejemplo, error en la captura, mezcla del stock o cambios en la predación) y variabilidad de reclutamiento, la evaluación de stock ya no es capaz de recrear a la perfección la historia del stock. La **Figura 11** muestra una realización estocástica del modelo. Para este ejemplo, el nivel de biomasa está subestimado y, aunque el reclutamiento estimado ya no coincide exactamente con el reclutamiento verdadero, sigue habiendo una correlación (estadística) significativa entre los dos. Vale la pena observar que las relaciones stock-reclutamiento estimadas y verdaderas son bastante diferentes. Las relaciones stock-reclutamiento eran ambas de la forma funcional Beverton y Holt. Como el rango de reclutamiento y SSB no tiene en cuenta la estimación de la disminución en el reclutamiento a medida que SSB disminuye, la forma percibida de la relación stock-reclutamiento se equipara a la media geométrica. Esto tiene implicaciones para las estimaciones de reclutamiento tanto a largo plazo como a corto plazo, y por lo tanto para la productividad del stock. En la **Figura 12** puede verse que la correlación entre reclutamiento y el NAO (cuando el NAO está induciendo el reclutamiento) se mantiene.

Las simulaciones se resumen en la **Figura 13**. Se observa que la evaluación puede obtener bien el nivel medio pero existe una considerable incertidumbre en las estimaciones; esto ocurre si el reclutamiento está inducido por el NAO y si está incluido en la evaluación (de forma falsa o no). Parece que incluir el NAO en la evaluación no mejora nuestra capacidad para estimar la biomasa pero tampoco tiene un efecto negativo. La segunda columna contrasta la distribución de la proporción de la SSB percibida en BRMS con la misma cantidad para el valor verdadero. Se observa que la proporción de la SSB actual en BRMS es más variable que el caso verdadero y que la reducción del stock está sobreestimada. La principal diferencia entre la población verdadera y la percepción está en la estimación de la relación stock-reclutamiento. Dado que los pares stock-reclutamiento estimados por la evaluación no permiten estimar la curvatura en la relación stock-reclutamiento, entonces la productividad del stock está subestimada. La tercera columna muestra la distribución de los CV del reclutamiento tanto real como percibido (a lo largo de toda la serie temporal). Mientras que el reclutamiento verdadero tenía un CV del 30%, la percepción de incertidumbre en el reclutamiento es mucho mayor. Esto se debe a la elevada incertidumbre en el reclutamiento, resultado de la acumulación de errores mientras el VPA retro-calcula la historia de una cohorte.

La cuarta columna muestra la correlación entre el reclutamiento estimado y el NAO para el reclutamiento bruto, y la proporción sin tendencias del reclutamiento en SSB. Esto muestra que cuando el reclutamiento está inducido por el NAO, la evaluación de stock puede captarlo. Además, cuando el reclutamiento no está inducido por el NAO, no se encontraron correlaciones falsas.

En este estudio, el efecto de incluir información acerca del NAO en el VPA parece neutral en nuestra percepción de la historia del stock. Sin embargo sería de esperar que, incluyendo un índice de reclutamiento, mejorara la precisión de nuestras estimaciones de reclutamiento para las clases anuales más recientes (es decir, aquellas en la parte no convergente del VPA). Esto tendría implicaciones para las proyecciones a corto plazo y de ahí el establecimiento de cuotas. La inclusión del NAO sólo mejoraba las estimaciones de las clases anuales recientes si al NAO se le asignaba una ponderación igual a la de los otros índices. El índice NAO para la clase de edad en reclutamiento tenía mayor

varianza que los demás índices (ya que las estimaciones de reclutamiento incluyen el error a edades mayores en las cohortes debido a los retro-cálculos del VPA) y por lo tanto la ponderación por la varianza inversa significa efectivamente que la información sobre reclutamientos recientes es descartada. Esto puede corregirse asignando al NAO una ponderación mayor en la calibración del VPA, pero es necesario más trabajo para evaluar las consecuencias.

El grupo reconoció que estos resultados dependen en gran medida de los supuestos que subyacen en el modelo y que deben realizarse investigaciones más detalladas antes de deducir conclusiones generales. Es probable, por ejemplo, que el tipo de ciclo vital del stock y las longitudes de las series temporales disponibles para el análisis tengan influencia en nuestra capacidad para comprender la dinámica. Sin embargo, el grupo opinó que los estudios de simulación son una herramienta útil para permitirnos explorar la dinámica de los stocks y nuestra capacidad de comprenderlos.

A partir de estas simulaciones, puede deducirse que si no existe ruido en los datos de captura o en la dinámica del stock, el proceso estándar de evaluación es capaz de captar la dinámica. Si el reclutamiento está inducido por el medio ambiente, nuestra percepción histórica del stock no se altera al incluir información sobre reclutamiento en el VPA. Podría existir alguna ventaja a corto plazo si se incluye tal información, pero la mayor incertidumbre está en nuestra percepción del nivel esperado de reclutamiento futuro y no en la desviación sobre este nivel.

5 Discusión general sobre la implementación de consideraciones medioambientales en los procedimientos ICCAT de evaluación de stock

La discusión reseñada en este punto se desarrolló en dos niveles: 1) sugerencias sobre cómo desarrollar investigaciones científicas sobre relaciones biológicas con factores medioambientales; y cómo utilizar los datos medioambientales en las evaluaciones mismas, y 2) cómo deben organizarse las actividades del SCRS para facilitar el punto 1).

Normalmente, los factores medioambientales afectan a una evaluación a través de efectos medioambientales sobre el stock en sí mismo, a través del reclutamiento, migración, conducta reproductiva, y otros parámetros biológicos. Los factores medioambientales afectan también a nuestra *percepción* del estado del stock debido a efectos medioambientales sobre nuestras medidas (generalmente moduladas a través de medidas de CPUE). Asimismo, los resultados de la evaluación (y el efecto de los factores medioambientales sobre estos resultados) se utilizan para dos propósitos básicos: proporcionar una perspectiva histórica de la dinámica y productividad del stock, y proporcionar una base para implicaciones futuras, como producción futura, TACs u otras actividades de ordenación. Al desarrollar investigaciones científicas debemos ser conscientes de la yuxtaposición de factores medioambientales con estos cuatro criterios.

Al desarrollar métodos para integrar los factores medioambientales en una evaluación, un primer paso podría ser identificar factores potenciales para cada especie (por ejemplo, efectos de temperatura, presión del viento) y las relaciones hipotéticas que tienen estos factores con características biológicas de las especies. Luego deben observarse los posibles sesgos que puedan surgir si estos factores no están integrados en la evaluación y a la inversa, los que pueden surgir si *son* incluidos. Ambos aspectos son importantes. De hecho, en esta reunión, se realizó un análisis inicial de este tipo para el atún blanco del norte y el NAO (ver punto 4.3). Hay que examinar también las consecuencias de los sesgos, en términos tanto de estimación de la dinámica del stock como de asesoramiento respecto a ordenación. Para hacer esto último, sería necesario integrar el modelo de evaluación en la valoración de los datos medioambientales, como en el documento SCRS/01/039.

Asimismo, debemos ser conscientes de la recopilación de datos básicos y cómo se ven afectados por las regulaciones pesqueras y por consiguiente afectan a las correlaciones de las variables de evaluación de stock con los índices medioambientales. Un ejemplo sería la implementación de tallas mínimas y cuotas de captura admisibles.

Al evaluar los efectos medioambientales, es importante tener en cuenta la diferencia entre la variación aleatoria y las tendencias en variabilidad medioambiental y cómo afectan a una evaluación. La variación aleatoria en un índice medioambiental puede afectar a la precisión de la evaluación, pero no necesariamente a la exactitud. Mientras que las tendencias (o cambios) en el índice pueden afectar a la exactitud así como a la precisión, y a menudo esto tiene implicaciones importantes para la ordenación. Para mejorar la capacidad de detectar tendencias y cambios, debe intentarse en la medida de lo posible incorporar bases de datos a largo plazo. De hecho, el objetivo del Grupo de Trabajo sobre Métodos de Evaluación es desarrollar métodos que permitan la utilización de datos a más largo plazo.

Aunque las anteriores sugerencias son útiles para la investigación científica, es sabido que es difícil integrar todas estas actividades en la forma en que se llevan a cabo las evaluaciones dentro de la estructura del SCRS. Normalmente no hay tiempo suficiente para llevar a cabo estos análisis exploratorios durante la reunión de un grupo de trabajo de evaluación. Además, no todos los científicos que participan habitualmente en el SCRS y sus grupos de trabajo poseen la experiencia necesaria para explorar de forma exhaustiva los conjuntos de datos medioambientales. Deben estudiarse oportunidades para reunir expertos multidisciplinarios y fomentar la investigación sobre los datos medioambientales. A continuación se detallan algunas sugerencias para lograr este objetivo:

- a) que los Relatores de Grupos de Trabajo sobre Especies definan en su Plan de Trabajo importantes análisis medioambientales que pueden realizarse antes de la evaluación. Estos análisis podrían ser útiles para determinar sesgos potenciales, la importancia de estos sesgos y advertencias en el asesoramiento respecto a ordenación; estos resultados deberían estar incluidos en los informes detallados de los Grupos de Trabajo sobre Especies.
- b) fomentar la colaboración de los científicos a través de reuniones informales para realizar los análisis descritos en el punto a), estableciendo un espacio en la Secretaría para los Científicos Visitantes.
- c) desarrollar bases de datos estadísticas *antes* de los análisis para que sean utilizadas por colaboradores informales. Estos requeriría asistencia adicional por parte de la Secretaría.
- d) considerar reuniones intersesiones periódicas del Subcomité sobre Medio Ambiente y reuniones plenarias del Subcomité más cortas (y centralizadas).
- e) fomentar la comunicación con otros científicos multidisciplinarios y sus organizaciones para facilitar la implementación de nuevos conjuntos de datos y nuevas ideas, y
- f) celebrar un Simposio sobre efectos medioambientales como se ha sugerido anteriormente, pero retrasarlo hasta 2004 o más adelante para disponer de investigaciones científicas más y mejor desarrolladas.

Estas sugerencias podrían mejorar la capacidad del SCRS para integrar factores medioambientales en las evaluaciones y mejorar la utilidad de las evaluaciones en sí mismas.

6 Otros asuntos

El Grupo reconoció la dificultad de celebrar un debate en profundidad durante las sesiones plenarias del SCRS del Subcomité sobre Medio Ambiente acerca de los documentos que tratan temas de medio ambiente. Sería más fácil trabajar en un grupo más pequeño, las discusiones técnicas y detalladas deberán celebrarse durante los grupos de trabajo.

Periódicamente, deben establecerse grupos de trabajo para debatir temas específicos en reuniones intersesiones. A causa del elevado número de reuniones de evaluación que hay previstas para 2002, el próximo Grupo de Trabajo del Subcomité sobre Medio Ambiente podría reunirse en 2003 y debería organizarse un Simposio internacional posteriormente (en 2004 ó 2005).

Un grupo de trabajo podría reunirse durante el SCRS, pero fuera de las plenarias, para preparar un informe general para presentar a las plenarias del SCRS y definir los temas a discutir en la siguiente reunión intersesional del Subcomité sobre Medio Ambiente. La presentación de documentos científicos durante las reuniones del Subcomité en el SCRS debería ser reemplazada por un resumen, preparado por el Presidente, de los documentos relacionados fundamentalmente con temas medioambientales.

Hubo un acuerdo general acerca de la necesidad de la presencia de expertos en otras disciplinas (oceanografía, medio ambiente) durante las reuniones, pero el Grupo reconoció la dificultad de la participación de científicos que no pertenecen a ICCAT. Sin embargo, debido a la importancia de los datos sobre medio ambiente para el trabajo del Subcomité, los datos oceanográficos deben ser definidos por los Grupos de trabajo sobre especies, preparados con antelación a las reuniones y presentados en un formato accesible para los no especialistas, con el fin de integrarlos con los datos sobre pesquerías.

Se expresaron inquietudes acerca de las bajas capturas de diversas especies de túnidos en las Azores y Madeira desde hace algunos años. Esta situación podría estar relacionada con condiciones medioambientales (por ejemplo el calentamiento global) o con la sobrepesca. También se señalaron algunos cambios en la distribución geográfica de algunas especies de túnidos en el Atlántico norte. Este tema fue considerado un importante punto de partida para definir un estudio caso para el próximo Grupo de Trabajo sobre Medio Ambiente, ya que afecta a diversas especies de gran interés para ICCAT. Esto podría ser analizado mediante un estudio detallado de las condiciones medioambientales y las pesquerías de túnidos en los archipiélagos del Atlántico nordeste (Canarias, Madeira y Azores) donde en años recientes se han observado importantes cambios en la disponibilidad de los túnidos y en la composición de la captura. Una ventaja de las pesquerías de estas islas es que constituyen un punto fijo de observación en el que las flotas atuneras tienen un margen de operación restringido y son muy dependientes de las condiciones medioambientales locales y la disponibilidad de túnidos en la zona.

7 Recomendaciones

- 1- Los programas científicos de muestreo que recogen larvas deben también recoger *in situ* observaciones medioambientales.
- 2- Los científicos deben intentar definir y cuantificar el hábitat de reclutamiento adecuado para las diversas especies de las que se ocupa directamente ICCAT.
- 3- Deben realizarse estudios sobre tendencias y anomalías de series temporales medioambientales para las zonas en las que se encuentran las larvas.
- 4- Para los stocks que tienen múltiples zonas de desove distintas, deben llevarse a cabo análisis comparativos de series temporales medioambientales en las diversas zonas.
- 5- Deben examinarse los cambios en la capacidad de reproducción debido a la variabilidad de los factores de condición.
- 6- Definir, en los Planes de Trabajo de los diferentes grupos de especies, análisis medioambientales que puedan realizarse antes de las evaluaciones.

- 7- Establecer un espacio en la Secretaría para albergar a científicos visitantes.
- 8- Desarrollar bases de datos estadísticas antes de los análisis para que sean utilizadas por colaboradores informales.
- 9- Considerar reuniones intersesiones periódicas del Subcomité sobre Medio Ambiente con sesiones plenarias más cortas y más enfocadas.
- 10- Fomentar la comunicación con otros científicos multidisciplinarios y sus organizaciones.
- 11- Celebrar la próxima reunión intersesional del Grupo de Trabajo del Subcomité sobre Medio Ambiente en 2003, seguida de un simposio internacional 1 ó 2 años más tarde.

8 Adopción del informe y clausura de la reunión

El Grupo adoptó el informe y solicitó a la Secretaría que sea traducido y distribuido tan pronto como sea posible. El Presidente de la reunión agradeció a todos los participantes el trabajo realizado y los participantes agradecieron al Presidente su excelente labor. La reunión fue clausurada.

Referencias

- Bartlett. 1946. On the theoretical specification of sampling properties of autocorrelated time series. J. R. Stat. Soc. Suppl. 8; pp. 24-411.
- Kell L.T., D.J. Die, V.R. Restrepo, J.M. Fromentin, V. Ortiz de Zarate and P. Pallares. 2001. An Evaluation Of Management Strategies For Atlantic Tuna Stocks. Ciencia Marina.
- Legendre and Legendre. 1998. Numerical ecology. S.E. Elsevier. Amsterdam.
- Myers, R.A., G. Mertz and C.A. Bishop. 1993. Cod spawning in relation to physical and biological cycles of the northern North-west Atlantic. Fish. Oceanogr. 2:3/4; pp. 154-165
- Peres-Neto, P.R. 1999. How many statistical tests are too many? The problem of conducting multiple ecological inferences revisited. Marine Ecology Progress Series. 176; pp. 303-306
- Prager, M. and J. Hoenig. 1989. Superposed epoch analysis: a randomization test of environmental effects on recruitment with application to Chub Mackerel. Trans. Am. Fish. Soc. 118; pp. 608-618
- Shepherd J.G. and Nicholson D. 1991. Multiplicative modeling of catch-at-age data and its application to catch forecasts. ICES J. Mar. Sci., 47: 284-294

LÉGENDES

Fig. 1 Tests de corrélation entre le recrutement annuel du thon rouge du Pacifique et l'Indice Nord-Pacifique (NPI): a) NPI et tendance ajustée; b) recrutement et tendance ajustée; c) séries détendancialisées de NPI et de recrutement; d) relation entre les séries détendancialisées.

Fig. 2 Tests de corrélation entre le recrutement annuel du germon du Pacifique nord et l'Indice Nord-Pacifique (NPI): a) NPI et tendance ajustée; b) recrutement et tendance ajustée; c) séries détendancialisées de recrutement et de NPI; d) relation entre les séries détendancialisées.

Fig. 3 Tests de corrélation entre le recrutement du germon de l'Atlantique nord et l'Indice de l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO): a) NAO and tendance ajustée; b) recrutement et tendance ajustée; c) séries détendancialisées du NAO et du recrutement; d) relation entre les séries détendancialisées.

Fig. 4 Tests de corrélation entre le recrutement annuel du thon rouge de l'Atlantique ouest et l'indice de l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO): a) relation entre les recrues et la biomasse du stock reproducteur (SSB) pour différentes périodes; b) relation entre le recrutement et le NAO pour différentes périodes; c) séries temporelles détendancialisées du NAO (traits) et du recrutement (symboles); d) relation entre les séries détendancialisées.

Fig. 5 Tests de corrélation entre le recrutement annuel du thon rouge de l'Atlantique ouest ou son taux de survie (recrues/biomasse du stock reproducteur) et l'indice de l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO) au moment du frai: a) relation entre le recrutement et le NAO; b) relation entre le recrutement détendancialisé et le NAO; c) relation entre le taux de survie et le NAO; d) relation entre le taux détendancialisé de survie et le NAO.

Fig. 6 Coefficients de variation des prises d'albacore (YFT, âges 0, 1 et 2), de listao (SKJ, juvéniles), de thon obèse (BET, âges 0, 1 et 2), de thon rouge (BFT, âges 1 et 2), de germon (ALB, âge 1) et d'espadon (SWO, âge 1). Barres blanches: données brutes; barres sombres: données détendancialisées.

Fig. 7 Coefficients de variation des prises saisonnières d'albacore et de listao. Barres blanches: données brutes; barres sombres: données détendancialisées.

Fig. 8 Analyse d'auto-corrélation des prises PS de poissons des âges 0, 1 et 2 de YFT et BET et de juvéniles (<35 cm) de listao, et effort PS standardisé pour la période 1980-1998.

Fig. 9 Passage déterministe du modèle de simulation utilisé. Les panneaux de la première colonne montrent les séries temporelles de la biomasse et du recrutement, réels (traits pleins) et estimés (en pointillé). Le niveau de B_{PME} est également indiqué pour référence. Les panneaux de la deuxième colonne illustrent le recrutement et la SSB estimés par rapport aux valeurs réelles. Les paires stock-recrues (croix indiquant les valeurs estimées) sont portées à la troisième colonne avec la relation stock-recrutement ajustée et réelle.

Fig. 10 Graphique du recrutement réel (losanges) et estimé (croix) par rapport au NAO d'après un passage déterministe du modèle de simulation.

Fig. 11 Une exécution du modèle de simulation avec variabilité stochastique. Les panneaux de la première colonne montrent les séries temporelles de la biomasse et du recrutement, réels (trait plein) et estimés (en pointillé). Les panneaux de la deuxième colonne illustrent le recrutement estimé et la SSB par rapport aux valeurs actuelles. Les paires stock-recrues (croix indiquant les valeurs estimées) sont portées dans la troisième colonne avec la relation ajustée et réelle du recrutement.

Fig. 12 Graphique du recrutement réel (losanges) et estimé (croix) par rapport au NAO d'après un passage stochastique unique du modèle de simulation. Le recrutement était influencé par le NAO, et celui-ci a servi d'indice dans la calibration de la VPA.

Fig. 13 Comparaison des traitements expérimentaux. La première colonne de panneaux montre les estimations perçues de la biomasse du stock reproducteur par rapport à la valeur réelle; la deuxième colonne illustre le ratio de la biomasse perçue et de B_{PME} par rapport à la même quantité pour la valeur réelle; la troisième colonne donne les CV du recrutement perçu et réel; la quatrième colonne montre la distribution de la corrélation entre le recrutement perçu et le NAO (la ligne horizontale indique la corrélation entre le recrutement, lorsque celui-ci est influencé par le NAO, et le NAO). Les deux premières lignes correspondent aux cas où le recrutement est influencé par le NAO, et les troisième et quatrième lignes ceux où le NAO est utilisé pour calibrer la VPA.

LEYENDAS

Figura 1. Pruebas de correlación entre el reclutamiento anual del atún rojo del Pacífico y el Índice del Pacífico Norte (NPI). a: NPI y tendencia ajustada; b: Reclutamiento y tendencia ajustada; c: NPI y series de reclutamiento sin tendencias; d: Relación entre las series sin tendencias.

Figura 2. Pruebas de correlación entre el reclutamiento anual del atún blanco del Pacífico norte y el Índice del Pacífico Norte (NPI). a: NPI y tendencia ajustada; b: Reclutamiento y tendencia ajustada; c: NPI y series de reclutamiento sin tendencias; d: Relación entre las series sin tendencias

Figura 3. Pruebas de correlación entre el reclutamiento anual del atún blanco del Atlántico norte y el índice de Oscilación del Atlántico Norte (NAO). a: NAO y tendencia ajustada; b: Reclutamiento y tendencia ajustada; c: NAO y series de reclutamiento sin tendencias; d: Relación entre las series sin tendencias

Figura 4. Pruebas de correlación entre el reclutamiento anual del atún rojo del Atlántico oeste y el índice de Oscilación del Atlántico Norte (NAO). a: Relación entre reclutas y la biomasa del stock reproductor (SSB) para diferentes periodos temporales. b: Relación entre reclutamiento y NAO para diferentes periodos temporales. c: series temporales sin tendencias de NAO (líneas) y reclutamiento (símbolos). d: Relación entre series sin tendencias.

Figura 5. Pruebas de correlación entre el reclutamiento anual del atún rojo del Atlántico oeste o proporciones de supervivencia (reclutas/biomasa del stock reproductor) y el índice de Oscilación del Atlántico Norte (NAO) en el momento del desove. a: Relación entre reclutamiento y NAO. b: Relación entre reclutamiento y NAO sin tendencias. c: Relación entre proporción de supervivencia y NAO. d: Relación entre proporción de supervivencia y NAO sin tendencias.

Figura 6. Coeficientes de variación sobre capturas de rabil (YFT, edades 0, 1 y 2), listado (juveniles SKJ), patudo (BET edades 0, 1 y 2), atún rojo (BFT edades 1 y 2), atún blanco (ALB edad 1) y pez espada (SWO edad). Barras blancas: datos en bruto; barras negras: datos sin tendencias.

Figura 7. Coeficientes de variación sobre capturas de temporada de rabil y listado. Barras blancas: datos en bruto; barras negras: datos sin tendencias.

Figura 8. Análisis de autocorrelación de capturas PS de edades 0, 1 y 2 de YFT y BET, juveniles (<35 cm.) de SKJ y esfuerzo PS estandarizado para el periodo 1980-1998.

Figura 9. Ensayo determinista del modelo de simulación utilizado. Los recuadros de la primera columna muestran series temporales de la biomasa y reclutamiento reales (línea sólida) y estimados (línea de puntos). Se indica también como referencia el nivel de B_{RMS} . Los recuadros de la segunda columna muestran el reclutamiento y la SSB estimados frente a los valores reales. Los pares stock-recluta (las cruces representan los valores estimados) están representados en la tercera columna con la relación stock-reclutamiento ajustada y real.

Figura 10. Representación de reclutamiento verdadero (rombos) y estimado (cruces) frente al NAO a partir de un ensayo determinista del modelo de simulación.

Figura 11. Una realización del modelo de simulación con variabilidad estocástica. Los recuadros de la primera columna muestra la serie temporal de la biomasa y el reclutamiento estimados (línea de puntos) y real (línea sólida). Los recuadros de la segunda columna muestran el reclutamiento y la SSB estimados representados frente a los valores reales. Los pares stock-reclutamiento (las cruces representan los valores estimados) están representados en la tercera columna con la relación stock reclutamiento ajustada y real.

Figura 12. Representaciones de reclutamiento verdadero (rombos) y estimado (cruces) frente al NAO a partir de un único ensayo estocástico del modelo de simulación. El reclutamiento estaba inducido por el NAO y el NAO se utilizó como índice de calibración en la calibración del VPA.

Figura 13. Una comparación de tratamientos experimentales. La primera columna muestra las estimaciones percibidas de la biomasa del stock reproductor representada frente al valor verdadero; la segunda columna muestra la proporción de la Biomasa percibida relativa a B_{RMS} representada frente a la misma cantidad para los valores verdaderos; la tercera columna muestra los CV del reclutamiento real y percibido; y la cuarta columna muestra la distribución de la correlación entre el reclutamiento percibido y el NAO (la línea horizontal indica la correlación entre el reclutamiento, cuando está inducido por el NAO, y el NAO). Las dos primeras filas corresponden a los casos en los que el reclutamiento está inducido por el NAO y la primera y tercera filas corresponden a los casos en los que el NAO se ha utilizado para calibrar el VPA.

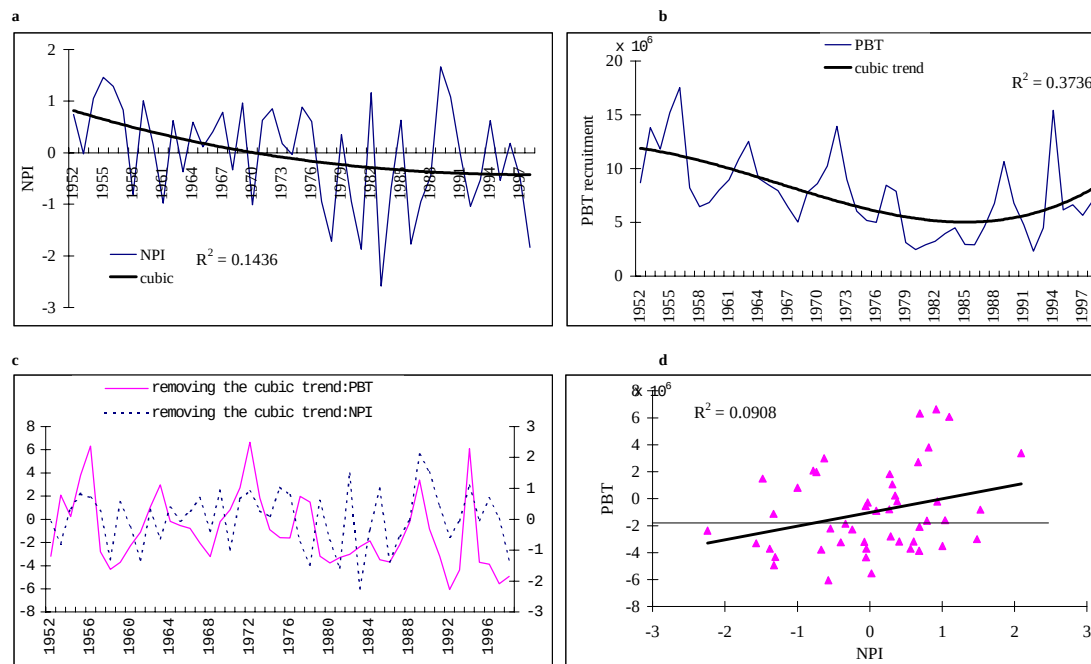


Figure 1. Correlation tests between annual Pacific bluefin tuna recruitment and North Pacific Index (NPI). a: NPI and fitted trend. b: Recruitment and fitted trend. c: Detrended NPI and recruitment series. d: Relationship between detrended series.

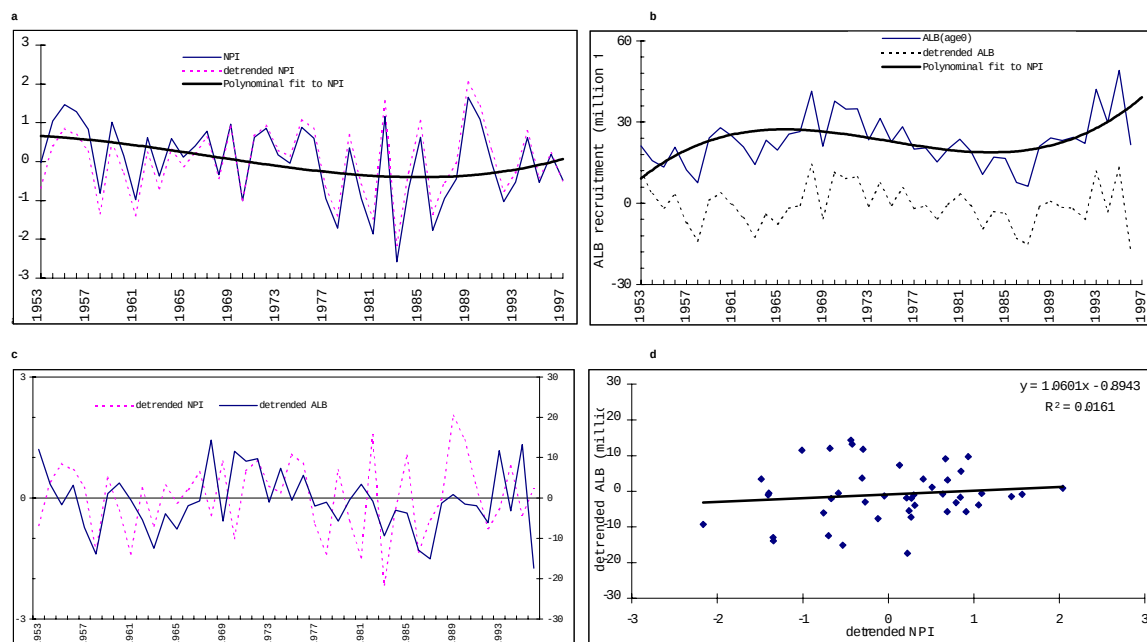


Figure 2. Correlation tests between annual North Pacific albacore tuna recruitment and North Pacific Index (NPI). a: NPI and fitted trend. b: Recruitment and fitted trend. c: Detrended series of recruitment and NPI. d: Relationship between detrended series.

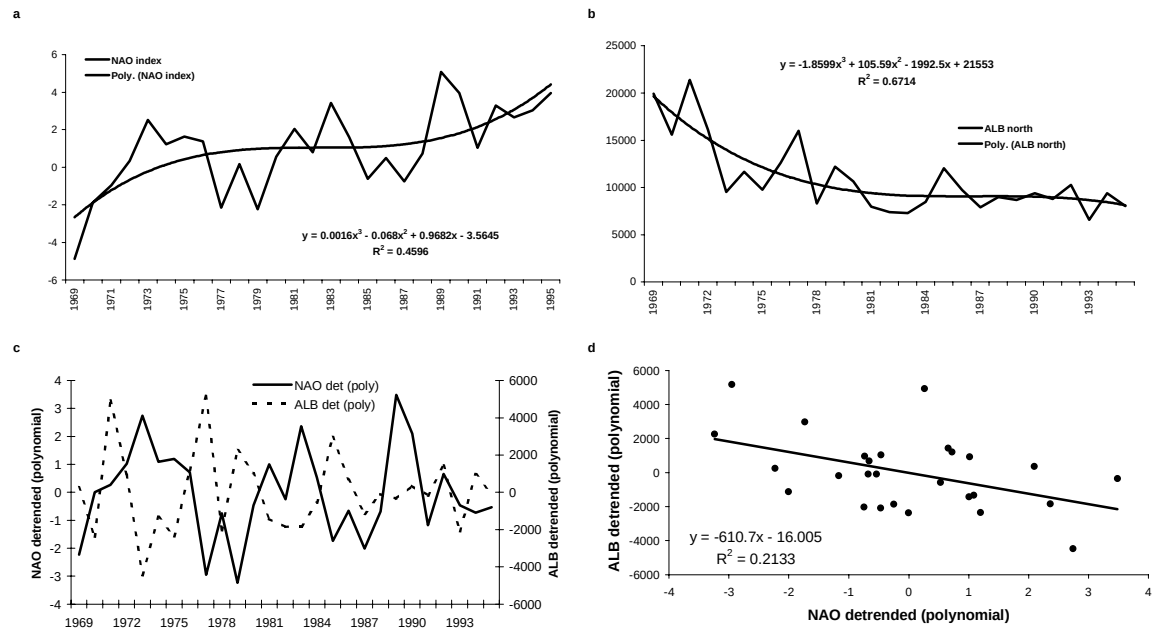


Figure 3. Correlation tests between annual North Atlantic albacore tuna recruitment and North Atlantic Oscillation index (NAO). a: NAO and fitted trend. b: Recruitment and fitted trend. c: detrended series of NAO and recruitment. d: Relationship between detrended series.

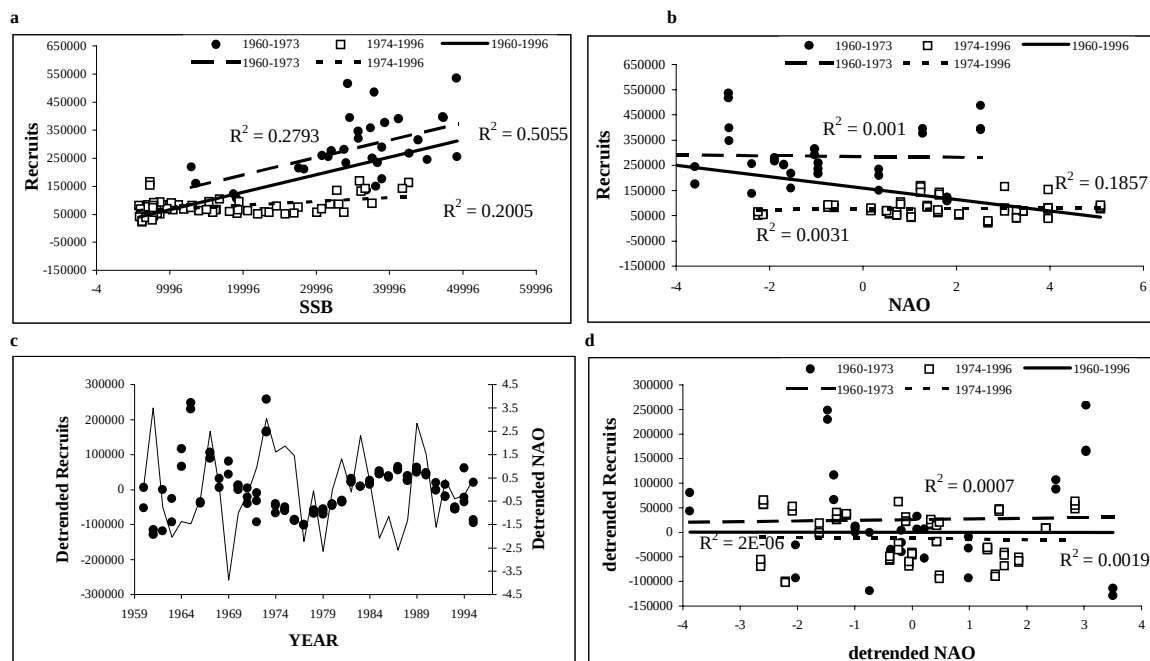


Figure 4. Correlation tests between annual western Atlantic bluefin tuna recruitment and North Atlantic Oscillation index (NAO). a: Relationship between recruits and spawning stock biomass (SSB) for different time periods. b: Relationship between recruitment and NAO for different time periods. c: Detrended NAO (lines) and recruitment (symbols) time series. d: Relationship between detrended series.

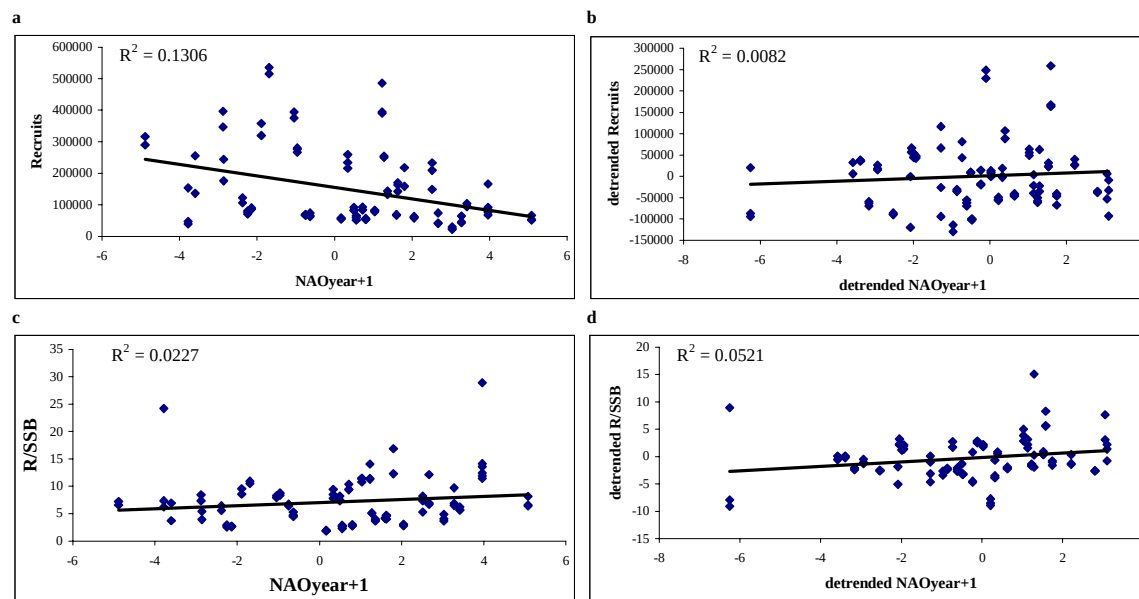


Figure 5. Correlation tests between annual western Atlantic bluefin tuna recruitment or survival ratios (recruits/spawning stock biomass) and North Atlantic Oscillation index (NAO) at the time of spawning. a: Relationship between recruitment and NAO. b: Relationship between detrended recruitment and NAO. c: Relationship between survival ratio and NAO. d: Relationship between detrended survival ratio and NAO.

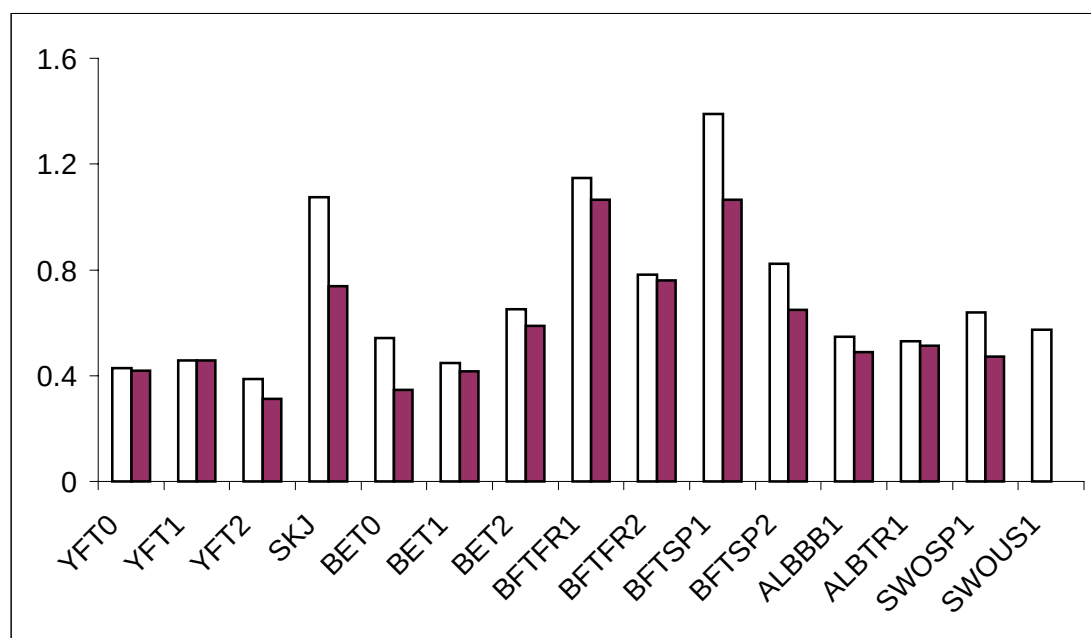


Figure 6. Coefficients of variation on catches of yellowfin (YFT, ages 0, 1 and 2), skipjack (SKJ juveniles), bigeye tuna (BET ages 0, 1 and 2), bluefin tuna (BFT ages 1 and 2), albacore (ALB age 1) and swordfish (SWO age1). White bars: raw data; black bars: detrended data.

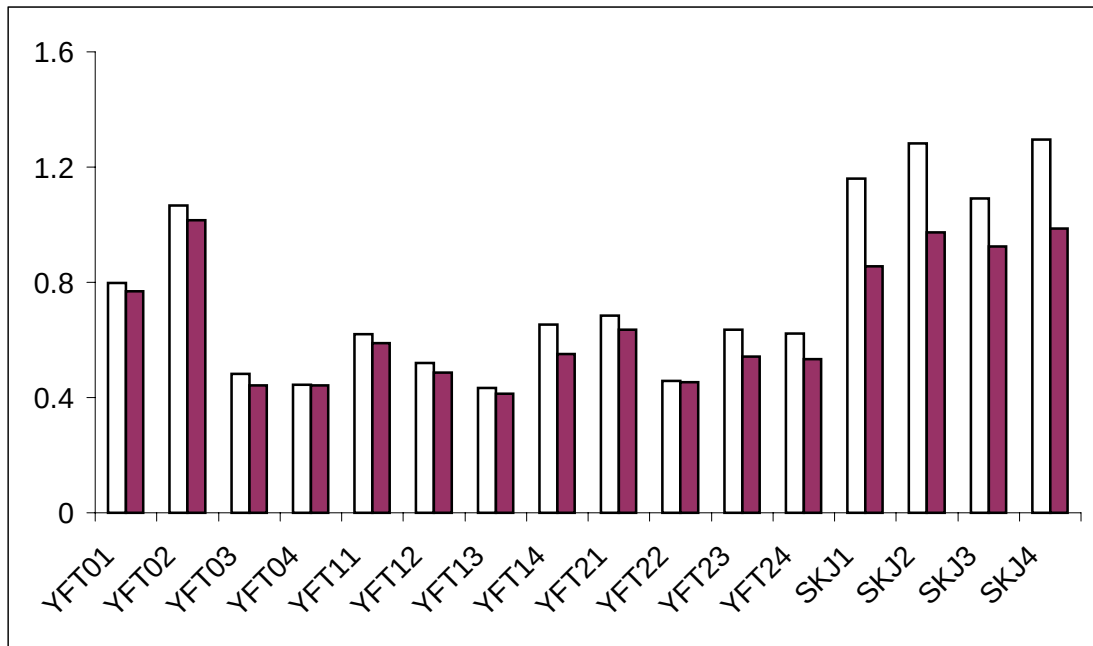


Figure 7. Coefficients of variation on seasonal catches of yellowfin and skipjack. White bars: raw data; black bars: detrended data.

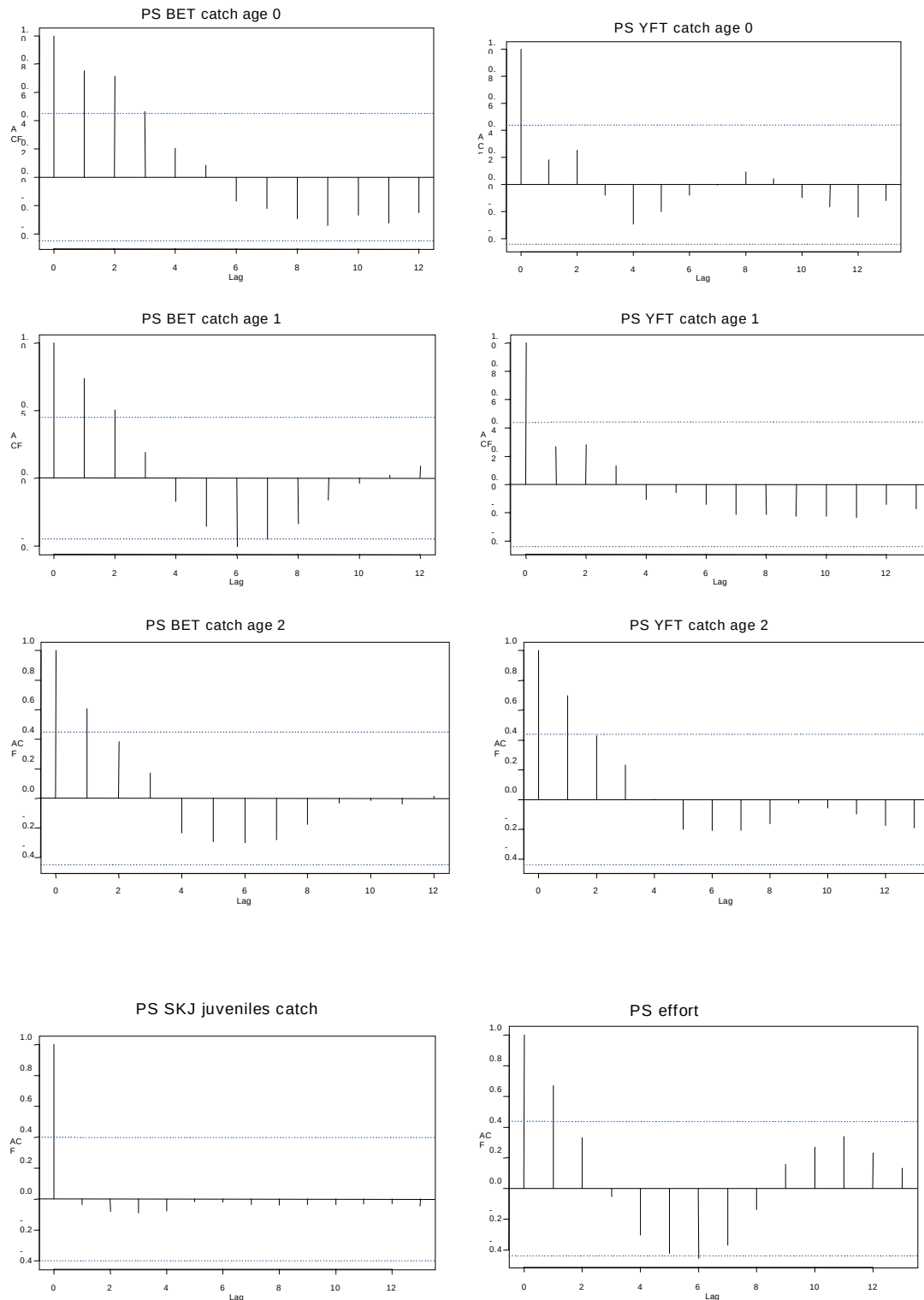


Figure 8. Autocorrelation analysis of PS catches of ages 0, 1 and 2 of YFT and BET, juveniles (<35 cm.) of SKJ and standardized PS effort for the period 1980-1998.

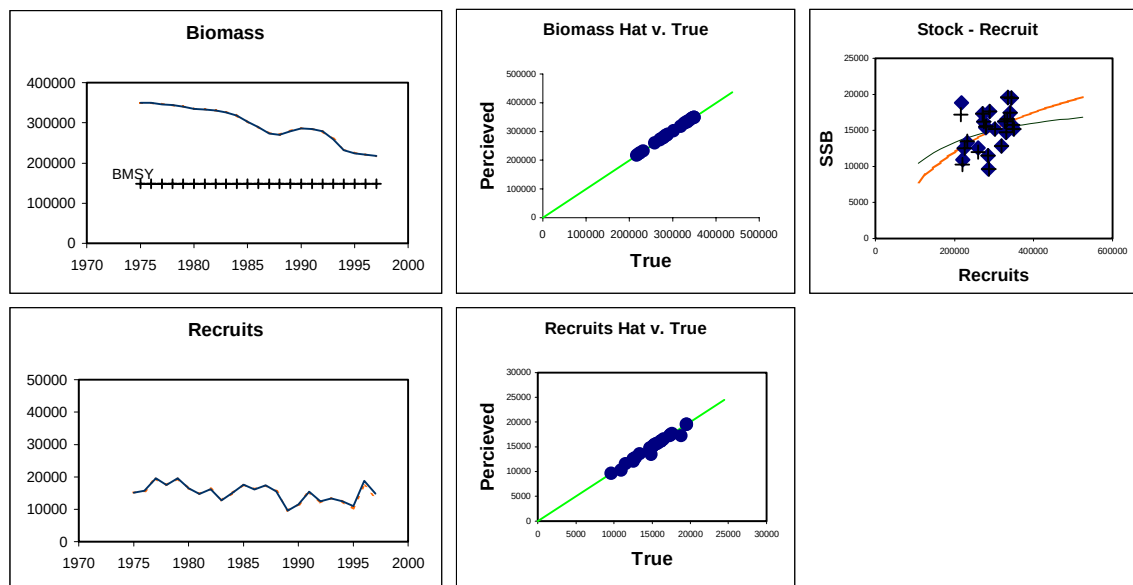


Figure 9. Deterministic run of the simulation model used. Panels in the first column show time series of the actual (solid line) and the estimated biomass and recruitments (dotted line). The B_{MSY} level is also indicated for reference. Panels in the second column show the estimated recruitment and SSB plotted against the actual values. The stock recruit pairs (crosses denoted the estimated values) are plotted in the third column with fitted and actual stock recruitment relationship.

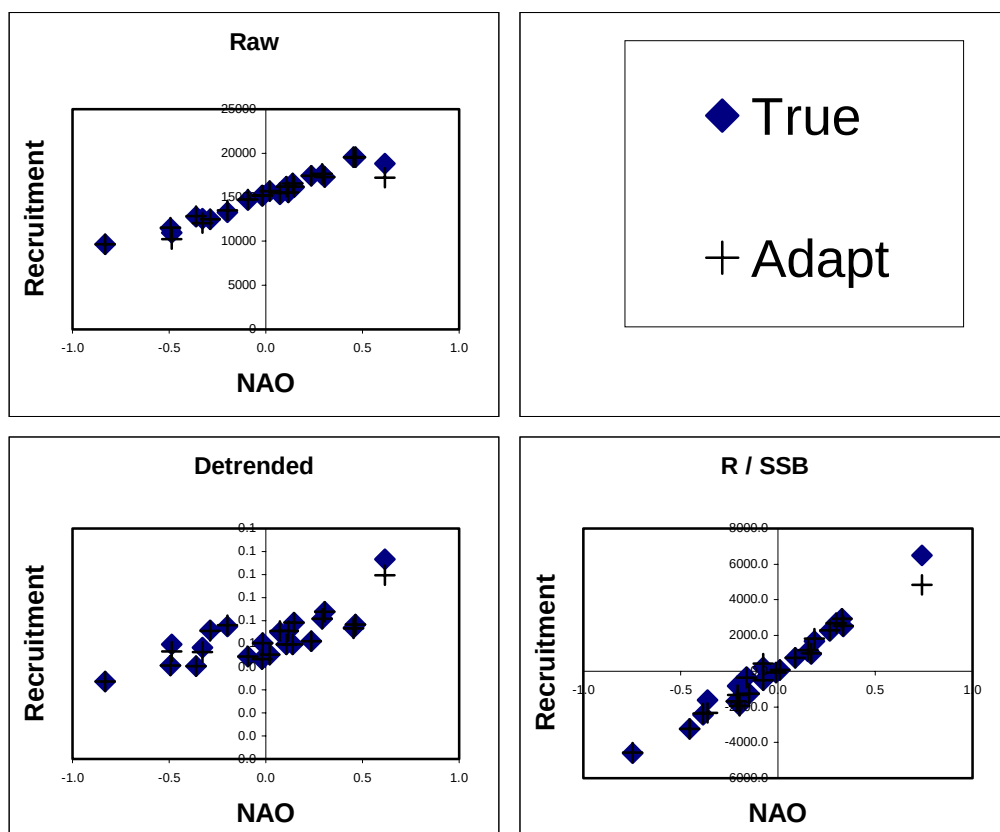


Figure 10. Plots of true (diamonds) and estimated (crosses) recruitment against the NAO from a deterministic run of the simulation model.

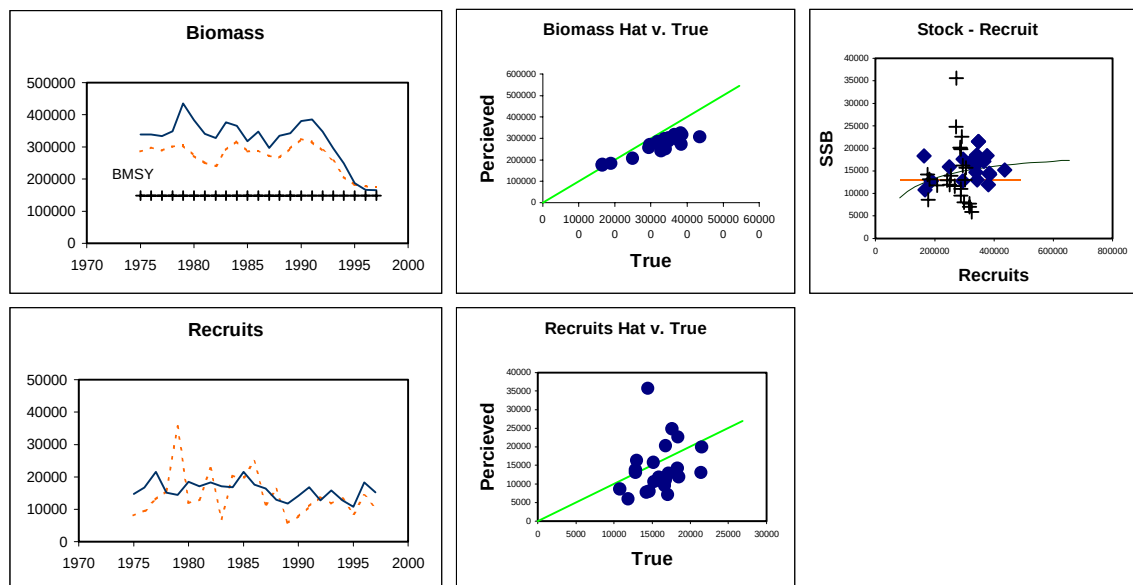


Figure 11. One realization of the simulation model with stochastic variability. Panels in the first column show the time series of the actual (solid line) and the estimated biomass and recruitment (dotted line). Panels in the second column show the estimated recruitment and SSB plotted against the actual values. The stock-recruit pairs (crosses denoted the estimated values) are plotted in the third column with fitted and actual stock recruitment relationship.

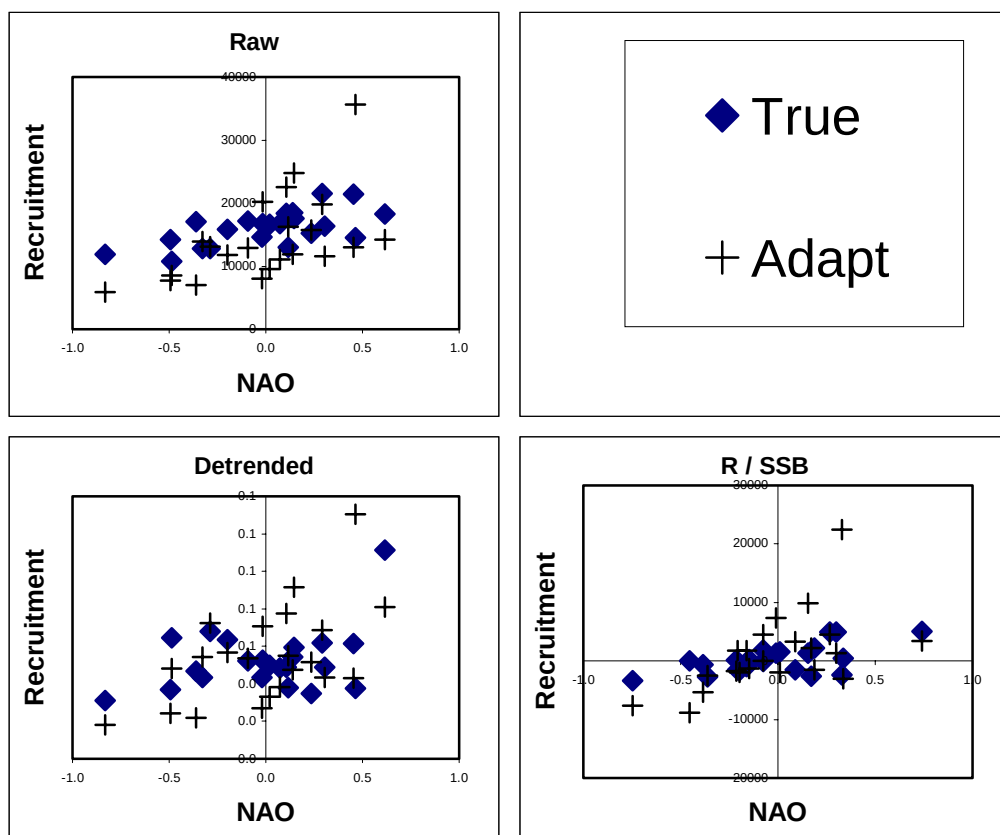


Figure 12. Plots of true (diamonds) and estimated (crosses) recruitment against the NAO from a single stochastic run of the simulation model. Recruitment was driven by the NAO and the NAO was used as a tuning index in the calibration of the VPA.

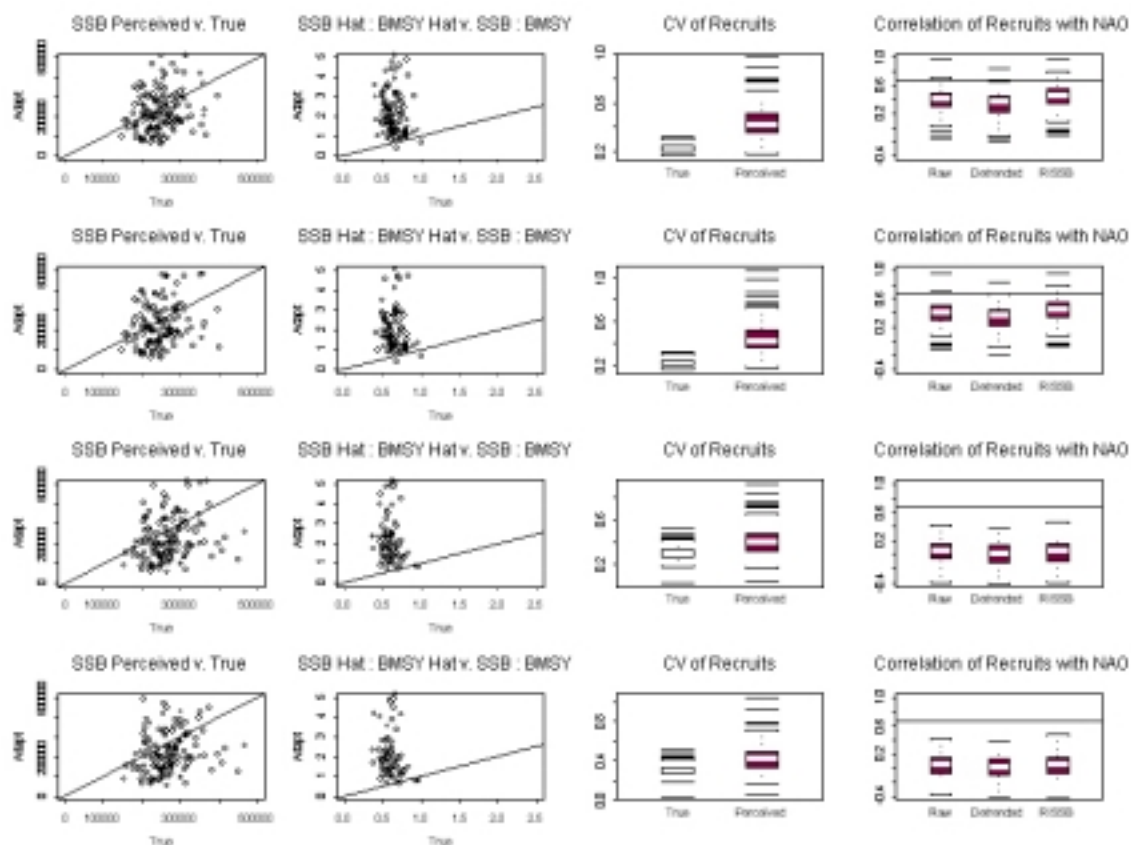


Figure 13. A comparison of experimental treatments. The first column of panels shows the perceived estimates of spawning stock biomass plotted against the true value; the second column the ratio of the perceived Biomass relative to BMSY relative plotted against the same quantity for the true values; the third column the CVs of the perceived and the actual recruitment; the fourth column the distribution of the correlation between perceived recruitment and the NAO (the horizontal line indicates the correlation between recruitment when, driven by the NAO, and the NAO). The first two rows corresponds to the cases where recruitment is driven by the NAO and the first and third rows where the NAO is used to tune the VPA.

Participants/Participants/Participantes

EUROPEAN COMMUNITY

EC-FRANCE

Fromentin, Jean Marc.

Centre Halieutiques Méditerranéen et Tropical. B.P. 171 - Avenue Jean Monnet, 34203 Sète, France.
Tel: +33 4 99 57 3200; Fax: +33 4 99 57 3295; E-Mail:jean.marc.fromentin@ifremer.fr.

EC - PORTUGAL

Ferreira de Gouveia Lidia.

Chefe de Divisao De Tecnicas E Artes de Pesca. Direcção Regional das Pescas, Estrada da Pontinha, 9000 - Funchal, Madeira.

Tel: +351 291 203200; Fax: +351 291 229691; E-Mail:lidiagouveia@hotmail.com.

Pereira Joao Gil. Universidade dos Açores, Departamento de Oceanografia e Pescas, 9900 - Horta, Açores; Tel: +351 292 29 2945; Fax: +351 292 29 2659; E-Mail:pereira@notes.horta.uac.pt.

EC - SPAIN

Borja, Angel.

AZTI - Herrera Kaia, Portualdea s/n, 20110 Pasaia

Tel: +34 94 300 4800; Fax: +34 94 300 4801; E-Mail:aborja@pas.azti.es.

De La Serna Ernst, Jose Miguel.

Instituto Español de Oceanografía. Apartado 285/ Puerto Pesquero s/n, 29640 - Fuengirola, Málaga

Tel: +34 952 476 955; Fax: +34 952 463 808; E-Mail:delaserna@ma.ieo.es.

Mejuto García, Jaime.

Instituto Español de Oceanografía. Muelle de Animas, s/n, Apartado 130, 15080 - A Coruña

Tel: +34 981 205 366; Fax: +34 981 229 077; E-Mail:jaime.mejuto@co.ieo.es.

Ortiz de Urbina, Jose Maria.

Instituto Español de Oceanografía. Apartado 285, 29640 Fuengirola – Malaga.

Tel: +34 952 476 955; Fax: +34 952 463 808; E-Mail:urbina@ma.ieo.es.

Pallarés, Pilar.

Instituto Español de Oceanografía. Corazón de María, 8, 28002 – Madrid

Tel: +34 91 347 3620; Fax: +34 91 413 5597; E-Mail:pilar.pallares@md.ieo.es.

EC - UNITED KINGDOM

Kell Laurence T.

CEFAS - Lowestoft Laboratory. Pake field Road, Suffolk NP33 OHT

Tel: +44 1502 524 347; Fax: +44 1502 513 865; E-Mail:l.t.kell@cefes.co.uk

JAPAN

Uosaki, Koji.

Western Pacific Tuna and Skipjack Resources Division, National Research Institute of Far Seas Fisheries. 7-1, Orido 5-Chome, Shimizu-shi, Shizouka 424-8633

Tel: +81 543 36 6033; Fax: +81 543 35 9642; E-Mail:uosaki@enyo.affrc.go.jp.

Uehara, Kazuyuki.

Oceanography and Southern Resources Division, National Research Institute of Far Seas Fisheries. 7-1, Orido 5-Chome, Shimizu-shi, Shizouka 424-8633

Tel: +81 543 36 6067; Fax: +81 543 35 9642; E-Mail:kuehara@enyo.affrc.go.jp.

MOROCCO

Abid, Noureddine.

Center Regional de L'INRH á Nador. B.P. 493, Nador

Tel: +212 56 60 38 28; Fax: +212 56 60 38 28; E-Mail: bid@nadornet.net.ma

UNITED STATES

Brown, Craig A.

Fishery Biologist - Southeast Fisheries Science Center-NMFS. 75 Virginia Beach Dr., Miami, FL 33149;

Tel: +1 305 361 4590; Fax: +1 305 361 4499; E-Mail: craig.brown@noaa.gov.

Powers, Joseph E.

SCRS Chairman, Southeast Fisheries Science Center. 75 Virginia Beach Dr., Miami, FL 33149-1099

Tel: +1 305 361 4295; Fax: +1 305 361 4278; E-Mail: joseph.powers@noaa.gov

ICCAT SECRETARIAT

Restrepo, Victor R.

Email: victor.restrepo@iccat.es

Kebe Papa

E-mail: papa.kebe@iccat.es

Palma, Carlos

E-mail: carlos.palma@iccat.es

Agenda

- 1 Opening, adoption of agenda and arrangements for the meeting
- 2 Presentation and discussion of the documents
- 3 General discussion on environmental effects on tuna recruitment
- 4 Computer and simulation work:
 - 4.1 Testing further the hypothesized relationship between NAO and tuna recruitment
 - 4.2 Patterns of recruitment variability in Atlantic tuna stocks from an investigation of the catches and/or CPUE time series
 - 4.3 Investigating, through simulation modelling, the effects of variable recruitment on stock size and yields as well as its possible implications on a standard stock assessment procedure
- 5 General discussion about the implementation of environmental considerations within ICCAT stock assessment procedure
- 6 Other matters
- 7 Recommendations
- 8 Adoption of the report and closure of the meeting

Appendice 2

Ordre du jour

- 1 Ouverture, adoption de l'ordre du jour et organisation des sessions
- 2 Présentation et discussion des travaux
- 3 Débat général sur les effets de l'environnement sur le recrutement des thons
- 4 Travail d'informatique et de simulation:
 - 4.1 Poursuite des tests sur la relation hypothétique entre le NAO et le recrutement des thons
 - 4.2 Modes de la variabilité du recrutement des stocks atlantiques de thon d'après l'examen des séries temporelles de capture et/ou de CPUE
 - 4.3 Recherche, au moyen de modèles de simulation, sur l'incidence d'un recrutement variable sur la taille du stock et la production, ainsi que ses implications éventuelles pour un processus standard d'évaluation des stocks
- 5 Débat général sur l'intégration de considérations environnementales dans le processus d'évaluation des stocks de l'ICCAT
- 6 Autres questions
- 7 Recommandations
- 8 Adoption du rapport et clôture

Agenda

1. Apertura, adopción de la agenda y disposiciones para la reunión
2. Presentación y discusión de los documentos
3. Discusión general respecto a los efectos medioambientales sobre el reclutamiento de túnidos.
4. Trabajo informático y de simulación:
 - 4.1. Probar la relación hipotética entre el NAO y el reclutamiento de túnidos
 - 4.2. Patrones de variabilidad del reclutamiento en stocks de túnidos del Atlántico a partir de una investigación de las capturas y/o series temporales de CPUE
 - 4.3. Investigar, mediante modelos de simulación, los efectos del reclutamiento variable sobre el tamaño del stock y los rendimientos, así como posibles implicaciones en un procedimiento estándar de evaluación de stock
5. Discusión general sobre la implementación de consideraciones medioambientales en los procedimientos ICCAT de evaluación de stock
6. Otros asuntos
7. Recomendaciones
8. Adopción del informe y clausura de la reunión

List of Documents/Liste de Documents/Lista de Documentos

SCRS/01/032	Correlation between the North Atlantic Oscillation Index and stock-recruitment trends of West Atlantic bluefin tuna (<i>Thunnus thynnus</i>) - G. P. Scott, C.A. Brown, C.E. Porch, S.C. Turner
SCRS/01/033	Does the North Atlantic Oscillation control some processes influencing recruitment of temperate tunas? - A. Borja, J. Santiago
SCRS/01/034	Can stochastic variations in recruitment induce long-term fluctuations in carrying capacity? - J. M. Fromentin
SCRS/01/035	Comparison of recruitment variability of Pacific bluefin tuna with global atmospheric-oceanic conditions associated with the El-Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon - K. Uehara, M. Takahashi and D. Inagake
SCRS/01/36	Is recruitment a key biological process in the Hypothetical NAO-Atlantic tunas relationships? - J. M. Fromentin
SCRS/01/37	Preliminary results of exploring a relationship between albacore recruitment and atmospheric-oceanographic environment in the North Pacific Ocean - K. Uosaki, K. Uehara
SCRS/01/38	Some remarks on the NAO index related oceanographic factors, and its possible fit to the recruitment index of the North Atlantic swordfish (<i>Xiphias gladius</i>) - J. Mejuto
SCRS/01/39	Time trends in abundance and catchability of yellowfin tuna and their relationship to the North Atlantic Oscillation index – D. Die, L. Kell, and P. Pallares

Some Methodological Suggestions for Investigations of the Relationship Between Stock Variables and Environmental Variables

These suggestions are not intended to be prescriptive nor are they infallible. They are given in no particular order and are inter-related. The references provided are not necessarily representative of the universe of possible references on the subject areas mentioned. Thus, they are just suggestions.

- 1 - Look for relationships that have a likely biological/fishery basis, rather than calculating correlation coefficients between variables just because they are available.
- 2 - Be aware that calculating too many correlations by combining many variables and/or using many time lags (the “multiple testing problem”; see Legendre and Legendre 1998, Peres-Neto 1999) may affect the “real” level of significance of statistical tests that are commonly used.
- 3 - Be aware that correlation coefficients can be artificially inflated when the time series being tested are autocorrelated, because autocorrelation decreases the effective number of degrees of freedom (see Bartlett 1946, Myers 1993, Legendre and Legendre 1998). It is best to compute correlations between variables that have not been smoothed.
- 4 - Try to separate the effects due to trends from the effects due to inter-annual fluctuations. Before conducting analyses of the latter type, you should de-trend the time series, which is the only way for removing autocorrelation due to long-term variation.
- 5 - Try to understand how potential biases in the data (particularly in the fishery data) can affect the results obtained. For example, due to the backcalculation procedure, VPA-based estimates of recruitment may be affected by biases on data for older age groups.

Quelques suggestions méthodologiques pour la recherche sur la relation entre les variables du stock et les variables environnementales

Ces suggestions n'ont nullement pour but de constituer des normes à suivre; elles ne prétendent pas non plus être infaillibles. Elles sont citées sans ordre particulier et sont inter-associées. Les références fournies n'illustrent pas forcément l'univers des références possibles sur les domaines mentionnés. Il s'agit donc bien de simples suggestions.

- 1 Rechercher les relations qui ont une base biologique/halieuque probable, plutôt que de calculer les coefficients de corrélation entre variables simplement parce que celles-ci sont disponibles.
- 2 Prendre conscience du fait que le calcul d'un trop grand nombre de corrélations en combinant de nombreuses variables et/ou en utilisant de nombreux décalages ("problème du test multiple", voir Legendre & Legendre 1998, Peres-Neto 1999) peut affecter le niveau "réel" de significativité des test statistiques qui sont couramment utilisés.
- 3 Prendre conscience du fait que les coefficients de corrélation peuvent être gonflés de façon artificielle lorsque les séries temporelles qui sont testées sont auto-corrélées, parce que l'auto-corrélation restreint le degré de liberté (voir Bartlett 1946, Myers 1993, Legendre & Legendre 1998). Il vaut mieux calculer les corrélations entre des variables qui n'ont pas été lissées.
- 4 Tenter de distinguer les effets des tendances de ceux des fluctuations inter-annuelles. Avant d'effectuer des analyses de ce dernier type, il faut détendancionaliser les séries temporelles, ce qui est la seule façon d'éliminer l'auto-corrélation due à une variation à long terme.
- 5 Tenter d'appréhender la façon dont les biais potentiels des données (notamment des données sur la pêche) peuvent affecter les résultats obtenus. Par exemple, le processus de rétro-calcul de la VPA fait que les estimations du recrutement peuvent être biaisées par les données sur les âges les plus avancés.

**Algunas sugerencias metodológicas para investigaciones sobre la relación
entre variables del stock y variables medioambientales**

Estas sugerencias no están pensadas para ser obligatorias ni infalibles. Se detallan sin un orden en particular y están interrelacionadas. Las referencias proporcionadas no son necesariamente representativas del universo de posibles referencias sobre los temas mencionados. Por lo tanto, son tan sólo sugerencias:

- 1- Buscar relaciones que tengan una base biológica/pesquera probable, en lugar de calcular coeficientes de correlación entre variables simplemente porque están disponibles.
- 2- Ser consciente de que calcular demasiadas correlaciones combinando muchas variables y/o utilizando muchos desfases temporales (el “problema de múltiples pruebas”; ver Legendre y Legendre 1998, Peres-Neto 1999) puede afectar al nivel “real” de importancia de las pruebas estadísticas que se utilizan habitualmente.
- 3- Ser consciente de que los coeficientes de correlación pueden estar inflados artificialmente cuando las series temporales que se están probando están autocorrelacionadas, porque la autocorrelación disminuye el número efectivo de grados de libertad (ver Bartlett 1946, Myers 1993, Legendre y Legendre 1998). Es mejor calcular las correlaciones entre variables que no hayan sido alisadas.
- 4- Intentar separar los efectos debido a tendencias de los efectos debidos a fluctuaciones interanuales. Antes de llevar a cabo análisis de este último tipo, deberían eliminarse las tendencias de las series temporales, que es la única forma de eliminar la autocorrelación debida a la variación a largo plazo.
- 5- Intentar entender cómo pueden afectar a los resultados obtenidos los sesgos potenciales en los datos (especialmente en los datos de pesquerías). Por ejemplo, debido al procedimiento de cálculo retrospectivo, las estimaciones de reclutamiento basadas en VPA pueden verse afectadas por sesgos en los datos para los grupos de edades más mayores.